

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE LOS RADIOELEMENTOS URANIO, TORIO, POTASIO Y MINERALES PARAGÉNETICOS ASOCIADOS.**

**ESTUDIO AL SUROESTE DEL ESTADO ARAGUA PARA DEMOSTRAR LA  
CAPACIDAD DE LAS TÉCNICAS DE ESPECTROMETRÍA DE RADIACIÓN  
GAMMA, EN LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE  
RECURSOS MINERALES Y ENERGÉTICOS.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
de Ingeniero Geofísico  
Por la Br. Ana María Liendo Perales

Caracas, Julio 2003

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE LOS RADIOELEMENTOS URANIO, TORIO, POTASIO Y MINERALES PARAGÉNETICOS ASOCIADOS. ESTUDIO AL SUROESTE DEL ESTADO ARAGUA PARA DEMOSTRAR LA CAPACIDAD DE LAS TÉCNICAS DE ESPECTROMETRÍA DE RADIACIÓN GAMMA, EN LA EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RECURSOS MINERALES Y ENERGÉTICOS.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José Manuel Cavada  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Octimio Gutiérrez N.

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de  
Venezuela para optar al Título  
de Ingeniero Geofísico  
Por la Br. Ana María Liendo Perales

Caracas, Julio 2003

© Ana María Liendo, 2003  
Hecho el Depósito de Ley.  
Depósito Legal#####

A mis padres,  
por enseñarme a comprender que los metas son posibles de alcanzar;  
siempre que se hagan con empeño,  
a pesar de los obstáculos y del tiempo.  
A mamá por su fortaleza y sinceridad.  
A ti papá, tan especial, que en el transcurrir de los años nos has enseñado y demostrado la  
magnanimidad de tu amor,.....gracias.  
A mis hermanos por el respeto, apoyo moral  
y espiritual que siempre me han brindado.  
A ti abuelita por tus consejos y amor.  
A mi gochito por su respaldo y persuasión para lograr esta meta,  
..... eres especial y trascendental  
en mi vida.



## **AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Universidad Central de Venezuela, por acogerme de nuevo y permitirme realizar este Trabajo Especial de Grado para cumplir con los requisitos finales exigidos de optar al título de Ingeniero Geofísico.

Manifiesto mi gratitud y reconocimiento al Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), especialmente a la Gerencia de Investigaciones Geológicas y de Recursos Minerales, a cargo de la Dra. Rosario Bajo de Osuna, y al Jefe de División, en la persona de la Ing. Rosa Benítez, por darme la oportunidad de desarrollar este Trabajo Especial de Grado, como parte de uno de los proyectos iniciados en el año 2001 en la reactivación del área de Prospección Geofísica de este Instituto.

Al profesor José M. Cavada, por su ayuda, condescendencia, supervisión, sugerencias y dirección en este trabajo de investigación.

Expreso mi agradecimiento al Ing. Octimio Gutiérrez, por su constante apoyo profesional, su incondicional colaboración, indulgencia y estímulo para el avance y culminación de este Trabajo Especial de Grado.

Al Ing. Alí Hernández, por concebir y proponer ideas en la parte inicial de este proyecto. Mi gratitud por su contribución en la traducción de un trabajo relacionado con el tema, al igual que compartir información de su archivo personal.

Agradezco a la profesora Inírida Rodríguez por sus valiosas observaciones y correcciones hechas al informe final.

A los Licenciados Miriam Camero y José Duarte, por su intermediación ante los representantes del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), haciendo posible la atención en la parte instrumental de este proyecto de Herbert Kaufmann, representante para Latinoamérica de dicho Organismo, perteneciente

a la Sección de Física (Division of Physical and Chemical Sciences, International Atomic Energy Agency , IAEA).

A la Lic. Berta Chachatti, por su apoyo personal y calificada asistencia en la parte de interpretación del análisis químico de las muestras relacionadas con el proyecto.

A los Licenciados Luz Ovalles, Liliana Iturriza, Cruz Ruíz y su equipo, en particular al Sr. Arturo Antequera, pertenecientes al Laboratorio de Espectrometría y Rayos X, del Instituto de Geología y Minería (INGEOMIN), al igual que al Ing. Oswaldo Cisneros por la buena voluntad y colaboración para la evaluación y análisis de las muestras de rocas vinculadas al proyecto.

A todo el personal técnico, profesional y empleados del Instituto Nacional de Geología y Minería, por su cooperación, respaldo y consejos para la realización de este trabajo de investigación.

Al personal del Laboratorio de Asuntos Nucleares de la Dirección de Energía, del Ministerio de Energía y Minas en particular al Sr. Oswaldo Montero por compartir sus conocimientos y experiencias de esta área de las geociencias.

A la Ingeniero, a la amiga, a la incondicional Melania Mijares, por su motivación y enseñarme a comprender el momento.

Mi eterna gratitud y amor a mi familia. A mi madre, a mi padre Ramón V. Liendo, a mis hermanos y abuelita, por su permanente apoyo espiritual y económico; en especial a Saúl y Antonio y sus respectivas familias, por su tolerancia y ayuda en las etapas de mi vida.

Supremamente agradezco al Ser Omnipotente, Dios, que siempre ha estado conmigo para mostrarme un camino y hacerme sentir su presencia.

**Liendo P., Ana María**

**PROSPECCIÓN GEOFÍSICA DE LOS RADIOELEMENTOS  
URANIO, TORIO, POTASIO Y MINERALES PARAGÉNETICOS ASOCIADOS.  
ESTUDIO AL SUROESTE DEL ESTADO ARAGUA PARA DEMOSTRAR LA CAPACIDAD DE LAS  
TÉCNICAS DE ESPECTROMETRÍA DE RADIACIÓN GAMMA, EN LA EXPLORACIÓN Y  
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RECURSOS MINERALES Y ENERGÉTICOS.**

**Tutor Académico: Prof. José M. Cavada. Tutor Industrial: Ing. Octimio Gutiérrez.  
Tesis. Caracas, U. C. V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y  
Geofísica. 2003, 416 p.**

**Palabras Claves:** Radimetría, Espectrometría de Radiación Gamma, Radioelementos naturales, Metodología, Levantamiento autotransportado y pedestre, Anomalía geoquímica, Geoestadística, Sectores favorables y Barita.

**Resumen.**

En el país se han realizado investigaciones de zonas aplicando técnicas nucleares como la radimetría, específicamente la espectrometría de radiación gamma, para la búsqueda de minerales radiactivos, pero se desconocía el alcance de este método para delimitar yacimientos de minerales paragenéticos asociados a elementos radiactivos. Este trabajo de investigación enfocó esa incertidumbre, lo que a su vez involucró el desarrollo de una metodología para la implementación de esta técnica, contando para ello con una tecnología de avanzada constituida por un sistema de detección de radiación gamma autotransportado y portátil.

El área de exploración se ubicó en el suroeste del Estado Aragua, cubriendo con el levantamiento radimétrico autotransportado una superficie de investigación de aproximadamente 40 km<sup>2</sup>, la cual se dividió en cinco (5) sectores de interés, donde diversos estudios geológicos y geoquímicos que se han efectuado hasta este momento reportan anomalías de barita. Particularmente en los sectores Los Corozos y El Valle se efectuaron en cada uno levantamientos radimétricos pedestres en mallados, constituidos por cinco (5) perfiles perpendiculares al rumbo de los afloramientos de

barita, de un kilómetro de longitud cada uno y de dirección norte-sur. Se complementó esta investigación con itinerarios radimétricos pedestres en los otros sectores.

Los datos radimétricos se procesaron por medio de análisis estadístico, de gráficos de dispersión de las propiedades radiactivas en conteos/ s de cada radioelemento y concentraciones y por último de análisis geoestadístico. Basándose en estos análisis se generaron mapas de contornos de concentraciones y de conteos/ s, donde se reflejó cualitativamente y cuantitativamente la radioactividad de la zona en estudio, indicando pocas perspectivas de hospedar depósitos económicos de uranio, igualmente se obtuvo la respuesta radioactiva en la mineralización de barita y su entorno. Este mismo procesamiento se realizó a los resultados de los análisis químicos de las muestras de rocas en la zona de estudio para correlacionar la barita y los radioelementos naturales. Se obtuvieron mapas geoquímicos del elemento bario con principales anisotropías espaciales de la concentración, con un azimut de 72° para el sector Los Corozos y de 80° para el Sector El Valle.

Al aplicar los métodos radimétricos para prospeccionar este tipo de mineral se estableció que se presenta aparentemente una relación entre la presencia o el entorno de la roca caja de las zonas mineralizadas de barita y los valores altos del radioelemento potasio (K), en un rango de 0 - 19,2 % en Los Corozos y de 1.1- 11.3 % en El Valle. Este hecho es necesario corroborarlo en otros lugares donde existan afloramientos de barita para poder suponer que la medición de la actividad radioactiva del potasio sirve como guía o trazador para determinar este tipo de mineralización. De allí que las altas concentraciones de potasio en el entorno de la mineralización confirman la génesis de la barita, por alteración de fluidos hidrotermales en la zona. Se confirmó el carácter lenticular de la mineralización, con una continuidad bien marcada aproximadamente este-oeste, lo que se acredita como la dirección más favorable para la exploración de la barita.

# ÍNDICE

Página

|                                                                   |               |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>RESUMEN.....</b>                                               | <b>i</b>      |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>                                     | <b>vii</b>    |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>                                      | <b>x</b>      |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                          | <b>1</b>      |
| <b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....</b>                             | <b>4</b>      |
| <b>1.1- Objetivo General.....</b>                                 | <b>5</b>      |
| 1.1.1- Objetivos específicos.....                                 | 5             |
| <b>1.2- Ubicación de la zona de estudio.....</b>                  | <b>6</b>      |
| <b>1.3- Antecedentes de trabajos radimétricos en la zona.....</b> | <b>6</b>      |
| <br><b>CAPÍTULO 2. GEOLOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LA ZONA.....</b>      | <br><b>11</b> |
| <b>2.1- Geología regional.....</b>                                | <b>12</b>     |
| 2.1.1- Formaciones del Grupo Villa de Cura.....                   | 12            |
| 2.1.2- Geología estructural regional.....                         | 15            |
| 2.1.3- Metamorfismo.....                                          | 16            |
| <b>2.2- Geología local.....</b>                                   | <b>19</b>     |
| 2.2.1- Unidades litológicas.....                                  | 19            |
| 2.2.2- Geología estructural local.....                            | 24            |
| <b>2.3- Geoquímica de las Metalavas y Metatobas.....</b>          | <b>26</b>     |
| 2.3.1- Aspectos generales.....                                    | 26            |
| 2.3.2- Caracterización geoquímica.....                            | 27            |
| <br><b>CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO.....</b>                         | <br><b>31</b> |
| <b>3.1- Fundamentos físicos.....</b>                              | <b>32</b>     |
| 3.1.1- Radioactividad.....                                        | 35            |
| 3.1.1.1- Tipos de radiación.....                                  | 38            |
| 3.1.1.2- Desintegración de los radioelementos naturales.....      | 41            |
| 3.1.1.3- Unidades de representación.....                          | 46            |
| 3.1.1.4- Teoría de los radioelementos.....                        | 49            |
| 3.1.1.5- Naturaleza estadística del fenómeno radiactivo.....      | 56            |
| 3.1.1.6- Equilibrio radiactivo.....                               | 58            |

|                                                                                                            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1.2- Geoquímica de los radioelementos.....                                                               | 66         |
| 3.1.2.1- Geoquímica del potasio.....                                                                       | 68         |
| 3.1.2.2- Geoquímica del uranio.....                                                                        | 70         |
| 3.1.2.3- Geoquímica del torio.....                                                                         | 73         |
| 3.1.2.4- Geoquímica del bario.....                                                                         | 75         |
| 3.1.3- Radioactividad en las rocas.....                                                                    | 80         |
| 3.1.3.1- Distribución de la radioactividad en las rocas.....                                               | 81         |
| 3.1.3.2- Radioactividad en las rocas ígneas.....                                                           | 81         |
| 3.1.3.3- Radioactividad en las rocas metamórficas y sedimentarias.....                                     | 83         |
| 3.1.3.4- Relación torio – uranio (Th/U).....                                                               | 87         |
| 3.1.3.5- Relación uranio- torio (U/Th).....                                                                | 88         |
| 3.1.3.6- Minerales radioactivos.....                                                                       | 88         |
| 3.1.3.7- Ambientes geológicos favorables para la localización de<br>depósitos uraníferos en Venezuela..... | 90         |
| <b>3.2- Métodos radimétricos.....</b>                                                                      | <b>99</b>  |
| 3.2.1- Espectrometría de radiación gamma.....                                                              | 100        |
| 3.2.1.1- Propiedades de la radiación gamma.....                                                            | 101        |
| 3.2.1.2- Espectros de la radiación gamma.....                                                              | 102        |
| 3.2.1.3- Radiación gamma en las rocas.....                                                                 | 109        |
| 3.2.2- Equipo de espectrometría de radiación gamma.....                                                    | 111        |
| 3.2.2.1- Componentes del espectrómetro de radiación gamma.....                                             | 113        |
| 3.2.2.2- Calibración.....                                                                                  | 114        |
| 3.2.3- Prospección con espectrometría de radiación gamma.....                                              | 117        |
| 3.2.3.1- Variables a considerar.....                                                                       | 120        |
| 3.2.3.2- Criterios para levantamientos radimétricos autotransportado y<br>pedestre .....                   | 126        |
| <b>3.3- Génesis del yacimiento.....</b>                                                                    | <b>128</b> |
| 3.3.1- Bario como paragenético.....                                                                        | 133        |
| <b>CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA.....</b>                                                                        | <b>137</b> |
| <b>4.1- Datos radimétricos de campo.....</b>                                                               | <b>138</b> |
| 4.1.1- Metodología de adquisición.....                                                                     | 140        |
| 4.1.1.1- Equipos utilizados.....                                                                           | 142        |

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1.2- Adquisición de datos.....                                                              | 145        |
| <b>4.2- Caracterización del fondo geoquímico.....</b>                                         | <b>155</b> |
| 4.2.1- Trabajos previos.....                                                                  | 155        |
| 4.2.2- Muestreo geoquímico.....                                                               | 157        |
| 4.2.2.1- Análisis de laboratorio.....                                                         | 159        |
| <b>CAPITULO 5. PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE LOS DATOS.....</b>                             | <b>165</b> |
| <b>5.1- Representación de los datos del levantamiento gamma autotransportado.....</b>         | <b>166</b> |
| 5.1.1- Obtención del mapa de grado de estudio de la región de trabajo.....                    | 166        |
| 5.1.2- Determinación del valor de fondo natural regional.....                                 | 168        |
| 5.1.3- Elaboración del mapa de concentraciones sin el valor de fondo<br>natural regional..... | 171        |
| 5.1.4- Evaluación estadística de los datos.....                                               | 171        |
| <b>5.2- Representación de los datos del levantamiento gamma pedestre.....</b>                 | <b>178</b> |
| 5.2.1- Evaluación estadística de los datos.....                                               | 178        |
| 5.2.2- Elaboración de perfiles en los sectores.....                                           | 184        |
| 5.2.2.1- Análisis de los perfiles en el Sector Los Corozos.....                               | 195        |
| 5.2.2.2- Análisis de los perfiles en el Sector El Valle.....                                  | 198        |
| 5.2.3-Obtención del mapa de concentraciones en los sectores.....                              | 200        |
| 5.2.3.1- Sector Los Corozos.....                                                              | 200        |
| 5.2.3.2- Sector El Valle.....                                                                 | 205        |
| 5.2.4- Elaboración de los perfiles en los itinerarios pedestres.....                          | 212        |
| 5.2.4.1- Análisis de los itinerarios.....                                                     | 212        |
| <b>5.3- Relación entre levantamiento autotransportado y pedestre.....</b>                     | <b>218</b> |
| 5.3.1- Itinerario La Reinoso – Los Corozos.....                                               | 218        |
| 5.3.2- Evaluación estadística de los datos.....                                               | 220        |
| <b>5.4- Representación de los datos geoquímicos.....</b>                                      | <b>221</b> |
| 5.4.1- Análisis estadístico de los datos.....                                                 | 221        |
| 5.4.2- Determinación del valor de fondo, de umbral y anómalo<br>de potasio y bario.....       | 224        |
| 5.4.3- Análisis de los resultados.....                                                        | 224        |
| <b>5.5- Secuencia de la metodología planteada.....</b>                                        | <b>229</b> |

|                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>CAPÍTULO 6. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>                                     | <b>231</b> |
| 6.1- Interpretación radimétrica: levantamiento autotransportado y pedestre.....              | 232        |
| 6.2- Levantamiento o recorrido radimétrico autotransportado.....                             | 232        |
| 6.3- Levantamiento radimétrico pedestre en los sectores favorables.....                      | 237        |
| 6.3.1- Sector Los Corozos.....                                                               | 237        |
| 6.3.2- Sector El Valle.....                                                                  | 244        |
| 6.4- Paragénesis.....                                                                        | 248        |
| 6.5- Esquema final de metodología de la técnica espectrometría gamma.....                    | 249        |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>                                                   | <b>251</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS.....</b>                                               | <b>257</b> |
| <b>APÉNDICES</b>                                                                             |            |
| A- Equipos e instrumentos utilizados.....                                                    | 266        |
| A-1- Manual GR-650.....                                                                      | 267        |
| A-2- Manual GR-256.....                                                                      | 289        |
| A-3- GPS.....                                                                                | 306        |
| B- Principales conceptos de estadística clásica y de geoestadística.....                     | 332        |
| C- Reglas de seguridad para trabajar con medidores nucleares y<br>elementos radiactivos..... | 342        |
| D- Sinopsis mineral anómalo, barita.....                                                     | 352        |
| E- Glosario de términos.....                                                                 | 358        |
| <b>ANEXOS.....</b>                                                                           | <b>364</b> |
| Anexo I - Tablas de datos radimétricos adquiridos.....                                       | 365        |
| Anexo II - Tabla de datos geoquímicos.....                                                   | 406        |



## INDICE DE FIGURAS

| Fig. N°                                                                                                                        | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1: Ubicación de la zona de estudio.....                                                                                        | 7      |
| 2: Representación radimétrica autotransportada en Venezuela (1976-1980).....                                                   | 9      |
| 3: Representación de la columna estratigráfica inicial generalizada del<br>Grupo Villa de Cura.....                            | 14     |
| 4: Fajas tectónicas del norte-centro de la Faja de Villa de Cura.....                                                          | 16     |
| 5: Mapa geológico-estructural regional.....                                                                                    | 18     |
| 6: Mapa de las zonas metamórficas, según Navarro (1983).....                                                                   | 19     |
| 7: Mapa base de litología en la zona de estudio.....                                                                           | 21     |
| 8: Representación estructural de la zona en estudio.....                                                                       | 24     |
| 9: Tabla periódica de Mendeleiev.....                                                                                          | 35     |
| 10: Números de neutrones en función de los protones.....                                                                       | 38     |
| 11: Los tipos de radiación.....                                                                                                | 39     |
| 12: Estado de ionización y excitación del núcleo .....                                                                         | 42     |
| 13: Desintegración alfa ( $\alpha$ ).....                                                                                      | 43     |
| 14: Desintegración beta ( $\beta$ ). Electrónica $\beta^-$ y positrónica $\beta^+$ .....                                       | 44     |
| 15: Desintegración gamma ( $\gamma$ ).....                                                                                     | 45     |
| 16: Características comunes de las series naturales de desintegración.....                                                     | 52     |
| 17: Gráfica de la ley de decaimiento exponencial de núcleos radiactivos.....                                                   | 60     |
| 18: Actividad de un isótopo radiactivo en función del tiempo transcurrido.....                                                 | 61     |
| 19: El mismo número de partículas atraviesa cada superficie.....                                                               | 62     |
| 20: Clasificación de la serie de $U^{238}$ en grupos de isótopos.....                                                          | 64     |
| 21: Esquema de penetración de las partículas alfa, beta y gamma.....                                                           | 101    |
| 22: Efecto Compton de dispersión.....                                                                                          | 103    |
| 23: Radiaciones del espectro electromagnético.....                                                                             | 103    |
| 24: Partes del espectro gamma.....                                                                                             | 104    |
| 25: La actividad radiactiva es proporcional a la tasa de conteo total<br>bajo el espectro completo.....                        | 105    |
| 26: Un espectro compuesto es igual a la suma de los espectros de<br>cada uno de los componentes.....                           | 106    |
| 27: Muestra los espectros de radiación gamma de las series<br>del potasio, uranio y torio.....                                 | 108    |
| 28: Equipo EXPLORANIUM-GR256, espectrómetro de radiación<br>gamma portátil.....                                                | 112    |
| 29: Espectro que muestra el pico o cresta del elemento $Cs^{137}$ cesio.....                                                   | 113    |
| 30: Esquema de metodología para levantamientos con<br>espectrometría de radiación gamma.....                                   | 139    |
| 31: Mapa topográfico con la ubicación de los sectores de<br>interés en la zona de estudio.....                                 | 141    |
| 32: Equipos utilizados, espectrómetro portátil<br><b>EXPLORANIUM GR-256</b> y autotransportado <b>EXPLORANIUM GR-650</b> ..... | 142    |
| 33: Equipo de posicionamiento satelital global,<br>GPS navegador GARMIN eTrex.....                                             | 143    |
| 34: Esquema del software <b>GR-650</b> : GAMMAP, CALED y ISABEL2.CAL.....                                                      | 148    |
| 35: Esquema del software <b>GR-650</b> : CALED, GPS, SPEC y BROWSER.....                                                       | 149    |
| 36: Recorridos del levantamiento de espectrometría gamma                                                                       |        |

|                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| autotransportada y pedestre.....                                                                                                                                | 152 |
| 37: Mapa geológico con la ubicación de las muestras de los trabajos previos realizados en la zona de estudio.....                                               | 158 |
| 38: Mapa geológico con la ubicación de las muestras geoquímicas del presente trabajo de investigación, en la zona de estudio.....                               | 160 |
| 39: Representación en la zona de estudio del levantamiento de espectrometría gamma autotransportado en la zona de estudio.....                                  | 167 |
| 40: Concentraciones regionales de los radioelementos uranio potasio, uranio y torio en el recorrido del levantamiento autotransportado.....                     | 169 |
| 41: Concentraciones de potasio (K) %, uranio (U) ppm y torio (Th) ppm en la zona de detalle.....                                                                | 170 |
| 42: Valor de fondo natural para el potasio (%), uranio (ppm) y torio (ppm).....                                                                                 | 172 |
| 43: Levantamiento autotransportado. Concentraciones de potasio (K) %, uranio (U) ppm y torio (Th) ppm, sin el valor de fondo natural en al zona de detalle..... | 173 |
| 44: Perfil de los valores de conteos/s del potasio (%) en el Sector Los Corozos.....                                                                            | 187 |
| 45: Perfil de los valores de conteos/s del uranio (%) en el Sector Los Corozos.....                                                                             | 188 |
| 46: Perfil de los valores de conteos/s del torio (%) en el Sector Los Corozos.....                                                                              | 189 |
| 47: Perfil de los valores de conteos/s de la relación U/Th en el Sector Los Corozos.....                                                                        | 190 |
| 48: Perfil de los valores de conteos/s de la relación U/K en el Sector Los Corozos.....                                                                         | 191 |
| 49: Perfil de los valores de conteos/s del potasio (%) en el Sector El Valle.....                                                                               | 192 |
| 50: Perfil de los valores de conteos/s del uranio (%) en el Sector El Valle.....                                                                                | 193 |
| 51: Perfil de los valores de conteos/s del torio (%) en el Sector El Valle.....                                                                                 | 194 |
| 52: Perfil de los valores de conteos/s de la relación U/Th en el Sector El Valle.....                                                                           | 195 |
| 53: Perfil de los valores de conteos/s de la relación U/K en el Sector El Valle.....                                                                            | 196 |
| 54: Ubicación e identificación de los perfiles en los sectores Los Corozos y El Valle.....                                                                      | 197 |
| 55: Línea topográfica para el perfil #1 del Sector Los Corozos.....                                                                                             | 197 |
| 56: Línea topográfica para el perfil #1 del Sector El Valle.....                                                                                                | 199 |
| 57: Contornos de la concentración de los radioelementos, potasio, uranio y torio en el Sector Los Corozos.....                                                  | 204 |
| 58: Contornos de los Conteos/ s de los radioelementos, potasio, uranio y torio en el Sector Los Corozos.....                                                    | 205 |
| 59: Contornos de la concentración de los radioelementos, potasio, uranio y torio en el Sector El Valle.....                                                     | 209 |
| 60: Contornos de los Conteos/ s de los radioelementos, potasio, uranio y torio en el Sector El Valle.....                                                       | 210 |
| 61: Perfil de actividad radioactiva en conteos/s de los radioelementos naturales                                                                                |     |

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| en el Sector La Palma.....                                                                                                                | 213 |
| 62: Perfil de actividad radioactiva en conteos/s de los radioelementos naturales<br>en el Sector Los Paraparos.....                       | 214 |
| 63: Perfil de actividad radioactiva en conteos/s de los radioelementos naturales<br>en el Sector Los Corozos-El Valle.....                | 215 |
| 64: Ubicación de los itinerarios La Palma, Los Paraparos y<br>Los Corozos-El Valle.....                                                   | 217 |
| 65: Perfil de concentración de los radioelementos aplicando<br>las dos modalidades: autotransportado y pedestre.....                      | 219 |
| 66: Determinación del valor de fondo y umbral para potasio y bario.....                                                                   | 226 |
| 67: Comportamiento espacial del elemento bario.....                                                                                       | 228 |
| 68: Esquema de la metodología.....                                                                                                        | 230 |
| 69: Mapa de integración radimétrico-geológico de potasio (%) de<br>la zona de estudio.....                                                | 233 |
| 70: Mapa de integración geológico-geoquímico de potasio (%) de la zona<br>de estudio.....                                                 | 236 |
| 71: Integración geológico-radimétrico en el Sector Los Corozos.....                                                                       | 241 |
| 72: Integración radimétrico-geoquímico en el Sector Los Corozos.....                                                                      | 243 |
| 73: Integración geológico-radimétrico en el Sector El Valle.....                                                                          | 246 |
| 74: Integración radimétrico-geoquímico en el Sector El Valle.....                                                                         | 247 |
| 75: Paragénesis sugerida para la zona de estudio.....                                                                                     | 249 |
| 76: Esquema fina de los pasos fases realizados para la aplicación<br>de la metodología geofísicas: espectrometría de radiación gamma..... | 250 |

## INDICE DE TABLAS

### Tabla N°

|                                                                                                                                            | Página |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1: Coordenadas de la zona de estudio.....                                                                                                  | 6      |
| 2: Resumen de la información de prospección radimétrica en el país.....                                                                    | 8      |
| 3: Resumen de investigaciones aplicando otros métodos geofísicos<br>cerca de la zona en estudio.....                                       | 10     |
| 4: Compilación geológica regional.....                                                                                                     | 13     |
| 5: Investigaciones del origen (aloctonía vs. autoctonía) de la Cordillera<br>del Caribe, donde está incluida la Faja de Villa de Cura..... | 17     |
| 6: Agrupación en facies metamórficas de las zonas metamórficas en la<br>región de estudio.....                                             | 18     |
| 7: Características mineralógicas, Unidad de Granofels.....                                                                                 | 22     |
| 8: Características mineralógicas, Unidad de Metalavas .....                                                                                | 22     |
| 9: Características mineralógicas, Unidad de Metatobas .....                                                                                | 23     |
| 10: Características mineralógicas, Unidad de Lavas, Brechas y Tobas.....                                                                   | 23     |
| 11: Resumen estructural de la zona de estudio según Serrano (1982).....                                                                    | 25     |
| 12: Ciclo geoquímico mayor o principal.....                                                                                                | 28     |
| 13: Ciclo geoquímico alternativo.....                                                                                                      | 28     |
| 14: Resumen geoquímica de trabajos previos sobre las rocas<br>del Grupo Villa de Cura.....                                                 | 30     |
| 15: Resumen histórico del descubrimiento de la radioactividad.....                                                                         | 34     |
| 16: Principales unidades de representación del fenómeno radioactivo.....                                                                   | 48     |
| 17: Vida media de los principales isótopos.....                                                                                            | 53     |
| 18: Serie de decaimiento del potasio.....                                                                                                  | 54     |
| 19: Serie de decaimiento del uranio.....                                                                                                   | 55     |
| 20: Serie de decaimiento del torio.....                                                                                                    | 56     |
| 21: Propiedades químicas de los radioelementos naturales.....                                                                              | 70     |
| 22: Estados de oxidación del uranio.....                                                                                                   | 73     |
| 23: Hipótesis de la concentración del uranio en la tierra.....                                                                             | 75     |
| 24: Concentración de los radioelementos naturales.....                                                                                     | 76     |
| 25: Relación U/Th.....                                                                                                                     | 76     |
| 26: Propiedades físicas y químicas del bario.....                                                                                          | 77     |
| 27: Propiedades del mineral barita (BaSO <sub>4</sub> ).....                                                                               | 78     |
| 28: Promedio de la abundancia de radioelementos naturales en las rocas.....                                                                | 80     |
| 29: Características de la radioactividad en las rocas ígneas.....                                                                          | 85     |
| 30: Características de la radioactividad en las rocas sedimentarias y<br>metamórficas.....                                                 | 86     |
| 31: Características de la radioactividad de depósitos minerales<br>sedimentarios y agua.....                                               | 87     |
| 32: Concentración de los radioelementos en diferentes tipos de roca.<br>y su relación U/Th, Th/U y U/K.....                                | 90     |
| 33: Minerales radioactivos como inclusiones microscópicas.....                                                                             | 92     |
| 34: Minerales radioactivos más comunes con torio y uranio.....                                                                             | 93     |
| 35: Minerales radioactivos más comunes con potasio y tierras raras.....                                                                    | 94     |
| 36: Ambientes favorables en depósitos radiactivos en Venezuela.....                                                                        | 96     |
| 37: Correlación entre datos radimétricos vs formaciones geológicas.....                                                                    | 97     |
| 38: Exploraciones de minerales asociados a los radioelementos.....                                                                         | 98     |

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 39: Principales Emisiones de Fotones En La Serie Del U <sup>238</sup> .....                                                                  | 110 |
| 40: Principales rayos gammas en la serie de decaimiento del torio, Th <sup>232</sup> .....                                                   | 110 |
| 41: Cuadro resumen de las funciones de las partes del<br>espectrómetro gamma.....                                                            | 115 |
| 42: Tipo de prospección con espectrometría de radiación gamma.....                                                                           | 119 |
| 43: Resumen de trabajos sobre la génesis del yacimiento.....                                                                                 | 130 |
| 44: Clasificación de Lindgren (1913) de los yacimientos minerales,<br>modificada.....                                                        | 131 |
| 45: Un esquema de la clasificación de Niggli de los yacimientos en base<br>a su génesis y mineralogía.....                                   | 132 |
| 46: Clasificación de Schneiderhbn (1941) de los yacimientos minerales.....                                                                   | 132 |
| 47: Clasificación genética se Smirnov (1982).....                                                                                            | 133 |
| 48: Modelo de paragénesis según Lindgren (1937).....                                                                                         | 135 |
| 49: Modelo de paragénesis según Edwards (1947,1952). .....                                                                                   | 135 |
| 50: Proporciones de isótopos estables que pueden servir para indicar<br>un depósito mineral .....                                            | 135 |
| 51: Valores de las ventanas de energía correspondiente a<br>cada radioelemento.....                                                          | 144 |
| 52: Esquema de sectores de levantamiento por espectrometría<br>gamma autotransportado, con EXPLORANIUM GR-650,<br>en la zona de estudio..... | 147 |
| 53: Constantes de calibración del los equipos GR-256 y GR-650.....                                                                           | 150 |
| 54: Esquema de sectores del levantamiento por espectrometría<br>gamma pedestre EXPLORANIUM GR-256 en la zona de estudio.....                 | 150 |
| 55: Resumen de los trabajos de investigación geoquímica<br>en la zona de estudio.....                                                        | 156 |
| 56: Análisis químico por fluorescencia de rayo x de las muestras<br>en la zona de estudio.....                                               | 161 |
| 57: Análisis espectrofotometría de absorción atómica de las muestras<br>en la zona de estudio.....                                           | 162 |
| 58: Análisis Mineralógico de las muestras en la zona de estudio.....                                                                         | 164 |
| 59: Resultados del análisis estadístico clásico de los datos de<br>concentraciones de los radioelementos.....                                | 175 |
| 60: Presentación de los resultados gráficos del procesamiento de<br>los datos de concentraciones de los radioelementos.....                  | 176 |
| 61: Análisis estadísticos clásico de los datos radimétricos con el<br>programa SPSS en el Sector Los Corozos.....                            | 180 |
| 62: Resultados estadísticos gráficos de los datos radimétricos<br>en el Sector Los Corozos.....                                              | 181 |
| 63: Análisis estadísticos clásico de los datos radimétricos<br>con el programa SPSS del Sector El Valle.....                                 | 182 |
| 64: Resultados estadísticos gráficos al procesar los datos radimétricos<br>con el programa SPSS, en el Sector El Valle.....                  | 183 |
| 65: Resultados del análisis de los datos con el programa GRIDSTAT<br>del Sector Los Corozos.....                                             | 203 |
| 66: Resultados del análisis de los datos con el programa GRIDSTAT<br>del Sector El Valle.....                                                | 208 |
| 67: Resultados del análisis analítico de K (%) y Ba (ppm) de las<br>muestras en la zona de estudio.....                                      | 223 |

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 68: Análisis estadísticos clásico de los datos geoquímicos con el programa SPSS en la zona de estudio.....                    | 225 |
| 69: Factor de correlación entre el bario y potasio en la zona de estudio.....                                                 | 229 |
| 70: Resultados del programa GRIDSTATPRO 2K.01S, para las concentraciones de bario en los sectores Los Corozos y El Valle..... | 238 |
| 71: Interpretación litológica en el Sector Los Corozos según las características radimétricas (Killeen, 1979).....            | 240 |
| 72: Interpretación litológica en el Sector El Valle según las características radimétricas (Killeen, 1979).....               | 244 |

## INTRODUCCIÓN

La existencia en Venezuela de importantes recursos de minerales metálicos y no metálicos constituye una riqueza real, apta para aportar insumos al sector industrial y con excelentes perspectivas de poder intervenir en el proceso de diversificación de las exportaciones como materia prima transformada en productos industriales.

El Ministerio de Energía y Minas, órgano rector del sector geológico minero, ante la enorme posibilidad que representa la minería para el desarrollo económico del país y con el fin de integrar objetivos sociales, económicos y ambientales, crea el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), el cual tiene entre uno de sus objetivos la realización de investigaciones, principalmente de carácter interdisciplinario, en las áreas de geología, recursos minerales, geofísica, geoquímica, geotecnia y demás áreas afines. A su vez el Instituto tiene dentro de sus necesidades la preparación de personal técnico especializado que sea capaz de asumir los retos profesionales en las áreas geológicas, mineras y no convencionales del país.

Concretamente, el área de Prospección Geofísica del Instituto tiene como propósito aplicar y perfeccionar los diferentes métodos de prospección para contribuir al desarrollo minero del país, es decir, mediante la caracterización de los yacimientos minerales, establecer las limitaciones y ventajas de las técnicas y metodologías de exploración minera.

En la parte de Métodos Radimétricos el área de Geofísica cuenta con tecnología de avanzada para aplicar la técnica de Espectrometría de Radiación Gamma, esto es un espectrómetro portátil multicanal de Radiación Gamma, Exploranium GR256 y un sistema autotransportado de detección de Radiación Gamma, Exploranium GR650. De allí la necesidad de establecer una metodología para aplicar dicha técnica en la prospección de recursos mineros metálicos y no metálicos, de interés económico para el país, que abarque desde la operatividad del equipo en su conjunto hasta la representación e interpretación de los datos de campo.

En el conjunto de sus funciones, estos espectrómetros de radiación gamma permiten estudiar el espectro completo de radiación gamma y todos los fenómenos discretos a través de las llamadas ventanas espectrométricas o Regiones de Interés (ROI). El campo de aplicación de estas técnicas nucleares en la exploración de recursos minerales y energéticos integra de manera continua a otras ramas de la Geociencias como son la Geología y Geoquímica. Si bien el uso principal de las técnicas de exploración con rayos gamma se enfocó inicialmente en la búsqueda de depósitos de minerales radiactivos, actualmente se aplica con mucha mayor amplitud.

Las prácticas efectivas y posibles de las técnicas nucleares pueden dividirse en dos categorías generales de actividades a saber, trabajo de laboratorio, utilizando métodos analíticos para realizar entre otros la caracterización de formaciones geológicas o recolección de datos para realizar modelaje hidrodinámico y una estratigrafía secuencial de alta resolución; y operaciones en el terreno, fundamentadas en reconocimientos geológico-geofísicos de alta calidad, en el análisis "in situ" de propiedades físicas de fuentes radiactivas naturales, en la exploración geológica de nuevas áreas; y en general como herramienta útil en la cartografía geológica regional, de detalle y de monitoreo radiactivo ambiental.

El presente trabajo de investigación está enmarcado en este conjunto de ideas. En la zona de exploración, suroeste del estado Aragua, no existían datos radiométricos. Dicha región presenta características geológico-estructurales complejas y una topografía poco regular lo que precisó un levantamiento geofísico de detalle por sectores, controlado por un instrumento de navegación, GPS. Esto significó la revisión de la cartografía geológica detallada en la fase de prospección y exploración, donde diversos estudios geológicos y geoquímicos que se han efectuado hasta este momento han reportado anomalías de barita, mineral que no ha sido evaluado ni cuantificado en el país, de interés económico por ser utilizado para incrementar la densidad de los lodos de perforación de los pozos petroleros.

Al aplicar los métodos radiométricos se establecen las relaciones entre los afloramientos o manifestaciones de la mineralización y las formas de las aureolas de la intensidad de radiación, los flujos de dispersión y los elementos satélites presentes. Sirviendo de precedente para la exploración de otros tipos de ocurrencias o anomalías



de minerales con características similares. Se espera emplear esta técnica de manera rutinaria en el trabajo de campo a ser ejecutado por el área de geofísica, resaltando las ventajas de este método, por su alta productividad para ciertas condiciones geológicas, al igual que para la búsqueda de minerales útiles no radiactivos asociados paragenéticamente a elementos radiactivos.

**CAPÍTULO 1**  
**GENERALIDADES**

## 1.1 - Objetivo general

Establecer una metodología para la exploración, adquisición, procesamiento e interpretación de datos al aplicar el método radimétrico: Espectrometría de Radiación Gamma Autotransportada y Pedestre en la prospección de recursos minerales radiactivos y minerales paragenéticos asociados a elementos radiactivos.

### 1.1.1- Objetivos Específicos

- ✱ Establecer el procedimiento de operatividad del equipo de espectrometría de radiación gamma, **EXPLORANIUM GR-256** y **EXPLORANIUM GR-650** en campo.
- ✱ Establecer la relación entre la intensidad de radiación de los radioelementos naturales, potasio (K), uranio (U) y torio (Th), las anomalías geoquímicas y la litología de la zona.
- ✱ Determinar los parámetros que en este tipo de ambiente geológico sirven para inferir la presencia del mineral al cual está orientado el estudio.
- ✱ Establecer la estructura de la presentación, procesamiento e interpretación de los datos obtenidos.
- ✱ Identificar el potencial de uso de estas técnicas, la espectrometría de radiación gamma autotransportada y pedestre, en operaciones de prospección geofísica integradas a otras metodologías como son la geología de campo y la prospección geoquímica.
- ✱ Formar recursos humanos para conformar un equipo especializado en este método de prospección geofísica que cubra las expectativas del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) para el desarrollo minero del país.

## 1.2- Ubicación de la zona de estudio

La zona está ubicada entre las poblaciones Villa de Cura, San Sebastián de los Reyes, Estado Aragua y San Juan de Los Morros, Estado Guárico (fig. N° 1). Sus límites son, al norte el Valle de Tucutunemo, al sur la carretera Villa de Cura - San Juan de Los Morros, al este la población de San Sebastián de los Reyes y al oeste la población Villa de Cura, con un área aproximada de 40 km<sup>2</sup>. La tabla N° 1 muestra las coordenadas de los límites de la zona.

| VÉRTICE | UTM NORTE | UTM ESTE |
|---------|-----------|----------|
| A       | 1.111.000 | 684.000  |
| B       | 1.111.000 | 692.000  |
| C       | 1.104.000 | 692.000  |
| D       | 1.104.000 | 684.000  |

Tabla N° 1. Coordenadas de la zona de estudio.

El ingreso a la zona de estudio se logra a través de la Carretera Nacional que se dirige desde Cagua hasta Camatagua, atravesando las poblaciones de Villa de Cura y San Juan de Los Morros. Desde la vía pavimentada hasta la zona investigada existen vías engranzonadas utilizables por vehículos rústicos, continuando luego por caminos y cauces de los drenajes de la zona.

## 1.3- Antecedentes de prospección radimétrica en la zona

La aplicación de las técnicas nucleares en Venezuela se inició con la exploración dirigida hacia la localización de depósitos de uranio; ejecutada entre el United States Geological Survey (U.S.G.S.) y la Dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos en 1951. En la tabla N° 2 se resume la información de prospección radimétrica realizada a gran escala en el país hasta este momento, y la utilización de métodos analíticos aplicando la espectrometría de radiación gamma en laboratorio con fines geológicos.

El empleo de la técnica de Espectrometría de Radiación Gamma en levantamientos de detalle para la minería ha sido muy exiguo. En la figura N° 2 se

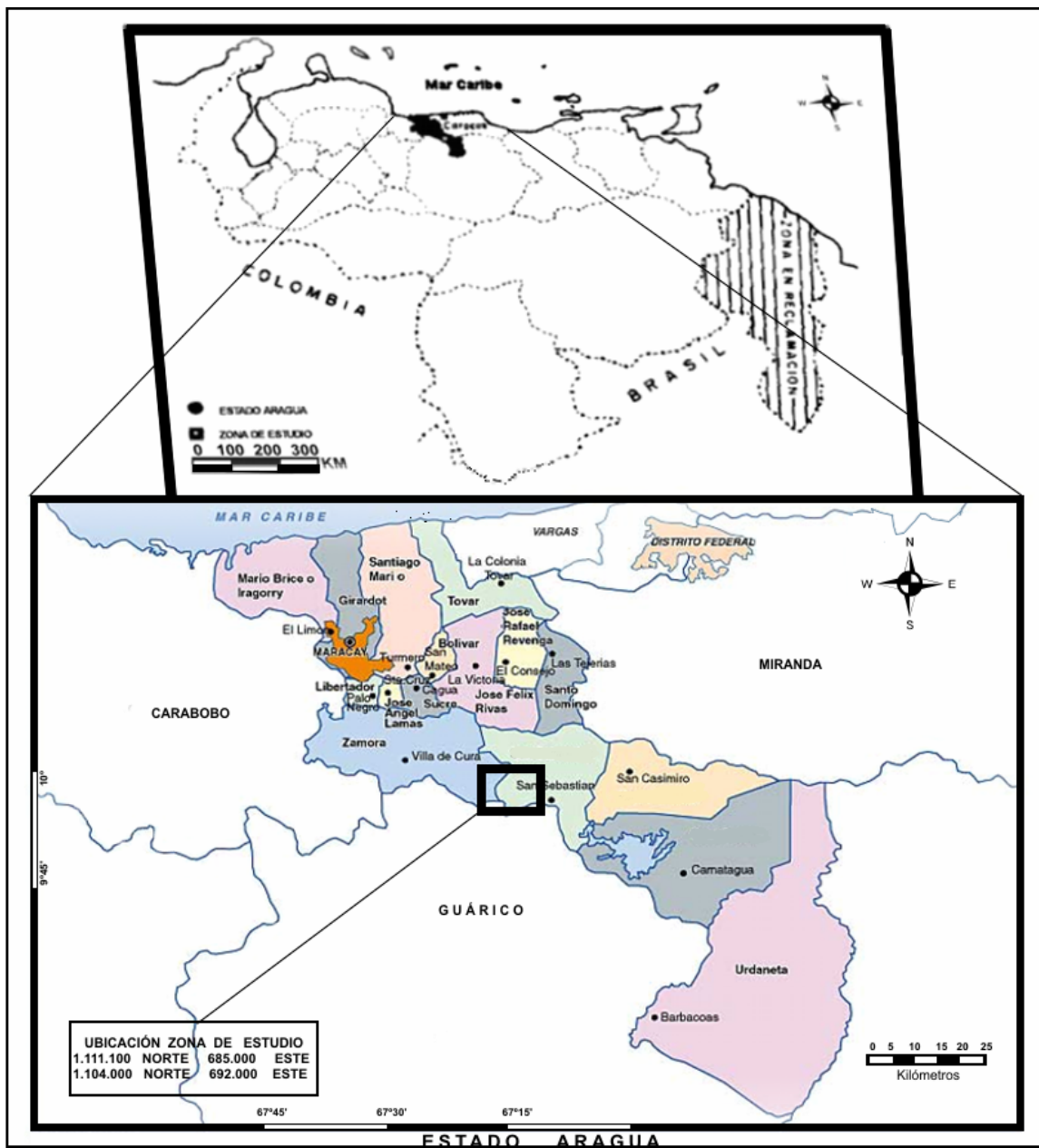


Figura N° 1: Ubicación de la zona de estudio, entre las poblaciones Villa de Cura, San Sebastián de Los Reyes, Estado Aragua y San Juan de Los Morros, Estado Guárico.

| AUTOR / ENTE                                                                                                                                                                                                          | MÉTODO RADIMÉTRICO                                                     | LOCALIDAD                   | OBJETIVO                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wyant, Sharp y Ponte Rodríguez, (1951)                                                                                                                                                                                | -----                                                                  | Todo el país                | Este estudio tuvo una duración de 3 meses y consistió en recopilar datos bibliográficos y visitas al campo, lo que permitió concebir una idea válida para aquel momento.                      |
| Wyant, Sharp y Ponte Rodríguez, (1952-1959)                                                                                                                                                                           | Espectrometría de radiación gamma.<br>Levantamientos autotransportados | Diversas regiones del país  | Obtener respuestas del método radimétrico y hacer análisis radimétricos de rocas (en equivalentes de uranio)                                                                                  |
| En la última etapa de este periodo (1960-1973)                                                                                                                                                                        | Aeroradimétrico                                                        | Regiones del sur del país.  | Se realizaron vuelos magnéticos y radimétricos.                                                                                                                                               |
| Hunting Geology and Geophysics (1972-1975)                                                                                                                                                                            | Aeroradimétrico y aeromagnético                                        | Territorio Federal Amazonas | Estudio para determinar anomalías radimétricas, dando lugar a estudio regional y económico. Se cubrió aproximadamente 3.300 km <sup>2</sup> .                                                 |
| Se creó para 1974 la Comisión Nacional para Asuntos Nucleares (CONAN), y en 1975 se creó por decreto Presidencial del Consejo Nacional para el Desarrollo Industrial Nuclear (CONADIN) (Gaceta Oficial N° 925, 1975). | -----                                                                  | Todo el país                | Se dió a la tarea de evaluar el potencial uranífero del país                                                                                                                                  |
| Pascuali, J (1977-1979).                                                                                                                                                                                              | -----                                                                  | Occidente y Centro del país | Plan Nacional de Exploración de Uranio en Venezuela                                                                                                                                           |
| Ministerio de Energía y Minas (1981) División de Geofísica de la Dirección de Geología.                                                                                                                               | Autotransportada y de detalle                                          | Centro y occidente del país | Continuar con la actividad exploratoria.                                                                                                                                                      |
| Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Programa Internacional de Evaluación de Recursos Uraníferos.(1980-1981)                                                                                            | -----                                                                  | -----                       | Evaluación potencial uranífero del país. Estimación de reservas                                                                                                                               |
| Escalona, Nicolás (1985)                                                                                                                                                                                              | Autotransportada                                                       | Estado Falcón               | Exploración radimétrica preliminar de las formaciones del Estado Falcón                                                                                                                       |
| Urbani, Franco(1989)                                                                                                                                                                                                  | Cintilómetro                                                           | Parque Nacional EL Ávila,   | Diferenciación litológica.                                                                                                                                                                    |
| Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (1992-1995)                                                                                                                                                        | Radimétrico Autotransportado y pedestre                                | Edos. Táchira-Barinas       | Entre 1993-1994 OIEA donó, un espectrómetro portátil de rayos gamma GR-256 y un equipo autotransportable GR650. En el año 1995 la misión efectuó la instalación y operación de dicho sistema. |
| Ferrer, Heberto (2000)                                                                                                                                                                                                | Espectrometría gamma                                                   | Laboratorio                 | Analizar los espectros gamma                                                                                                                                                                  |
| Camposano, Luis(2001)                                                                                                                                                                                                 | Espectrometría gamma (laboratorio)                                     | Edo. Mérida                 | Estudio de correlaciones entre los estratos geológicos y su contenido de material radioactivo.                                                                                                |

Tabla N° 2. Resumen de la información de prospección radimétrica en el país.

presenta el estado de la exploración radimétrica autotransportada y de detalle efectuada en Venezuela, entre los años 1976-1980, donde se puede apreciar, en la zona de estudio, la ausencia de información radimétrica. También se investigó sobre otras metodologías geofísicas aplicadas en dicha zona y/o regiones cercanas (tabla N° 3), ya que se localizan cuerpos mineralizados con cobre ( Cu), zinc (Zn), plata (Ag), plomo (Pb) y bario (Ba), asociados según algunas investigaciones a las rocas metavolcánicas de la Formación Santa Isabel, del Grupo Villa de Cura. Una mena en el área de Santa Isabel fue explotada comercialmente hasta 1966.

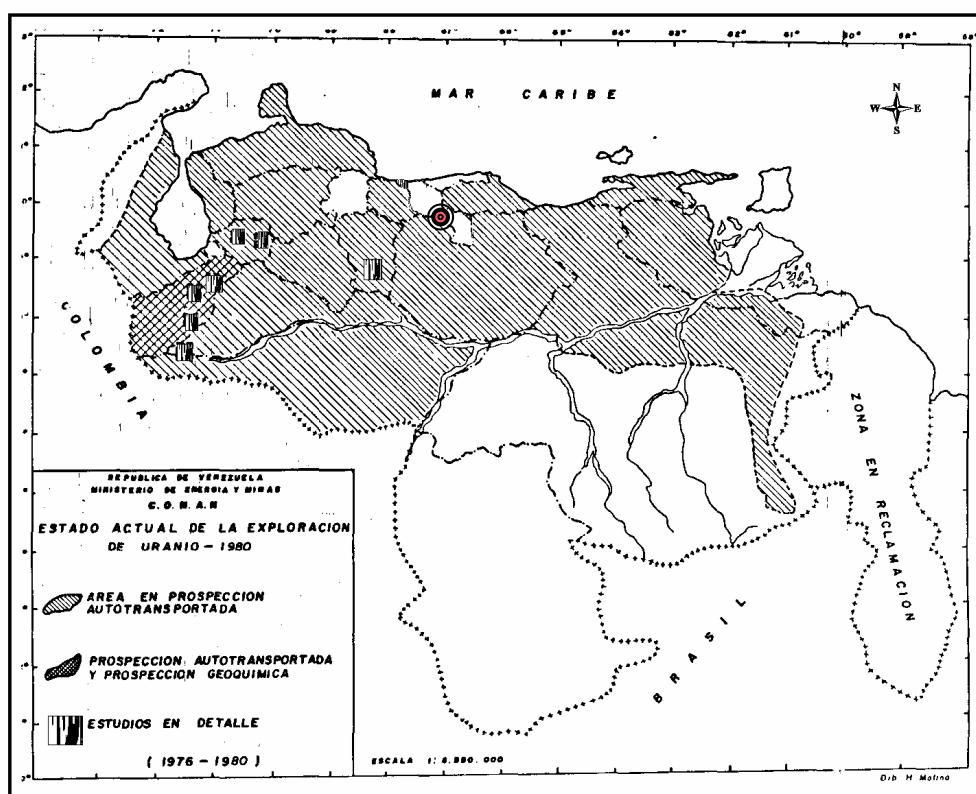


Figura N° 2: Representación de la exploración radimétrica autotransportada en Venezuela(1976-1980). Fuente: Jambor, 1983. Informe M.E.M.  
Zona investigada en este trabajo ( ● ).

| AUTOR                               | MÉTODO GEOFÍSICO                                     | LOCALIDAD                                           | OBJETIVOS                                                                                                                 | CONCLUSIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sarzalejo,<br/>et al. (1969)</b> | Métodos de Potenciales Naturales y Electromagnetismo | Sector La Arenilla, Distrito Roscio, Estado Guárico | Investigar la continuidad de los depósitos polisulfurosos metálicos en el subsuelo de la concesión minera de Santa Isabel | La determinación de los ejes de las anomalías halladas corresponde a grandes rasgos con el rumbo general de la mineralización, la cual acredita la efectividad de los métodos empleados en la búsqueda de este tipo de minerales.                                                                                      |
| <b>Martínez,<br/>(1976)</b>         | Método Geoelectrico                                  | San Juan de Los Morros, Estado Guárico              | Aplicación del método geoelectrico para la localización de lentes de barita                                               | Escaso contraste existente entre las resistividades de lentes de barita y roca caja. No se recomienda la aplicación del método geoelectrico en determinación de los lentes de barita en el área de San Juan de Los Morros. Debe establecerse la posible asociación de los mismos con algún tipo de material conductor. |

**Tabla N° 3: Resumen de investigaciones aplicando otros métodos geofísicos cerca de la zona en estudio.**



**CAPÍTULO 2**

**GEOLOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LA ZONA**

## **2.1- Geología regional**

La zona de estudio se ubica en el sector central de la franja del Grupo Villa de Cura. En la Serranía del Interior de la Cordillera de la Costa aflora el Grupo Villa de Cura, el cual se extiende a lo largo de 280 km en dirección este-oeste a través de los estados Guárico, Cojedes, Carabobo, Aragua y Miranda, con una anchura de 30 km aproximadamente. En esta etapa de la investigación se realizó una compilación (tabla N° 4) de los trabajos geológicos previos en la zona en estudio para facilitar la integración de esta información al objetivo a lograr.

### **2.1.1- Formaciones del Grupo Villa de Cura**

Se considera al Grupo como de edad Mesozoico sin diferenciar, partiendo de que Menéndez (1966) coloca al Grupo Villa de Cura dentro de un bloque o faja tectónica, emplazado en su posición actual entre el Paleoceno y el Eoceno (Navarro, 1983). Además en el cuadro de correlación de Navarro et al. (1988), las formaciones de este Grupo se extienden desde el Jurásico tardío hasta posiblemente el Paleoceno temprano y por otra parte Ostos (1990) presenta una recopilación de edades radiométricas del Grupo, cuyos valores van desde el Jurásico hasta el Cretácico. En la figura N° 3 se representa la sucesión estratigráfica y litológica del Grupo Villa de Cura, y a continuación se resumen las características generales de las formaciones.

#### **Formación El Caño**

Esta formación constituye la unidad basal del Grupo Villa de Cura; se extiende por los estados Carabobo, Guárico, Aragua y Miranda. Consiste en una secuencia de metatobas afaníticas básicas laminadas de color verde, metalavas básicas de color azul verdoso macizas, metacherts y metaareniscas (Shagan, 1960). La sección tipo de esta formación se localiza en la quebrada El Caño, afluente del río Pao, Estado Aragua.

#### **Formación El Chino**

Aflora en la Hacienda El Chino, Aragua central. Se extiende a través de la parte central de los estados Aragua y Miranda, parte norte del Estado Guárico y oriente del Estado Carabobo.

| AUTOR                                                    | LOCALIDAD                                | CONCLUSIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Aguerrevere y Zuloaga, 1937,1938.</b>                 | Villa de Cura, Estado Aragua             | Introdujeron el nombre Serie de Villa de Cura para designar una asociación compleja de rocas mayoritariamente metavolcánicas expuestas en las cercanías de Villa de Cura, estado Aragua. Posteriormente los mismos autores (1938) la formalizan como Grupo, designan como una asociación compleja de rocas que varían en edad desde el Cretáceo Medio hasta el Paleoceno, y lo subdividen en dos formaciones, Formación Charallave y Formación Villa de Cura.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Shagam (1960, p.589)</b>                              | Aragua central                           | Definió como una secuencia de rocas metavolcánicas divididas en cuatro (4) formaciones: El Caño, El Chino, El Carmen y Santa Isabel. Redefine como una unidad o secuencia de rocas predominantemente metavolcánicas, dividiendo el Grupo en cuatro formaciones de acuerdo a la abundancia relativa de los diferentes tipos litológicos: El Caño, El Chino, El Carmen y Santa Isabel, siendo las tres primeras producto de un solo período volcánico y la última formada por un conjunto de rocas metasedimentarias. La Formación Santa Isabel es según SHAGAM (1960) la unidad más joven del grupo. Al norte de la población de San Sebastián, según SHAGAM (1960) aflora una secuencia de rocas no metamorizadas, que el mismo autor correlaciona con la Formación Volcánicas de Tiara.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Menéndez, 1965, p.532</b>                             | -----                                    | Consideró al Grupo Villa de Cura como bloque alóctono                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Piburn, 1968</b>                                      | Estados Aragua y Guárico                 | Criterio basado fundamentalmente en el paralelismo entre los planos de estratificación y los de foliación, se inicia con la Formación El Caño, ubicada al norte y constituida fundamentalmente por metatobas máficas finamente inter laminadas con lutitas negras, contiene además conglomerados volcánicos, metalavas y sills hipoabisales. La Formación El Chino le sigue en orden ascendente y en contacto concordante, estando constituida por acumulaciones espesas de metatoba cristalina, filitas negras y metaftanitas, estando presentes algunos intervalos de metalava rica en piroxeno, los cuales son especialmente abundantes cerca del tope de la unidad, en el contacto con la suprayacente Formación El Carmen, caracterizada esta última por la abundancia de metalavas piroxénicas junto con conglomerados volcánicos, tobas cristalinas y tobas cristalinas líticas. La Formación Santa Isabel está constituida por granofels cuarzo-albíticos, filitas, metatobas, metacherts y excepcionalmente conglomerados volcánicos. La Formación Volcánicas de Tiara constituida principalmente por conglomerados volcánicos, tobas y lavas con metamorfismo de grado muy bajo, suprayace concordantemente a la Formación Santa Isabel en el estado Guárico, pero que en la región el norte de San Sebastián, el contacto es presumiblemente tectónico. |
| <b>Léxico Estratigráfico de Venezuela (L.E.V.), 1970</b> | -----                                    | El Grupo Villa de Cura fue extendido posteriormente por diversos autores a Guárico septentrional, Carabobo oriental y Miranda central                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Bellizzia et al, 1976</b>                             | Región central de Cordillera de la Costa | En el mapa geológico compilado, el Grupo se extiende como un bloque continuo por más de 250 km de longitud con un ancho medio de unos 25 km, abarcando parte de los estados Cojedes, Guárico, Carabobo, Aragua y Miranda. Incluyen dentro de la faja a las formaciones Tiara y Tiramuto y al complejo máfico-ultramáfico de El Chacao.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Navarro, 1983</b>                                     | Suroeste Estado Aragua                   | Define cuatro unidades: Unidad de granofels, metalavas, metatobas, lavas y brechas equivalente a las descritas por Shagam (1960).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Navarro et al, 1988</b>                               | Parte Norte-Central de Venezuela         | Se redefinen las formaciones Las Brisas y Las Mercedes como un conjunto de facies plataformas de talud, pie de talud y a las correspondientes facies pelágicas que se desarrollaron en los flancos norte y sur del micro-continente Sebastopol. Se presenta una síntesis de los conceptos y mecanismos más relevantes que tuvieron lugar para la elaboración de un nuevo modelo de evolución tectónica de la parte norte-central de Venezuela.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**Tabla N° 4: Compilación geológica regional.**

**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA Y LITOLÓGICA DEL  
GRUPO VILLA DE CURA  
(ESTADO ARAGUA)**

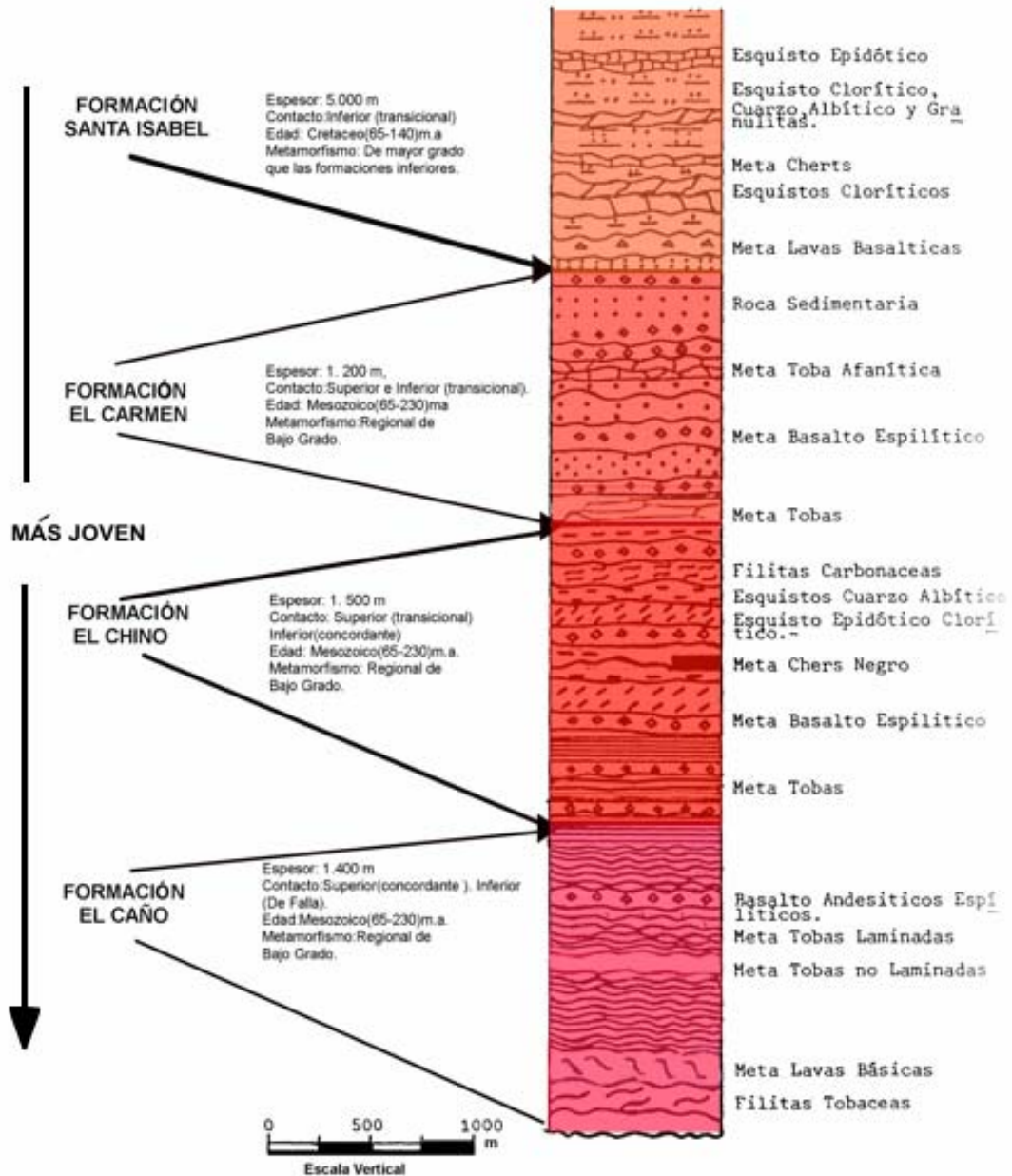


Figura N° 3: Representa la columna estratigráfica generalizada inicial del Grupo Villa de Cura. Fuente: Flores, 1984. Actualmente se considera como invertida, es decir la Formación Santa Isabel es la más antigua y la más joven la Formación El Caño. Considerando al Grupo en general del Mesozoico temprano (Navarro, 1983).

Litológicamente esta unidad es una secuencia estratigráfica de metatobas de grano fino con cantidades menores de basaltos espelíticos. metacherts negros, filitas grafitosas, granofels y esquistos cuarzo-albíticos. También han sido descritas metalavas piroxénicas. Se calcula un espesor de 1.500 metros. La Formación El Chino es concordante y transicional tanto con la Formación El Caño en la base, como con la Formación El Carmen en el tope.

#### Formación El Carmen

Toma su nombre de la Hacienda El Carmen, entre Villa de Cura y San Juan de Los Morros, se extiende por los estados Aragua, Guárico y Carabobo.

Litológicamente consiste en una gruesa serie de basaltos espelíticos con visibles fenocristales augíticos verdes y metatobas asociadas. Esta unidad presenta contacto transicional en el tope con la Formación Santa Isabel.

#### Formación Santa Isabel

Es la unidad más joven del Grupo Villa de Cura (Shagan, 1960). La localidad tipo se encuentra en la Hacienda Santa Isabel a unos 15 km al noreste de San Juan de Los Morros en el estado Guárico. Se extiende por los estados Miranda central, Aragua central, Guárico septentrional y Carabobo oriental.

Consiste en una interestratificación de esquistos cloríticos, granulitas y esquistos cuarzo-albíticos de origen metasedimentario, también se observan cantidades menores de lavas y cherts metamorizados. Infrayace discordante a la Formación Volcánicas del Tiara.

### 2.1.2- Geología estructural regional

La cordillera de La Costa fue dividida para su mejor estudio en fajas tectónicas, limitadas éstas por grandes fallas con rumbo este-oeste (fig. N° 4).

La geología estructural de la zona ha sido objeto de varios estudios y planteamientos de teorías para explicar su origen, evolución y formación. En el presente trabajo de investigación se ha sintetizado de manera general las informaciones y

conclusiones de dichos estudios (tabla N° 5) los cuales han planteado como temática, la interesante polémica sobre su origen (aloctonía vs. autoctonía).

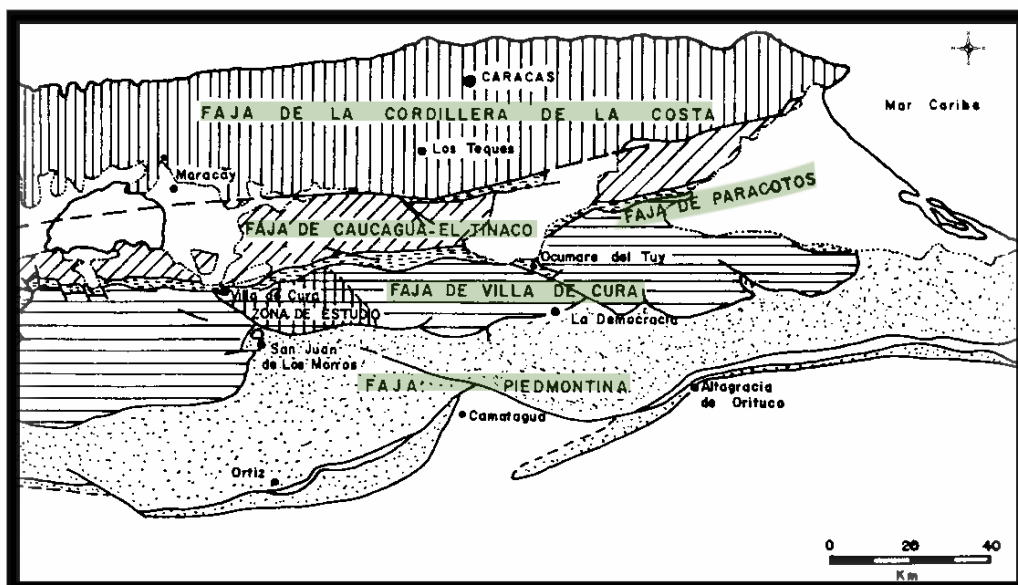


Figura N° 4: Fajas tectónicas del norte-centro de la Faja de Villa de Cura. Fuente: Navarro, 1983.

La compleja tectónica regional a que ha sido sometida la Faja de Villa de Cura específicamente, ha dado como resultado una intensa alteración estructural, por lo que en la zona abundan los fallamientos, sistemas múltiples de diaclasas, pliegues isoclinales, pliegues de arrastre y pliegues de dislocación. En la figura N° 5 se representa en forma general la geología estructural y estratigrafía de la zona de estudio.

### 2.1.3- Metamorfismo

A partir del trabajo de Navarro (1983), referente a la petrología, petrogénesis y metamorfismo de las rocas volcánicas del Grupo Villa de Cura, se sintetizó la información correspondiente a las características principales de las facies metamórficas según la clasificación de las zonas metamórficas, para así relacionar estas condiciones con los minerales presentes en la zona de estudio (tabla N° 6). El metamorfismo de las rocas del Grupo Villa de Cura es del tipo bórico de alta P/T (facies de la prehnita-pumpellita, pumpellita-actinolita, lawsonita-albita, esquistos azules y transicional esquistos azules-esquistos verdes), la edad depositacional aumenta de norte a sur, al igual que el grado de metamorfismo.

| AUTOR                      | LOCALIDAD                                  | CONCLUSIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Smith, 1952                | Los Teques-Cúa. Edo. Miranda               | Establece las primeras clasificación para los basaltos como de origen oceánico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Dengo, 1953                | Región al norte de la falla de La Victoria | Un anticlinorio desarrollado en metasedimentos del Grupo Caracas con tres tipos de fallas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Región de Caracas fallas antiguas con buzamiento al sur en la parte septentrional del anticlinorio.</li> <li>• Dos sistemas de fallas más jóvenes relacionadas entre sí. El primero con rumbo este-oeste y el otro tiene rumbo N60W.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Seiders, 1965              | Región de Caracas                          | En la parte sur del anticlinorio, los plagues casi isoclinales son volcados hacia el sur, y las fallas de corrimiento buzaban al norte.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Menéndez, 1966             | Sistema Montañoso del Caribe               | Consideró al grupo Villa de Cura como un bloque alóctono. Lo divide en cuatro fajas tectónicas, de rumbo este que son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faja tectónica de la Cordillera de La Costa, en ella se encuentra el Grupo Caracas y el complejo Granítico de Sebastopol.</li> <li>• Faja tectónica de Caucagua- El Tinaco, definido por la zona de falla de La Victoria, su límite sur es la falla de Santa Rosa.</li> <li>• Faja de Paracotos, limita los bordes septentrional y occidental del bloque de Villa de Cura, según una dirección este-oeste en sentido regional.</li> <li>• Faja de Villa de Cura, constituida por rocas del grupo Villa de Cura</li> </ul>                                                                                    |
| Jarvis, 1966               | San Sebastián de Los reyes, Estado Aragua  | Basándose en el paralelismo de las estructuras de la Formación Tiara con las del Grupo Villa de Cura, sugiere que ésta se sedimentó sobre este grupo antes de cualquier deformación principal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Piburn, 1968               | Aragua Central                             | Considera que el comienzo de la deformación hasta por lo menos el Mioceno, los esfuerzos en la cordillera de La Costa tuvieron una orientación en dirección noroeste-sureste.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Bell, 1970                 |                                            | Reconoce cuatro (4) fajas tectónicas constituidas por rocas sedimentarias terciarias no metamorizadas faja piemontina, zonas de fallas de Corrimiento, faja Volcánicas y faja de Buzamiento Suave.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Bellizzia, 1972            | Nor-centro Oriental del País               | Constituye un cinturón alargado de unos 29.000 km <sup>2</sup> de superficie en sentido E-W. Se interpreta como una cordillera tipo alpino.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Bonini, 1973               |                                            | Basándose en datos gravimétricos concluye que el espesor del bloque Villa de Cura oscila entre 3 y 4 km y con esto sostiene además la hipótesis del bloque alóctono                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Loubet et al., 1980, 1985  | Tiara, sur                                 | Aporta datos geocronológicos en esquistos glaucofánicos del Grupo Villa de Cura                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Talukaar et al, 1981       | Faja de Villa de Cura                      | Consideran la posibilidad que sea paratóctona la Faja de Villa de Cura                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Navarro, 1983              | Estados Guárico y Aragua.                  | Divide al Grupo Villa de Cura en tres unidades litológicas para determinar el ambiente tectónico en cual se originaron, que debe estar relacionado a una cuenca oceánica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Beck et al., 1984          | Loma de Hierro, Edo. Miranda               | Plantean una teoría de tectónica terciaria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Ostos y Navarro, 1985      | Faja de Villa de Cura                      | Se desecha el criterio alóctono de la faja de Villa de Cura por las siguientes razones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• La continuidad lateral de la litología.</li> <li>• El metamorfismo del tipo bárico de bajo P/T.</li> <li>• Rocas graníticas de la Cordillera de La Costa constituyen el basamento del Grupo Caracas lo que indica la posible existencia de un área positiva al sur de la cual se genera cuenca flysch asociado a la colisión.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Navarro et al., 1987, 1988 | Parte norte-central de Venezuela           | Redefinen las formaciones de la parte norte-central. Las formaciones Las Brisas y Las Mercedes son un conjunto de facies plataformales, de talud, pie de talud y las correspondientes facies pelágicas, fueron metamorizadas durante procesos de convergencias y posterior colisión de arcos de isla contra el micro-continente. Las formaciones Nirgua, Tacagua y Antimano constituyen una unidad litodémica de corrimiento. El conjunto del Grupo Villa de Cura, se originaron en una cuenca oceánica ubicada al sur del micro-continente Sebastopol. Durante el crecimiento del arco de Tiara se depositaron las formaciones Paracotos y Tucutunemo en la cuenca delantera del arco. Hacia el sur se desarrollo una plataforma, representada por la Formación Escorzonera |
| Urbani et al., 1990        | El Guatopo- Edo. Miranda.                  | Analiza el Grupo Villa de Cura, considerándolo de edad mesozoica del cretáceo temprano.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Urbani, 1991               | El Guatopo- Edo. Miranda.                  | Del estudio de la Formación las Hermanas y el Complejo Apón, concluyen que el origen de los basaltos no son diferenciados, entre arco de isla o piso oceánico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Beccaluva et al., 1995     | Placa del Caribe                           | Comparan a la placa tectónica del Caribe, a través del análisis de una sección cruzada entre el norte de Venezuela y Cuba central. Donde la unidad ofiolítica resulta con un contenido de Ti muy bajo. Considerándolos de piso oceánico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**Tabla N° 5: Investigaciones del origen (aloctonía vs. autoctonía) de la Cordillera del Caribe, donde está incluida la Faja de Villa de Cura.**

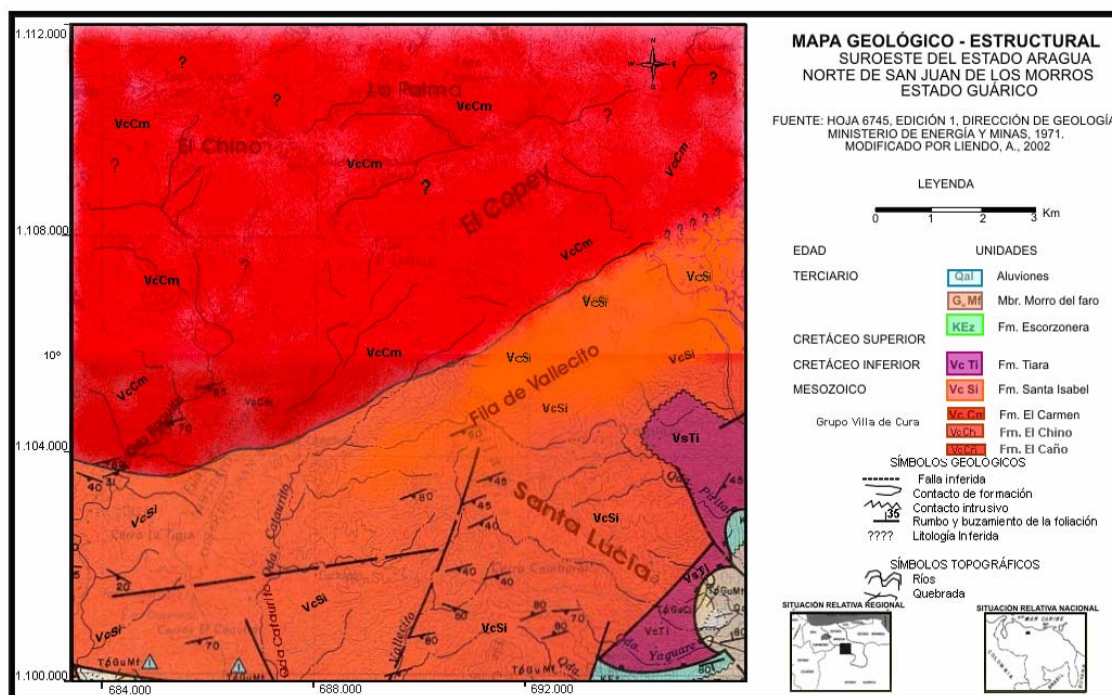


**Figura N° 5: Mapa geológico-estructural regional. Fuente original: Dirección de Geología. Ministerio de Energía y Minas, 1971. Modificado, 2002.**

| UNIDAD                                                         | ZONA                                          | FACIES                                        | PARAGÉNESIS                  | MINERALES                                         |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|
| Unidad de Lavas, Brechas y Tobas                               | Zona de la prehnita-pumpellita                | Facies de la prehnita pumpellita              | Prehnita-pumpellita          | Calcita, cobre, epidoto, pirita, esfalerita,      |
| Unidad de Metatobas superior                                   | Zona de la pumpellita-actinolita              | Facies de la pumpellita-actinolita            | Pumpellita-actinolita        | Magnetita, pirita tremolita, apatito, calcopirita |
| Unidad de Metatobas                                            | Zona de la lawsonita-albita                   | Facies de la lawsonita-albita-clorita         | Lawsonita                    | Cuarzo, albita, clorita, ilvanita.                |
| Unidad de Metatobas y de Metalavas                             | Zona de la lawsonita-glaucofano               |                                               | Lawsonita-glaucofano Epidota | Cuarzo, magnetita, apatito, pirita.               |
| Unidad de metalavas y parte superior de la unidad de granofels | Zona de la epidota-glaucofano                 | Facies de los esquistos azules                | Lawsonita                    | Glaucofano, crossita.                             |
| Inicia la unidad de granofels                                  | Zona de la hornblenda barroisítica-glaucofano | Facies de los esquistos verdes (alta presión) | Glaucofano, epidota          | Cuarzo, augita, magnetita, calcita, epidoto.      |
| Unidad de granofels                                            | Zona de la barroisita-epidota-albita          |                                               | Hornblenda                   |                                                   |

**Tabla N° 6: Agrupación en facies metamórficas de las zonas metamórficas en la región de estudio, según Navarro (1983).**

De esta manera, teniendo en cuenta la clasificación de las unidades litológicas propuestas por Navarro (1983), la Unidad de Granofels es la más antigua y presenta mayor grado de metamorfismo, mientras que la Unidad de Metatobas es la más joven y



con metamorfismo de menor grado. La Unidad de Lavas, Brechas y Tobas presenta un metamorfismo de grado muy bajo y está separada del Grupo Villa de Cura por una discontinuidad tectónica importante.

Según Navarro (1983), en la zona de estudio se observa una clara gradación metamórfica evidenciada por los ensamblajes mineralógicos presentes en las rocas de las distintas unidades, en las que aparecen uno o más minerales índice que definen diferentes zonas metamórficas cuyos límites están definidos por isógradas que marcan la aparición o desaparición de ciertos minerales. Esas isógradas se extienden de este a oeste a través de toda la zona, con un rumbo sensiblemente paralelo al de la foliación (fig. N° 6). Las zonas metamórficas fueron agrupadas en diferentes facies metamórficas, de acuerdo a los minerales índices reportados.

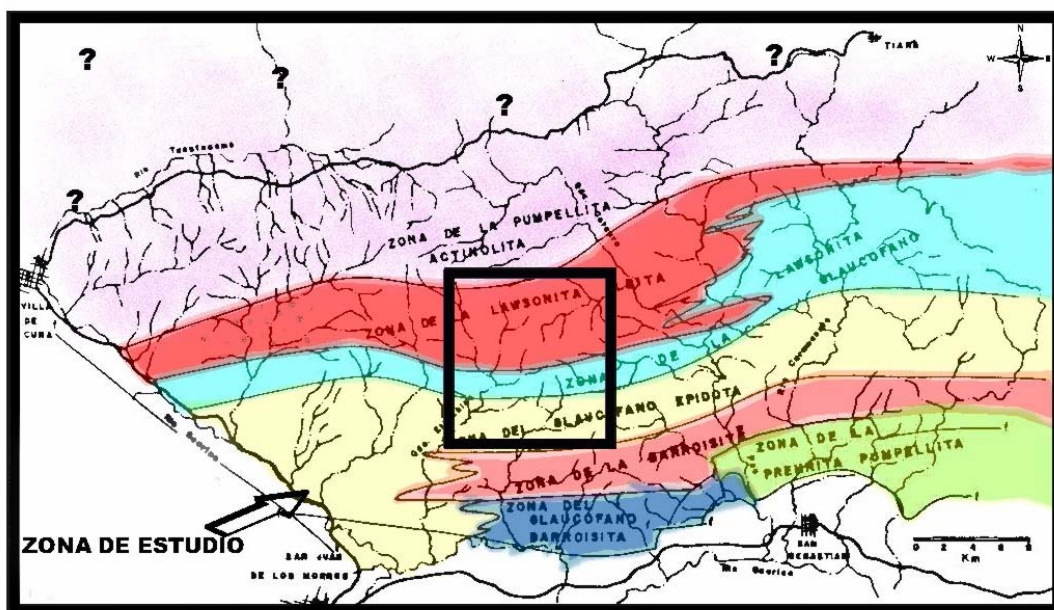


Figura N° 6: Mapa de las zonas metamórficas, según Navarro, 1983.

## 2.2- Geología local

### 2.2.1- Unidades litológicas

La zona de estudio está caracterizada por la presencia de metatobas de grano fino, basaltos espelíticos, esquistos cloríticos - epidóticos, metacherts y filitas grafitosas, presentando varios de ellos niveles de sulfuros metálicos y barita. El conocimiento del

tipo de litología y la paragénesis de los minerales presentes, son parte fundamental en la aplicación del método radimétrico, utilizando la técnica espectrometría de radiación gamma, por lo que los criterios, definiciones y mapa geológico tomados como base para este trabajo de investigación, son los expuestos por Serrano (1982), en la zona de estudio (fig. N° 7). Son básicos para el análisis y eficaz interpretación de los resultados esta investigación.

En un intento por redefinir la estratigrafía del Grupo Villa de Cura, dadas sus grandes diferencias litológicas, se dividió para su estudio en unidades litológicas o unidades litodémicas (término establecido actualmente); caracterizadas cada una por el predominio de un tipo de roca particular. Correa (1982), Serrano (1982), Lugo (1982), Maguregui (1982) y Navarro (1983), dividen las rocas que afloran en cuatro unidades (tablas N° 7, 8, 9 y 10), las primeras tres pertenecientes al Grupo Villa de Cura; Unidad de Granofels como la más antigua, equivalente a la Formación Santa Isabel, Unidad de Metalavas que suprayace a la anterior, equivalente a la Formación El Carmen, Unidad de Metatobas equivalentes a las formaciones El Chino y El Caño y finalmente una cuarta unidad descrita como Unidad de Lavas, Brechas y Tobas equivalentes a la Formación Volcánicas de Tiara.

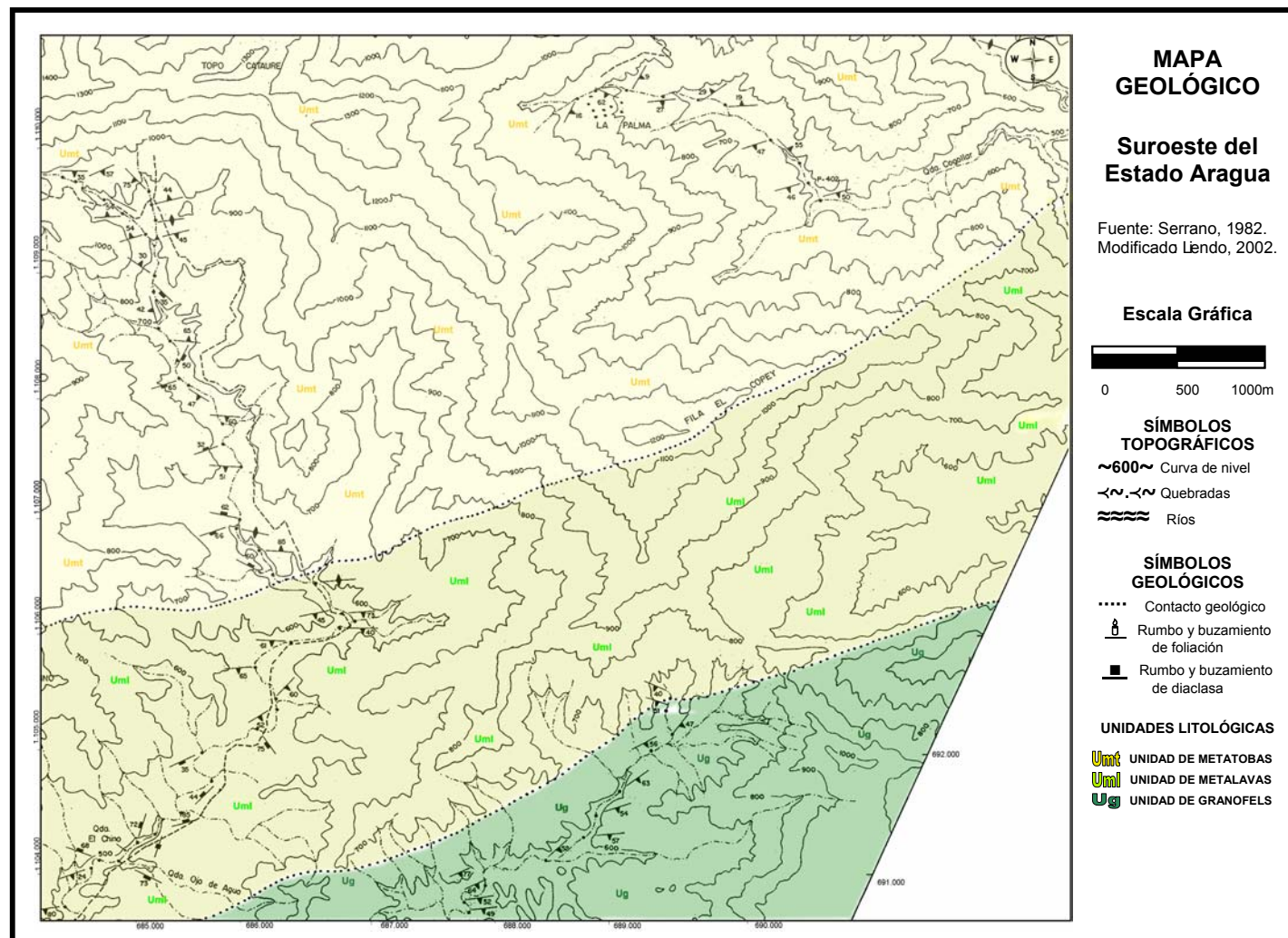


Figura N° 7: Mapa base de litología en la zona de estudio. Fuente: Serrano, 1982.

| UNIDAD DE GRANOFELS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | TIPOS LITOLÓGICOS / ENSAMBLAJES MINERALÓGICOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | MINERALES                                                                                                                                         |
| <p>Tipo de roca predominante a los granofels cuarzo-feldespático-epidóticos, en ocasiones con estilpnomelana, clorita, clinozoisita, anfíbol azul (glaucofano-crosita) y anfíbol azul verde (barrosita).</p> <p>Que constituyen una secuencia monótona con intercalaciones de esquistos cloríticos, esquistos feldespáticos-epidóticos, delgados intervalos de metaftanita e intercalaciones de metalava piroxénica, especialmente abundantes hacia el tope de la unidad.</p> | <p><b>Granofels</b></p> <p>a) Cuarzo-plagioclase-epidota(clinozoisita)-sericita.</p> <p>b) Cuarzo-plagioclase-clorita-estilpnomelana-glaucofano(crosita).</p> <p>c) Cuarzo-plagioclase-epidota(clinozoisita)-glaucofano-clorita-estilpnomelana-actinolita-sericita.</p> <p>d) Cuarzo-plagioclase-epidota-actinolita-sericita-clorita-estilpnomelana.</p> <p>e) Cuarzo-plagioclase-epidota-clorita-sericita-estilpnomelana-clinopiroxeno.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Pirita<br/>Magnetita<br/>Calcopirita<br/>Tremolita<br/>Apatito<br/>Cuarzo<br/>Ilvanita<br/>Epidoto<br/>Sericita<br/>Actinolita<br/>Clorita</p> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p><b>Esquistos</b></p> <p>a) Cuarzo-plagioclase-clorita-barrosita-actinolita-mica blanca-epidota</p> <p>b) Cuarzo-plagioclase-glaucofano-clorita-epidota(clinozoisita)-mica blanca</p> <p>c) Cuarzo-plagioclase-epidota-estilpnomelana-glaucofano-clorita-mica blanca-actinolita</p> <p>d) Cuarzo-plagioclase-estilpnomelana-epidota-mica blanca-cigrita</p> <p>e) Cuarzo-plagioclase-epidota-actinolita-mica blanca-clorita</p> <p>f) Cuarzo-plagioclase-clorita-lawsonita-sericita.</p> <p><b>Metalavas</b></p> <p>a) Plagioclase-clorita-anfíbol azul verde-actinolita-clinopiroxeno.</p> <p>b) Metatobas</p> <p>c) Plagioclase-clinopiroxeno-clorita-actinolita</p> <p>d) Actinolita-clorita-plagioclase.</p> <p>e) Cuarzo-plagioclase-epidota(clinozoisita)-clorita-actinolita-clinopiroxeno.</p> |                                                                                                                                                   |

Tabla N° 7: Síntesis de las características mineralógicas, de Unidad de Granofels.

Fuente: Navarro (1983).

| UNIDAD DE METALAVAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | TIPOS LITOLÓGICOS / ENSAMBLAJES MINERALÓGICOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | MINERALES                                                                                                                                |
| <p>Hacia la parte superior de la unidad precedente, comienzan a aparecer horizontes de lava piroxénica que definen el inicio de un evento volcánico, con predominio de rocas de composición fundamentalmente basáltica y que constituyen la Unidad de Metalavas, la cual es equivalente a la Formación El Carmen (SHAGAM, 1960).</p> <p>Las metalavas piroxénicas, que abundan especialmente en la porción inferior de la unidad, se caracterizan por la presencia de fenocristales de piroxeno (augita diopsídica).</p> <p>Una característica muy importante de las metalavas de esta unidad es la presencia de almohadillas lo que sugiere que fueron originadas por actividad volcánica submarina.</p> | <p><b>Metalavas</b></p> <p>a) Clinopiroxeno-actinolita-cuarzo-epidota-plagioclase-clorita</p> <p>b) Clinopiroxeno-glaucofano-actinolita-epidota-cuarzo-clorita</p> <p>c) Glaucofano-cuarzo-sericita-calcita-plagioclase-clinopiroxeno</p> <p>d) Clinopiroxeno-pumpellita-plagioclase-cuarzo-clorita</p> <p><b>Metatobas</b></p> <p>a) Actinolita-cuarzo-plagioclase-epidota</p> <p>b) Epidota-cuarzo-glaucofano</p> <p>c) Plagioclase-sericita-lawsonita-cuarzo-clorita</p> <p>d) Plagioclase-clorita-pumpellita-glaucofano-epidota</p> <p><b>Granofels</b></p> <p>a) Cuarzo-epidota-plagioclase-sericita-clorita</p> <p>b) Cuarzo-epidota-glaucofano-plagioclase-clorita</p> <p>c) Cuarzo-epidota-plagioclase-lawsonita-clorita</p> <p><b>Esquistos</b></p> <p>a) Sericita-plagioclase-cuarzo-lawsonita-clorita-estilpnomelana-actinolita.</p> | <p>Cobre<br/>Plomo<br/>Albita<br/>Actinolita<br/>Cuarzo<br/>Epidoto<br/>Sericita<br/>Calcita<br/>Glaucofano<br/>Crossita<br/>Clorita</p> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                          |

Tabla N° 8: Características mineralógicas, Unidad de Metalavas. Fuente: Navarro (1983).

| UNIDAD DE METATOBAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | TIPOS LITOLÓGICOS / ENSAMBLAJES MINERALÓGICOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | MINERALES                                                                                                   |
| La Unidad de Metatobas aflora en una franja ancha, ubicada al norte de la zona de afloramientos de la Unidad de Metalavas, sobre la cual suprayace. Es equivalente a las formaciones El Chino y El Caño (SHAGAM, 1960). Esta unidad se caracteriza por la abundancia de rocas tobáceas metamorizadas, que se intercalan además con metalavas piroxénicas, granofels y esquistos cuarzo feldespáticos, metadiabasas, filitas grafitosas y metaftanitas. | <p><b>Metatobas</b><br/> a) Cuarzo-plagioclasa-clinopiroxeno-clorita-pumpellit-sericita<br/> b) Actinolita-plagioclasa-cuarzo-clorita-sericita-estilpnomelana.<br/> c) Cuarzo-plagioclasa-clorita-actinolita-lawsonita<br/> d) Cuarzo-plagioclasa-clorita-pumpellita<br/> e) Pumpellita-clorita-cuarzo-plagioclasa-actinolita<br/> f) Cuarzo-plagioclasa-pumpellita-epidota-clinopiroxeno<br/> g) Clinozoisita-actinolita-cuarzo-clinopiroxeno-clorita-plagioclasa</p> <p><b>Granofels</b><br/> a) Clorita-plagioclasa-clinopiroxeno-epidota-lawsonita-cuarzo<br/> b) Clorita-plagioclasa-cuarzo-lawsonita-glaucofano<br/> c) Cuarzo-sericita-clorita-plagioclasa-lawsonita-epidota.<br/> <b>Esquistos</b><br/> a) Cuarzo-sericita-lawsonita-glaucofano-clorita-plagioclasa-estilpnomelana<br/> b) Sericita-cuarzo-lawsonita-epidota-clorita-plagioclasa.</p> <p><b>Metalavas</b><br/> a) Clinopiroxeno-plagioclasa-clorita-sericita-glaucofano<br/> b) Clinopiroxeno-glaucofano-clorita-epidota<br/> c) Clinopiroxeno-glaucofano-clorita-sericita-actinolita<br/> d) Clinopiroxeno-plagioclasa-clorita-sericita-actinolita-lawsonita.<br/> En la mayoría de los ensamblajes de esta unidad aparece esfena como mineral accesorio.</p> | <p>Cuarzo<br/> Clorita<br/> Sericita<br/> Esfena<br/> Tremolita<br/> Pirita<br/> Magnetita<br/> Ilvaíta</p> |

**Tabla N° 9: Características mineralógicas, Unidad de Metatobas.**  
**Fuente: Navarro (1983).**

| UNIDAD DE LAVAS, BRECHAS Y TOBAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | TIPOS LITOLÓGICOS / ENSAMBLAJES MINERALÓGICOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | MINERALES                                                           |
| Unidad de Lavas, Brechas y Tobas, equivalente a la Formación Volcánicas de Tiara (SHAGAM, 1960). Estas rocas, aunque no parecen relacionarse con el Grupo Villa de Cura, son descritas aquí por tratarse de un conjunto de rocas volcánicas y volcanoclásticas en cuyo origen pueden estar implicados ciertos procesos cuyo conocimiento, puede contribuir al desarrollo de un modelo coherente para explicar la evolución tectónica de toda la provincia. Litológicamente la unidad se compone de una intercalación de tobas, lavas y aglomerados volcánicos. | <p><b>Tobas</b><br/> a) Plagioclasa-clorita-epidota-pumpellita-prehnita.<br/> b) Plagioclasa-clorita-epidota-cuarzo-clinopiroxeno.</p> <p><b>Lavas</b><br/> a) Plagioclasa-pumpellita-clorita-epidota-prehnita-cuarzo-clinopiroxeno.</p> <p><b>Aglomerados volcánicos</b><br/> a) Plagioclasa-clorita-clinopiroxeno-pumpellita-epidota-prehnita-cuarzo</p> | <p>Calcita<br/> Cobre<br/> Clorita<br/> Epidoto<br/> Esfalerita</p> |

**Tabla N° 10: Características mineralógicas, Unidad de Lavas, Brechas y Tobas.**  
**Fuente: Navarro (1983).**



### 2.2.2- Geología estructural local

A partir de los trabajos efectuados por Serrano (1982), se hizo un resumen de las estructuras locales más importantes, representadas en la tabla N° 11. En la región estudiada por Serrano (1982), se realizó la medición e identificación de los elementos estructurales de mayor significación (foliación, diaclasas, fallas, plegamiento) elaborando diagramas estructurales que le permitieron la interpretación de patrones estructurales dominantes en la zona de estudio. En la figura N° 8, se muestra la ubicación de estas estructuras principales en la zona.

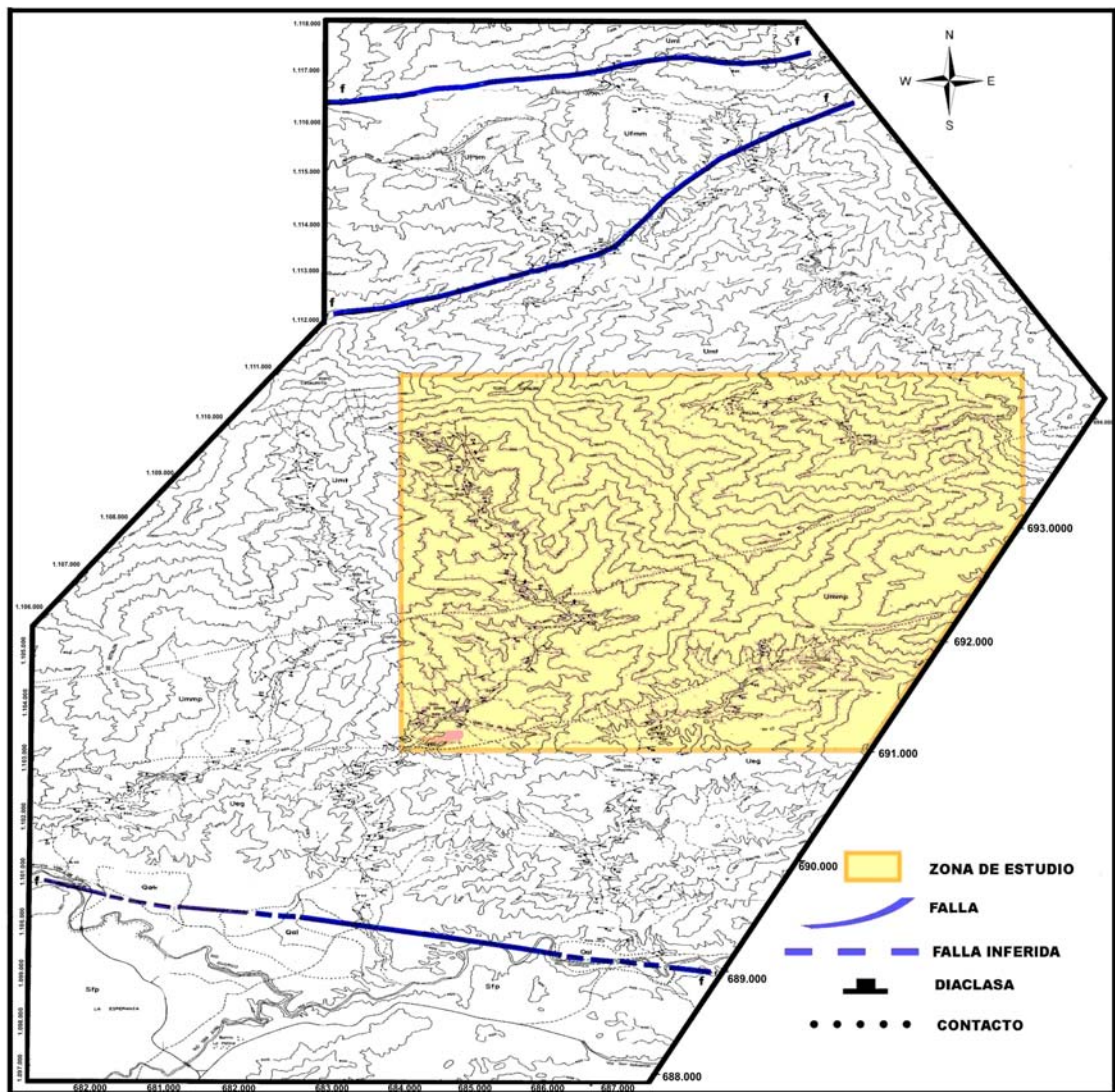


Figura N° 8: Representación estructural de la zona en estudio.  
Fuente: Serrano, 1982.

| PROVINCIA ESTRUCTURAL   | Ubicación                                           | IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Provincia Meridional    | Abarca a todas las rocas del Grupo Villa de Cura    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>S_0</math>: Superficie definida por la estratificación original.</li> <li>2. <math>F_1</math>: Pliegues del primer período. Se desarrolla en la unidad de esquistos y granofels y en la unidad de metatobas. Son pliegues isoclinales con planos axiales paralelos a <math>S_1</math>.</li> <li>3. <math>S_1</math>: Planos de foliación de la primera generación. En rocas de la unidad de esquistos y granofels. Son paralelas a subparalelas a los planos axiales de los pliegues <math>F_1</math>.</li> <li>4. <math>F_2</math>: en todas las unidades del Grupo Villa de Cura. Se presenta como un plegamiento ligeramente amplio de las superficies <math>S_1</math>.</li> <li>5. <math>S_2</math>: Superficies de la segunda generación.</li> </ol> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kink bands</li> <li>▪ Clivaje de transposición</li> <li>▪ Boudinage</li> <li>▪ Diaclasas</li> <li>▪ Fallas y micro fallas</li> </ul> |
|                         |                                                     | <p>FALLAS: dos grandes fallas de carácter regional, una situada al sur y conocida como falla de La Puerta y otra en el límite norte, que es la falla de La Fría.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Falla de La Puerta:</b> Define un lineamiento N80W. Es considerada como el contacto entre el Grupo Villa de Cura. y los sedimentos no metamorizados de la faja Piemontina en el Aragua Central</li> <li>▪ <b>Falla de La Fría:</b> Representa el límite norte de la secuencia metavolcánica en la región y pone en contacto a estas rocas con la provincia septentrional</li> </ul>                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                               |
| Provincia Septentrional | Abarca toda la secuencia metasedimentaria del norte | <p>Se identificaron dos períodos de plegamiento superimpuestos denominados <math>F_1</math> y <math>F_2</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El primer periodo de plegamiento <math>F_1</math> se postula como isoclinal en donde las superficies de foliación <math>S_1</math> con N10-20 E y N 50-60 E es paralela a planos axiales de estos pliegues.</li> <li>▪ El segundo periodo de plegamiento <math>F_2</math>, se deduce su presencia por pliegues amplios y abiertos de las superficies de foliación.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                               |

Tabla N° 11: Resumen estructural de la zona de estudio según Serrano, 1982.

## **2.3- Geoquímica de las Metalavas y Metatobas**

### **2.3.1- Aspectos generales**

Para el presente trabajo, forma parte importante el conocimiento de un estudio geoquímico-geológico de la región sur del Estado Aragua, con la finalidad de conocer las posibles tendencias de los radioelementos naturales (K, U y Th), asociados a las rocas volcánicas del Grupo Villa de Cura; y a su vez relacionar las mineralizaciones de barita, de interés económico, ya ubicadas y delimitadas en estudios geoquímicos previos, con la presencia de estos radioelementos, al aplicar el método radimétrico señalado.

La aplicación de la Geoquímica en la búsqueda de depósitos minerales ha ayudado a la exploración geológica, ya que investiga esencialmente a los elementos químicos en su evolución a través de los distintos niveles de la tierra, y sobre todo en la corteza terrestre. Todo mediante una mejor comprensión de los procesos naturales que intervienen en la acumulación y dispersión de estos elementos en las rocas de la corteza, además se utilizan sus principios y técnicas para la detección de anomalías de concentración que pueden delatar depósitos de valor económico. A su vez la ocurrencia de los radioelementos naturales son de interés geoquímico como los indicadores de procesos geológicos.

La Geofísica, con la prospección radimétrica autotransportada y el estudio de detalle, con la radimetría pedestre, recurren a la prospección geoquímica para determinar anomalías de minerales y la relación existente entre la petrología y concentración de elementos radiactivos y/o otros elementos paragenéticos

El área mineralizada con barita, en la zona de investigación, se encuentra entre las formaciones Santa Isabel (Unidad de Granofels) y El Carmen (Unidad de Metalavas). Mediante un estudio geoquímico de sedimentos de quebradas y rocas, se determinó una anomalía de bario, donde los valores anómalos de bario en algunas muestras reportadas en trabajos anteriores, sugieren la posible existencia de nuevas mineralizaciones de barita o continuidad de la anterior.

Zerpa et al. (1997) confirmaron que los concentrados de minerales pesados son útiles para localizar anomalías de bario con el objeto de ubicar y delimitar



mineralizaciones de barita y de sus elementos asociados. Además confirman la existencia de un área altamente anómala en bario de unos 100 m de longitud y 6 m de ancho en la zona de estudio. Localmente todas las muestras dentro del área mineralizadas son esquistos-cuarzos feldespáticos-cloríticos-piríticos con barita y algunas pequeñas variaciones con la presencia y contenido de anfíboles, sericita, epidoto, glaucofano, leucoxenos y carbonatos. Además reportan que el 66% de las muestras contienen barita y un mineral asociado como la pirita.

### 2.3.2- Caracterización geoquímica

Se tomó como referencia para este punto las conclusiones de los trabajos realizados por Navarro (1983) y Rodríguez (1983), y otros autores que aportan información cerca del tema de la caracterización geoquímica de las rocas que conforman las diferentes unidades del Grupo Villa de Cura en la zona de estudio.

Los ciclos geoquímicos pueden ser estudiados desde el punto de vista de la evolución global de los materiales de la corteza, así como también desde la evolución individual de los elementos químicos, aspecto que es de particular interés para la geoquímica. El ciclo geoquímico de la litosfera es la suma de los ciclos de aproximadamente ciento dieciséis (116) elementos individuales, cada uno de los cuales comprenden, además del ciclo global, una cantidad de ciclos menores o epiciclos (González, 1982).

La diferente velocidad de tales ciclos determina la separación parcial o total de los elementos, diferenciación geoquímica. Lo que se denomina un ciclo mayor o principal, que está constituido por varias etapas, las cuales han sido representadas en las tablas N° 12 y 13, donde una de ella engloba la tesis de formación de la zona a investigar.

Luego están los ciclos menores que son los que sólo tienen lugar en el ambiente exógeno. Tal es el caso del ciclo erosión-sedimentación, ascenso epirogénico-erosión, frecuente en las regiones continentales semiestables.

Otros ciclos son más breves y limitados aún en el rango de sus transformaciones y pueden ser considerados como epiciclos superpuestos a ciclos mayores.

En las rocas ígneas aumentan los contenidos de U, Th y K con el contenido de sílice incluyendo la fase pegmatítica. Las abundancias relativas de los radioelementos

| CICLO MAYOR O PRINCIPAL | ETAPAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | <p>1) Fusión de los sedimentos más o menos metamorfizados en la raíz de las cadenas montañosas (orógenos), con formación de magma granítico.</p> <p>2) Ascenso del magma y emplazamiento en forma de batolitos a niveles relativamente superficiales del orógeno.</p> <p>3) Ascenso isostático (hidrostático) de la cadena, denudación y exposición de la roca granítica de los batolitos al ciclo exógeno: meteorización, transporte y sedimentación de los productos de la descomposición y desintegración en cubetas de regiones inestables de la corteza (geosinclinales).</p> <p>4) Plegamiento de la cubeta geosinclinal y sus sedimentos, hundimiento, metamorfismo y nuevamente, fusión y generación magmática.</p> |

Tabla N° 12: Resumen del ciclo mayor o principal. Fuente: González, 1982.

| OTRO TIPO DE CICLO CONCEBIBLE | ETAPAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | <p>1) Erupción de lava basáltica por fusión parcial del manto superior o de la base de la corteza, derrame de las lavas en el fondo del océano.</p> <p>2) Desplazamiento del piso oceánico hacia el borde continental y hundimiento a lo largo de planos inclinados, sería el mecanismo postulado por la teoría de las placas oceánicas.</p> <p>3) Reincorporación del material basáltico a la base de la corteza.</p> <p>Este último ciclo mayor sería ya incompleto, puesto que en su descenso el basalto oceánico entrará a formar parte de un ambiente geotectónico diferente al original, propio del límite entre océano y continente, donde posiblemente no seden las condiciones para la regeneración del magma basáltico, sino más bien de magmas intermedios resultantes de la mezcla del basalto con materiales sedimentarios (magma andesíticos).</p> |

Tabla N° 13: Ciclo alternativo. Fuente: González, 1982.

permanecen casi constantes sobre este rango de cristalización, lo cual es muy útil en la exploración. Estos tres elementos son oxigenófilos y tienen radios iónicos grandes. Estos dos factores controlan su cristaloquímica.

Las características geoquímicas de las rocas estudiadas, según Rodríguez (1982) y Navarro (1983), permiten concluir que se trata fundamentalmente de tipos litológicos de afinidad toleítica de piso oceánico, aunque rocas andesíticas pertenecientes posiblemente a una asociación calco-alcalina, se encuentran en menor proporción. Estas últimas pertenecen a la Unidad de Lavas, Brechas y Tobas.

Del análisis del conjunto de muestras de los trabajos previos resumidos en la tabla N° 14, Rodríguez (1982) y Navarro (1983) concluyen que las rocas volcánicas presentan una población unimodal con respecto a la determinación de la concentración de los elementos mayoritarios. La composición química de la población se encuentra en el rango característico de las rocas basálticas, es decir, dentro de las metavolcánicas están las rocas basálticas.

El estudio de cualquier grupo de rocas volcánicas, hayan éstas sufrido metamorfismo o no, debe llevar en primer lugar a definir las series magmáticas a las que ese grupo de rocas pertenece. En este sentido, se puede decir que las rocas volcánicas pueden clasificarse en dos grandes grupos de acuerdo a su contenido de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ): las series de las rocas alcalinas y la de las rocas subalcalinas o no alcalinas.

La mayoría de las muestras se ubica en el campo de las toleíticas continentales. Sin embargo, un factor importante de considerar es el enriquecimiento en  $\text{K}_2\text{O}$  debido a procesos post-magmáticos (fundamentalmente meteorización submarina). Éste es uno de los argumentos que posee más soporte para que aquellas lavas clasificadas como piroxénicas, tengan una composición toleítica comparable a la de los basaltos de piso oceánico.

| AUTOR                  | LOCALIDAD                                              | CONCLUSIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Navarro, 1983</b>   | Suroeste Estado Aragua                                 | Define cuatro unidades: Unidad de granofels, metalavas, metatobas, lavas y brechas equivalente a las descritas por Shagam (1960). Desde el punto de vista geoquímico, las rocas tienen composición fundamentalmente basáltica, con bajo contenido de potasio (afinidad toleítica) presentándose además algunas rocas representativas de una asociación calco-alcalina. Según su composición y la asociación con rocas cementarias típicamente oceánicas, se puede decir que su mayor parte las rocas volcánicas son del tipo de piso oceánico, originadas en una cuenca marginal oceánica ubicada al norte del proto continente suramericano y separada del Caribe por una masa continental derivada del proto continente, a raíz de un proceso de expansión asociado a una subducción con polaridad norte, producida en la corteza del Caribe. |
| <b>Rodríguez, 1983</b> | Norte de San Juan de Los Morros                        | De los resultados del análisis de los elementos mayoritarios se deduce que las rocas del Grupo Villa de Cura presentan una composición Química en el rango de basaltos. Estas rocas pertenecen a una serie no-alcalina. La variación de $K_2O$ en función de $SiO_2$ indica que estas rocas fueron enriquecidas en potasio. Las evidencias del metamorfismo que afectó las rocas, características de rocas asociadas y resultados del análisis químico se interpreta como origen en un ambiente de cordillera centro-oceánica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Navarro, 1985</b>   | Suroeste Estado Aragua-Norte de San Juan de Los Morros | Las lavas piroxénicas metamorizadas son los tipos litológicos más característicos del Grupo Villa de Cura. La determinación de la concentración de Ti, Rb, Sr, Zr, Y, Nb, Ni y Cr en 54 muestras de lava metamorizada provenientes del Grupo Villa de Cura, dieron como resultados que eran del tipo piroxénico aunque se incluyeron algunos granofels y lavas andesíticas de la Formación Volcánicas del Tiara. La mayoría de las muestras estudiadas se encuentran ubicadas en el campo de MORB (basaltos originados en una dorsal centro-oceánica) lo cual corrobora en parte lo señalado por Navarro (1983) en cuanto al origen del Grupo Villa de Cura.                                                                                                                                                                                    |
| <b>Ostos, 1990</b>     | En la zona de San Sebastián en la zona de Guatopo,     | Realiza un estudio geoquímico de elementos mayoritarios, trazas y elementos de las tierras raras, con lo cual interpreta que las rocas metabasálticas de las formaciones El Caño, El Carmen y Santa Isabel (en la zona de San Sebastián), son de afinidad toleítica, pueden haberse formado en un margen divergente de placas, pero la evidencia geoquímica si bien no es equívoca, tampoco descarta un magmatismo de cuenca oceánica profunda. Igualmente estudia los metabasaltos de la Formación Las Hermanas en la zona de Guatopo, los cuales también son toleitas                                                                                                                                                                                                                                                                         |

**Tabla N° 14: Resumen geoquímico de los trabajos previos sobre las rocas del Grupo Villa de Cura.**

**CAPÍTULO 3**  
**MARCO TEÓRICO**

### 3.1- Fundamentos físicos

La radiactividad es un fenómeno que tardó mucho en descubrirse, por lo que se debe partir inicialmente para explicarlo del conocimiento de la materia, la cual está compuesta por un conjunto de moléculas y puede presentarse en tres estados (sólido, líquido o gaseoso). Las moléculas, a su vez, son uniones de átomos de igual o distinto tipo. Las sustancias compuestas de átomos del mismo tipo se denominan elementos y existen del orden superior a cien. Las sustancias compuestas de átomos de distinto tipo se denominan compuestos, y existen millones de ellos.

Los átomos tienen una estructura compleja, pero de forma simplificada, se considera que están constituidos por una parte central muy pequeña en donde se concentra casi toda la masa atómica, denominada núcleo atómico, y por una envoltura externa de la que dependen las propiedades químicas, denominada corteza atómica.

Según la teoría atómica, lo que nos rodea está formado de moléculas y éstas de elementos, sustancias sencillas que no pueden descomponerse en sustancias más sencillas por cambio químico. Los elementos, a su vez, están formados por átomos, partículas extremadamente pequeñas que el ojo humano no puede distinguir. Es fácil darse cuenta de que debe existir un gran número de ellos, ya que una gota de agua contiene aproximadamente mil trillones de átomos. Esta cantidad tan grande da idea de la pequeñez del átomo y del gran número de ellos que existen en todo lo que nos rodea.

Los átomos, de acuerdo con la teoría de Rutherford, están constituidos por un núcleo de carga eléctrica positiva, rodeado por una nube de electrones o negatrones, con carga eléctrica total de igual magnitud que la del núcleo, pero de signo opuesto. Los electrones, que giran alrededor del núcleo a grandes velocidades, tienen carga eléctrica negativa y una masa muy pequeña; una dos milésima parte de la masa de un protón.

El tamaño del núcleo es tan pequeño, comparado con el resto del átomo, que si el átomo fuera una esfera de 1 kilómetro de diámetro, su núcleo tendría apenas el tamaño de una canica de 1 cm y los electrones se verían apenas como puntos a los que difícilmente se les podría medir sus dimensiones. De hecho, el núcleo contiene casi

toda la masa del átomo, y en muchos casos es aproximadamente 4 000 veces más pesado que los electrones periféricos, pero tiene dimensiones muy pequeñas.

Por ser precisamente la parte fundamental del núcleo, a los protones y neutrones se les llama nucleones. A pesar de su pequeñez, el núcleo del átomo es muy pesado: si se pudiera juntar materia nuclear en un volumen de 1 cm<sup>3</sup>, su peso sería de doscientos millones de toneladas.

En la tabla N° 15 se presenta un breve resumen histórico con los principales descubrimientos que envolvieron lo relacionado con la teoría nuclear y la radioactividad. Una vez que se estableció el modelo nuclear del átomo, se hizo evidente que las transformaciones radiactivas son procesos nucleares. Todos los núcleos, excepto el del hidrógeno, están formados principalmente por protones y neutrones. El número de protones, que es también igual al número de electrones extranucleares en el átomo neutro, es su número atómico. Por otra parte, el número total de nucleones, es decir de protones y neutrones, se conoce como masa atómica.

Las masas de los núcleos atómicos son tan pequeñas cuando se expresan en gramos (menos de 10<sup>-21</sup> gramos), que se formulan en general en una escala diferente. La escala que se acepta universalmente en la actualidad está basada en la masa de un átomo de carbono-12 tomado exactamente como 12 000 000 unidades atómicas de masa. La información a este respecto para cada elemento se encuentra distribuida muy ampliamente en la literatura de tablas que dan la información; sin embargo, es importante hacer notar que esta información está dada en general para las masas atómicas y no sobre las masas nucleares. En otras palabras, las masas tabuladas incluyen las masas de los electrones extranucleares en los átomos neutros.

Mendeleiev, en 1864, clasificó los elementos conocidos en esa época en lo que llamó *tabla periódica* (fig. 9), agrupó los elementos, por orden creciente de sus pesos atómicos, en periodos o series, de manera que quedasen ordenados por propiedades semejantes. Se puede decir que la importancia de la tabla periódica de los elementos se basa, más en los diferentes elementos que faltaban dentro de la tabla, que fueron descubriéndose generalmente a partir de los minerales de los elementos vecinos, ya que las propiedades químicas similares tienden a reunir a los elementos del mismo grupo. Tomando en cuenta que las propiedades de los elementos en un mismo grupo

| AÑO  | INVESTIGADOR                                                                                                               | APORTE CIENTÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1864 | Mendeléiev, Dmitri Ivánovich (1834-1907)                                                                                   | Clasificó los elementos conocidos en esa época en lo que llamó <i>tabla periódica</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1895 | Roentgen, Wilhelm Conrad (1845-1923)                                                                                       | Descubrió los rayos X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1896 | Antoine Henri Becquerel (1852-1908)                                                                                        | Trató de demostrar la relación entre los rayos X y la fosforescencia de las sales de uranio. En uno de sus experimentos envolvió una placa fotográfica en papel negro, colocó una muestra de sal de uranio sobre ella y la expuso a la luz solar. Al revelar la placa apareció que los rayos emitidos por la sal habían penetrado a través del papel. Mostró que los rayos provenientes del uranio podían ionizar el aire y también eran capaces de penetrar a través de láminas metálicas delgadas. Becquerel descubrió la radiactividad. Demostró que los rayos beta consisten en electrones cargados negativamente, ya que se desvían en el mismo sentido y en la misma proporción que éstos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1898 | Marie Sklodowska Curie (1867-1934), con su esposo Pierre Curie (1859-1906), dirigió sus investigaciones a la radiactividad | Dió a este fenómeno el nombre de radiactividad. En corto tiempo los Curie descubrieron dos elementos nuevos, el polonio y el radio, ambos radiactivos. Para confirmar su trabajo sobre el radio, procesaron una tonelada de residuos de mineral llamado pechblenda, para obtener 0.1 g de cloruro de radio puro, que usaron para efectuar más estudios sobre las propiedades del radio y determinar su masa atómica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1899 | André Louis Debierne (1871-1941)                                                                                           | Descubrió otro elemento radiactivo, el actinio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1899 | Ernest Rutherford (1871-1937)                                                                                              | Comenzó a investigar la naturaleza de los rayos emitidos por el uranio. Encontró dos tipos de rayos, a los que llamó rayos alfa y beta. Pronto se dio cuenta que el uranio, al emitir estos rayos, se transformaba en otro elemento. De acuerdo con la descripción del átomo nuclear, Rutherford se atribuyó el fenómeno de la radiactividad a reacciones que se efectúan en los núcleos de los átomos. En 1902, Rutherford y su colaborador químico Soddy, explicaron la naturaleza de la radiactividad y encontraron que el átomo ya no podía considerarse como una partícula indivisible; estudiaron los productos del decaimiento de un material radiactivo separado químicamente del resto de los elementos de donde provenía, y descubrieron que los materiales radiactivos, al emitir radiación, se transforman en otros materiales, ya sea del mismo elemento o de otro. Observaron que a cada material radiactivo se podía asignar un tiempo en el que decaían la mitad de los átomos de la actividad original; este tiempo recibió el nombre de <i>vida media</i> . Su modelo del átomo que propuso en 1911, tenía un núcleo muy pequeño y muy denso cargado positivamente, rodeado de electrones cargados negativamente en movimiento alrededor del núcleo. Así fue como predijo, en 1920, la existencia de una partícula nuclear neutra, que, según supuso, era necesaria para la estabilidad del núcleo. Fue necesario esperar la llegada de los años treinta para que el "neutrón", como lo llamaron más tarde, fuera descubierto por James Chadwick,. |
| 1900 | Paul Villard (1879-1945)                                                                                                   | Descubrió en los rayos gamma, un tercer tipo de rayos que emiten los materiales radiactivos y que es semejante a los rayos X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1912 | Frederick Soddy (1877-1956)                                                                                                | Encontró que los diferentes materiales radiactivos no siempre se podían separar unos de otros por técnicas químicas, lo cual indicaba que eran partes de un mismo elemento químico, que cada grupo de especies inseparables correspondía a un solo elemento químico y que en el mismo sitio de la tabla periódica quedaban clasificados átomos químicamente iguales con núcleos diferentes y con propiedades físicas distintas. Soddy propuso el nombre de isótopo, del griego <i>iso</i> —igual— y <i>topos</i> —lugar—, para designar a las especies de un grupo; ese nombre indica, pues, que tales especies ocupan el mismo lugar en la clasificación de los elementos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|      | Audiade (1872-1940)                                                                                                        | Finalmente, Rutherford y Audiade, otro colaborador suyo, descubrieron que los penetrantes rayos gamma son en realidad radiaciones electromagnéticas parecidas a los rayos X y a la luz visible, pero de diferente energía.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1922 | Compton, Arthur Holly (1892-1962)                                                                                          | El estudio de los rayos X le llevó a descubrir el denominado efecto Compton. El descubrimiento de este efecto confirmó que la radiación electromagnética tiene propiedades tanto de onda como de partícula, un principio central de la teoría cuántica.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Tabla N° 15: Resumen histórico del descubrimiento de la radiactividad.





protones en un núcleo es igual al número atómico  $Z$ , y la cantidad de neutrones es igual a la diferencia entre peso atómico  $A$  y el número atómico  $Z$  del elemento ( $A - Z$ ). La notación utilizada para simbolizar un elemento es la siguiente:  ${}_Z\text{X}^A$  siendo  $X$  el símbolo químico del elemento.

### 3.1.1 Radioactividad

Radiactividad es la propiedad que poseen los núcleos atómicos de algunos elementos de desintegrarse mediante la emisión o absorción de radiaciones radioactivas. Es decir es un proceso en el que los átomos se transforman en nuevos tipos de átomos con propiedades químicas nuevas.

Una vez que se estableció el modelo nuclear del átomo, se hizo evidente que las transformaciones radiactivas son procesos nucleares. Como la desintegración de un elemento produce átomos de otro, la cantidad relativa de los elementos "padre" e "hijo" en un mineral es proporcional al tiempo transcurrido desde la formación del mineral.

Entre sus numerosas propiedades, los cuerpos radiactivos poseen la de desintegrarse, es decir, de transformarse en otra sustancia emitiendo una radiación particular denominada radiación radiactiva. Se produce una verdadera transmutación natural, los núcleos inestables que se desintegran espontáneamente pasando a un estado de energía inferior. El efecto evidente de estas transformaciones químicas, que vienen sucediéndose desde el origen del globo, consiste en la disminución lenta, pero segura, de los elementos radiactivos naturales y, por el contrario, el aumento de los elementos a que ellos dan origen. Es así como el uranio, el torio, el potasio, el samario, el lutecio, van en disminución, mientras que el helio, el argón, el plomo aumentan con regularidad.

La constitución química del globo, por lo tanto, no es ya la misma que en el momento de su formación. En varios casos, dos productos radiactivos diferentes tenían la misma carga nuclear pero diferentes pesos. La carga positiva que posee un núcleo es la que determina la cantidad de electrones necesarios para neutralizar el átomo; la carga del núcleo es, por lo tanto, la responsable de sus características exteriores, o sea, las propiedades químicas del átomo. Actualmente en cada casilla de la tabla de elementos se clasifican todos los átomos con el mismo número de protones, o sea, con

el mismo número atómico, aun cuando su masa sea diferente como consecuencia de tener diferente número de neutrones. De acuerdo con esta definición, todos los núcleos que tienen el mismo número de protones, pero con diversas combinaciones de neutrones, se llaman isótopos. Todos los isótopos de un elemento tienen la misma cantidad de electrones periféricos, y esta cantidad es igual al número de protones del núcleo. Como el comportamiento químico de los elementos depende de sus electrones, entonces se puede decir que todos los isótopos de un elemento se comportan químicamente en la misma forma. En la naturaleza se encuentran elementos que tienen varios isótopos.

Los isótopos radiogénicos sirven para la datación, técnica que representa un método cuantitativo eficaz para establecer la edad de materiales en la naturaleza, aplicable igualan a los objetos más viejos en la tierra, la luna, meteoritos, y asteroides.

A medida que aumenta el número de protones va aumentando la carga positiva concentrada, y para estabilizar el átomo aumenta también el número de neutrones; de otra forma, la repulsión entre las cargas positivas de los protones haría que el átomo fuera muy inestable. Esto se puede ver en la gráfica que muestra el número de neutrones de un núcleo en función de su número de protones (fig. N° 10). A esta curva se le llama curva de estabilidad del núcleo, y muestra que los núcleos estables con pocos protones están a lo largo de una línea diagonal, donde existen igual número de protones y neutrones, pero a medida que aumenta el número de protones la línea se va curvando, lo cual indica que en átomos con masas nucleares grandes los núcleos estables tienen muchos más neutrones que protones. Sin embargo, hay un límite para la estabilidad de los núcleos, ya que todos los que tienen 84 protones o más son radiactivos.

Dos átomos de un mismo elemento que tengan distinto número de neutrones tienen el mismo comportamiento químico (forman las mismas moléculas), ya que éste viene determinado por la corteza atómica, pero distintas propiedades físicas (densidad, radiactividad, etc.). Se denominan isótopos del mismo elemento.

Se ha comentado antes que algunos isótopos de elementos que se encuentran en la naturaleza son inestables. Esto significa que sus núcleos emiten radiaciones o partículas, o ambas, y se descomponen espontáneamente, formando átomos del mismo

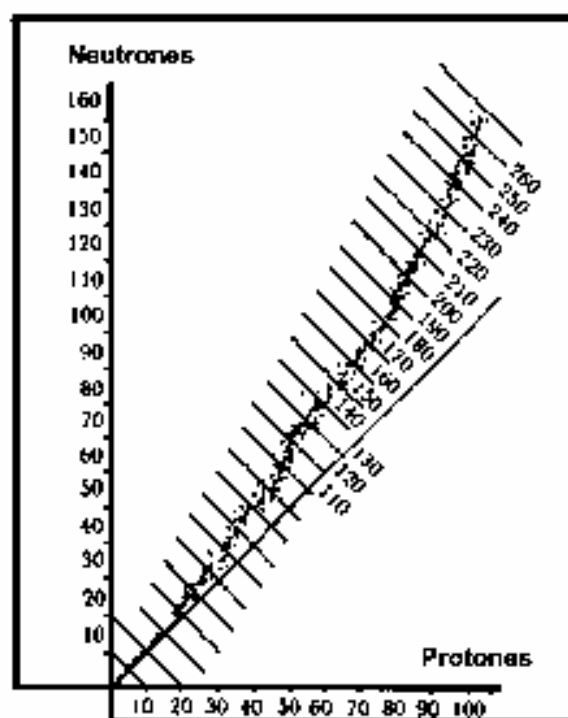


Figura N° 10: Representación del número de neutrones en función del número de protones de los diferentes núcleos. A lo largo de la línea oblicua se encuentran aquellos núcleos ligeros con igual número de protones y neutrones. (Fuente: Fernández-Valverde, 1978.)

o de otros elementos. A estos isótopos inestables se les llaman isótopos radiactivos. Mientras que el hidrógeno-1 y el hidrógeno-2, o deuterio, son isótopos estables del elemento hidrógeno, el tritio es radiactivo y se desintegra emitiendo cierto tipo de radiación. Asimismo, el carbono-12, isótopo estable, tiene 6 neutrones y 6 protones, mientras que el carbono-14, con 6 protones y 8 neutrones, es radiactivo. Estos isótopos<sup>p</sup> radiactivos se encuentran fuera de la línea de estabilidad ya discutida anteriormente.

Existen algunos isótopos radiactivos que tienen masas y cargas idénticas, es decir, que tienen el mismo número de protones y de neutrones, pero diferentes propiedades radiactivas, como son sus vidas medias y las energías de las radiaciones emitidas. Estos núcleos reciben el nombre de isómeros<sup>p</sup> nucleares. Los núcleos radiactivos por lo general se clasifican en dos grupos: 1) núcleos inestables

<sup>p</sup> Términos del tema tratado, se encuentran explicados en el apéndice E: Glosario

encontrados en la naturaleza, los cuales dan lugar a lo que se conoce como radiactividad natural, y 2) núcleos producidos en el laboratorio por medio de reacciones nucleares, los cuales presentan radiactividad artificial.

#### 3.1.1.1- Tipos de radiación

Las emisiones radiactivas contienen al menos dos componentes: *partículas alfa*, que son frenadas por una hoja de papel, que no les permite continuar su trayectoria, y *partículas beta*, que son casi 100 veces más penetrantes, esta misma hoja sí permite pasar a las partículas beta. Existe la presencia de un tercer componente, los *rayos gamma*, que resultan ser mucho más penetrantes que las partículas beta. Una hoja delgada de aluminio como de 1 mm de espesor sólo deja pasar una pequeña fracción de la radiación beta y casi la totalidad de la radiación gamma; una placa de plomo intercepta la radiación gamma, dejando pasar solamente una fracción de ella. La radiación alfa, beta y gamma provienen del núcleo atómico (fig. N° 11).

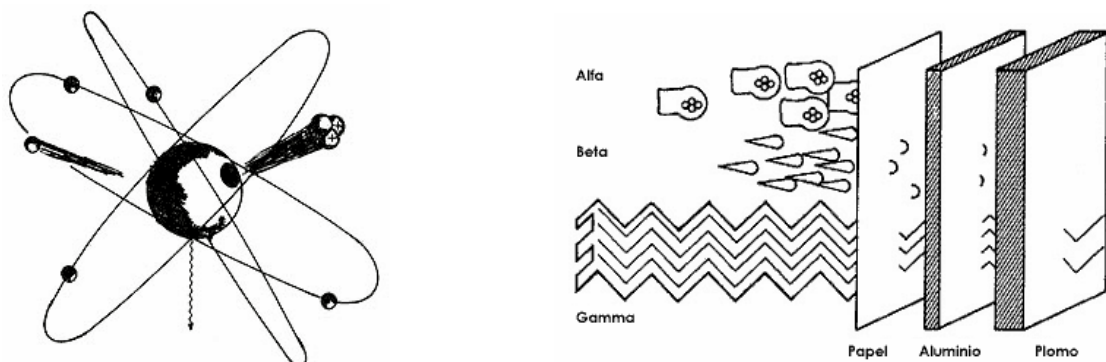


Figura N° 11: Las radiaciones alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gamma ( $\gamma$ ) provienen del núcleo atómico. Su penetración en la materia. Fuente: Segovia, 1974.

### La partícula alfa

Un núcleo de helio con carga doble, está formado por dos protones y dos neutrones, por lo que sólo puede ser emitida por el núcleo de un átomo. Cuando un núcleo pierde una partícula alfa se forma un nuevo núcleo, más ligero que el original en cuatro unidades de masa (las masas del neutrón y el protón son de una unidad aproximadamente).

Los núcleos emiten la radiación alfa, beta y gamma a velocidades enormes. Las partículas alfa resultan frenadas y detenidas al pasar por la materia, sobre todo debido a su interacción con los electrones de dicha materia. Casi todas las partículas alfa emitidas por una misma sustancia salen de los núcleos con una velocidad prácticamente igual; por ejemplo, la mayoría de las emitidas por el polonio  $\text{Po}^{210}$  viajan 3,8 cm por el aire antes de quedar detenidas completamente, mientras que las emitidas por el polonio  $\text{Po}^{212}$  avanzan 8,5 cm. La medida de la distancia recorrida por las partículas alfa se emplea para identificar isótopos, es decir la velocidad de emisión (1/15 a 1/20 cm) de casi todas las partículas alfa de cualquier isótopo alfa-activo es una constante característica de ese isótopo.

### **Las partículas beta**

Son electrones. Las partículas beta se emiten a velocidades mucho mayores que las partículas alfa, por lo que penetran bastante más en la materia, aunque el mecanismo de frenado es esencialmente similar. Sin embargo, a diferencia de las partículas alfa, las partículas beta son emitidas a muchas velocidades diferentes, y sus emisores se distinguen entre sí por las velocidades máxima y media características de sus partículas beta. La distribución de las energías de las partículas beta (y por tanto de sus velocidades) exige la hipótesis de la existencia de una partícula sin carga ni masa denominada neutrino.

Las velocidades de emisión de las partículas beta de cualquier isótopo radioactivo son extremo variables, desde velocidades relativamente lentas hasta velocidades que se aproximan a la de la luz. Son cien veces menos ionizantes que las alfa.

### **Los rayos gamma**

Son radiaciones electromagnéticas de la misma naturaleza y velocidad que la luz o que los rayos X pero con una energía considerablemente mayor. Casi toda la radiación gamma es emitida por el isótopo radiactivo del potasio, de peso atómico 40 y por elementos radiactivos de la serie de los elementos Uranio y Torio.

Cada una de las radiaciones nucleares alfa, beta y gamma se caracterizan por su diferente poder de penetración en la materia. La poca penetración que tienen en la materia las radiaciones alfa y beta se debe principalmente a que son partículas cargadas eléctricamente y a que, por esto mismo, interaccionan con la materia.

Pero la radiación gamma no tiene carga ni masa y su poder de penetración en la materia es muy grande; sin embargo, esta radiación puede producir otros tres fenómenos, denominados efecto Compton, efecto fotoeléctrico y creación de pares, los cuales se plantean más adelante en forma detallada. Lo más importante de estos tres efectos es que en todos ellos aparecen partículas cargadas eléctricamente; las que producen a su vez dos fenómenos secundarios, o dos tipos de interacción de las partículas cargadas con la materia: la ionización y la excitación.

La ionización es el fenómeno en el que las partículas alfa y beta al recorrer el material le ceden parte de su energía arrancándole electrones de sus átomos y dejándolos cargados positivamente; a estas especies se les llama iones (fig. N° 12). En este proceso también se liberan electrones, que, como sabemos, tienen cargas negativas. Las partículas beta producen entre  $\tau$  y  $\zeta$  de la ionización generada por las partículas alfa en cada centímetro de su trayectoria en aire. Los rayos gamma producen aproximadamente  $\tau$  de la ionización de las partículas beta.

La excitación, por otra parte, consiste en que cuando las partículas cargadas, alfa o beta, atraviesan el material dejan a los electrones periféricos de sus átomos con mayor energía que la que tenían antes (fig N° 12). El átomo queda así con un exceso de energía, y puede volver a su estado original básico emitiendo en forma de luz la energía sobrante. Los electrones en un átomo tienden a ocupar las capas más cercanas al núcleo. Si por cualquier motivo los electrones pasan de su nivel fundamental a una capa más alejada se dice que el átomo se encuentra excitado.

En esta situación los átomos no son estables, y tienden a volver a su estado fundamental (desexcitación), es decir los electrones tienden a caer a las capas más profundas. En este proceso pueden emitirse fotones de energía igual a la diferencia de energía entre las capas que salta el electrón.

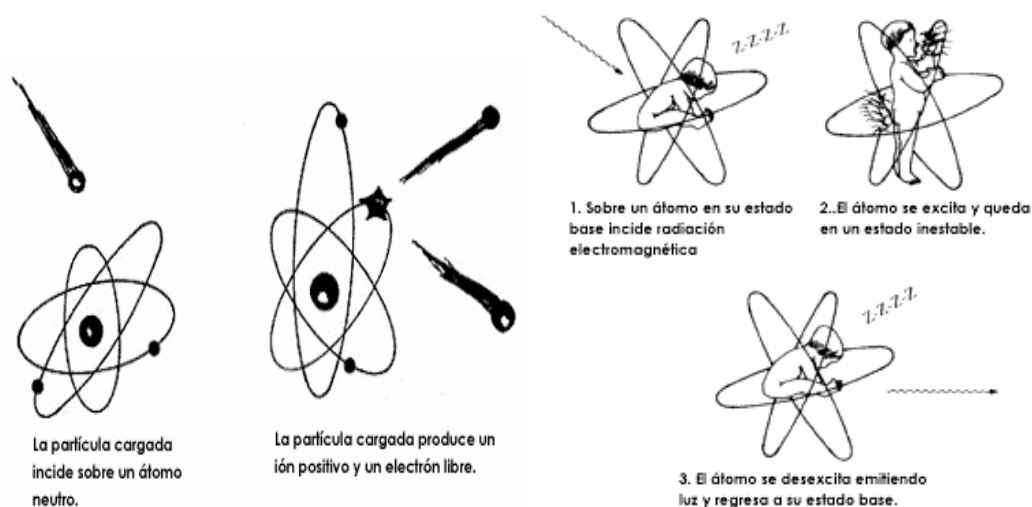


**Figura N° 12: Estado de ionización y excitación del núcleo. Fuente: Segovia, 1974.**

Cuanto más separadas estén las capas de mayor energía será el fotón emitido. El número de iones liberados y el tipo de luz emitida en un material por el paso de la radiación dependen, entre otras cosas, de la energía que pierden las partículas cargadas alfa y beta al atravesarla. Así pues, se puede generalizar diciendo que la radiación nuclear interacciona con la materia que atraviesa y produce de manera directa o indirecta ionización o excitación de los átomos y por este efecto se pueden medir.

En un campo eléctrico, la trayectoria de las partículas beta se desvía mucho hacia el polo positivo, mientras que la de las partículas alfa lo hace en menor medida hacia el polo negativo; los rayos gamma no son desviados en absoluto. Esto indica que las partículas beta tienen carga negativa, las partículas alfa tienen carga positiva (se desvían menos porque son más pesadas que las partículas beta) y los rayos gamma son eléctricamente neutros.

### 3.1.1.2- Desintegración de los elementos radioactivos naturales.

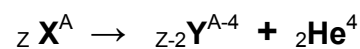
La desintegración radiactiva está acompañada de un cambio en la naturaleza química del elemento que se desintegra. Un núcleo radiactivo decae o se desintegra exponencialmente por medio de uno de tres procesos: decaimiento alfa,



decaimiento beta o decaimiento gamma La penetración de las radiaciones nucleares en la materia y los efectos que producen va a depender del tipo de dichas desintegraciones.

### Desintegración alfa ( $\alpha$ )

Es propio fundamentalmente de los elementos de número atómico **Z** mayor a 82. Una partícula alfa está formada por dos protones y dos neutrones que actúan como una única partícula (fig. N° 13). Son núcleos de átomos de helio. Cuando un núcleo radiactivo inestable emite una partícula alfa, éste se convierte en un núcleo de un elemento distinto, disminuye dos unidades y su peso atómico en cuatro. Como consecuencia, el elemento nuevo va a corresponder al que se desplaza dos unidades hacia la izquierda en la tabla de Mendeleiev. Es decir, si un núcleo emite una partícula alfa ( ${}_2\text{He}^4$ ) pierde dos protones y dos neutrones. Por lo tanto, el número atómico Z disminuye en 2, el número de masa A disminuye en 4 y el número de neutrones disminuye en 2. El decaimiento puede escribirse como:



donde **X** recibe el nombre de núcleo padre y **Y** el núcleo hijo.

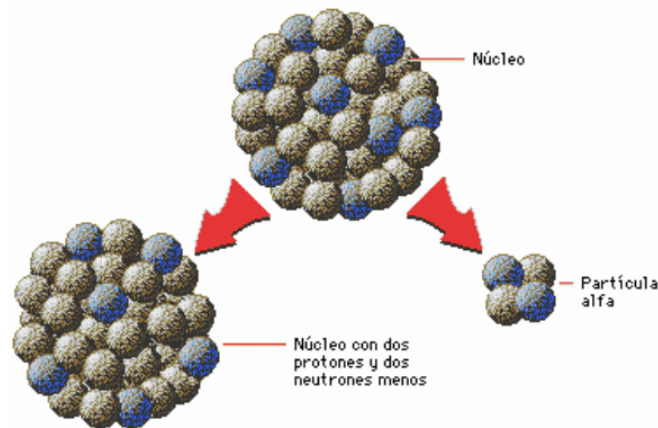


Figura N° 13: Desintegración alfa ( $\alpha$ )

La desintegración  $\alpha$  generalmente va acompañada de la emisión de cuantos o fotones  $\gamma$  de poca energía, lo cual se explica por el hecho de que los núcleos

formados mediante la desintegración  $\alpha$  se encuentran excitados y para pasar a su estado normal, emiten la energía excedente en forma de radiación electromagnética.

### Desintegración beta ( $\beta$ )

Hay dos tipos de desintegración beta. En la que se muestra a la izquierda, un neutrón se convierte en un protón emitiendo un antineutrino y una partícula beta cargada negativamente (fig. N° 14). Como consecuencia de este fenómeno la carga del núcleo aumenta una unidad, con lo cual el número atómico también aumenta en uno se desplaza una posición a la derecha en la tabla periódica. En la de la derecha, un protón se convierte en un neutrón emitiendo un neutrino y una partícula beta positivamente cargada. Las partículas beta positivas se llaman positrones, y las negativas electrones.

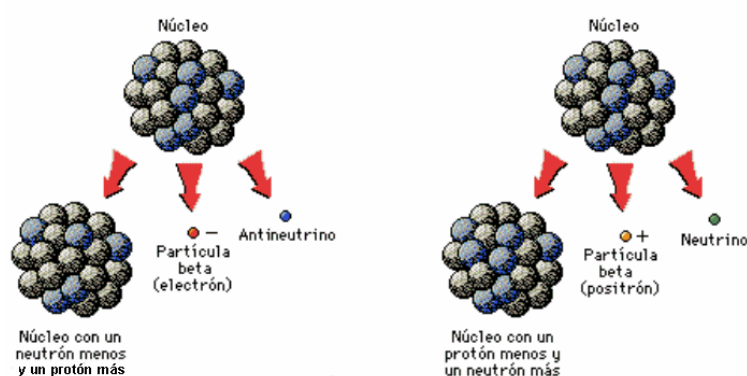
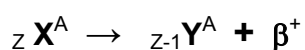
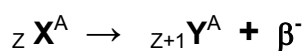


Figura N° 14: Desintegración beta ( $\beta$ ). Electrónica  $\beta^-$  y positrónica  $\beta^+$

Después de la desintegración, el núcleo del átomo contiene un protón más o menos, por lo que constituye un elemento nuevo, con número atómico distinto.

El nuevo elemento posee un número atómico con una unidad menor que el elemento inicial, el elemento se mueve un lugar hacia la izquierda en la tabla de Mendeleiev. Cuando un núcleo radiactivo sufre decaimiento beta, el núcleo hijo tiene el mismo número de nucleones que el núcleo padre pero el número atómico cambia en 1:



Todas las desintegraciones beta están acompañadas de una emisión de neutrinos. Por ahora, basta decir que un neutrón se emite en el decaimiento del positrón y un antineutrino (antipartícula del neutrino) se emite en el electrón.

### **Desintegración gamma ( $\gamma$ )**

Los rayos gamma (fotones de alta energía) son emitidos por el núcleo de un átomo tras sufrir una desintegración radiactiva. La energía del rayo gamma (generalmente similar a la de los rayos X de alta energía) corresponde a la diferencia de energías entre el núcleo original y los productos de la desintegración. Cada isótopo radiactivo emite rayos gamma con una energía característica. Las emisiones alfa y beta suelen ir asociadas con la emisión gamma (fig. N° 15). Los rayos gamma no poseen

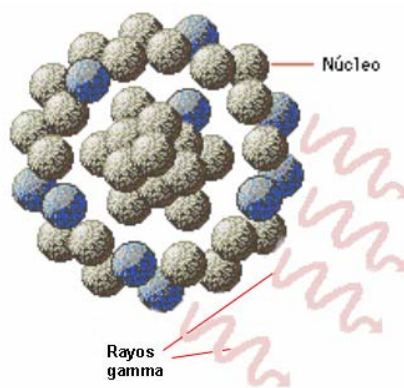
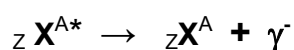


**Figura N° 15: Desintegración gamma ( $\gamma$ ).**

carga ni masa; por tanto, la emisión de rayos gamma por parte de un núcleo no conlleva cambios en su estructura, sino simplemente la pérdida de una determinada cantidad de energía radiante. Con la emisión de estos rayos, el núcleo compensa el estado inestable que sigue a los procesos alfa y beta. La partícula alfa o beta primaria y su rayo gamma asociado se emiten casi simultáneamente.

Sin embargo, se conocen algunos casos de emisión alfa o beta pura, es decir, procesos alfa o beta no acompañados de rayos gamma; también se conocen algunos isótopos que emiten rayos gamma de forma pura. Esta emisión gamma pura

tiene lugar cuando un isótopo existe en dos formas diferentes, los llamados isómeros nucleares, con el mismo número atómico y número másico pero distintas energías. La emisión de rayos gamma acompaña a la transición del isómero de mayor energía a la forma de menor energía. Muy a menudo, un núcleo que sufre decaimiento radiactivo se deja en un estado de energía excitado. El núcleo puede sufrir después un segundo decaimiento hasta un estado de energía inferior, tal vez hasta el estado base, emitiendo un fotón de alta energía:



donde  $X^*$  indica un núcleo en un estado excitado. La vida media común de un estado nuclear excitado es de  $10^{-10}$  s. Los fotones emitidos en un proceso de desexcitación de este tipo, son los ya descritos rayos gamma.

Estos fotones tienen muy alta energía (en el intervalo de 1 MeV a 1 GeV) con relación a la energía de la luz visible (alrededor de 1 eV). La energía de los fotones emitidos (o absorbidos) por un átomo es igual a la diferencia de energía entre los dos estados electrónicos implicados en la transición. Cuando un núcleo decae emitiendo un rayo gamma, el núcleo no cambia, salvo por el hecho de que termina en un estado de energía inferior.

### **Absorción electrónica**

Es característica esta desintegración de los elementos que se ubican en parte central de la tabla periódica y en menor grado para los elementos pesados. En este caso el núcleo absorbe uno de los electrones del átomo, y se convierte un protón en neutrón y emite un neutrino y fotones gamma. En este caso el número atómico del elemento disminuye en una unidad, y se mantiene constante su peso, emitiendo rayos X de baja energía.

### **Fisión nuclear espontánea**

Los elementos más pesados son los que presentan este tipo de desintegración y consiste en la división espontánea del núcleo en dos aproximadamente iguales. Va acompañado de la emisión de neutrones y de una gran

cantidad de energía que se manifiesta principalmente en forma de energía cinética de los fragmentos del núcleo.

### 3.1.1.3- Unidades de representación

La unidad de medida de la energía en la escala atómica es el electrón-voltio (ev), que es igual a la energía cinética adquirida por un electrón al ser acelerado en un campo eléctrico con una diferencia de potencial de un voltio. También se utilizan sus múltiplos kilo (mil) y mega (un millón), es decir  $1 \text{ Mev} = 1.000.000 \text{ ev}$ . En la tabla N° 16 se resumen otras unidades utilizadas por el Sistema Internacional de medidas (SI).

En una muestra de material radiactivo con un gran número de átomos, cada uno de ellos con una probabilidad de decaer radiactivamente, en cada instante se producirán varios decaimientos. El número de decaimientos radiactivos por unidad de tiempo se conoce como actividad de la muestra, y su unidad de medida es el becquerel (Bq) que equivale a un decaimiento por segundo.

Las concentraciones o contenidos de los elementos radiactivos naturales en las rocas y menas se determinan por la relación entre el peso del elemento radiactivo y el peso de la roca o mena. Dicha relación se expresa en:

- \* Potasio (K) en %, es decir el porcentaje del elemento radiactivo por cada gramo de roca.
- \* Uranio (U) en ppm, es decir en partes de peso del elemento radiactivo por millón de partes de peso de rocas (ppm).
- \* Torio (Th) en ppm es decir en partes de peso por millón de partes de peso de rocas (ppm).

Al trabajar con elementos radiactivos se debe tener en cuenta el grado de influencia de las radiaciones radiactivas sobre el organismo humano, esta será mayor cuando dichas sustancias se encuentren dentro de él. Dependiendo de la cantidad de energía absorbida (D) y del tipo de radiación será el grado de daño al organismo. Dada esta inquietud, en el presente trabajo se bosqueja ciertas reglas y protecciones que se deben tomar en cuenta al manipular las sustancias o patrones radiactivos, a pesar que

| UNIDADES DE MEDICIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cantidad de sustancias radiactivas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Concentración o contenido de sustancias radiactivas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Radiación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>Curie (Ci), es una cantidad de cualquier sustancia radiactiva en la que suceden <math>3.7 \cdot 10^{10}</math> desintegraciones por segundo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Milicurie, <math>1\text{mc} = 10^3 \text{ Ci}</math></li> <li>* Micro curie, <math>1\mu = 10^6 \text{ Ci}</math></li> <li>* Becquerel (Bq), <math>1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegracion/seg}</math></li> </ul>                                                                                                                                                         | <p>Se determina por la relación entre el peso del elemento radiactivo, y el peso de la roca o mena. Se expresan en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Porcentaje o en gramos del elemento radiactivo por cada gramo de roca. %K, gU/g de roca, gTh/g de roca, etc.</li> <li>* En partes de peso por 1.000.000 de partes de peso de roca (ppm).</li> </ul> | <p>Para las radiaciones <math>\alpha</math> y <math>\gamma</math> se definen dos conceptos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Dosis de radiación (D), tanto <math>\alpha</math> como <math>\gamma</math> absorbida, es la cantidad de energía absorbida por la materia, se mide en Roentgen (r). Es la cantidad de radiación <math>\alpha</math> o gamma (<math>\gamma</math>) que produce en un <math>\text{cm}^3</math> de aire <math>0^\circ \text{C}</math> y 760 mm de mercurio (Hg), una cantidad de iones que posee una electrostática de carga. Es la energía absorbida por un detector.</li> <li>* Potencia de dosis de radiación absorbida (P): es la relación entre la dosis absorbida y el tiempo que la materia ha estado recibiendo esa dosis. Es la magnitud registrada en los equipos de medición. Es decir <math>P = D / T</math>. Se mide en las siguientes unidades: R/h, mr/h, <math>\mu\text{r/h}</math>. <math>1 \text{ R/h} = 10^3 \text{ mr/h} = 10^6 \mu\text{r/h}</math>, y está relacionada a la intensidad de radiación por: <math>P = \mu_a I_0</math></li> </ul> |
| <p>Ra, 1 Curie = 1 gramo. El gramo de radio Ra equivalente, se define como la cantidad de un elemento radiactivo cualquiera que emite la misma cantidad de radiaciones que un gramo de radio en condiciones de medición similares. Sea <math>X</math>, la cantidad de sustancia a determinar en miligramos equivalente de radio, se compara la intensidad <math>I</math> de radiación producida por esa sustancia, con la intensidad de radiación <math>I_p</math> emitida por un patrón que posee en miligramos una cantidad M, de radio.</p> $X = M \cdot I / I_p$ | <p>Con menor frecuencia se utilizan las unidades volumétricas que se expresan en peso del elemento radiactivo, por unidades de volumen de la roca o mena (<math>\text{gU}/\text{cm}^3</math>)</p>                                                                                                                                                                    | <p>La dosis absorbida es expresada en unidades rads, 1 rad es igual a <math>10^{-2} \text{ Joule} / \text{kg}</math>, <math>1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J} / \text{kg}</math>. Para la mayor parte de los empleos el roentgen se ha sustituido por rad (que es un acrónimo de radiation absorbed dose: dosis de radiación absorbida):</p> <p>La nueva unidad en el Sistema Internacional (SI) es el Gray (Gy), <math>1 \text{ Gy} = 1.0 \text{ J} / \text{kg} = 100 \text{ rad}</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p>Rutherford (Rd), cantidad de sustancia radiactiva en la que suceden <math>10^6</math> desintegraciones por segundo</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Más generales son aquellas que reflejan la cantidad de elementos radiactivos en Curie (Ci) por unidad de peso o de volumen de la materia. <math>\text{Ci/g}</math>, <math>\text{Ci}/\text{cm}^3</math></p>                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>Para medir concentraciones de gases radiactivos se utilizan Curie / litro (<math>\text{Ci/l}</math>), ya que esta caracteriza una cantidad de elementos radiactivos muy grande, se define la unidad emán. <math>1 \text{ emán} = 10^{10} \text{ Ci/l}</math></p>                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

Tabla 16: Esquema de las principales unidades de representación de la radiactividad

los utilizados no presentan peligro mayores. (Apéndice C)

Existe una dosis máxima permisible que puede absorber el organismo sin que se produzcan trastornos irreversibles. Esta magnitud se mide en Roentgen (R) o miliroentgen (mr). La dosis máxima que puede recibir una persona es de 5 R/año: 6100 mr/semanas Si la persona posee una edad  $n$  años, entonces la dosis límite,  $D_{lim}$  no debe sobrepasar el valor:

$$D_{lim} \leq 5 (n - 18)$$

Por otra parte la dosis absorbida por el cuerpo humano es ajustada por un factor RBE (relative biological effectiveness: eficacia biológica relativa) para un tipo de radiación es el número de rad de radiación  $x$  o radiación gamma que produce el mismo daño biológico que 1 rad de la radiación que se está usando, que refleja los diversos riesgos a la salud y da una mejor medida de los efectos biológicos sobre el organismo, es lo conocido como la dosis equivalente, la cual no es medida directamente, mientras que la dosis absorbida sí.

A pesar de que el rad es una unidad física perfectamente correcta, no es la mejor unidad para medir el grado de daño biológico producido por radiación, debido a que éste no sólo depende de la dosis sino del tipo de radiación.

La dosis equivalente es medida en unidades de rem (radiation equivalent in man: radiación equivalente en el hombre), es el producto de la dosis en rad y del factor RBE:

$$\text{Dosis en rem} = \text{dosis en rad} \times \text{RBE}$$

De acuerdo con esta definición, 1 rem de dos radiaciones cualesquiera produce la misma cantidad de daño biológico. Una dosis de 1 rad de neutrones rápidos representa una dosis efectiva de 10 rem. Por otra parte 1 rad de radiación gamma es equivalente a una dosis de 1 rem, o en la unidad del SI, Sievert (Sv).

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem.}$$

Las fuentes naturales de radiación fuera del cuerpo dan dosis de 100 mrem / año, mientras dentro están cerca de 25 mrem / año. La actividad humana aporta dosis

cerca de 5 mrem /año a 80 mrem / año, dependiendo del estado médico y/o ubicación geográfica.

#### 3.1.1.4- Teoría de los Radioelementos

Toda materia está compuesta de moléculas que a su vez están formadas por átomos que tienen una estructura similar. Por sus propiedades químicas específicas se han identificado en la naturaleza 90 átomos a los cuales actualmente se agregan una docena más, fabricados artificialmente por transmutación. Como parte del átomo están los núcleos correspondientes a un mismo número atómico ( $Z$ ) de protones, que pueden diferenciarse por el número del peso atómico ( $A-Z$ ) de neutrones. Estos núcleos se caracterizan por el número total de nucleones. Los núcleos con el mismo número atómico ( $Z$ ), que se diferencian por su peso atómico  $A$ , pertenecen a átomos que son isótopos los unos de los otros, es decir que tienen las mismas propiedades químicas puesto que tienen el mismo número atómico ( $Z$ ), pero su peso atómico ( $A$ ), es diferente.

Resulta así que al centenar de elementos químicos de la naturaleza les corresponde más de 300 núcleos por grupos de isótopos. La mayoría de estos núcleos son estables. Las fuerzas nucleares mantienen una "unión" firme entre los protones y los neutrones. Pero algunos son inestables y se transforman, en el transcurso del tiempo, en otros elementos por el proceso de radioactividad, a ellos se le denominan radioelementos, o elementos radioactivos.

Actualmente es posible fabricar isótopos nuevos, artificiales, es decir, núcleos producidos en el laboratorio por medio de reacciones nucleares, los cuales presentan **radiactividad artificial**. De todos los elementos químicos de interés para este trabajo son los radioelementos naturales, con un número atómico ( $Z$ ) mayor de 81, de núcleos inestables encontrados en la naturaleza, los cuales dan lugar a lo que se conoce como **radiactividad natural**.

Estos radioelementos naturales experimentan las diferentes desintegraciones enumeradas anteriormente, es decir: se inicia con la eyección fuera del núcleo de un conjunto de 2 protones y 2 neutrones, que constituyen un núcleo de Helio llamado partícula alfa, o también con la transformación en el núcleo de un neutrón en protón, transformación que crea y emite un electrón que es la partícula beta menos.



La transformación en el núcleo de un protón en neutrón, crea y emite una partícula de vida muy efímera, el electrón positivo o positrón, llamado beta más. Simultáneamente con la eyección de una partícula alfa, beta menos o beta mas, se produce una re-estabilización del núcleo por la emisión de la energía sobrante bajo la forma de una radiación electromagnética gamma.

Los radioelementos naturales son el potasio (**K**), uranio (**U**) y el torio (**Th**) siempre inestables y por lo tanto radioactivos, donde los átomos de estos elementos sufren sucesivas transformaciones que forman las llamadas **series de desintegración**, en las cuales existen hasta 19 elementos en algunos casos. Esto tres elementos conforman las series radiactivas más importantes, la de uranio cuyo primer elemento es  ${}_{92}\text{U}^{238}$ , hasta la del actino-uranio, cuyo elemento es el  ${}_{92}\text{U}^{235}$ ; la del torio, cuyo primer elemento es el  ${}_{90}\text{Th}^{232}$  donde todas las series finalizan en un isótopo de plomo estable. Las series naturales de desintegración poseen ciertas características comunes, el primer elemento posee una existencia muy larga, finalizando dichas series en un isótopo de plomo estable (fig. N° 16).

La abundancia relativa de los radioelementos normalmente permanece constante en el proceso de diferenciación magmática, encima del rango de la cristalización. Esto tiene aplicaciones útiles en la exploración, ya que deben estudiarse las concentraciones relativas normales y reales de los radioelementos en los diferentes tipos de depósitos de minerales, sobre todo aquellos que son objeto de interés económico, ya que las proporciones del radioelemento anómalo pudieran indicar alguna mineralización de uranio, por ejemplo. Es por tanto consecuencia importante ser consciente de las características de estos elementos. Como resultado de esta investigación intensiva se conocen en la actualidad más de 400 elementos radiactivos artificiales. Esta investigación se ha visto favorecida por el desarrollo de aceleradores de partículas que comunican velocidades enormes a las partículas empleadas en el bombardeo, con lo que en muchos casos aumenta la probabilidad de que sean capturadas por los núcleos utilizados como objetivo.

El estudio de las reacciones nucleares y la búsqueda de nuevos isótopos radiactivos artificiales, sobre todo entre los elementos más pesados, llevó al

descubrimiento de la fisión nuclear y al posterior desarrollo de la bomba atómica. También se descubrieron varios elementos nuevos que no existen en la naturaleza.

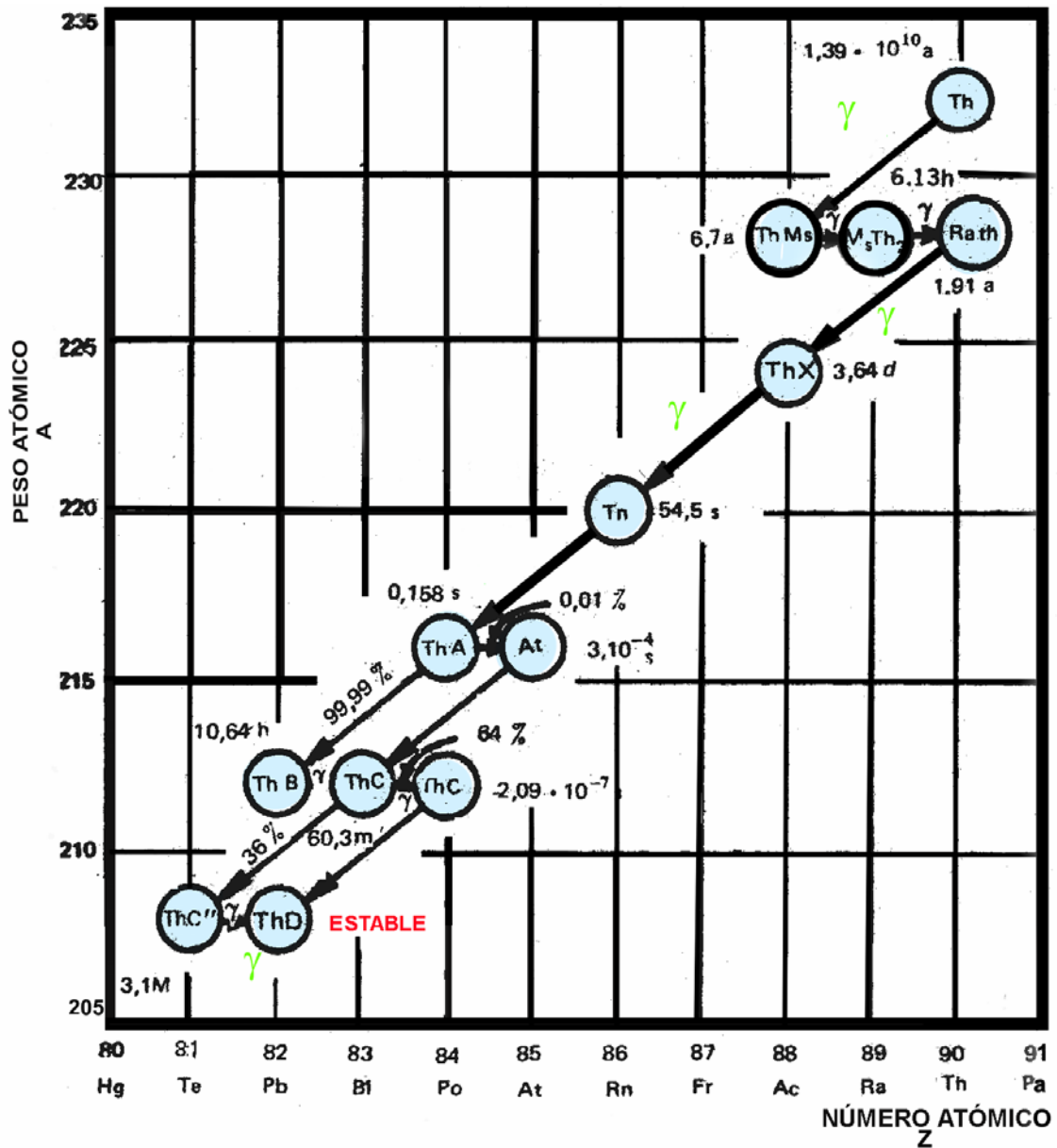


**Figura N° 16: Características comunes de las series naturales de desintegración:**

- ☛ El primer elemento de cada serie posee una existencia muy larga, estando su período de semidesintegración entre los valores de  $10^8$  a  $10^{10}$  años.
- ☛ El elemento intermedio de cada serie es un gas radiactivo (Radón, Torio, Actinón) a los cuales se les llama emanaciones. Pertenecen a los gases inertes.
- ☛ Los productos de la desintegración de las emanaciones( RaA, AcA, ThA) son isótopos de polonio cuyo período de semidesintegración es muy pequeño, se forman los isótopos de subíndices B, C, C', C''; que resultan ser las principales emisoras Gamma( $\gamma$ ) de todas las series radiactivas (en la de U, es el 98%).
- ☛ Todas las series radiactivas finalizan en un isótopo de plomo estable: RaG (Pb206), AcD (Pb207) y ThD (Pb208), correspondientes a las series del U, AcU y Th respectivamente.

**Fuente:** Calzadilla, 1978

El desarrollo de reactores nucleares hizo posible la producción a gran escala de isótopos radiactivos de casi todos los elementos de la tabla periódica, y la disponibilidad de estos isótopos supone una ayuda incalculable para la investigación química y biomédica.

En la tabla N° 17, se presenta la vida media de los isótopos más importante de los tres radioelementos naturales. A continuación se expone algunas de las propiedades más significativas de los radioelementos naturales potasio, uranio y torio.

| ISÓTOPO    | VIDA MEDIA (VM)          |                                                                    |
|------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| $K^{40}$   | $1.3 \cdot 10^9$ años    | 1.46 Mev decae a Argón 40 ( $Ar^{40}$ )                            |
| $U^{238}$  | $4.4 \cdot 10^9$ años    | Una serie de isótopos producen rayos gamma con diferentes energías |
| $Th^{232}$ | $1.4 \cdot 10^{10}$ años |                                                                    |

Tabla N° 17: La vida media de los isótopos más importante de cada radioelemento natural.

### Potasio ( $K^{40}$ )

Es un elemento incorporado en 2.6% a la corteza de la tierra, es relativamente abundante en la naturaleza. Sin embargo, sólo un fragmento pequeño (0.0118%) de potasio natural es radiactivo, por lo que se define como un decaimiento ramificado. Contiene siempre tres (3) isótopos:  $K^{39}$  (93.38 %),  $K^{40}$  (0.012 %) y el  $K^{41}$  (6.61 %), en la tabla N° 16, se muestra el decaimiento ramificado. Los fotones gamma emitidos por el  $K^{40}$  son monoenergéticos y su energía es de 1461 Kev. La tasa de emisión es de 3.3 cuantos / seg  $(gk)^{-1}$

Debido a la presencia del radioisótopo  $K^{40}$  en el potasio natural, abundante en la corteza terrestre, este elemento brinda un gran aporte a la radiactividad total de la roca. Materiales tales como las arenas de cuarzo puro, piedra caliza y rocas ultramáficas serpentinizadas son particularmente pobres en potasio.

| ISÓTOPO RADIACTIVO Y PRODUCTO DE LA DESINTEGRACIÓN | SÍMBOLO ISOTÓPICO                       | NÚMERO MÁSICO | NUMERO ATÓMICO | % ABUNDANCIA RELATIVA DEL ISÓTOPO EN LA NATURALEZA | TIPO DE RADIACIÓN              | VIDA MEDIA                  |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|----------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| POTASIO-40<br>↓ (89%)<br>CALCIO-40                 | K <sup>40</sup><br><br>Ca <sup>40</sup> | 40<br><br>40  | 19<br><br>20   | 0,012<br><br>97, 97 (calcio común)                 | γ, β <sup>-</sup>              | 1, 3 x 10 <sup>9</sup> años |
| Potasio-40<br>↓ (11%)<br>Argón-40                  | K <sup>40</sup><br><br>A <sup>40</sup>  | 40<br><br>40  | 19<br><br>18   | 0,012<br><br>99,60 (A común)                       | Captura de electrón K<br><br>γ |                             |

Tabla N° 18: DECAIMIENTO RAMIFICADO DEL POTASIO. Fuente: Radioactividad terrestre, mayo 1983, Guía Facultad de Ingeniería. Geografía General. U.C.V.

## Uranio (U<sup>238</sup>)

Uranio, elemento 92 de la tabla periódica, es un elemento radiactivo natural que ocurre en la asociación con dos otros elementos radiactivos, potasio, elemento 19, y torio, elemento 90. El uranio es un elemento formado por tres isótopos cuyos números másicos son 238, 235 y 234. El U<sup>238</sup> (abundancia 99.3 %) y el U<sup>235</sup> (0.7 %) son nucleidos primarios que se transforman en isótopos estables del plomo mediante sucesivas desintegraciones alfa y beta. El U<sup>234</sup> (0,01%) es un radionucleido intermedio en la cadena de desintegración del U<sup>238</sup>, como se ve en la tabla N° 19 de la serie de desintegración del uranio.

Un gramo de uranio es fuente indirecta de casi 50.000 fotones por segundo, de los cuales más del 90 % se originan en la cadena de desintegración del U<sup>238</sup>. Casi dos tercios de los fotones procedentes de este radionucleido tienen energía comprendida entre 242 y 2448 kev. Principalmente son emitidos por el Bi<sup>214</sup> y el Pb<sup>214</sup> que son hijos del U<sup>238</sup>. La tabla que se presenta a continuación, muestra las principales emisiones de fotones gamma en la serie de desintegración del U<sup>238</sup>. Alrededor de un tercio de los fotones del U<sup>238</sup> son rayos X y gamma (γ) con energías inferiores a los 100 kev. Una pequeña parte de los fotones de la serie de desintegración del uranio, emitidos por el U<sup>235</sup>, tienen energía de 185.7 kev. El proceso en esta serie, como en la del torio es muy complejo, pues se generan una serie de isótopos intermedios inestables antes de llegar al isótopo estable final, cada uno de ellos producen rayos gamma con diferentes energías, que se analizarán más adelante. Esta serie de

desintegración radiactiva, denominada serie uranio-radio, continúa de forma similar con otras cinco emisiones alfa y otras cuatro emisiones beta hasta llegar al producto final, un isótopo no radiactivo (estable) del plomo (el elemento 82) con número másico 206. En esta serie están representados todos los elementos de la tabla periódica situados entre el uranio y el plomo, y cada isótopo puede distinguirse por su periodo de semidesintegración característico. Todos los miembros de esta serie tienen un rasgo común: si se resta 2 a sus números másicos se obtienen números exactamente divisibles por 4, es decir, sus números másicos pueden expresarse mediante la sencilla fórmula  $4n + 2$ , donde  $n$  es un número entero.

### SERIE DEL URANIO ( $U^{238}$ )

| ISÓTOPO RADIACTIVO Y PRODUCTO DE LA DESINTEGRACIÓN | SÍMBOLO ISOTÓPICO | NÚMERO MÁSICO | NUMERO ATÓMICO | % ABUNDANCIA RELATIVA DEL ISÓTOPO EN LA NATURALEZA | TIPO DE RADIACIÓN | VIDA MEDIA                |
|----------------------------------------------------|-------------------|---------------|----------------|----------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| <b>Uranio-238</b><br>( $U_1$ )                     | $U^{238}$         | 238           | 92             | 99,28<br>(U común)                                 | $\alpha$          | $4,51 \times 10^9$ años   |
| <b>Torio-234</b><br>( $UX_1$ )                     | $Th^{234}$        | 234           | 90             |                                                    | $\gamma, \beta^-$ | 24,1 días                 |
| <b>Protoactinio-234</b><br>( $UX_2$ )              | $Pa^{234}$        | 234           | 91             |                                                    | $\gamma, \beta^-$ | 1,17 minutos              |
| <b>Uranio-234</b><br>( $U_{11}$ )                  | $U^{234}$         | 234           | 92             | 0,006                                              | $\gamma, \alpha$  | $2,5 \times 10^5$ años    |
| <b>Torio-230</b><br>(Ionio)(Io)                    | $Th^{230}$        | 230           | 90             |                                                    | $\gamma, \alpha$  | $8,0 \times 10^4$ años    |
| <b>Radio-226</b>                                   | $Ra^{226}$        | 226           | 88             |                                                    | $\gamma, \alpha$  | 1622 años                 |
| <b>Radón-222</b>                                   | $Rn^{222}$        | 222           | 86             |                                                    | $\gamma, \alpha$  | 3,82 años                 |
| <b>Polonio-218</b><br>(Ra A)                       | $Po^{218}$        | 218           | 84             |                                                    | $\alpha$          | 3,05 minutos              |
| <b>Plomo-214</b><br>(Ra B)                         | $Pb^{214}$        | 214           | 82             |                                                    | $\gamma, \beta^-$ | 26,8 minutos              |
| <b>Bismuto-214</b><br>(Ra C)                       | $Bi^{214}$        | 214           | 83             |                                                    | $\gamma, \beta^-$ | 19,9 minutos              |
| <b>Polonio-214</b><br>(Ra C)                       | $Po^{214}$        | 214           | 84             |                                                    | $\alpha$          | $1,6 \times 10^{-4}$ seg. |
| <b>Plomo-210</b><br>(Ra D)                         | $Pb^{210}$        | 210           | 82             |                                                    | $\gamma, \beta^-$ | 19,4 años                 |
| <b>Bismuto-210</b><br>(Ra E)                       | $Bi^{210}$        | 210           | 83             |                                                    | $\beta^-$         | 5.0 días                  |
| <b>Polonio-210</b><br>(Ra F)                       | $Po^{210}$        | 210           | 84             |                                                    | $\alpha$          | 138.4 días                |
| <b>Plomo-206</b><br>(Ra G)                         | $Pb^{206}$        | 206           | 82             | 25.1                                               |                   |                           |

Tabla Nº 19: SERIE DEL URANIO. Fuente: Radioactividad terrestre, mayo 1983.  
Guía Facultad de Ingeniería. Geografía General, U.C.V.

El uranio aparece en la corteza terrestre como un elemento traza y típicamente se presenta en concentraciones de 1-10 ppm en granito y en sedimentos clásticos de origen granítico. El uranio, específicamente  $U^{234}$ , es el objeto de la búsqueda radimétrica. En ambiente oxidante el uranio forma el ión uranilo hexavalente, que puede ser transportado por las aguas subterráneas y redepositado en sedimentos con cierto contenido de material orgánico, (Trujillo, 1993).

### Torio ( $Th^{232}$ )

El torio está constituido por el nucleido primario  $Th^{232}$  que se desintegra hasta el plomo estable mediante una cadena de transformaciones nucleares parecidas a las del  $U^{238}$ , como se muestra en la tabla N° 20. Un gramo de torio da lugar a la emisión de aproximadamente 15.000 fotones por segundo. Alrededor de un tercio de estos fotones son rayos X cuya energía es de hasta 105 kev. Los otros son fotones gamma con energía comprendidas entre 129 y 2615 kev. La mayoría de los fotones gamma se originan en la desintegración de los radionucleidos  $Ac^{228}$ ,  $Ti^{208}$  y  $Pb^{212}$ .

#### SERIE DEL $Th^{232}$

| ISÓTOPO RADIACTIVO Y PRODUCTO DE LA DESINTEGRACIÓN | SÍMBOLO ISOTÓPICO | NÚMERO MÁSCICO | NUMERO ATÓMICO | ABUNDANCIA RELATIVA DEL ISÓTOPO EN LA NATURALEZA | TIPO DE RADIACIÓN            | VIDA MEDIA                |
|----------------------------------------------------|-------------------|----------------|----------------|--------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <b>Torio-232</b>                                   | $Th^{232}$        | 232            | 90             | 100                                              | $\alpha$                     | $1,4 \times 10^{10}$ años |
| <b>Radio-228</b>                                   | $Ra^{228}$        | 228            | 88             |                                                  | $\beta^-$                    | 6,7 años                  |
| <b>Actinio-228</b>                                 | $Ac^{228}$        | 228            | 89             |                                                  | $\beta^-$                    | 6,1 horas                 |
| <b>Torio-228</b>                                   | $Th^{228}$        | 228            | 90             |                                                  | $\alpha$                     | 1,9 años                  |
| <b>Radio-224</b>                                   | $Ra^{224}$        | 224            | 88             |                                                  | $\alpha$                     | 3,64 días                 |
| <b>Radón-220</b>                                   | $Rn^{220}$        | 220            | 86             |                                                  | $\alpha$                     | 54,5 seg.                 |
| <b>Polonio-216</b>                                 | $Po^{216}$        | 216            | 84             |                                                  | $\alpha, \beta$              | 0,16 seg.                 |
| <b>Plomo-212.</b>                                  | $Pb^{212}$        | 212            | 82             |                                                  | $\beta$                      | 10,6 horas                |
| <b>Bismuto-212</b>                                 | $Bi^{212}$        | 212            | 83             |                                                  | 63 % $\beta$<br>37% $\alpha$ | 1 hora                    |
| <b>Polonio-212</b>                                 | $Po^{212}$        | 212            | 84             |                                                  | $\alpha$                     | $3 \times 10^{-7}$ seg.   |
| <b>Talio-207</b>                                   | $Tl^{207}$        | 207            | 81             |                                                  | $\beta$                      | 4,8 minutos               |
| <b>Plomo</b>                                       | $Pb^{207}$        | 207            | 82             | 52,29<br>(El isótopo más común)                  |                              |                           |

Tabla N° 20: SERIE DEL  $Th^{232}$ . Fuente: Radioactividad terrestre, mayo 1983.  
Guía Facultad de Ingeniería. Geografía General. U.C.V.

La serie del torio, llamada serie  $4n$  porque los números másicos de todos sus miembros son exactamente divisibles por cuatro, y la serie del actinio o serie  $4n+3$ .

El elemento original de la serie del torio es el isótopo torio 232, y su producto final es el isótopo estable plomo 208. El torio (Th) se presenta típicamente en concentraciones entre 3 y 30 ppm en los materiales de la corteza terrestre. La mayoría del torio contenido en los sedimentos puede ser transportado por la caolinita u otros minerales de la arcilla o en minerales pesados tales como zircón o monazita (Trujillo, 1993). La importancia económica del Th es mucho menor que la de U, por lo cual, en los trabajos de prospección la búsqueda de éste desempeña un papel secundario.

Además de las series radioactivas naturales detalladas anteriormente, se tienen la serie del carbono-14 (radiación  $\beta$ ), rubidio-87 (radiación  $\beta$ ), lutecio-176 (radiación  $\beta$  o captura de electrón), renio-187 (radiación  $\beta$ ), lantano-138 (radiación  $\beta$  o captura de electrón), indio-115 (radiación  $\beta$ ) y samario-147 (radiación  $\alpha$ ); la mayoría con períodos de vida media largos. Además, se sabe que el telurio-130, el estaño-124, vanadio-50, neodimio-144( $\alpha$ ) y cerio-142 son radioactivos con períodos de semidecaimiento muy largos ( $10^{10}$  a  $10^{15}$  años) y sólo se presentan en trazas (Orihuela, 1983).

La evaluación y interpretación de la emisión de rayos gamma, cuyo número y energía son distintivos de cada elemento radioactivo, es la base de este trabajo de investigación.

#### 3.1.1.5- Naturaleza estadística del fenómeno radiactivo

Los eventos radiactivos son completamente acontecimientos del azar, es decir el decaimiento radiactivo es un proceso promediado sobre numerosos átomos, y el resultado real depende de la estadística. Por lo que se debe manejar los datos y el análisis de los registros radiactivos con la matemática de las estadísticas. Cada uno de los átomos de un nucleido radioactivo particular posee la misma probabilidad de desintegrarse, cualquiera que sea su edad, el proceso es estadísticamente fortuito.

Las medidas de radiación están sujetas a errores estadísticos y la exactitud de las medidas incrementa con el aumento del tiempo del conteo del tiempo o de la constante del tiempo.

Al escoger una lectura arbitrariamente de una medición radiactiva, se espera para que sea representativo del valor inmutable de esa sucesión específica de

eventos, que acontece en la desintegración de un determinado radioelemento; es decir que halla sido adquirida en un tiempo ( $t$ ), lo suficientemente largo que garantiza la calidad de dicha medición.

Debido a la naturaleza del azar del pulso inicial señalado en un equipo de medición, la longitud de tiempo durante el pulso subsiguiente no puede manifestarse. A esto se llama el tiempo-muerto del sistema de un determinado equipo de medición. El tiempo muerto es determinado por uno o más de varios métodos, donde la corrección del tiempo-muerto es una corrección de probabilidad.

Para cuantificar la calidad de los datos en mediciones de la radiactividad, se hace necesario efectuar un análisis estadístico, empleando estadística clásica; combinando esta disciplina con la geología, es decir la Geoestadística.

La geoestadística emplea la teoría del probabilismo, que es considerada la más eficaz para la estimación de reserva de mena de depósitos minerales. Es aplicada en el análisis de los datos sísmicos dirigidos a la búsqueda del petróleo, con el fin de obtener la descripción de estos depósitos.

La aplicación de la geoestadística a la interpretación de mediciones radiactivas, especialmente las realizadas en campo, es una contribución importante en el desarrollo de este trabajo de investigación.

El principio mayor en que se basa la geoestadística es que las variables naturales son determinadas, es decir que ellas muestran las correlaciones en el espacio. El propósito de esta tarea es mostrar algunas aplicaciones útiles en la interpretación de este tipo de datos. El análisis geoestadístico se llevará a cabo entonces en todas las mediciones y espesor determinados de las inversiones. Estas estimaciones pueden realizarse en dos dimensiones o tres espacios dimensiones. Este análisis permite entender más completamente los datos, ayuda a verificar la consistencia espacial de las inversiones encima del área entera del estudio. Permite la construcción automática de secciones, a lo largo de las líneas o perfiles de levantamiento o cualquier dirección determinadas por el usuario. Estas secciones se



dan con los intervalos de confianza para cada profundidad. Ellos son calculados con todos los datos circundantes, incluso esos datos que no se alinean a lo largo de la sección. La incertidumbre en la determinación de los parámetros de tierra de capas puede ser incluida en el análisis.

La geoestadística ofrece un análisis cuantitativo en la manera de determinar si pueden explicarse los fenómenos característicos estudiados.

#### 3.1.1.6- Equilibrio radiactivo

Como las leyes físicas que gobiernan el decaimiento radiactivo obedecen universalmente a leyes del tipo exponencial, y conociendo debidamente los fundamentos de esta desintegración radiactiva (emisión de energía y de partículas materiales, proceso que tiene lugar espontáneamente en algunas sustancias radiactivas naturales), después de un tiempo determinado donde las transformaciones radiactivas (no es afectada por ninguna influencia externa química o física) de un elemento 1, a un elemento 2, representan un proceso o serie radiactiva que llega a un equilibrio, es decir la tasa de desintegración o decaimiento del elemento o radioelemento (radionucleido) padre es igual a la tasa de formación del hijo.

#### **Ley de decaimiento exponencial de núcleos radiactivos.**

La tasa o velocidad a la cual un proceso de decaimiento particular ocurre en una muestra radiactiva es proporcional al número de núcleos radiactivos presentes (es decir, aquellos núcleos que aún no ha decaído). Si  $N$  es el número de núcleos radiactivos presentes en algún instante, la tasa de cambio de  $N$  es:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (1)$$

donde  $\lambda$  recibe el nombre de constante de decaimiento y es la probabilidad de decaimiento por núcleo por segundo, además tiene un valor característico para cada isótopo. El signo menos indica que  $dN / dt$  es negativa, esto es;  $N$  está disminuyendo en el tiempo. Si se escribe la ecuación (1) en la forma:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

al integrar la expresión para obtener

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

entonces resolviendo queda que:

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t$$

la ecuación final será (2); se deduce de aquí que el número de átomos del isótopo activo aún presentes después de tiempo  $t$  decrece en progresión geométrica (figura N° 17), es decir disminuye exponencialmente con el tiempo.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

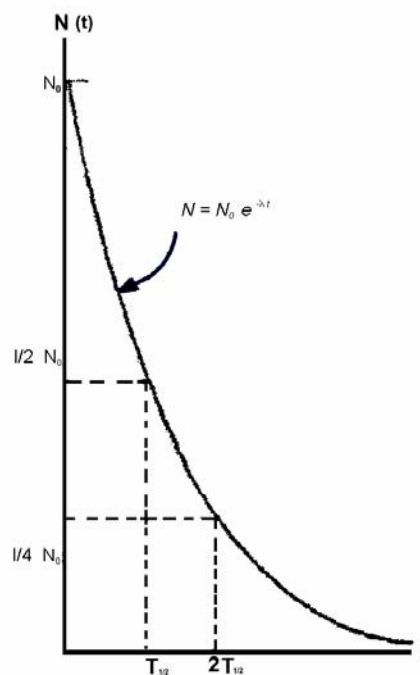


**Figura N° 17: Grafica de la ley de decaimiento exponencial de núcleos radiactivos. El eje vertical representa el número de núcleos radiactivos presentes en cualquier tiempo  $T$ , y el eje horizontal es el tiempo el tiempo  $T_{1/2}$  es la vida media de la muestra. Fuente: Pedro Sánchez Galiano, 2001.**

La tasa de decaimiento o el número de decaimientos por segundo de una muestra se conoce como su actividad. Otro parámetro útil en la caracterización del decaimiento de un núcleo particular es la vida media,  $T_{1/2}$ .

### La vida media de una sustancia radiactiva

La vida media de una sustancia radiactiva es el tiempo que tarda en decaer la mitad de un número dado de núcleos radiactivos (fig. N° 18). Al considerar  $N = N_0/2$  y  $t = T_{1/2}$  en la ecuación (2), se obtiene:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

Al escribir esto en la forma  $e^{\lambda T_{1/2}}$ , tomando el logaritmo natural de ambos lados se tiene la ecuación de la vida media:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (4)$$

Ésta es una expresión conveniente que relaciona la vida media con la constante de decaimiento. Después de un tiempo transcurrido de una vida media, quedan (por definición)  $N_0/2$  núcleos radiactivos; después de dos vidas medias la mitad de éstos han decaído y quedan  $N_0/4$  núcleos radiactivos. Después de tres vidas medias, quedan  $N/8$ , etc.

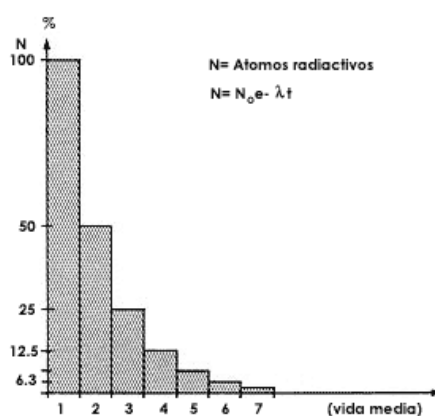


Figura N° 18: Actividad de un isótopo radiactivo en función del tiempo transcurrido. Después de una vida media el isótopo radiactivo le queda sólo la mitad de su radiactividad. Fuente: Pedro Sánchez Galiano, 2001.

En general, después de  $N$  vidas medias el número de núcleos radiactivos que queda es  $N_0 / 2^n$ . De este modo se tiene que el decaimiento nuclear es independiente de la historia pasada de una muestra.

### **Ley del inverso del cuadrado de la distancia**

Cuanto más alejada esté una fuente de radiación menor es la intensidad que se puede medir. El mismo número de partículas atraviesa cada superficie. La intensidad (número de partículas / superficie x tiempo) disminuye con el cuadrado de la distancia (fig. N° 19). Al considerar como puntual la fuente de radiación, es decir, de tamaño casi nulo (si la distancia a ella es lo suficientemente grande) la intensidad de la radiación en un punto será inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de dicho punto a la fuente. Si se dobla la distancia a la fuente la intensidad se reduce cuatro veces. Si la distancia se multiplica por tres la intensidad se reduce a un octavo y así sucesivamente.

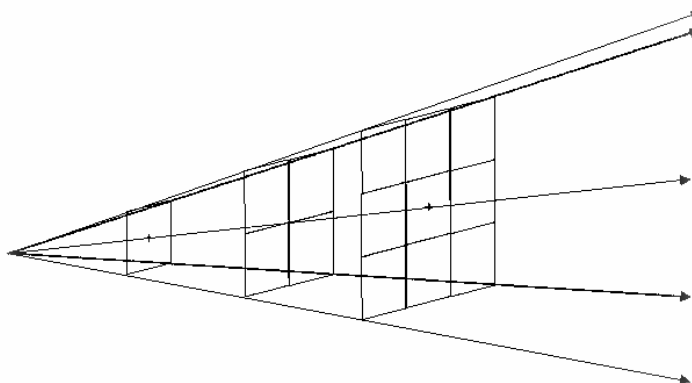


**Figura N° 19: El mismo número de partículas atraviesa cada superficie. La intensidad (n° de partículas / superficie x tiempo) disminuye con el cuadrado de la distancia.**  
Fuente: Pedro Sánchez Galiano, 2001.

Si los átomos de uranio y de torio permanecen aislados un tiempo suficientemente grande, pueden llegar al equilibrio radiactivo con sus hijos emisores de radiación gamma. Esto significa que la radiación gamma emitida por la unidad de masa del material es una medida directa de la concentración de uranio o torio respectivamente.

## De las transformaciones radiactivas al equilibrio

En las transformaciones radiactivas un elemento 1 se transforma en otro elemento 2 que a su vez puede ser también radiactivo. Al elemento 1 se le llama padre y al 2 hijo. Si el elemento 2 es radiactivo se transformará en otro elemento 3 que también puede ser radiactivo o no y así sucesivamente. Se puede representar este proceso, o serie radiactiva indicada anteriormente, así:

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \dots \rightarrow n$$

Después de un tiempo determinado la serie estará en equilibrio, es decir la tasa de desintegración del radionucleido padre es igual a la tasa de formación del hijo. Un caso muy importante de equilibrio en una serie radiactiva es el llamado equilibrio secular que tiene lugar cuando la actividad del padre no decrece apreciablemente durante un tiempo igual a varias vidas medias del hijo (Trujillo, 1993). Sea  $N_1$  el número de átomos del padre  $\lambda_1$  su constante de desintegración y  $N_2$ ,  $\lambda_2$  las correspondientes al hijo se puede demostrar que la condición para que haya equilibrio secular es:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

Si la serie radiactiva consta de un número  $n$  de miembros, la condición anterior se convierte en:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_n N_n$$

Cuando se cumple esta condición es posible determinar la cantidad del padre de la serie midiendo la radiación procedente de cualquiera de los hijos. Es decir es una medida directa de la concentración del radioelemento respectivamente.

Si uno ó más de los hijos se pierde por cualquier proceso que no sea la desintegración radiactiva, o si el padre no fue depositado con suficiente tiempo, la ecuación anterior no se cumple. Puesto que cada hijo es un elemento con sus propias características, físicas y químicas, se puede comportar de diversas maneras de acuerdo con el ambiente en que se encuentre.

Se puede subdividir la serie de desintegración del uranio en cinco grupos separados, de acuerdo con su estado de equilibrio radiactivo. Estos grupos están

encabezados por los elementos uranio,  $\text{Th}^{230}$ ,  $\text{Ra}^{226}$ , radón y plomo, mostrada en la figura N° 20. Los elementos dentro de cada grupo tienden a permanecer en equilibrio con el padre del grupo, aunque éste no esté en equilibrio con el padre de la serie  $\text{U}^{238}$ .

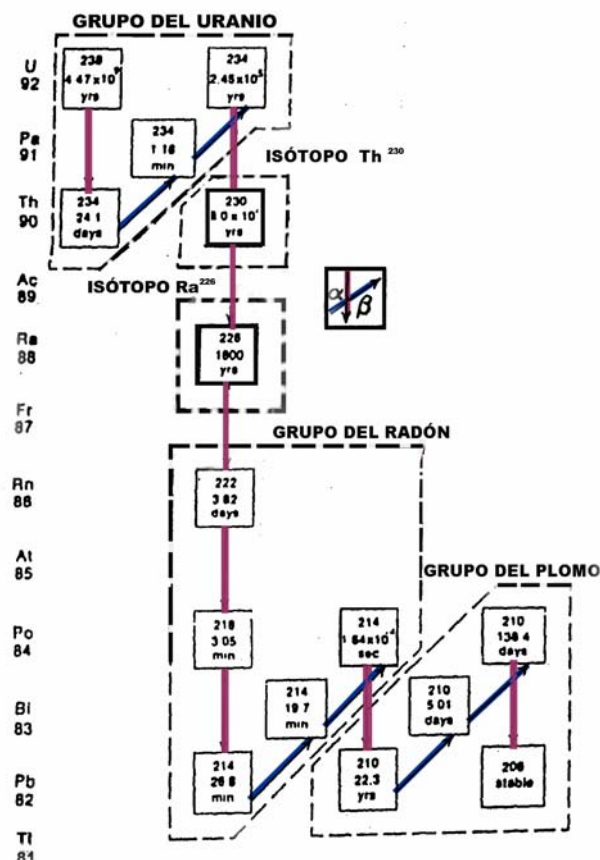


Figura N° 20: Clasificación de la serie de  $\text{U}^{238}$  en grupos de isótopos con respecto a su estado de equilibrio radiactivo. Fuente: Trujillo, 1993.

Depende de la vida media del hijo de mayor vida media en la cadena de desintegraciones posteriores al padre para que se establezca el equilibrio radiactivo.

Para la exploración geológica-geofísica es deseable obtener una medida, tan directa como sea posible, de la concentración de los radioelementos en las rocas y suelos con el propósito de localizar la posible mineralización. Estas determinaciones radimétricas se identifican como **equivalentes**. Si se dan las condiciones de equilibrio en una determinación radimétrica, ésta es equivalente a la concentración de un elemento, por lo que las concentraciones de uranio y torio se expresan en partes por

millón (ppm eU y eTh ppm, respectivamente). En el potasio, el desequilibrio no lo afecta por lo que se expresa en porcentaje (%).

### **Equilibrio en la serie del $U^{238}$**

Los principales emisores gamma,  $Pb^{214}$  y  $Bi^{214}$ , se forman por desintegración del Radón,  $Rn^{222}$ . El radón es un gas noble y representa la mayor fuente de desequilibrio de la serie ya que, por su período de desintegración de 3.82 días, puede emigrar a distancias sustanciales de su fuente.

La relación escape / producción de radón, o poder de emanación de una roca, es menor cuando el uranio está situado dentro de cristales grandes, no alterados, de un mineral primario de uranio tal como la uraninita. Mientras que los materiales finamente pulverizados o aquellos que llevan uranio en forma de revestimiento de partículas, pueden perder una fracción importante del radón producido.

El radón perdido por un material sellado es reemplazado por el radionucleido padre,  $Ra^{226}$ , en un período de 3 a 4 semanas. Puesto que hay muy pocas transiciones gamma antes del  $Pb^{214}$  o el  $Bi^{214}$  en la desintegración del  $U^{238}$ , la radiación gamma de una fuente sellada es principalmente una medida del contenido de radio de esta fuente. Debido a que el  $Ra^{226}$  tiene una vida media de 1600 años, aún sin la presencia del  $U^{238}$ , continuará la fuente emitiendo gammas del  $Bi^{214}$  y del  $Pb^{214}$  durante muchos años.

En general en los depósitos de uranio de tipo arenisca se acepta la falta de equilibrio radiactivo. La razón es que el uranio se mueve dentro de la arenisca. Para la mayoría de las otras rocas no se sabe mucho acerca del estado de equilibrio radiactivo en general, pueden darse estados de desequilibrio en pequeña escala a lo largo de juntas a fracturas en rocas.

### **Equilibrio de la serie del $Th^{232}$**

La serie de desintegraciones del torio ( $Th^{232}$ ) se puede considerar generalmente en equilibrio. El gas  $Rn^{220}$  tiene una vida media de solamente 55 segundos y, por lo tanto no puede emigrar muy lejos en los espacios porosos del material que forma la fuente. Además, los dos hijos del torio de mayor período de

desintegración  $\text{Ra}^{228}$ , que viene del  $\text{Ac}^{228}$ , y el  $\text{Th}^{228}$ , tienen solamente 6.7 y 1.9 años respectivamente. Por la tanto, el torio depositado recientemente alcanza el equilibrio radiactivo en aproximadamente 50 años. En las muestras geológicas la cantidad del  $\text{Th}^{232}$  puede calcularse midiendo la actividad en el pico de 2.62 Mev del hijo  $\text{Th}^{208}$ .



### 3.1.2- Geoquímica de los radioelementos naturales

Existe en la distribución de los elementos radiactivos en la superficie de la Tierra, un hecho cuya importancia es considerable, a saber, la extrema dispersión de estos elementos. Los cuerpos radiactivos existen, en efecto, en estado difuso y se encuentran en cantidades muy pequeñas pero siempre medibles, en toda sustancia terrestre. Aunque la ocurrencia de los radioelementos naturalmente es poca en número, ellos son de importancia considerable en la geoquímica, debido a su sensibilidad y distribución casi general, como los indicadores de los procesos geológicos. La distribución de la ocurrencia de los radioelementos es un componente importante del cartografiado geoquímico regional y mundial.

La desintegración de los elementos radiactivos produce desprendimiento de energía, pero también es la causa de la modificación del medio ambiente químico. Pueden producirse ciertas trasmutaciones y pueden aparecer átomos nuevos. Aunque el estudio de estos fenómenos no está aún lo suficientemente avanzado como para poner en evidencia profundas modificaciones, es bien evidente que la acción de las radiaciones durante centenas de millones de años debió ser la causa de fenómenos geológicos y mineralógicos importantes. Los minerales pueden ser sensiblemente modificados en sus propiedades, físicas o químicas, por la radiactividad. Es así como ciertos minerales, muy ricos en uranio o en torio, presentan deformaciones importantes en su red cristalina, deformaciones debidas a la liberación de átomos de helio en el interior del cristal, y al retroceso del núcleo radiactivo y a su transformación.

Hay muchas semejanzas y muchas diferencias en el comportamiento geoquímico de los radioelementos que controlan la distribución observada en el ambiente natural y que deberían conocerse antes de emprender cualquier estudio radimétrico ambiental. De allí que se debe conocer la abundancia de estos elementos radiactivos en la corteza terrestre. Aparecen diferencias geoquímicas bajo condiciones fuertemente oxidantes, las cuales pueden existir más allá de la etapa de formación de pegmatita bajo condiciones supragénicas. Esto sucede porque el uranio es hexa y tetravalente, estado éste último que es característico del torio. El uranio y el torio tetravalentes se comportan similarmente y forman varias series minerales isomorfas. Estas pueden aparecer como minerales accesorios en rocas granitoides o concentrarse en las pegmatitas.

Evidentemente no hay gran diferencia de movilidad entre uranio tetravalente y torio o potasio bajo la mayoría de las condiciones de formación de las rocas ígneas.

Los trazadores radiogénicos de un isótopo pueden ser herramientas de gran alcance para buscar métodos ambientales y geoquímicos, establecer la sincronización relativa de contribuciones químicas a los depósitos urbanos de agua. Igualmente se han usado tradicionalmente para:

- Establecer la identidad de depósitos los metales abastecedores de interés económico.

- Proporcionar información sobre el origen de piedras que organizan los depósitos de la mena en los ambientes geológicos diferentes.

- Proporcionar las visiones en la génesis y evolución de los sistemas de mineralizaciones para explicar la dotación del metal en una región.

- Reconocer fluidos involucrados con la formación de depósitos de la mena y catalogar la mena económicamente tomando en cuenta las composiciones isotópicas similares y lograr diferenciar lo económico y el subeconómico en una misma región.

- También se han comenzado usar para evaluar procesos que llevan a la disponibilidad de metales en los depósitos de mineral al ambiente de la superficie y considerar el efecto y toxicidad de las minas en sus ambientes inmediatos.

- Pueden ser herramientas de gran alcance para buscar métodos ambientales y geoquímicos para establecer la sincronización relativa de contribuciones químicas a los depósitos urbanos del agua.

Se debe destacar que el uranio, el torio y el actinio no son los únicos elementos radiactivos. Hay que sumar a ellos el rubidio 87, el samario 147, el lutecio 176 y el potasio 40. Este último, sobre todo, está muy difundido en la naturaleza y se comprende sin mayor esfuerzo la importancia que la radiactividad puede adquirir en geología y en mineralogía.

En las rocas ígneas aumentan los contenidos de U, Th y K con el contenido de sílice incluyendo la fase pegmatítica. Las abundancias relativas de los radioelementos permanecen casi constantes sobre este rango de cristalización, lo cual es muy útil en la exploración. Estos tres elementos son oxigenófilos\* y tienen radios iónicos grandes. Estos dos factores controlan su cristalquímica.

En la tabla N° 21 se resumen las propiedades químicas de los radioelementos K, U y Th, como pueden transportarse y en que tipo de sedimentos abundan, tomando en consideración la determinación del ciclo geoquímico en el proceso de composición de las rocas.

#### 3.1.2.1- Geoquímica del potasio

Símbolo : **K**

Elemento químico de número atómico: **19**.

Peso atómico: **39**

Descubierto por: Humphry Dhabí en 1807.

Metal muy abundante en la corteza terrestre; se encuentra en forma de sales, generalmente silicatos, en muchos minerales y en el agua del mar. De color blanco argénteo, blando y con punto de fusión muy bajo, su hidróxido, la potasa, era conocido de antiguo como el álcali vegetal. Es un oligoelemento fundamental en el metabolismo celular y algunos de sus derivados se usan como fertilizantes.

El potasio (K) es un elemento cuyo comportamiento está íntimamente relacionado con la meteorización de la roca madre, ya que su abundancia en suelos y sedimentos depende del grado de meteorización que sufra dicha roca. Es uno de los elementos más móviles, pero su movilidad puede disminuir si es absorbido por las arcillas en los ambientes naturales. Las concentraciones de potasio en las arcillas están más relacionadas con la mineralogía. En la degradación de los silicatos (feldespatos y micas) hay diferentes etapas en el proceso de meteorización, obteniéndose illita (o montmorillonita) en la primera etapa y caolinita (no posee potasio en su fórmula química) en la segunda.

---

\* Ver glosario

|           | PROPIEDADES QUÍMICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | TRANSPORTE                                                                             | OCURRENCIA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>K</b>  | Valencia 1 <sup>+</sup><br>➤ Es soluble                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ➤ En solución (grandes distancias)<br>➤ Feldespatos y minerales micáceos en suspensión | Sedimentos detríticos:<br>En arcillas en general<br>En sedimentos inmaduros (feldespatos, micas).<br>En arcillas micáceas (estructuralmente)<br>Sedimentos químicos:<br>En calizas originadas en algas.<br>En evaporitas.                                                                                                                         |
| <b>Th</b> | ➤ Valencia 4 <sup>+</sup><br>➤ Insoluble                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ➤ Únicamente en suspensión                                                             | Solamente en sedimentos detríticos:<br>En minerales arcillosos (por adsorción).<br>En minerales pesados (monazite, allanite).<br>En cenizas volcánicas.<br>En sedimentos residuales que quedan luego que K y U son eliminados por erosión.                                                                                                        |
| <b>U</b>  | ➤ Valencias 4 <sup>+</sup> y 6 <sup>+</sup><br>➤ U <sup>4+</sup> es insoluble<br>➤ U <sup>6+</sup> es soluble en la forma de un ión complejo UO <sup>2+</sup><br>Dependiendo del pH y Eh, el UO <sup>2+</sup> se combina con sulfatos, carbonatos o materiales orgánicos.<br>UO <sup>2+</sup> se precipita con fosfatos. | ➤ En solución<br>➤ En suspensión<br>➤ En animales que fijan uranio                     | ➤ Sedimentos detríticos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• En minerales arcillosos (adsorción).</li> <li>• En minerales pesados (Xenotime, Zircón...)</li> <li>• En cenizas volcánicas.</li> </ul> ➤ Sedimentos químicos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• En carbonatos.</li> <li>• En fosfatos</li> </ul> ➤ En materia orgánica. |

**Tabla N° 21: Propiedades químicas de los radioelementos K, U y Th.**

**Fuente: Schlumberger-Técnicas en Venezuela (1980).**

El análisis de las cantidades de torio (Th) y potasio (K) en las arcillas ayuda a identificar el tipo de arcilla, mientras que el análisis del contenido de uranio puede facilitar el reconocimiento de rocas generadoras.

El potasio y algunos componentes de la serie del uranio son solubles, por lo que su concentración no es necesariamente característica de la depositación, ya que pueden haber sido transportados por las aguas de la formación.

El potasio es el componente químico esencial de minerales como ortosa, microclino, anortoclasa, etc. También se encuentra formando parte de minerales de alteración como la sericita y otros silicatos.

Ciertos tipos de mineralizaciones de uranio están acompañadas por metasomatismo del sodio. Bajo estas condiciones el sodio reemplaza inicialmente al potasio en los minerales que forman la roca y posteriormente aumenta mucho la razón U/K, que siempre se incrementa donde hay mineralización significativa de uranio. La

cantidad de potasio y sodio en el mineral decrece con la erosión química, pues la disminución de ambos en el mineral se obtiene a expensas de la fijación de  $H^+$  derivado del medio ambiente.

#### 3.1.2.2- Geoquímica del uranio

Símbolo: **U**

Elemento químico radiactivo de número atómico: **92**.

Peso atómico: **238**

Descubierto por: Martín Klaproth en 1789.

Metal abundante en la corteza terrestre, se encuentra principalmente en la pechblenda. De color blanco argénteo, muy pesado, dúctil y maleable, es fácilmente inflamable, muy tóxico y se puede fisurar. Se usa como combustible nuclear, y sus sales se emplean en fotografía y en la industria del vidrio; uno de sus isótopos se utilizó en la fabricación de la primera bomba atómica.

La concentración relativa del uranio con respecto a la del torio y del potasio, es un factor de diagnóstico importante en el reconocimiento de posibles depósitos de uranio, a partir de la información derivada del estudio de la radiación gamma. Mientras que la concentración absoluta de los radioelementos puede variar ampliamente y depender de factores tales como cantidad de afloramiento, distancia entre exposición, línea transversal, etc., las razones observadas de las concentraciones de los radioelementos son mucho menos afectadas por estos factores no controlables y pueden dar una primera guía de que hay algún enriquecimiento de uranio en el área en estudio.

Cuando el uranio está contenido en minerales refractarios pesados en un ambiente supergénico, puede ser transportado por la acción mecánica y depositado con otros minerales pesados. Frecuentemente el uranio cambia de lugar cuando está en soluciones de uranilo complejo con iones carbonato, sulfato o cloruro:

- Bajo condiciones reductoras, el ión uranilo se precipita como óxidos primarios complejos con materia orgánica o como hidróxidos insolubles de hierro o manganeso.

- Bajo condiciones oxidantes, los minerales secundarios del uranio se precipitan por evaporación de las soluciones que contienen uranio y pueden formar fosfatos, arsenatos, vanadatos y silicatos, con cobre, calcio, potasio y otros metales.

Los esquistos negros y los fosfatos marinos están enriquecidos en uranio pudiendo contener frecuentemente más de 100 partes por millón (ppm).

La solubilidad, y por tanto la movilidad del uranio, contribuye a la presencia de aureolas o halos primarios y secundarios en las proximidades de la mayoría de los diversos tipos de mineralización y, a menudo, da lugar a que se pueda descubrir un yacimiento. Dependiendo de las circunstancias, el halo secundario puede ser mucho más prominente que el depósito primario y físicamente separado de éste o, a causa de su edad más reciente, puede ser radiométricamente insignificante.

## **CICLO DEL URANIO**

El uranio es, después del torio, el elemento más abundante del grupo de los actínidos. Su clarke (2,7 ppm) es mayor que el de los del estaño, wolframio, molibdeno, antimonio y muchos otros metales que, sin embargo, se encuentran localmente en concentraciones mucho más ricas, ya que el uranio rara vez alcanza más del 1%. El uranio es unas diez veces más abundante en las rocas ácidas que en las básicas. Sus estados de oxidación en la naturaleza son dos:  $U^{4+}$  y  $U^{6+}$  (tabla N° 22).

La uraninita se oxida fácilmente ( $U^{4+} \rightarrow U^{6+}$ ) y forma el ion uranilo ( $UO_2^{2+}$ ), una molécula fuertemente soluble compuesta por dos iones O separados por un ion  $U^{6+}$ . Este ion forma complejos con los iones carbonato  $[(UO_2)(CO_3)_3]^{4-}$  y sulfato  $[(UO_2)(SO_4)_2]^{2-}$ . La solubilidad del uranilo aumenta con la concentración de los iones,  $SO_4^{2-}$  y  $CO_3^{2-}$ ; el primero es independiente del pH, mas no así el ión carbonato. Gran parte del uranio en las rocas se disuelve con facilidad en soluciones ácidas debido a que se encuentra no en los retículos cristalinos, sino como óxido tapizando superficies e intersticios.

| ESTADOS DE OXIDACIÓN DEL URANIO | DIFERENCIAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $U^{4+}$                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>► Por sus potenciales iónicos el ión tetravalente (<math>UO_2</math>) es muy poco soluble en el agua (cae en el grupo II de los elementos).</li> <li>► El ión tetravalente se presenta en las rocas ígneas, el radio (<math>0,97 \cdot \text{\AA}</math>) del ion <math>U^{4+}</math> le permite asociarse con calcio, torio e itrio en minerales accesorios (zircón, titanita, apatita, monacita, ortita); también cristaliza en los intersticios intracristalinos de ciertos minerales. El principal mineral de uranio es la uraninita (<math>UO_2</math>), que se encuentra en pequeña cantidad en ciertos granitos y pegmatitas y en venas metalíferas, asociadas a sulfuros. La uraninita es el principal componente de la pechblenda. En las pegmatitas, el uranio forma parte de compuestos tales como fosfatos, tantalatos y niobatos, además de uraninita y uranotorita.</li> </ul> |
| $U^{6+}$                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>► El <math>U^{6+}</math> es relativamente poco soluble</li> <li>► El ión hexavalente se presenta en los sedimentos</li> <li>► En estado hexavalente el uranio puede formar fácilmente el ión uranilo que es soluble y muy movable. Esto permite la separación y, bajo condiciones favorables, la concentración del uranio. Por lo tanto el uranio puede ser transportado como última etapa de procesos hidrotermales y precipitados separado del torio y del potasio.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Tabla N° 22: Estados de oxidación del uranio en la naturaleza. Fuente: Compilación de González, 1982 y Schlumberger-Técnicas en Venezuela (1980).

El uranilo formado por oxidación en una zona mineralizada es eliminado rápidamente en solución. Pero en climas áridos, y estando en asociación con sulfuros de hierro, la limonita retiene parte del uranio en la zona superficial. Si están allí presentes aniones de vanadio, fósforo y arsénico, éstos forman con el uranilo sales relativamente insolubles, de las característico por su vivo color amarillo limón en las zonas uraníferas de oxidación. También en climas secos, puede encontrarse en la superficie sulfatos básicos, carbonatos y óxidos de uranilo hidratados, que son sólo moderadamente solubles.

En climas más o menos húmedos, el uranio es transportado por las aguas subterráneas. La cantidad acarreada por los ríos y acumulada en el agua de mar es, sin embargo, muy escasa. La mayor parte del uranio se precipita en cuanto encuentra condiciones reductoras suficientes para la reconversión del  $U^{2+}$  a  $U^{4+}$ . Estas condiciones se deben en particular a la materia orgánica, que puede encontrarse tanto sobre el fondo de las cubetas sedimentarias restringidas, como en el interior de los sedimentos por donde circulan las aguas uraníferas. Por ello el uranio se encuentra

asociado por lo general con carbón, madera fósil, lutitas bituminosas, petróleo y asfaltita. La forma del uranio es en estos casos, bien  $\text{UO}_2$  muy finamente subdividido, u óxidos en estado amorfo.

Las acumulaciones más importantes de uranio están en las rocas sedimentarias. Se trata de areniscas, conglomerados, fosforitas, etc., en las que los compuestos del uranio se encuentran como material cementante. El uranio está asociado al vanadio, cobre, oro, etc. El elemento uranífero se distribuye en forma de lentes y su depositación parece haber seguido las zonas de mayor permeabilidad (paleocanales, etc.). Las altas concentraciones de uranio en las arcillas pueden indicar niveles con alto contenido de materia orgánica, dado que el ión uranio es fijado por carbón orgánico en ambientes reductores.

Las hipótesis propuestas para explicar esta concentración del uranio en sedimentos clásticos se dividen en singenéticas y epigenéticas (tabla N° 23). Un hecho cierto es que fenómenos posteriores de oxidación reducción, retransporte, etc., de los depósitos han modificado considerablemente el cuadro genético y dificultan su interpretación. En efecto, todos o casi todos los procesos señalados arriba pueden haber actuado en una u otra parte o momento y haber dejado su huella, aunque sólo uno de ellos sea la causa del aporte inicial del metal.

#### 3.1.2.3- Geoquímica del Torio

Símbolo: **Th**

Elemento químico radiactivo de número atómico: **90**.

Peso atómico: **232**

Descubierto por Jons Berzelius en 1828

Metal del grupo de los actínidos escaso en la corteza terrestre, se encuentra en minerales de las tierras raras. De color plomizo, dúctil y maleable, arde muy fácilmente en el aire. Se usa en la industria nuclear y aleado, para proporcionar dureza a ciertos metales.



| <b>Hipótesis de la Concentración del Uranio en Sedimentos Clásticos</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Singenéticas</b>                                                     | Supone que el uranio se depositó como detrito mineral juntamente con las gravas y arenas (placer).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Epigenéticas</b>                                                     | <p>Las hipótesis epigenéticas, según las cuales el metal radiactivo es posterior a la sedimentación, comprende las siguientes alternativas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Depositación a partir de aguas subterráneas que adquieren el uranio de rocas ígneas vecinas, o de sedimentos portadores (tobas volcánicas, etc. ) asociados a las arenas y gravas. (Si esta precipitación del uranio siguiera inmediatamente a la deposición clástica, el proceso podría ser calificado de singenético).</li> <li>2) Precipitación a partir de soluciones hipogénicas (hidrotermales), producida tal vez al mezclarse con las aguas subterráneas que impregnan el sedimento.</li> <li>3) Exudación de soluciones uraníferas por parte de acumulaciones de petróleo o de esquistos bituminosos.</li> </ol> |

**Tabla N° 23: Hipótesis de la concentración del uranio en sedimentos clásticos.**  
**Fuente: González (1982).**

El torio tiene un comportamiento geoquímico similar al del uranio bajo condiciones hipogénicas. El torio no es susceptible de ser lixiviado bajo la mayoría de las condiciones supergénicas y se presenta principalmente en minerales refractarios pesados que, bajo estas condiciones pueden llegar a concentrarse como residuos en casquetes de laterita o en depósitos en placeres auríferos. En las rocas primarias ígneas, algunas carbonatitas están fuertemente enriquecidas en torio, lo cual también es indicativo de la presencia de tierras raras.

El ión  $\text{Th}^{4+}$  se encuentra muy a menudo adsorbido en los minerales arcillosos debido a su gran radio atómico. En general se observa un aumento del torio con el aumento del contenido de aluminio en los minerales arcillosos.

La abundancia de los elementos radiactivos en la corteza terrestre se indica en la tabla N° 24, además de la concentración de los tres radioelementos naturales en diversos tipos de rocas comunes.

| TIPO DE ROCA             | K %                            | U (PPM) |       | TH (PPM) |        | TH /U |         |
|--------------------------|--------------------------------|---------|-------|----------|--------|-------|---------|
|                          | Promedio                       | Prom.   | Rango | Prom.    | Rango  | Prom. | Rango   |
| Promedio Corteza         | 2.1                            | 3       |       | 12       |        | 4     |         |
| Máficas ígneas           | 0.5                            | 1       | 0.2-3 | 3        | 0.5-10 | 3     | 3-5     |
| Intermedias-ígneas       | 1-2.5                          | 2.3     | 0.5-7 | 9        | 2-20   | 4     | 2-6     |
| Ácidas ígneas            | 4                              | 4.5     | 1-12  | 18       | 5-20   | 4     | 2-10    |
| Sedimentarias arenosas   | 1.4                            | 1       | 0.5-2 | 3        | 2-6    | 3     |         |
| Sedimentarias arcillosas | 2.7                            | 4       | 1-13  | 16       | 2-47   | 4     | 1-12    |
| Calizas                  | 0.3                            | 2       | 1-10  | 2        | -      | 1     |         |
| Esquistos negros         | 2.7                            | 8       | 3-250 | 16       | -      | 2     | Extenso |
| Lateritas                | Bajo                           | 10      | 3-40  | 50       | 8-132  | 5     | Extenso |
| Metamórficas             | Depende del Tipo de Roca Madre |         |       |          |        |       |         |

Tabla 24: Concentración de los tres radioelementos naturales en diversos tipos de rocas comunes, potasio (K) en porcentaje (%), uranio (U) en partes por millón (ppm) y torio (Th) en partes por millón (ppm). Fuente: Trujillo (1993).

La tabla N° 25 indica la razón **U/Th** de rocas y minerales radiactivos típicos y hace énfasis en el hecho de como la presencia de minerales de uranio de interés económico viene acompañada de un pronunciado cambio en esta razón.

| ROCAS                            | RAZÓN U/TH | MINERALES  | RAZÓN U/TH     | MINERALES SECUNDARIOS DE U | RAZÓN U/TH |
|----------------------------------|------------|------------|----------------|----------------------------|------------|
| Promedio de la corteza terrestre | 0.25       | Pechblenda | 1 000 / 50.000 | BRANNERITA                 | 30         |
| Rango normal                     | 0.15/1 0.5 | Uraninita  | 10 / 60        | PIROCLORO                  | 30         |
| Carbonatos sedimentarios         | 1.3        |            |                | BETAFITA                   | 20         |
|                                  |            |            |                | Zircón                     | 0.5 / 1 10 |
|                                  |            |            |                | Torita                     | 0.1 / 0.2  |
|                                  |            |            |                | Monazita                   | 0.1        |
|                                  |            |            |                | Sphene                     | 0.1        |
|                                  |            |            |                | Alanita                    | 0.2        |

Tabla N° 25: Indica la razón U/Th de rocas y minerales radiactivos típicos. Fuente: Trujillo (1993).

#### 3.1.2.4- Geoquímica del bario

Símbolo: **Ba**

Elemento químico de número atómico: **56**

Peso atómico: **137**

Descubierto por: Humphry Davy en 1808

Metal abundante en la corteza terrestre, se encuentra en minerales como la barita y la baritina. Es de color blanco amarillento, blando, pesado, especialmente reactivo y se oxida con rapidez. Otras propiedades en la tabla N° 26. Además se usa para desgasificar tubos de vacío, y alguno de sus derivados, en el blindaje de muros contra radiaciones y como medio de contraste en radiología.

| PROPIEDADES DEL BARIO               |                                    |                                     |                                                    |                                                                                                        |
|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Símbolo</b>                      | Ba                                 | <b>Propiedades Ácido-Base</b>       | La oxidación es básica                             |                                                                                                        |
| <b>Estructura cristalina</b>        | Cúbico centrado en el cuerpo       | <b>Estructura electrónicas</b>      | (Xe) 6s                                            |                                                                                                        |
| <b>Número Atómico</b>               | 56                                 | <b>Isótopos radiactivos</b>         | <b>Ba 131:</b>                                     | <b>Ba 133:</b>                                                                                         |
| <b>Peso Atómico</b>                 | 137                                |                                     | ► Vida media: 12 días                              | ► Vida media: 7,2 años.                                                                                |
| <b>Densidad g/ cm<sup>3</sup></b>   | 3.5                                |                                     | ► Capta electrones en K<br>► Emite radiación gamma | ► Capta electrones en K<br>► Emite radiación gamma<br>► Conversión electrónica interna: e <sup>-</sup> |
| <b>Forma presente</b>               | Gaseoso                            | <b>Propiedades periódicas de Ba</b> | Electronegatividad: 0.9                            |                                                                                                        |
| <b>Inorgánico</b>                   | Ba <sup>++</sup>                   |                                     | Porcentaje de carácter iónico: 19%                 |                                                                                                        |
| <b>Ubicación en tabla periódica</b> | Metal ligero, Período 6. Grupo IIA |                                     | Conductividad eléctrica: 0.016                     |                                                                                                        |
|                                     |                                    |                                     | Conductividad térmica: -----                       |                                                                                                        |

Tabla N° 26: Propiedades físicas y químicas del bario.

Fuente: [www.table of radioactive isotopes. com](http://www.table of radioactive isotopes. com)

El bario es un elemento abundante de la litosfera superior. Se caracteriza geoquímicamente porque a pesar de su abundancia, no forma minerales independientes en las rocas ígneas más que en casos excepcionales.

Debido a la similitud de los radios iónicos del Ba<sup>++</sup> (ri =1.50Å), K<sup>+</sup> (ri =1.59Å) y Sr<sup>++</sup> (ri=1.33Å), el Ba<sup>++</sup> puede sustituir al K y Sr<sup>++</sup>, en diferentes minerales.

La muscovita y la biotita son minerales importantes por su contenido de bario. En la muscovita bórica ollacherita puede existir hasta el 9% de bario, las biotitas báricas pueden tener hasta el 6,16% de bario (CORPOCENTRO, 1996).

El bario se concentra en los oxidados ricos en manganeso debido a que el Mn (OH)<sub>4</sub> está cargado negativamente, por lo que atrae a los cationes, al contrario que el Fe (OH)<sub>3</sub> que está cargado positivamente.

Las soluciones hidrotermales pueden extraer también bario de las rocas adyacentes; las soluciones que resultan se concentran en bario con relación al potasio. Los minerales hidrotermales de bario comprenden, entre otros, los siguientes: la barita ( $\text{BaSO}_4$ ) que es un componente común de muchos filones metalíferos; la whitherita, la hialofana que es común en la dolomita; la barilita, las zeolitas brewsterita, la harmotona, la edingtonita, la cymrita (Flores, 1984). En la tabla N° 27 se enumeran algunas de las propiedades del mineral.

| PROPIEDADES DE LA BARITA ( $\text{BaSO}_4$ )                               |                                                                                                              |                                  |                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sistema:</b><br>Ortorrómbico                                            | <b>Propiedades físicas:</b>                                                                                  | Densidad: 4.50 g/cm <sup>3</sup> | <b>Factores Distintivos:</b><br>► El inusual peso<br>► Insoluble en ácidos                                                                                                            |
|                                                                            |                                                                                                              | Dureza (Mohs): 2.5-3.5           |                                                                                                                                                                                       |
| <b>Cristales:</b> tabulares                                                | <b>Propiedades ópticas:</b><br>Transparente a translúcido                                                    |                                  | <b>Depósitos:</b><br>► Ocurre como masas irregulares<br>► Concreciones.<br>► Nódulos<br>► Rosetones agregados.<br>► Capas laminadas a masivas con cristales finos                     |
| <b>Clivaje:</b> Tiene tres, el más perfecto es el paralelo a la cara [001] | <b>Color:</b> Variables. Van desde el blanco al gris oscuro. Negro es el más común en depósitos comerciales. |                                  | <b>Asociado con minerales:</b><br>Cuarzo, chert, jaspe, calcita, dolomita, siderita, rodocrosita, celestina, fluorita y varios sulfuros: pirita, calcopirita, la galena y esfalerita. |

Tabla N° 27: Propiedades del mineral, Barita ( $\text{BaSO}_4$ ). Fuente: Brobst (1995).

En el presente trabajo, el estudio del elemento bario es imprescindible para la ubicación de las mineralizaciones de barita y se seleccionaron además para análisis, los elementos Zn, Cu, Na, K, Fe, Mn, Ca, Mg y Pb, por su asociación geoquímica con este tipo de mineralización ya que contribuyen con la delimitación de áreas mineralizadas. En el apéndice (D) se presenta una síntesis de este mineral de interés económico.

### Geoquímica Barita ( $\text{BaSO}_4$ )

Durante la meteorización, el bario se disuelve en forma de bicarbonatos, cloruros y **sulfatos**, aunque el sulfato de bario es muy poco soluble en el agua destilada, su solubilidad aumenta cuando existe en la disolución ácido clorhídrico o cloruro de metales alcalinos. También son conocidos como anhídros sulfatos, que entre ellos están la barita, la celestina y la anglesita.

El bario puede separarse de las soluciones que resultan de la meteorización en forma de sulfato de bario por evaporación o neutralización de las aguas (por calizas) o por aumento en la concentración del anión sulfato. Las aguas minerales contienen hasta 10-12 g/litro de bario. Los sulfatos se caracterizan por la solubilidad en aguas y la inestabilidad. Muchos son productos de alteración de los sulfuros, precipitados de las aguas marinas, lagos o resultado de la actividad volcánica.

Las soluciones de bicarbonato pueden precipitar sulfato de bario por la acción de las aguas que contienen sulfato. La absorción del bario por las arcillas es debida a su radio iónico alto y potencial iónico bajo.

El azufre es uno de los más interesantes elementos menores en la geoquímica de la corteza terrestre, a causa sobre todo de los estados de oxidación que le permiten combinarse con una gran gama de cationes en condiciones fisicoquímicas muy dispares. El azufre contiene cuatro isótopos estables,  $S^{32}$  (= 95.1%),  $S^{33}$  (=0.75%),  $S^{34}$  (=4,2%) y  $S^{36}$  (= 0, 016). La relación  $S^{32} / S^{34}$  ha sido estudiada con miras a distinguir los sulfuros hidrotermales de los sulfuros de otros orígenes, en especial sedimentario (González, 1982).

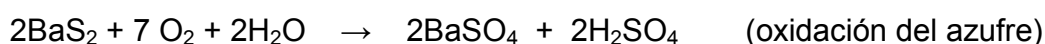
El azufre se encuentra en la corteza en los siguientes tipos de combinaciones: 1) Sulfuros,  $S^{2-}$ ,  $r = 1,84 \text{ \AA}$ , combinado mediante enlace predominantemente covalente con los metales calcófilos y algunos de los siderófilos (en especial el hierro). 2) Estado nativo,  $S^0$ , ( $r = 11,04 \text{ \AA}$ ), en unión covalente formando moléculas  $S_8$  unidas entre por fuerzas de Vander Waals. 3) **Sulfatos**,  $S^{6+}$ , formando moléculas  $SO_4^{2-}$  mayormente covalentes que, a su vez, se unen electrostáticamente con una amplísima gama de cationes.

En las rocas ígneas, el azufre se encuentra exclusivamente en el estado reducido de sulfuros, típicamente pirita. En la zona de meteorización, la pirita se oxida con mediana rapidez pasando el  $S^{2-}$  a  $SO_4^{2-}$ . La presencia de pirita, abundante en depósitos hidrotermales, suele conducir a la hidrólisis de los feldespatos y a la formación de caolín.

El ión  $SO_4^{2-}$  se mantiene en solución en presencia de los cationes alcalinos y alcalinotérreos. La mayor parte de los sulfatos emigra hacia la capa freática y los cursos

de agua. La concentración media de  $\text{SO}_4^{2-}$  en los ríos es de casi 10 ppm. En el agua de mar, el ion sulfato es mucho más abundante (2.700 ppm).

El azufre nativo se encuentra en relación con emanaciones volcánicas y resulta de la oxidación incompleta ( $\text{S}^{2-} \rightarrow \text{S}^0$ ) del ión sulfuro que forma parte importante de aquéllos. Sin embargo, las mayores cantidades de azufre nativo están asociadas con sulfatos (domos de sal, etc.), lo que sugiere que allí pudo haber habido una reducción bacteriana del sulfato.



Por otra parte al hacer un breve enfoque del elemento químico bario (Ba) como formador de mineralizaciones se quiere tratar su relación con los elementos radiactivos naturales como indicadores de mineralizaciones. En la tabla N° 28 se presentan las concentraciones de estos elementos en las rocas. Sin considerar otros elementos que los de las series del uranio, del actinio y del torio, casi se puede afirmar que todas las rocas los contienen; en la sección siguiente se enfoca este punto. Los estudios de la radioactividad, además de su aplicación más obvia que es ayudar en la identificación de minerales de uranio, son de considerable valor en la exploración mineralógica general y en la producción de mapas geológicos.

| ELEMENTO  | NUMERO ATÓMICO | PESO ATÓMICO | ROCAS ÍGNEAS |               |         | ROCAS SEDIMENTARIAS |          |               | SUELO (PROMEDIO) |
|-----------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------|---------------------|----------|---------------|------------------|
|           |                |              | ULTRAMAFICA  | BASALTO GABRO | GRANITO | CARBONATO           | ARENISCA | LUTITA-CALIZA |                  |
| <b>Ba</b> | 56             | 137.34       | 0.4          | 330           | 840     | 92                  | 170      | 550           | 300              |
| <b>K</b>  | 19             | 39.10        | 34           | 8300          | 42000   | 2700                | 10700    | 26600         | 11000            |
| <b>U</b>  | 92             | 238.04       | 0.003        | 0.53          | 3.9     | 2.2                 | 1.7      | 3.7           | 1                |
| <b>Th</b> | 90             | 232.04       | 0.004        | 2.7           | 20      | 1.7                 | 5.5      | 12            | 13               |

Tabla N° 28: Promedio de la abundancia en las rocas de los radioelementos naturales y el bario, en partes por millón (ppm. Fuente: Geochemical Services INC (1991).

### 3.1.3- Radioactividad en las rocas

La radiactividad del suelo y de las rocas no se conoce a ciencia cierta, y en ello estriba, tal vez, uno de los mayores atractivos para su estudio. Todas las rocas y materiales derivados de ellas son radiactivos, y contienen cantidades detectables de una variedad de elementos radioactivos.

En la tabla N° 28 se ha indicado la concentración de los tres radioelementos naturales en diversos tipos de rocas comunes. La concentración absoluta de los radioelementos puede variar ampliamente y depender de factores tales como cantidad de afloramiento, distancia entre exposición y línea transversal, etc., las razones observadas de las concentraciones de los radioelementos son mucho menos afectadas por estos factores no controlables y pueden dar una primera guía, por ejemplo, de que hay algún enriquecimiento de uranio en el área en estudio.

Las rocas derivadas del manto que afloran no poseen uranio, mientras que en las que provienen de la corteza siálica abunda la presencia de uranio. En las rocas ígneas aumentan los contenidos de U, Th y K con el contenido de sílice incluyendo la fase pegmatítica.

El uranio es, después del torio, el elemento más abundante del grupo de los actínidos. Hay que establecer, en efecto, una distinción neta entre los minerales de uranio y de torio que contienen cantidad suficiente de estos elementos como para ser explotados de modo provechoso (1 %, por ejemplo), y las rocas no explotables cuyos tenores son infinitamente menores, pero que, consideradas en conjunto, contienen la parte mayor de los minerales radiactivos terrestres (Park y Macdiarmid, 1981).

La concentración de potasio en las rocas de la corteza terrestre es aproximadamente de 2.5 % con un rango de 0.1 a 5 % o más. Mientras el torio se presenta típicamente en concentraciones entre 3 y 30 ppm en los materiales de la corteza terrestre.

#### 3.1.3.1- Distribución de la radiactividad en las rocas.

La posible distribución de materiales radiactivos en la corteza, se basa en que existe una elevada proporción del material radioactivo de la tierra que se encuentra en una capa delgada de la corteza más la parte superior de la envoltura inferior. Esta capa radioactiva no puede ser de un espesor mayor de unas cuantas decenas de kilómetros, pues de no ser así se produciría una cantidad mayor de calor que la que se perdiese por disipación (Orihuela, 1983).

Por lo tanto la concentración de los elementos radiactivos disminuye a medida que aumenta la profundidad, sustentada en el modelo de distribución de la Tierra, donde a medida que se va del núcleo a la superficie, la cantidad de metal libre disminuye hasta que la parte superior de la envoltura de roca silíceo adquiere una composición similar a la de un silicato ultrabásico. En conjunción a esto se ha demostrado que el gradiente de temperatura en el interior de la Tierra disminuye con la profundidad, en consecuencia la cantidad de material radiactivo existente tiene que disminuir a medida que aumenta la profundidad.

#### 3.1.3.2- La radiactividad de las rocas ígneas

Los estudios de radiactividad proveen medios para subdividir las rocas ígneas ácidas y los sedimentos derivados de ellas, así como para efectuar mapas de horizontes arcillosos y fosfáticos, y de los tipos de suelos derivados. El máximo contenido de uranio lo poseen las rocas ácidas; el mínimo, las ultrabásicas (Calzadilla, 1978).

El estudio de la radiactividad de las rocas ígneas se hizo, primeramente, por métodos radioquímicos, con los que se determinaba la cantidad de radón que aquellas podían contener. El tenor en uranio era luego deducido del de radio, en la suposición de haber alcanzado el equilibrio radiactivo, lo cual no siempre ocurría. Por lo tanto, las medidas no eran muy seguras.

Mediciones más recientes, mediante fluorescencia y hasta por las placas nucleares, dan en efecto, para el conjunto, cifras que aunque dentro del mismo orden de magnitud, son sensiblemente inferiores y más precisas. Además gracias a los avances instrumentales en los métodos de detección y de medición de la radiactividad,



utilizados actualmente, como la espectrometría, son extremadamente sensibles y sobrepasan, en mucho, las mediciones físicas o químicas (Lovborg y Kirkegaard, 1975), lo que ha favorecido el manejo de valores más precisos (tabla N° 28).

Las rocas ígneas contienen uranio y torio, ya sea bajo la forma de inclusiones microscópicas o bien, al estado difuso, en los minerales esenciales, probablemente en reemplazo isomorfo de las tierras raras, de calcio o de algunos otros elementos, o también, para finalizar, en fracturas o intersticios, llevados sin duda por inyecciones hidrotermales que son, por fuerza, posteriores a la cristalización de la roca.

Estas rocas ígneas sufren la erosión y se desmenuzan por la acción de fenómenos como los mencionados anteriormente. Las inclusiones radiactivas y los elementos que contienen uranio y torio, son arrancados del conjunto de la roca. Una parte del uranio y del torio puede ser también disuelta por las aguas, y el todo será arrastrado, transportado y depositado con los otros materiales. Los minerales microscópicos uraníferos y del torio resisten en general bastante mal al desgaste durante su transporte. Sufren entonces una erosión muy grande, una pulverización activa en gran medida y la acción física y química de las aguas.

Las rocas primarias ígneas y algunas carbonatitas están fuertemente enriquecidas en torio, lo cual también es indicativo de la presencia de tierras raras. En la tabla N° 29, se presenta un resumen de las características de la radioactividad en las rocas ígneas.

El uranio y el torio que existen en las rocas ígneas se hallan casi siempre en forma insoluble. El uranio, sin embargo, da a veces, en medio oxidante, compuestos complejos solubles que pueden ser arrastrados por las aguas superficiales o subterráneas y verse llevados lejos de su origen y hasta los océanos. Por lo contrario, el torio y sus isótopos son muy poco solubles. Tienen, por otra parte, la tendencia muy fuerte a la hidrólisis y son fácilmente precipitados.

### 3.1.3.3- Radioactividad en rocas metamórficas y sedimentarias

Es imposible, hallar en la superficie de la Tierra, una roca que no contenga vestigios de uranio o de torio. Todas las rocas, y en particular las rocas sedimentarias, contienen elementos radioactivos en cantidades variables. Típicamente, las arenas limpias contienen pocos elementos radioactivos, y las arcillas mayor cantidad. En general las rocas sedimentarias son poco radiactivas y contienen uranio y torio en estado difundido sobre todo.

En cambio en las rocas metamórficas, la radioactividad va a depender del tipo de roca origen. Es decir la concentración de los radioelementos naturales depende del contenido inicial antes del metamorfismo y de la influencia de los procesos metamórficos, esto puede dar lugar a una variación del contenido de uranio, por ejemplo, de la roca original.

Para mayor precisión, es conveniente hacer una breve explicación del origen de las rocas sedimentarias y la distribución de su radiactividad. Las rocas sedimentarias se formaron a partir de rocas que existían antes que ellas en la superficie de la Tierra: rocas eruptivas, sedimentarias o metamórficas. El uranio y el torio de las rocas sedimentarias provienen entonces, directa o indirectamente, de las rocas eruptivas. Estos radioelementos son removidos, por la erosión y se depositan parcialmente, a causa de su densidad elevada, al pie de la roca madre, o durante el acarreo o transporte, hasta alcanzar las cuencas de sedimentación. Al dispersarse así los elementos radioactivos, las rocas sedimentarias contienen generalmente menos uranio y torio que la roca madre. Una roca sedimentaria atacada por la erosión da a su vez sedimentos menos activos y cada ciclo de sedimentación proporciona, por lo general, rocas cada vez más pobres en elementos radiactivos. Se asiste, además, a una dispersión cada vez mayor de estos elementos. De ello resulta que el uranio y el torio de las rocas sedimentarias se hallan, en la mayoría de los casos, en estado difuso. No se encuentran por lo común entre las rocas sedimentarias yacimientos uraníferos y de torio de gran concentración. En las tablas N° 30 y N° 31 se presentan algunas características de estas rocas y otros depósitos.

|            | ULTRABÁSICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | BÁSICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ÁCIDAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Volcánicas | <p>Los datos muy escasos no permiten aún una interpretación general.</p> <p>Por otra parte es muy difícil evaluar su contenido medio en uranio y en torio.</p> <p>El uranio y el torio no pueden, cuando se encuentran en pequeñas cantidades, formar minerales propiamente dichos, y no se encuentran sino asociados a otros minerales, en particular a los elementos de las tierras raras, al circón y al calcio.</p> | <p>Basaltos presentan menor <math>K^{40}</math>.</p> <p>Los datos sobre radiactividad de las rocas básicas son aún poco numerosos, pero se sabe, desde hace tiempo, que su actividad es decididamente inferior a la de las rocas ácidas.'</p> <p>Las lavas básicas no contienen, por lo común, más de 1 ppm de uranio.</p> <p>Las rocas básicas contienen, término medio, 1 ó 2 ppm y 3 ó 4 ppm de torio, considerando estos valores sino como órdenes de magnitud.</p> <p>Estas rocas tienen un tenor en uranio de aproximadamente tres veces menos de lo que reconoce en las rocas ácidas.</p> <p>Aunque las rocas básicas tengan una radiactividad que se distribuye sobre todo en la masa, pueden a veces encontrarse inclusiones como en las rocas ácidas, pero estas inclusiones tienen una actividad mucho más débil que la comúnmente encontrada en las rocas ácidas.</p> | <p>El uranio es unas diez veces más abundante en las rocas ácidas que en las básicas. Las mediciones de actividad verificada en cierto número de rocas indican actividad muy baja para los gabros, mediana para las dioritas y se eleva mucho para las rocas ácidas.</p> <p>El tenor medio en uranio de las rocas volcánicas ácidas no supera las 5 o 6 ppm.</p> <p>En la naturaleza se reconocen como rocas fuente de uranio, a las rocas graníticas y sieníticas, así como rocas volcánicas ácidas. De estas rocas fuente de uranio se moviliza por meteorización química pasando a solución en aguas meteóricas, de las cuales pueden precipitar en ambiente reductor, en rocas fosfáticas en presencia de iones vanadato y arseniato.</p> <p>Rocas ácidas (granitos y granulitas), un tenor medio en uranio de 3,7 ppm y a un tenor medio en torio de 10,1 ppm.</p> <p>El tenor en materias radiactivas las rocas ácidas son en su conjunto, más ricas, pero sus tenores varían considerablemente conforme al origen de la roca y no es posible establecer una regla general.</p> |
| Plutónicas |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>GRANITO:</p> <p>En granito y en sedimentos clásticos de origen granítico el uranio aparece en la corteza terrestre como un elemento traza y típicamente se presenta en concentraciones de 1-10 ppm.</p> <p>Los granitos, aun los más pobres, revelan, por ejemplo, un tenor medio en uranio cercano a tres partes por millón (3 ppm) y un tenor en torio alrededor de tres veces mayor.</p> <p>Los granitos, rocas muy comunes la radiación gamma proveniente de su contenido de <math>K^{40}</math>, produce un fondo radiactivo que puede hacer difícil la localización de menas de uranio y torio.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Tabla N° 29: Compilación de información de las características de la radioactividad en las rocas ígneas.

| ROCAS                      | K                                                                                                      | U                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Th                                                                                                                                                                            |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rocas Metamórficas</b>  | Rocas ultramáficas serpentizadas son particularmente pobres en potasio.                                | Depende del contenido de los procesos sufridos a la roca original                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Depende del contenido de los procesos sufridos a la roca original                                                                                                             |
| <b>Rocas Sedimentarias</b> | Materiales tales como las arenas de cuarzo puro y piedra caliza son particularmente pobres en potasio. | <ul style="list-style-type: none"> <li>► Los esquistos negros y los fosfatos marinos están enriquecidos en uranio pudiendo contener frecuentemente más de 100 ppm.</li> <li>► Los yacimientos de uranio son de muchos tipos y orígenes variando desde hidrotermales a sedimentarios, siendo los más grandes de productivos los sedimentarios.</li> </ul> | La mayoría del torio contenido en los sedimentos puede ser transportado por la caolinita u otros minerales de la arcilla o en minerales pesados tales como zircón o monazita. |

**Tabla N° 30: Compilación de información de las características de las rocas sedimentarias y metamórficas.**

|                           | C A R A C T E R Í S T I C A S                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ROCAS FOSFATADAS</b>   | Ciertos yacimientos de fosfatos son cretas fosfatadas, formados al borde del continente, en mar poco profundo. Generalmente se observa que el tenor en uranio crece con el contenido en materia fosfatada, pero con todo, no hay en ello una proporcionalidad perfecta. Ensayos demostraron que el uranio parecía estar contenido en la materia fosfatada, pero con tenores variables en un mismo nódulo. El tenor en uranio variaría igualmente en razón inversa del tenor en carbonato de calcio y parecerá ligado estrechamente al contenido en materia orgánica sin haber tampoco proporcionalidad. Es posible, por otra parte, que el uranio sea atraído por una forma determinada de materia orgánica y no por todas, y los análisis hechos miden solamente el contenido total en materia orgánica. El tenor medio global del uranio en los fosfatos varía en gran proporción según su origen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>ROCAS CALCÁREAS</b>    | Las rocas calcáreas son, tal vez, las rocas sedimentarias más comunes y cuya utilización se halla más extendida. La mayor parte de ellas está formada por elementos provenientes de rocas ígneas o sedimentarias cuyo calcio es arrastrado en forma de carbonato ácido de calcio por los cursos de aguas superficiales o por aguas subterráneas cargadas de anhídrido carbónico. De allí la presencia del uranio, por su alta solubilidad forma parte importante en este tipo de roca.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>ROCAS ARCILLOSAS</b>   | Las muestras de arcilla roja obtenidas en las grandes profundidades marinas han mostrado sensible radiactividad. El origen de la radioactividad se debe a que el uranio ha permanecido en solución en el agua y, como su concentración es pequeña y su solubilidad muy grande, es potencialmente el último cuerpo en depositarse y formar la capa superficial del depósito. Sin embargo, el uranio puede ser adsorbido por las arcillas que pudieron sedimentarse al mismo tiempo, y formar con las sales depósitos alternados. Estas arcillas pueden poseer contenidos en uranio que alcanzan hasta 30 ppm. Anhídritas y silvitas impuras y manchadas por las arcillas presentan a veces una radiactividad bastante grande, mientras que muestras de sales puras obtenidas en el mismo yacimiento tienen una radiactividad prácticamente nula. En cuanto al torio es prácticamente insoluble en agua y, en particular, en el agua de mar. Se lo encuentra en especial, en las partes arcillosas de sedimentos marinos, los cuales pueden a veces contener hasta 3 ppm.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>ROCAS COMBUSTIBLES</b> | Las rocas combustibles son rocas de origen orgánico y están constituidas por los carbones y los hidrocarburos. Es muy variable la concentración de uranio, desde a 3 milésimas de ppm hasta algunas centenas de ppm. No se conoce la forma bajo la cual se encuentra, este uranio. Solo se sabe que es soluble en ácidos y que su contenido crece con su porcentaje en materia orgánica. <b>Los esquistos</b> más uraníferos son, por lo demás, negros, a causa de su alto tenor en materias orgánicas. Algunos esquistos bituminosos se clasifican, sin embargo, entre las rocas sedimentarias más radiactivas. <b>Los carbones</b> tienen, por lo común, contenidos muy débiles en materiales radiactivos, sin duda porque en el momento de su formación no existían las condiciones necesarias para la deposición del uranio. Algunos carbones, sin embargo, son radiactivos, pero contrariamente a lo que se observa en los esquistos, no parece haber en ellos ninguna relación entre la cantidad y su radiactividad. <b>Las ampelitas</b> , que no son rocas combustibles, se tratan de esquistos negros carbonosa tienen también, a menudo, una actividad anormal. Admitiendo una relación torio / uranio cercana a 3, su tenor en uranio puede variar de 5 a 10 ppm, pero algunas son mucho más ricas. Su radiactividad esta generalmente difundida, pero a veces se encuentra inclusiones radiactivas clásticas, tales como zircones.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>DEPÓSITOS SALINOS</b>  | La concentración de sales de uranio en estas aguas ha estado siempre muy lejana de la saturación, y la deposición de uranio no ha podido tener lugar sino después de una evaporación total, lo que ha requerido, naturalmente, aguas poco profundas, y que presentaran una gran superficie. Estas aguas estaban de este modo bien aireadas y agitadas y formaban un medio oxidante que se opuso a la precipitación del uranio en forma de compuesto insoluble o a su adsorción. El uranio ha quedado por lo tanto en solución en el agua y, como su concentración era pequeña y su solubilidad muy grande, fue verosimilmente el último cuerpo en depositarse y formó la capa superficial del depósito. Los depósitos de evaporación, tales como los de yeso, de anhídrita, de halita, o de sales de potasio o de magnesio, no contienen generalmente más que una muy débil proporción de uranio, por lo común inferior a 1 ppm. Yacimientos uraníferos excepcionales pero de poca importancia se encuentran a veces en los depósitos salinos, donde fueron a depositarse después de su formación por aguas subterráneas ricas en uranio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>AGUAS</b>              | El agua puede, en efecto, disolver gran número de radioelementos, pero estos elementos que, en la tabla periódica, van desde los alcalinos hasta los gases raros, tienen propiedades físicas y químicas muy diferentes. Su disolución y su precipitación no se producen en las mismas condiciones, y, contrariamente a lo que pasa con la mayor parte de los minerales, no se puede encontrar equilibrio radiactivo en las aguas. El tenor en uranio de las aguas ha sido estudiado por fluorescencia de rayos X: Las aguas de río revelan contenidos muy variables que dependen, naturalmente, de los terrenos que atraviesan. El contenido medio de uranio de las aguas de río se mantiene por lo general en los $10 \times 10^{-9}$ g/cm <sup>3</sup> . Las aguas provenientes de terrenos básicos son menos ricas que las provenientes de terrenos graníticos y su paso por un yacimiento uranífero puede, evidentemente, provocar contenidos anormales, ya que los compuestos de uranio son solubles. El agua de mar de salinidad normal (3,5 %) contiene de $1,1$ a $1,4 \times 10^{-9}$ g/cm <sup>3</sup> de uranio. El uranio se encuentra en las aguas en disolución, pero, también, a veces, en suspensión. Las aguas de fuente y de río transportan, pues, uranio en suspensión y en solución, y torio, sobre todo contenido en minerales resistentes. Se admite generalmente una media 1 / 1000 de ppm de uranio. El tenor en torio es, naturalmente, mucho menor. Las cantidades transportadas dependen, lógicamente, de los terrenos atravesados, y es natural que las aguas que lavan rocas graníticas, sean más ricas que las que lavan rocas básicas o sedimentarias. Los yacimientos uraníferos pueden ser destruidos, parcial o totalmente, por las aguas. En particular, la uraninita y la peblenda se alternan rápidamente y se transforman en fosfatos, en hidróxidos, en silicatos y dan también complejos de uranio que, lixiviados, son transportados solos o con otros minerales. El uranio y el torio en solución pueden ser enseguida precipitados directamente como compuestos insolubles cuando las condiciones físico-químicas del medio han cambiado o puedan también ser adsorbidos por ciertos sedimentos preexistentes. La precipitación del uranio de las aguas que lo contienen, puede tener lugar, por ejemplo, cuando el medio presenta un potencial de óxido-reducción muy bajo y constituye un medio reductor. En este caso, los uranilos complejos solubles son reducidos y el uranio es precipitado bajo forma de iones tetravalentes U <sup>+4</sup> . |

Tabla N° 31: Compilación de información de las características radioactivas de depósitos minerales sedimentarios y aguas.

La concentración de uranio y de torio en las rocas sedimentarias es, en el conjunto, extremadamente variable, y resulta, además, muy difícil dar valores medios. Estas variaciones se deben a un número muy grande de factores. En efecto, hay que tener en cuenta la naturaleza de la roca madre, su actividad, su distribución y la naturaleza de sus productos radiactivos, las distancias y dificultades de transporte, las condiciones físico-químicas existentes durante la sedimentación y, en fin, los aportes de radioelementos que han podido efectuarse por adsorción o reemplazo isomórfico después de la depositación de los materiales clásticos.

#### 3.1.3.4- Relación torio / uranio (Th / U)

Analizar las relaciones o razones isotópicas es un procedimiento particularmente valioso porque define las variaciones geológicas de un área determinada, más que los valores absolutos de la cantidad isotópica presente.

Se ha determinado que la relación torio y uranio de las rocas ígneas es prácticamente constante y cercana a **3**. Esto puede corresponder, que la relación **torio / uranio** en una roca, es para un tenor medio en uranio de 3,7 ppm y a un tenor medio en torio de 10,1 ppm.

En algunos casos las determinaciones de la relación torio/ uranio se dificultan para las rocas que contienen inclusiones que concentran a menudo 60 ó 70 % de la actividad radioactiva, con el hecho de que estos dos elementos no están igualmente distribuidos. Con frecuencia se encuentran numerosas inclusiones en las que la relación torio / uranio es muy grande, o por lo contrario, muy pequeña, y, para que la medición tenga sentido, es imprescindible utilizar una muestra lo suficientemente grande.

Midiendo por una parte la actividad radioactiva, debida a la vez al uranio y al torio y por otra parte el tenor en uranio, que se puede obtener con precisión por fluorescencia; por ejemplo, si la relación **Th / U** es constante, el número de los rayos emitidos por el torio será proporcional al de los rayos emitidos por el uranio y, finalmente, existirá una relación lineal entre la actividad total y el contenido en uranio. Este método se ha utilizado, por ejemplo, para las rocas volcánicas, y se han llevado a

un gráfico las actividades y el tenor en uranio de un cierto número de muestras determinándose los siguientes valores:

- Rocas graníticas: Es decir, para el total, un término medio de la relación Th/U cercano a 3,4. Para las rocas intermedias, la relación será, una relación media de 3,98.
- Rocas intermedias: La relación Th/U cercana a de 4,00.

Las rocas sedimentarias deberían presentar una relación **Th/U** inferior a este valor, salvo el caso excepcional de una concentración particular de minerales de torio.

Hay resultados bastante variables y demuestran que si se puede, término medio, admitir un valor de la relación **Th/U** comprendido entre 3 y 4; no hay que considerar este valor como muy exacto, ya que las rocas que no se han oxidado nunca tendrán pues, unas 3 ó 4 veces más de torio que uranio. Por lo contrario, las rocas oxidadas mostrarán una relación **Th/U** superior a 3. **El estudio de la relación Th/U de las rocas debería permitir en principio, sugerir una idea sobre su formación, pero se trata aún de una hipótesis, cuya verificación sería de gran interés.** (IAEA, 1979)

#### 3.1.3.5- Relación uranio / torio (U / Th)

Un pronunciado cambio de esta razón da énfasis a la presencia de minerales uraníferos de interés económico. Como se mencionó anteriormente esta relación isotópica ayuda a caracterizar ciertos depósitos de minerales radioactivos, es decir los contrastes litológicos en las relaciones U / Th y U / K son indicadores importantes de la presencia de anomalías de posible importancia económica. En la tabla N° 32 se muestran, para diferentes tipos de rocas de la superficie terrestre, las relaciones Th / U, U / Th y U / K, las cuales hay que tomar en consideración para la interpretación de posibles anomalías de estos radioelementos naturales.

#### 3.1.3.6- Minerales radiactivos

Los principales minerales radiactivos encontrados en forma de inclusiones microscópicas en las rocas son los circones, esfenas, apatitos, alanitas, monacitas. Estos minerales no son minerales de uranio o de torio, porque contienen estos

| ROCAS                                     | K (%) |          | U (ppm) |           | TH (ppm) |           | U/Th  |       | Th/U |
|-------------------------------------------|-------|----------|---------|-----------|----------|-----------|-------|-------|------|
|                                           | VALOR | RANGO    | VALOR   | RANGO     | VALOR    | RANGO     | VALOR | RANGO |      |
| Efusivas Ácidas                           | 3.1   | 1.0-6.2  | 4.1     | 0.8-16.4  | 11.9     | 1.1-41.0  | 0,34  | 1,32  | 2,90 |
| Intrusivas ácidas                         | 3.4   | 0.1-7.6  | 4.5     | 0.1-30.0  | 25.7     | 0.1-253.1 | 0,18  | 1,32  | 5,71 |
| Efusivas Intermedias                      | 1.1   | 0.01-2.5 | 1.1     | 0.2-2.6   | 2.4      | 0.4-6.4   | 0,46  | 1,00  | 2,18 |
| Intrusiva Intermedias                     | 2.1   | 0.1-6.2  | 3.2     | 0.1-23.4  | 12.2     | 0.4-106.0 | 0,26  | 1,52  | 3,81 |
| Efusivas básicas                          | 0.7   | 0.06-2.4 | 0.8     | 0.03-3.3  | 2.2      | 0.05-8.8  | 0,36  | 1,14  | 2,75 |
| Intrusivas básicas                        | 0.8   | 0.01-2.6 | 0.8     | 0.01-5.7  | 2.3      | 0.03-15.0 | 0,35  | 1,00  | 2,88 |
| Ultrabásicas                              | 0.3   | 0.0-0.8  | 0.3     | 0-16      | 1.4      | 0-7.5     | 0,21  | 1,00  | 4,67 |
| Feldespató-alcalina Efusivas Intermedias  | 6.5   | 2.0-9.0  | 29.7    | 1.9-62.0  | 133.9    | 9.5-265.0 | 0,22  | 4,57  | 4,51 |
| Feldespató-alcalina Intrusiva Intermedias | 4.2   | 1.0-9.9  | 55.8    | 0.3-720.  | 132.6    | 0.4-880   | 0,42  | 13,29 | 2,38 |
| Feldespató-alcalina Efusivas Básicas      | 1.9   | 0.2-6.9  | 2.4     | 0.5-12.0  | 8.2      | 2.1-60    | 0,29  | 1,26  | 3,42 |
| Feldespató-alcalina Intrusivas Básicas    | 1.8   | 0.3-4.8  | 2.3     | 0.4-5.4   | 8.4      | 2.8-19.6  | 0,27  | 1,28  | 3,65 |
| Rocas Sedimentarias Químicas              | 0.6   | 0.02-8.4 | 3.6     | 0.03-26.7 | 14.9     | 0.03-132  | 0,24  | 6,00  | 4,14 |
| Carbonatos                                | 0.3   | 0.01-3.5 | 2.0     | 0.03-18.0 | 1.3      | 0.03-10.8 | 1,54  | 6,67  | 0,65 |
| Rocas Sedimentarias Detríticas            | 1.5   | 0.01-9.7 | 4.8     | 0.1-80.0  | 12.4     | 0.2-362   | 0,39  | 3,20  | 2,58 |
| Rocas Ígneas, Metamorfizadas              | 2.5   | 0.1-6.1  | 4.0     | 0.1-148.5 | 14.8     | 0.1-104.2 | 0,27  | 1,60  | 3,70 |
| Rocas Sedimentarias, Metamorfizadas.      | 2.1   | 0.01-5.3 | 3.0     | 0.1-53.4  | 12.0     | 0.1-91.4  | 0,25  | 1,43  | 4,00 |

Tabla N° 32: Concentración de los Radioelementos y la Relación U / Th, Th / U y U / K.  
Fuente: Killeen (1979).



elementos no como constituyentes normales, sino más bien como impurezas. Son generalmente minerales de las tierras raras y se comprueba que si los minerales ricos en cerio, como la alinita o la monacita, contienen sobre todo torio.

El uranio y el torio no pueden, cuando se encuentran en pequeñas cantidades, formar minerales propiamente dichos, y no se encuentran sino asociados a otros minerales, en particular a los elementos de las tierras raras, al circón y al calcio. En la tabla N° 33, 34 y 35, se muestran ciertos minerales radioactivos, con sus características principales.

#### 3.1.3.7- Ambientes geológicos favorables para la localización de depósitos de uranio en Venezuela

Además de su aplicación más obvia, que es ayudar en la identificación de minerales de uranio, los estudios de la radioactividad ambiental son de considerable valor en la exploración mineralógica general y en la producción de mapas geológicos. Los ambientes geológicos más favorables para la formación de depósitos de uranio identificados en Venezuela son:

Sedimentos de origen continental

Rocas fosfáticas y lutitas carbonosas

Rocas graníticas alcalinas

Vetas hidrotermales asociadas a zonas de cizallamiento

Rocas volcánicas ácidas

|                        | C A R A C T E R Í S T I C A S                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LOS CIRCONES           | <p>Forman pequeños cristales muchas veces muy numerosos, pero cuya actividad permanece débil. Sus dimensiones, variables, son a menudo muy reducidas y no es raro encontrar cristales cuyo diámetro no llega a 20 <math>\mu</math>m. Los circones se concentran sobre todo en la biotita y están generalmente rodeados por un denso halo pleocroico, círculo más o menos oscuro u opaco, formado por la acción de los rayos que habrían escapado del cristal, durante millones de años.</p> <p>La actividad radioactiva de los circones es muy variable, pero se puede destacar que, de una manera general:</p> <p>Los circones de los granitos son más activos que los de las granodioritas y éstos a su vez que los de las dioritas.</p> <p>Si ciertos granitos presentan circones que contienen aproximadamente unos 100 ppm de uranio, no es raro encontrar otros cuyos circones contienen hasta 300 ppm y aun más.</p> <p>Los circones de una misma roca pueden tener igualmente actividades variables, y se pueden comprobar en la misma muestra o en el mismo corte delgado actividades netamente diferentes.</p> <p>Los circones contienen, en general, torio y uranio, en proporciones variables con el cristal. Muy a menudo los contenidos en uranio y en torio son comparables, pero se citan circones que contienen 5 veces más de torio que de uranio y otros que no contienen más que uranio sin torio.</p> <p>Los circones contienen a menudo inclusiones variadas, que pueden a veces concentrar una parte de la radiactividad. Es así como se ha podido encontrar circones con inclusiones de torita.</p>                                                               |
| INCLUSIONES RADIATIVAS | <p>Las mediciones aproximadas de los contenidos de estas inclusiones eventuales daban una media de 69 % de torio, lo que permitía suponer que los granos radiactivos poseían un elevado contenido en torio, tenor que correspondía más o menos al de la torita <math>\text{ThSiO}_4</math>.</p> <p>Una parte de la actividad es debida al torio repartido en el interior del retículo cristalino, en reemplazo de los isomórficos de las tierras céricas y la otra parte aparece en las inclusiones más o menos ricas que pueden a menudo ser de la torita, pero a menudo también de los niobio tantalatos o de otros minerales no identificados. Una parte de los elementos radiactivos, en lugar de concentrarse en las inclusiones precedentes, se reparte, de modo homogéneo, en los minerales esenciales de las rocas.</p> <p>Los radioelementos, en lugar de estar en su mayoría, concentrados en inclusiones, se encuentran, por lo contrario, dispersados en la masa de modo particularmente uniforme.</p> <p>Según estos resultados, se puede deducir que:</p> <p>El 54 % de la actividad se encuentra concentrado en inclusiones microscópicas muy activas (circones y apatitos sobre todo).</p> <p>El 28 % de la actividad está repartido entre los minerales esenciales en estado difuso, sea por átomos dispersados por reemplazo isomorfo, sea por inclusiones ultramicroscópicas.</p> <p>El 18 % de la actividad se encuentra, por último, en fracturas o en intersticios.</p> <p>Las inclusiones accesorias radiactivas se hallan dispersas en la roca pero no uniformemente. Ciertas rocas, por ejemplo, no contienen más que un número muy reducido de inclusiones.</p> |

**Tabla Nº 33: Minerales radioactivos como inclusiones microscópicas. Fuente: Park y Macdiarmid (1981).**

| ELEMENTO | MINERAL                | COMPOSICIÓN                                                                                       | COLOR Y HÁBITO                                                                                                                                                                                                                             | OCURRENCIA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TORIO    | Monacita               | (Ce, La, Di) PO <sub>4</sub> con pequeñas cantidades de ThSiO <sub>4</sub> , 3-9 % generalmente.  | Pequeños cristales rojos, pardos, rojizos o parduscos.                                                                                                                                                                                     | Mineral accesorio en los granitos, gneis y pegmatitas, pero los yacimientos de comercial se encuentran principalmente en placeres como los que son explotados en las Carolinas, Florida e Idaho. En el Brasil y Travancore (India) hay famosos placeres de monacita que hasta 1945 habían suministrado los dos quintos de la producción mundial de monacita. A partir de 1950 se encontraron importantes filones en Idaho; en California con tierras raras y en África del Sur, que es actualmente una fuente importante.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|          | Torianita              | ThO <sub>2</sub> con cantidades variables de UO <sub>4</sub> , y UO <sub>6</sub> .                | Negro a gris pardusco, brillo vítreo; muy Parecida a la uraninita                                                                                                                                                                          | En las pegmatitas, granitos, etc, y placeres. En 1955 los placeres de Madagascar se convirtieron en una importante fuente de torio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|          | Torita y uranotorita   | ThSiO <sub>4</sub> posiblemente con pequeñas cantidades de uranio.                                | Negro generalmente, a veces amarillo anaranjado; cristales cuadrados                                                                                                                                                                       | En granitos, pegmatitas, etc. y placeres. Ha sido encontrada en pegmatitas en Noruega, Madagascar, Hybla, Ontario, Carolina del Norte. Filones en Idaho y California. Placeres en Nueva Zelanda.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| URANIO   | Uraninita (pechblenda) | Óxido complejo de U, Pb, Ra y otros metales, Incluso torio y tierras raras.                       | Mineral negro, en masa con brillo craso o píceo, muy raro en cristales.<br>Los minerales secundarios de uranio, tales como gummita, carnotita, torbernitita, autunita, tyuyamunita, etcétera, están generalmente asociados a la uraninita. | Es la mena de uranio más importante. Se encuentra en pegmatitas y granitos y en filones con plata, cobre, plomo, etc. Uno de los yacimientos mayores está en el lago del Gran Oso, Canadá, en donde la uraninita se encuentra con plata nativa y otros minerales, en filones, zonas de cizallamiento, sedimentos plegados y rocas volcánicas instruidas por el granito precámbrico. En el Colorado Front Range, Condado de Gilpin, Colorado, Marysville, Utah y oeste de Montana, se encuentran filones de oro-plata-cuarzo-pirita que contienen uraninita. Yacimientos europeos importantes filonianos en Cornualles, Inglaterra. Checoslovaquia y Sajonia en filones argentíferos. Los mayores yacimientos del mundo se encuentran en Katanga, ex Congo Belga, en donde la uraninita y el producto de su alteración, la gummita, se presentan en filones asociados a depósitos de cobre en calizas falladas y plegadas. |
|          | Davidita               | Óxido de tierras raras, hierro y titanio, 7-10% de U <sub>2</sub> O <sub>8</sub>                  | Masas angulares, irregulares; pardo a negro; brillo sedoso a submetálico                                                                                                                                                                   | Adquirió importancia en 1951, en que fue encontrada en Radium, Hill, Australia en los gneis y filones con ilmenita.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|          | Gummita                | Dudosa                                                                                            | Amarillo, a pardo, en masa o en trozos redondeados o aplastados. Con brillo craso                                                                                                                                                          | Producto de alteración de la uraninita y asociada comúnmente con ella. Abundante en Katanga, ex Congo Belga y en el condado de Mitchell, Carolina del Norte.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|          | Carnotita              | Aproximadamente K <sub>2</sub> O 2UO <sub>2</sub> V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 2H <sub>2</sub> O | Mineral secundario. Polvo cristalino amarillo o masas terrosas en areniscas: frecuentemente asociadas con troncos o huesos fósiles y otros minerales secundarios.                                                                          | Encontrada y explotada en gran cantidad en el sudoeste de Colorado, Utah y Nuevo México, en donde esta mena es la fuente más importante de uranio en Estados Unidos. Nuevos yacimientos importantes en Black Hills, Dakota del Sur, Wyoming y la cuenca de Ferghana, URSS. Se encuentra también en Australia del Sur, Katanga, ex Congo Belga, y Pennsylvania. Carnotita y uraninita son las principales menas de uranio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|          | Torbernitita           | Cu(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> P <sub>3</sub> O <sub>5</sub> 12H <sub>2</sub> O                | Mineral secundario verde esmeralda; cristales tabulares cuadrados o agregados micáceos                                                                                                                                                     | Se presenta asociada a la autunita y otros minerales de uranio con uraninita en el ex Congo Belga y Checoslovaquia; en el norte y sur de Australia, Cornualles, Inglaterra.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Tabla N° 34: Minerales radioactivos comunes. Fuente: Orihuela (1983).

| ELEMENTO                         | MINERAL                                                                  | COMPOSICIÓN                                                                                                                                                                   | COLOR Y HÁBITO                                                                           | OCURRENCIA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| URANIO                           | Autunita                                                                 | $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{As}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$                                                                                                     | Mineral secundario amarillo azufre; cristales, tabulares cuadrados o agregados micáceos. | Asociada con otros minerales de uranio en Checoslovaquia, Turquestán, África del Sur, norte de Portugal, Cornualles y sur de Austria. Estados Unidos poco frecuente en las hematitas de Connecticut, Filadelfia; en las minas de mica del condado de Mitchell, Carolina del Norte; Black Hills, Dakota del Sur, Utah y Nueva México.       |
|                                  | Tyuyamunita                                                              | $\text{CaO} \cdot 2\text{UO}_5 \cdot \text{K}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$                                                                                           | Similar a la carnotita, pero con color verdoso algo más fuerte.                          | Mena en el sudeste del Turquestán, URSS, y, constituyente importante en Laguna-Grants. Nuevo México.                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                  | Uranofana                                                                | $\text{CaO} \cdot 2\text{UO}_5 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$                                                                                                 | Color algo más claro que la autunita.                                                    | Asociaciones similares a las de la autunita y torbernita. Mena en Grants. Nuevo México. Importante en las areniscas de Wyoming. Mineral corriente, sin valor comercial en los granitos y pegmatitas de Georgia y New Hampshire.                                                                                                            |
| URANIO, COLUMBIO Y TIERRAS RARAS | Euxenita, samarskita, brannerita, betafita, pirocloro, fergusonita, etc. | Óxidos primarios de Ca o Na Y cantidades variables de uranio, torio, titanio. Columbio, tántalo y las tierras raras.                                                          | Todos tienen color de negro a amarillo pardusco.                                         | Se presentan con otros minerales típicos de las pegmatitas, filones, zonas de metamorfismo de contacto y algunos placeres. La brannerita es explotada en Blind River, Ontario, y los placeres de Idaho. Pirocloro y betafita en Hybla Ontario, Oka, Québec y localidades similares. Las pegmatitas de Madagascar son ricas en fergusonita. |
|                                  | Columbita-tantalita                                                      | Variable desde: $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{O} \cdot \text{Cb}_2\text{O}_5$ a $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{O} \cdot \text{Ta}_3\text{O}_5$ 0-0,6 % de $\text{U}_2\text{O}_8$ | Cristales y masas negras a pardorrojizas.                                                | Son los principales minerales de columbio y tántalo. Mismas asociaciones que los minerales anteriores. Mena en el ex Congo Belga y Nigeria. Frecuentemente con berilo, como en el Brasil.                                                                                                                                                  |
| POTASIO                          | Silvita<br>Carnalita                                                     | KCl<br>$\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$                                                                                                             | Cristalinas. Masas incoloras, blancas o rojas.                                           | Depósitos salinos en sedimentos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                  | Ortosa y microclina                                                      | $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$                                                                                                                                                    | Masas cristalinas blancas, rosadas, grises o verdes.                                     | Son los constituyentes más abundantes de todas las rocas ígneas ácidas y de las pegmatitas.                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                  | Moscovita                                                                | $\text{H}_2\text{KAl}(\text{SiO}_4)_3$                                                                                                                                        | Mica Incolora, pardusca o verdosa.                                                       | Constituyente común de todas las rocas ígneas ácidas y de las pegmatitas.                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Tabla N° 35: Minerales radioactivos comunes. Fuente: Orihuela (1983).

En la tabla N° 36 se plantean en forma resumida cada uno de los puntos señalados anteriormente.

Identificados los sectores favorables para la ubicación de los radioelementos naturales, específicamente el uranio en Venezuela, se tiene la obligación de plantear la relación de la litología de la zona en estudio y los posibles rango de concentraciones de estos radioelementos naturales, K, U y Th, según los tipos de rocas identificadas o clasificación litológica asumida en puntos anteriores. A pesar que las características litológicas indican la poca probabilidad que puedan hospedar depósitos económicos de uranio, ya que no se encuentran rocas fuente de uranio cercanas a las unidades litológicas identificadas (Serrano, 1982) como basaltos de origen toleítico, las cuales no aportan cantidades suficientes de uranio como para que fuesen captadas por cualquier roca perteneciente a las numerosas formaciones depositadas en un ambiente tectónico tan complicado como lo es la Faja de Villa de Cura.

Este análisis contribuirá a que la interpretación de los datos obtenida al aplicar el método radimétrico, resulte más cuantitativa que cualitativa, para no caer en imprecisiones. Se resumió esta información para más accesibilidad en la tabla N° 37.

Por otra parte, con la ejecución de este trabajo de investigación se examina la presencia de anomalías geoquímicas de minerales no radioactivos con las variaciones en la distribución de los radioelementos naturales en la zona de estudio; según Trujillo (1993) se utilizan los elementos radioactivos naturales como indicadores de la presencia de otros elementos, es decir minerales de interés económico asociados paragenéticamente al potasio, uranio y torio. En la tabla N° 38, se indican algunos resultados relacionados con lo antes mencionado.

| <b>AMBIENTE<br/>GEOLÓGICOS</b>                                | <b>U B I C A C I Ó N</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sedimentos de origen continental</b>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Los conglomerados basales del Grupo Roraima de edad proterozoico de la Guayana Venezolana.</li> <li>✓ En la cordillera de Los Andes y la Sierra de Perijá las formaciones continentales del Paleozoico Superior (Grupo La Ge) los cuales presentan condiciones favorables para este tipo de acumulaciones (Formación Tinacoa y Maedita).</li> <li>✓ La Formación La Quinta (edad jurásico), en Los Andes Suroeste, formada por capas rojas continentales asociadas a vulcanismo calco-alcálido (andesita-dacita-riolita), presenta importantes anomalías geoquímica y anomalías de uranio.</li> <li>✓ Las formaciones del Terciario Superior y Cuaternario a lo largo de La Faja del Petrolífera del Orinoco, las cuales contienen agentes reductores (petróleo, vanadio, carbones, pirita, H<sub>2</sub>S) que son muy favorables para precipitar uranio.</li> </ul> |
| <b>Rocas fosfáticas y lutitas carbonosas</b>                  | Estas rocas están limitadas al Cretáceo Superior especialmente en los Andes y la Sierra de Perijá, con enriquecimiento de uranio asociado a calizas fosfáticas, areniscas y brechas fosfáticas y lutitas carbonosas en Los Andes y la Serranía del Interior en el Oriente. En la región Navay, Estado Táchira, se han localizado extensas anomalías radimétricas que en base a su extensión y asociación a horizontes fosfáticos, constituye el mejor prospecto en cuanto a la obtención de uranio, como subproducto de la industria del ácido fosfórico, y están actualmente siendo evaluadas en conjunto por el MEM y CORPOANDES.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Rocas graníticas alcalinas</b>                             | En el Macizo de El Baúl se han detectado granitos alcalinos decididamente radiactivos con enriquecimientos de uranio y torio de carácter disseminado. Posiblemente el uranio lixiviado ha sido concentrado en zonas de fallamiento en sedimentos más jóvenes y suelos residuales. Igualmente los granitos de La Paragua y de Parguaza en Guayana y Amazonas son rocas con buena favorabilidad geológico-uranífera.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Vetas hidrotermales asociadas a zonas de cizallamiento</b> | En el Territorio Federal Amazonas se han encontrado numerosas anomalías radimétricas asociadas a facies pegmatitas de rocas graníticas y a zonas de lixiviación.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Rocas volcánicas ácidas.</b>                               | <p>Son también muy favorable para la formación de depósitos de uranio. Dentro de este grupo se encuentra La Formación Caicara del Escudo Guayanés de El Baúl y las volcánicas de la Formación La Quinta en Los Andes y Perijá.</p> <p>Las rocas que afloran derivados del manto (escudo guayanés), no poseen uranio, mientras que los que provienen de la corteza silícea abunda la presencia de uranio.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

**Tabla N° 36: Ambientes favorables en depósitos radiactivos en Venezuela. Fuente: Jambor (1983).**

| UNIDADES LITOLÓGICAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ROCAS                                 | K (%) |          | U (ppm) |          | TH (ppm) |          | U / TH | U / K |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|----------|---------|----------|----------|----------|--------|-------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                       | VALOR | RANGO    | VALOR   | RANGO    | VALOR    | RANGO    |        |       |
| <b>UNIDAD DE GRANOFELS:</b><br>Tipo de roca predominante a los granofels cuarzo-feldespático-epidóticos, en ocasiones con estilpnomelana, clorita, clinozoisita, anfíbol azul (glaucofano-crosita) y anfíbol azul verde (barrosita), que constituyen una secuencia monótona con intercalaciones de esquistos cloríticos, esquistos feldespático-epidóticos, delgados intervalos de metaftanita e intercalaciones de metalava piroxénica, especialmente abundantes hacia el tope de la unidad.                                                                                                                                                                                                                             | Efusivas básicas-feldespato-alcalinas | 1.9   | 0.2-6.9  | 2.4     | 0.5-12.0 | 8.2      | 2.1-60.0 | 0.29   | 1.26  |
| <b>UNIDAD DE METALAVAS:</b><br>Hacia la parte superior de la unidad precedente, comienzan a aparecer horizontes de lava piroxénica que definen el inicio de un evento volcánico, con predominio de rocas de composición fundamentalmente basáltica y que constituyen la Unidad de Metalavas, la cual es equivalente a la Formación El Carmen (SHAGAM, 1960).<br>Las metalavas piroxénicas, que abundan especialmente en la porción inferior de la unidad, se caracterizan por la presencia de fenocristales de piroxeno (augita diopsídica).<br>Una característica muy importante de las metalavas de esta unidad es la presencia de almohadillas lo que sugiere que fueron originadas por actividad volcánica submarina. | Efusivas básicas                      | 0.7   | 0.06-2.4 | 0.8     | 0.03-3.3 | 2.2      | 0.05-8.8 | 0.36   | 1.14  |
| <b>UNIDAD DE METATOBAS:</b><br>La Unidad de Metatobas aflora en una franja ancha, ubicada al norte de la zona de afloramientos de la Unidad de Metalavas, sobre la cual suprayace. Es equivalente a las formaciones El Chino y El Caño (SHAGAM, 1960). Esta unidad se caracteriza por la abundancia de rocas tobáceas metamorizadas, que se intercalan además con metalavas piroxénicas, granofels y esquistos cuarzo feldespáticos, metadiabasas, filitas grafitosas y metaftanitas.                                                                                                                                                                                                                                     | Efusivas intermedias                  | 1.1   | 0.01-2.5 | 1.1     | 0.2-2.6  | 2.4      | 0.4-6.4  | 0.46   | 1.00  |

**Tabla N° 37: Correlación entre datos radimétricos vs formaciones geológicas. El cuadro adjunto representa la correlación que se ha encontrado entre los datos geofísicos (Killeen, 1979) y las unidades geológicas (Serrano, 1982) que afloran en la zona.**

| LUGAR               | EXPLORACIÓN DEL MINERAL                 | OBJETIVO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| En Finlandia, 1987  | La exploración de uranio                | <p>Un área en donde se señaló la presencia de mineralizaciones de oro, cobalto, cobre, uranio y molibdeno. Las mineralizaciones se encontraban en esquistos donde existen sulfuros de hierro.</p> <p>En las vetas de oro y cobalto el uranio se presenta como un elemento traza, mientras que en otras que contienen cobalto, oro, uranio y molibdeno el contenido de uranio es más alto pudiendo en algunos casos llegar al 0.3 %. La correlación positiva entre uranio y oro permitió el uso de la espectroscopia gamma en combinación con la investigación de depósitos de oro.</p> |
| En Yugoslavia, 1985 | Se obtuvieron anomalías de potasio      | Se obtuvieron anomalías de potasio correspondientes a zonas de actividad hidrotermal que condujeron a la identificación de depósitos de minerales de cobre, lo cual constituye un buen método de exploración de cobre de origen hidrotermal. También se usa como las anomalías de potasio para la investigación de la presencia de plomo y zinc y se demostró que las anomalías de torio son un buen indicador de depósitos de bauxita.                                                                                                                                                |
| En Noruega          | Exploración del uranio                  | <p>se han usado en la investigación de otros recursos minerales. Ciertas rocas uraníferas anómalas, encontradas durante estos trabajos, pueden contener otros elementos metálicos tales como niobio, zirconio, tierras raras y vanadio.</p> <p>El resultado más exitoso hasta la fecha ha sido el descubrimiento de una mineralización de berilio de valor económico en un gneis granítico radiactivo que contiene 150 ppm de uranio, siendo éste uno de los proyectos más prometedores llevados a cabo en ese país.</p>                                                               |
| Noroeste de Canadá  | Mineralizaciones uraníferas y auríferas | En un extenso cinturón de areniscas cuarzosas. Las muestras contenían hasta 287 ppm de uranio y 630 ppm de oro en una matriz que contenía pirita, zircón, titanio y tierras raras.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**Tabla N° 38: Exploraciones de minerales asociados a los radioelementos.**  
**Fuente: Trujillo (1993).**



### **3.2- Métodos radimétricos**

En la exploración geofísica minera, se emplean con frecuencia varios métodos geofísicos para aprovechar al máximo las diferentes propiedades físicas de los constituyentes de las masas de minerales ocultas.

Partiendo que la radioactividad disminuye con la profundidad, a diferencias de otros métodos geofísicos que miden las propiedades físicas de la Tierra, donde las variaciones de dichas magnitudes indican posición, forma y profundidad de rocas o depósitos de minerales; el método radimétrico proporciona una medida directa de la superficie de la Tierra, pero sin ninguna profundidad significativa de penetración. Esta característica permite relacionar los contrastes medidos de los radioelementos en roca sólida trazada, la geología superficial y posible alteración asociada con depósitos minerales, donde las mediciones de la radiactividad se realizan en forma cualitativa y cuantitativa.

Los métodos radiométricos o radimétricos forman parte de las técnicas nucleares que estudian la corteza terrestre por medio de la detección de las radiaciones (alfa, beta y gamma) que provienen de los elementos radioactivos naturales. No se limita sólo a la búsqueda de menas de metales radiactivos o de ciertos minerales paragenéticos del uranio o asociados a ellos sino, que pueden aplicarse con ventajas considerables en investigaciones geológico-estructurales.

Su campo de acción se ha extendido a raíz de los resultados de una práctica constante y de mejora del instrumental y de sistemas de computación empleados. Otras técnicas nucleares normalmente empleadas junto con este método son la técnica gamma-gamma para determinar densidades. Y los instrumentos neutrónicos para la medición de porosidad, en particular para exploración de carbón e hidrogeología. Al igual que con el modelo portátil, la sonda de fluorescencia X se está volviendo cada vez más conocida y de mayor uso práctico en la exploración y en el desarrollo minero. Técnicas más perfeccionadas como el análisis por activación tienen un mayor potencial de aplicación, más amplio debido a que hacen posible la determinación cuantitativa de una gran cantidad de elementos.

El método radimétrico es efectivo en condiciones favorables como:

- a) Cuando exista conocimiento de que la zona está formada por rocas con distinta composición petrográfica, ya que poseen con frecuencia distintos contenidos de elementos radiactivos. Por ejemplo, la presencia del granito, de radiactividad elevada, se revela claramente en la roca caja, el contacto de caliza con radiactividad baja.
- b) Si los rasgos fundamentales de la radiactividad de las rocas “in situ” se mantienen en los depósitos no consolidados que los cubren.
- c) Las rocas de diferente densidad, porosidad, composición y grado de metamorfismo, se caracterizan por distinta capacidad de emanación.

Todo lo mencionado anteriormente, se considera para aplicar una de las técnicas más importante de los métodos radimétricos como es la espectrometría de radiación gamma, que como su nombre lo indica está basada en el estudio de las radiaciones gamma de los núcleos de los átomos. En especial las emitidas por tres elementos radiactivos naturales:  $K^{40}$ ,  $U^{238}$  y  $Th^{232}$ .

### 3.2.1- Espectrometría de radiación gamma

Espectrometría gamma es el estudio cuantitativo de los espectros, es decir de las intensidades de las radiaciones electromagnéticas de diversa longitud de ondas emitidas o absorbidas por las sustancias. Se basa en las mediciones de la energía de las partículas cargadas y los fotones gamma ( $\gamma$ ).

Es un método radimétrico capaz de determinar la presencia de los elementos radioactivos más importantes por las diferencias existentes entre los espectros energéticos de la radiación emitida por cada uno de ellos, mediante el uso del espectrómetro gamma y el consiguiente análisis de los datos obtenidos a partir del espectrómetro. La espectrometría gamma es una herramienta única para trazar la distribución de todos los elementos radiactivos y su origen en la superficie. Los datos que se adquieren son una parte esencial de la descripción del ambiente geoquímico, y el uso de la espectrometría gamma puede proporcionar un método independiente de supervisar cambios a nivel geoquímico a través de la superficie de la Tierra.

### 3.2.1.1- Propiedades de la radiación gamma

Los rayos gamma son erupciones de ondas electromagnéticas de alta energía que son emitidas espontáneamente por algunos elementos radioactivos. La radiación gamma es de longitud de onda más corta que la luz. Esto significa que los fotones gamma individuales son mucho más energéticos, y es así más penetrante que la luz, característica que los define como los utilizados para fines de la medición de la actividad radioactiva (fig. N° 21).

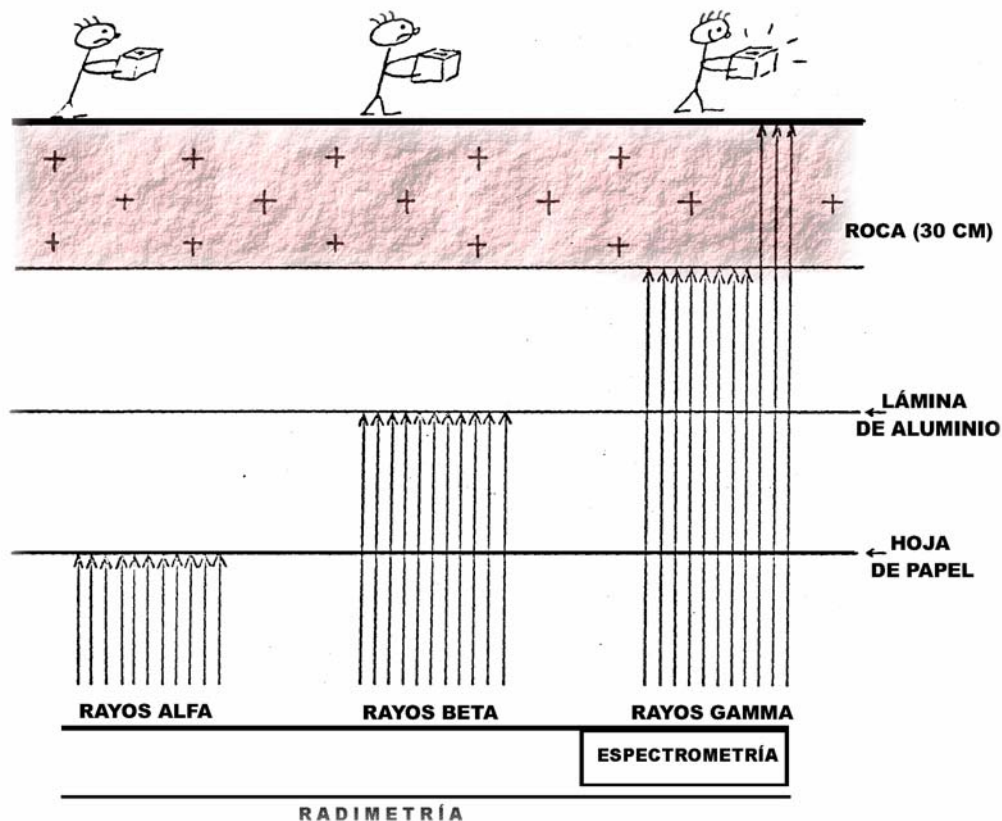


Figura N° 21: Esquema de penetración de las partículas alfa, beta y gamma.  
Fuente: Hansen (1975).

La radiación gamma interacciona con la materia principalmente mediante tres mecanismos: efecto fotoeléctrico, efecto Compton y formación de pares (figura N° 22).

1) Efecto Compton o dispersión: Por las sucesivas colisiones del rayo gamma con los átomos de las formaciones va perdiendo energía, pero ocurre en todo el rango de energía de los rayos gamma, y es la base de la medida de densidad en una formación geológica. En el efecto Compton, los fotones pierden parte de su energía que transfieren a electrones y cambian de dirección, con lo cual se tendrán fotones de menor energía que se propagan formando cierto ángulo con su trayectoria anterior. En resumen es el proceso de absorción predominante que ocurre entre la fuente de radiactividad y el detector.

2) Efecto fotoeléctrico: Ocurre cuando el rayo gamma ha perdido suficiente energía. El fotón desaparece y transmite su energía a un electrón del átomo en forma de energía cinética. Esta interacción es la base del perfil de litología, pues el fenómeno depende del elemento con que interactúa. Y a su vez va a depender esto del número atómico del elemento. En el efecto fotoeléctrico toda la energía de un fotón de baja energía se entrega a un electrón de un átomo. Debido a que en ambos efectos están involucrados los electrones, la atenuación de la radiación gamma en un material determinado es proporcional a su densidad electrónica.

3) En el tercer efecto, es decir la producción de pares, toda la energía de un fotón se pierde y se produce un par electrón-positrón. Puede sólo tener lugar si el fotón incidente tiene una energía mayor de 1.02 Mev. Esta interacción predomina a altas energías, particularmente en materiales con número atómico alto.

#### 3.2.1.2- Espectros de la radiación gamma

La radiación gamma es radiación electromagnética de alta frecuencia y energía, es decir decreciente longitud de onda. La radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación; sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de la materia. Esta radiación se puede ordenar en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencias muy elevadas (longitudes de onda pequeñas) hasta frecuencias muy bajas

(longitudes de onda altas). En la figura N° 23, se ubican los rayos gamma en el espectro electromagnético, el rango que cubre es de 0.01 a 2.6 Mev.

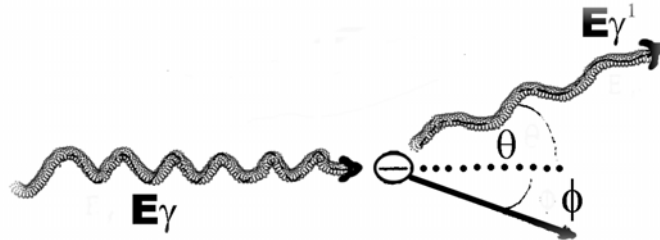


Figura N° 22: Al pasar a través de la materia los rayos gamma experimentan sucesivas colisiones con los átomos de la formación, de acuerdo al Efecto Compton de dispersión perdiendo energía en cada colisión. Finalmente después de que el rayo gamma ha perdido suficiente energía, es absorbido según el efecto fotoeléctrico, es decir los rayos gamma de baja energía son absorbidos completamente por los átomos del material de la formación dando lugar a la expulsión de electrones desde dichos átomos.

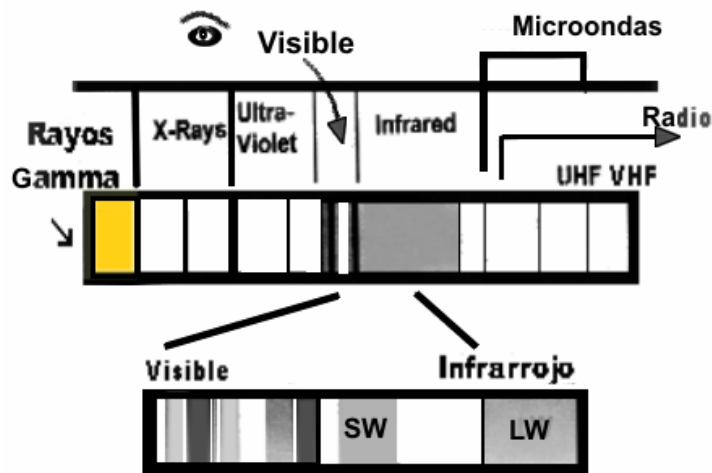


Figura N° 23: Radiaciones del espectro electromagnético: espectro electromagnético por orden creciente:

- Ondas de radio. Desde la onda larga hasta la onda ultracorta de Radar. Se producen en las oscilaciones eléctricas y se detectan por equipos electrónicos (antenas).
- Radiación infrarroja. Se produce por las vibraciones moleculares y por las excitaciones de los electrones más externos de los átomos. Se detectan con dispositivos de calor y película
- Luz visible desde el rojo al violeta. Producida por los electrones más externos de un átomo. Generada por lámparas y descargas eléctricas en tubos de gas. Detectada por película, células fotoeléctricas y por el ojo.
- Luz ultravioleta. Producida por los electrones más externos del átomo. Detectada por película, contadores Geiger y cámaras de ionización
- Rayos X blandos. Producidos por los electrones internos del átomo. Detectados por película, contadores Geiger y cámaras de ionización. No utilizados en radiología por su escaso poder de penetración. Rayos X de diagnóstico y terapia superficial. Rayos X de terapia profunda y rayos gamma de procesos radiactivos.
- Rayos gamma de alto poder de penetración, conllevan a la pérdida de una determinada cantidad de energía radiante. El rango que cubren es de 0.01 a 2.6 Mev.

## Partes del espectro gamma

En el espectro gamma real obtenido a partir del espectrómetro se distinguen las siguientes partes (fig. N° 24):

- ❖ Fotopico es la energía de un pico o cresta espectral que representa la energía de un fotón gamma que interacciona con el detector; también el área bajo un pico espectral, expresada en cuentas por minuto, debida a la transferencia total de la energía del fotón gamma inicial.
- ❖ Área Compton es el área bajo la porción del espectro debida a la transferencia parcial de energía mediante la interacción Compton.
- ❖ Valle Compton es aquella porción del espectro inmediatamente antes del fotopico. Se debe a la ausencia de fotones Compton en este rango de energías.

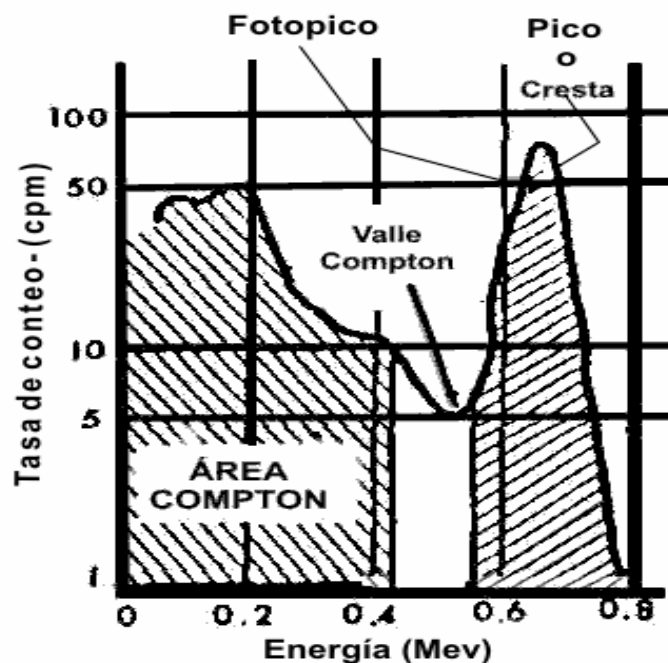


Figura N° 24: Partes del espectro gamma. Fuente: Trujillo (1993).

## Propiedad del espectro gamma

a) Efecto de la actividad sobre el espectro gamma: Se nota en la relación de altura de pico a actividad, es decir una propiedad fundamental de los espectros gamma es que su forma relativa, o sea, la proporción de cualquier parte del espectro a cualquier otra porción es constante (fig. N° 25). Si se duplica la actividad de la muestra la tasa de conteo de cada porción del espectro también se duplica. Como consecuencia de este "principio de forma constante" la actividad de la muestra es proporcional a:

- La tasa de conteo total bajo el espectro completo.
- La tasa de conteo del canal del fotopico.
- La tasa de conteo del área del fotopico.
- La tasa de conteo de cualquier porción del espectro.

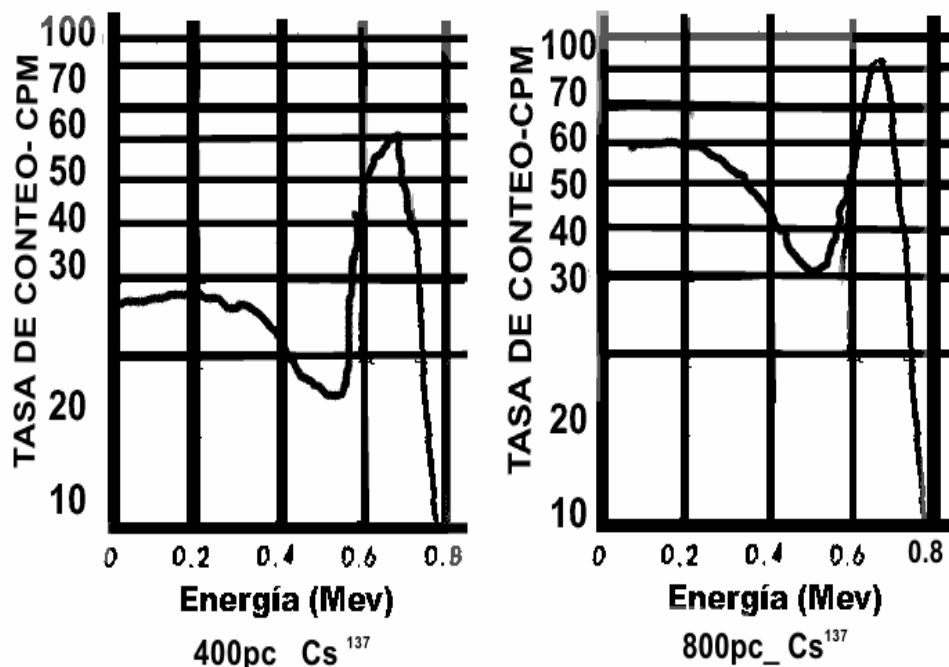


Figura N° 25: La actividad radiactiva es proporcional a la tasa de conteo total bajo el espectro completo. Es proporcional a la tasa de conteo del canal del fotopico. Fuente: Trujillo (1993).

b) Espectro compuesto: Un segundo principio de la espectrometría gamma es que un espectro compuesto es igual a la suma de los espectros de cada uno de los componentes (fig. N° 26). En general la gráfica de tasa de conteo versus curva de energía (espectro) es exponencial.

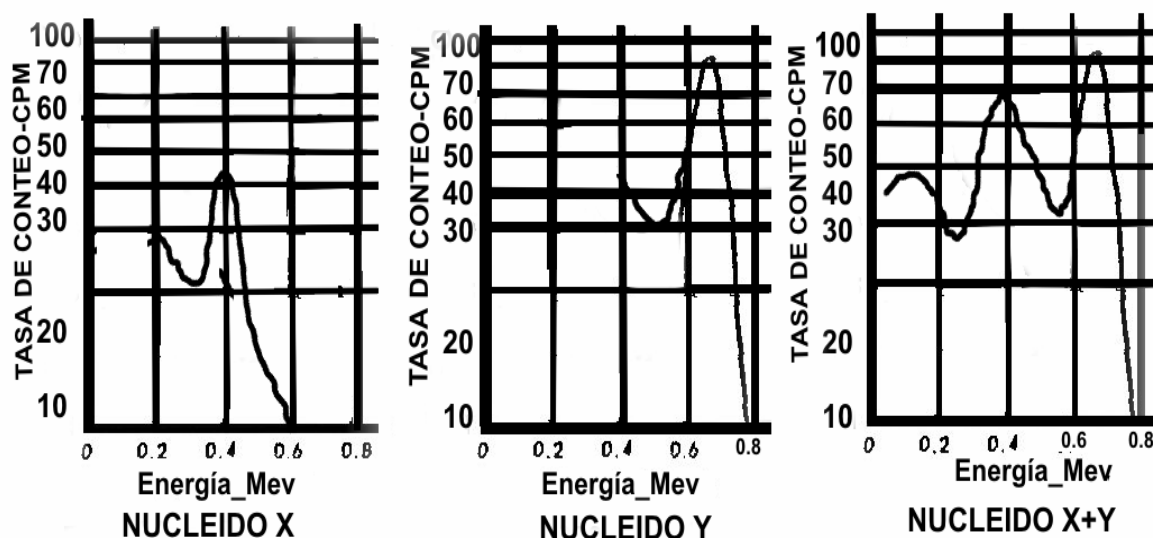


Figura N° 26: Un espectro compuesto es igual a la suma de los espectros de cada uno de los componentes. Fuente: Trujillo (1993).

La radioactividad natural es el proceso particular que produce rayos gamma de interés geológico, como se ha mencionado anteriormente, y las tres fuentes naturales más significantes son:

1. El potasio (K): El proceso de decaimiento radiactivo de  $K^{40}$  produce rayos gamma de sólo una energía, es decir 1.461 Mev.

2. Uranio (U):  $U^{238}$  es el padre de la serie de decaimiento radiactiva del uranio. La mayoría de estos nucleidos producen radiación gamma de varias energías cuando ellos decaen. Se encuentran muy a menudo juntos los miembros de la serie de uranio cuando existe un estado de equilibrio, donde una proporción de abundancia se mantiene constante. El espectro del rayo gamma representa el equilibrio de la serie del uranio, que es el resultado de un problema bastante complejo al existir muchas energías diferentes del mismo rayo gamma, pero con una "característica" conveniente en cada pico o cresta que puede usarse para hacer las dimensiones cuantitativas. Debe



advertirse que el uso de este rayo gamma (1.764 Mev) para los análisis cuantitativos es estrictamente sólo para un depósito donde está la serie en equilibrio.

3. Torio (Th).  $\text{Th}^{232}$  es el padre de otra serie de decaimiento radiactiva natural. La serie del torio tiene 11 productos que producen un espectro gamma complejo, y siempre se encuentra en un estado de equilibrio. La "característica" más conveniente de la cresta o pico gamma en el espectro del torio ocurre a 2.615 Mev debido a  $\text{Th}^{208}$ . Ésta es la energía más alta del rayo gamma en el espectro de serie de torio. De hecho es la energía gamma más alta producida por el decaimiento radiactivo natural.

Las tres energías del rayo gamma características asociadas con estas fuentes naturales con el propósito de investigaciones geológicas son entonces:

$$K = 1.461 \text{ Mev}, U = 1.764 \text{ Mev} \text{ y } Th = 2.615 \text{ Mev}.$$

En la figura N° 27 se muestran los espectros de la radiación gamma de las series del potasio, del uranio y del torio. Estos espectros fueron obtenidos con un sistema de espectrometría gamma colocado en plataformas de concreto usadas para la calibración de estos instrumentos (Grasty, 1979). La radiación gamma interacciona con los materiales que componen el suelo y el aire antes de alcanzar el detector. Tanto estas interacciones como las que se producen en el detector, tienen un efecto significativo sobre el espectro gamma obtenido.

Un espectrómetro de radiación gamma es una combinación de un detector de centelleo, que produce pulsos eléctricos debido a los fotones gamma que inciden en el detector, y un analizador de altura de pulsos que es capaz de diferenciar pulsos eléctricos de diferente amplitud y contar el número de pulsos que existen para cada una, este se explica en una sección posterior. Estos datos espectrales pueden analizarse para determinar que radionucleidos contribuyen al espectro (análisis cualitativo) y cuanta actividad hay de cada componente (análisis cuantitativo).

La radiación gamma emitida como resultado de las transformaciones nucleares es monoenergética y característica del nucleido que sufre la transformación;

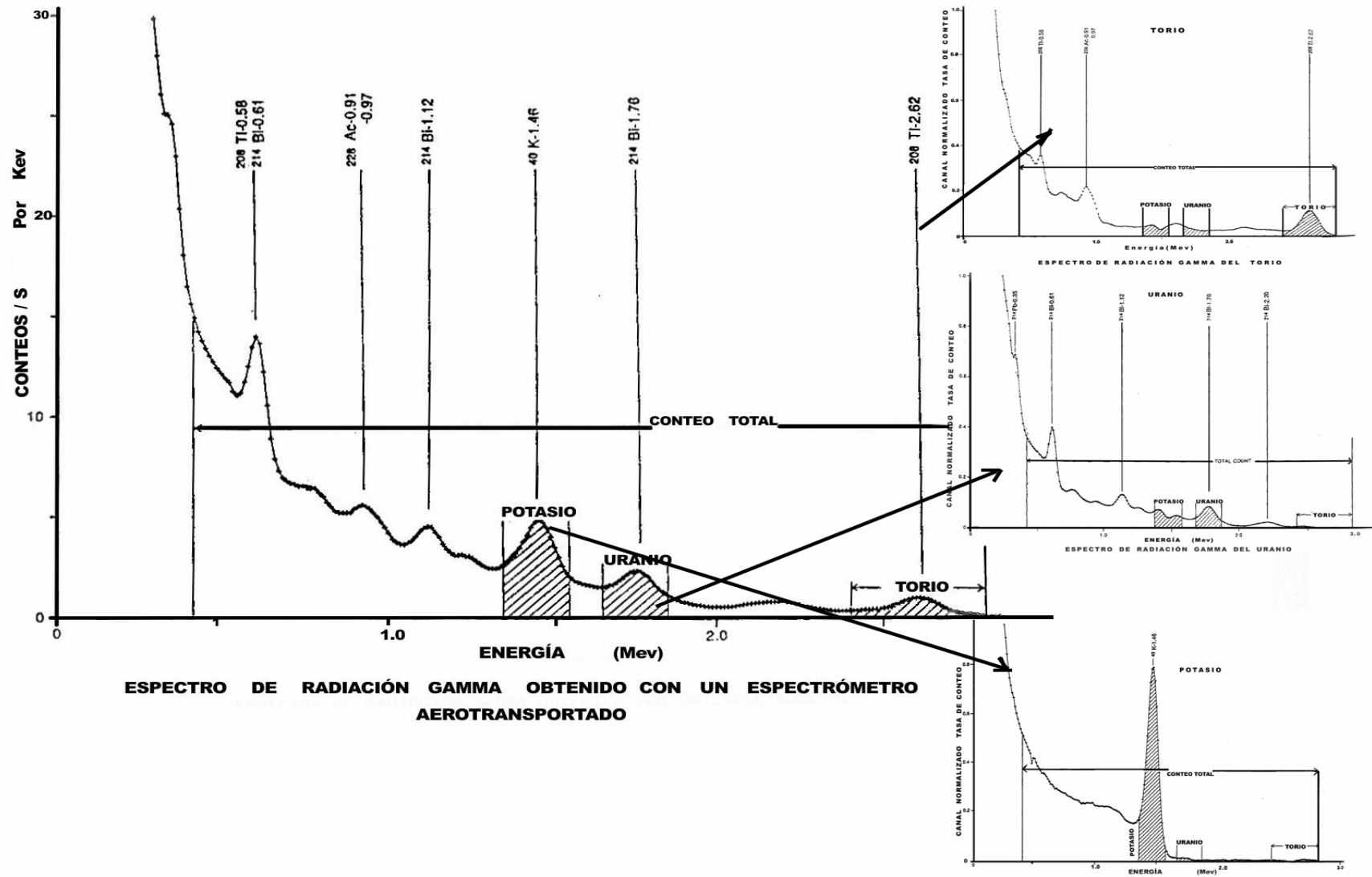


Figura N° 27: Muestra los espectros de radiación gamma de las series del potasio, uranio y torio. Fuente: Trujillo (1993).

es decir las energías de los fotones emitidos por un radionucleido dado son características del mismo; no obstante varios radionucleidos pueden emitir fotones de la misma energía, la cual crea dificultades en el análisis de los espectros gamma. No obstante, un fotón gamma de una energía determinada no siempre se origina en un radionucleido particular. Además la mayoría de los radionucleidos emiten más de un fotón con diversas energías aumentando así la complejidad del espectro resultante como se planteó anteriormente.

### 3.2.1.3- Radiación gamma en las rocas

Desde el punto de vista de la exploración geológica es deseable obtener una medida, tan directa como sea posible, de la concentración de los radioelementos en rocas y suelos con el propósito de localizar una mineralización. Cuando se efectúan medidas de radiación gamma para la estimación de las concentraciones de uranio y torio hay que suponer que las respectivas cadenas de desintegración están en equilibrio. Estos tres isótopos en su degradación hacia isótopos estables son los que originan la radioactividad natural de las formaciones geológicas.

En su paso por las formaciones los rayos gamma son gradualmente absorbidos y su energía degradada. El grado de absorción varía con la densidad de la formación. Es decir, dos formaciones pueden tener la misma cantidad de material radiactivo por unidad de volumen, pero diferente densidad, la menos densa se mostrará más radiactiva.

Los procesos dominantes en la absorción de la radiación ambiental son el efecto Compton y la absorción fotoeléctrica. Puesto que en ambos procesos se ponen en juego interacciones con electrones la atenuación de la radiación gamma en la mayoría de estos materiales es proporcional a la densidad electrónica del material.

En formaciones sedimentarias el promedio de penetración de los rayos gamma es de un pie (30,48 cm). En ambiente terrestre la energía de radiación gamma tiene un rango de 3000 kev. En las tablas N° 39 y 40 se indican los principales fotones para las serie de los radioelementos naturales.

| NUCLEIDO          | ENERGIA DEL FOTON (KEV) | INTENSIDAD RELATIVA (%) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| Pb <sup>214</sup> | 242                     | 7.6                     |
| Pb <sup>214</sup> | 295                     | 18.9                    |
| Pb <sup>214</sup> | 350                     | 37.1                    |
| Bi <sup>214</sup> | 609                     | 42.8                    |
| Bi <sup>214</sup> | 666                     | 14.0                    |
| Bi <sup>214</sup> | 768                     | 4.8                     |
| Bi <sup>214</sup> | 1120                    | 15.0                    |
| Bi <sup>214</sup> | 1238                    | 6.1                     |
| Bi <sup>214</sup> | 1378                    | 4.3                     |
| Bi <sup>214</sup> | 1765                    | 15.9                    |
| Bi <sup>214</sup> | 2204                    | 5.3                     |

Tabla N° 39: Principales emisiones de fotones en la serie del U<sup>238</sup>.  
Fuente: Trujillo (1993).

| NUCLEIDO          | ENERGIA DEL FOTON (KEV) | INTENSIDAD RELATIVA (%) |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|
| Pb <sup>212</sup> | 239                     | 44.6                    |
| Ac <sup>228</sup> | 338                     | 12.4                    |
| Ti <sup>208</sup> | 511                     | 8.1                     |
| Ti <sup>208</sup> | 583                     | 31.0                    |
| Bi <sup>214</sup> | 727                     | 6.7                     |
| Ac <sup>228</sup> | 795                     | 5.0                     |
| Ac <sup>228</sup> | 840                     | 10.2                    |
| Ac <sup>228</sup> | 911                     | 30.0                    |
| Ac <sup>228</sup> | 965                     | 5.6                     |
| Ac <sup>228</sup> | 969                     | 18.1                    |
| Ti <sup>208</sup> | 2615                    | 36.0                    |

Tabla N° 40: Principales rayos gammas en la serie de decaimiento del torio, Th<sup>232</sup> en equilibrio con sus productos del decaimiento. Fuente: Trujillo (1993)

### 3.2.2- Equipo de Espectrometría de radiación gamma

Existen equipos para detectar, medir y analizar la actividad radioactiva, por lo que conforme al tipo de radiación se dividen en equipos que registran radiaciones  $\alpha$ ,  $\beta$ ; como los emanómetros destinados a medir la concentración de emanaciones de radón (Rn) y equipos que registran radiaciones  $\gamma$ , que son los fundamentales en la investigación radimétrica.

La evolución instrumental de esta técnica nuclear va desde la utilización inicial de las cámaras de ionización adaptadas para detectar las partículas individuales de radiación ionizante, denominadas contadores de Geiger-Müller, hasta los contadores de centelleo o cintilómetro, los cuales se basan en la capacidad de algunos materiales de emitir fotones bajo la influencia de las radiaciones radioactivas. El contador de Geiger-Müller y de centelleo se emplean para detectar las cantidades de radiación alfa, beta y gamma y, por tanto, la tasa absoluta de desintegración o actividad de las sustancias radiactivas, se utiliza en la búsqueda de menas de uranio, de metales raros, de potasio y de otros materiales radiactivos. En el apéndice A1 se detallan brevemente estos equipos.

De acuerdo a su aplicación los equipos radimétricos se diferencian en equipos de laboratorio y de campo. Según su electrónica se dividen en radiómetros o espectrómetros integrales, que miden intensidad total independiente de su energía, y en espectrómetros diferenciales, los cuales miden la intensidad de radiación a intervalos fijos de energía. Para la realización de este trabajo de investigación se empleó un equipo radimétrico formado por dos espectrómetros gamma diferenciales, pertenecientes al Instituto de Geología y Minería (INGEOMIN).

Los espectrómetros son instrumentos que generan, analizan y registran espectros. Los espectrómetros de radiación gamma están programados para medir la intensidad y las energías de los fotones y, por tanto la abundancia de un radionucleido en particular, es decir que determina y mide las características de las componentes de un espectro. Un espectrómetro de radiación gamma detecta rayos gamma asociados y separa los rayos gamma por sus respectivas energías. Esta es una de las bondades del

equipo **EXPLORANIUM GR650** y **GR256** (fig. N° 28), que lo distingue de los que miden radiactividad total.

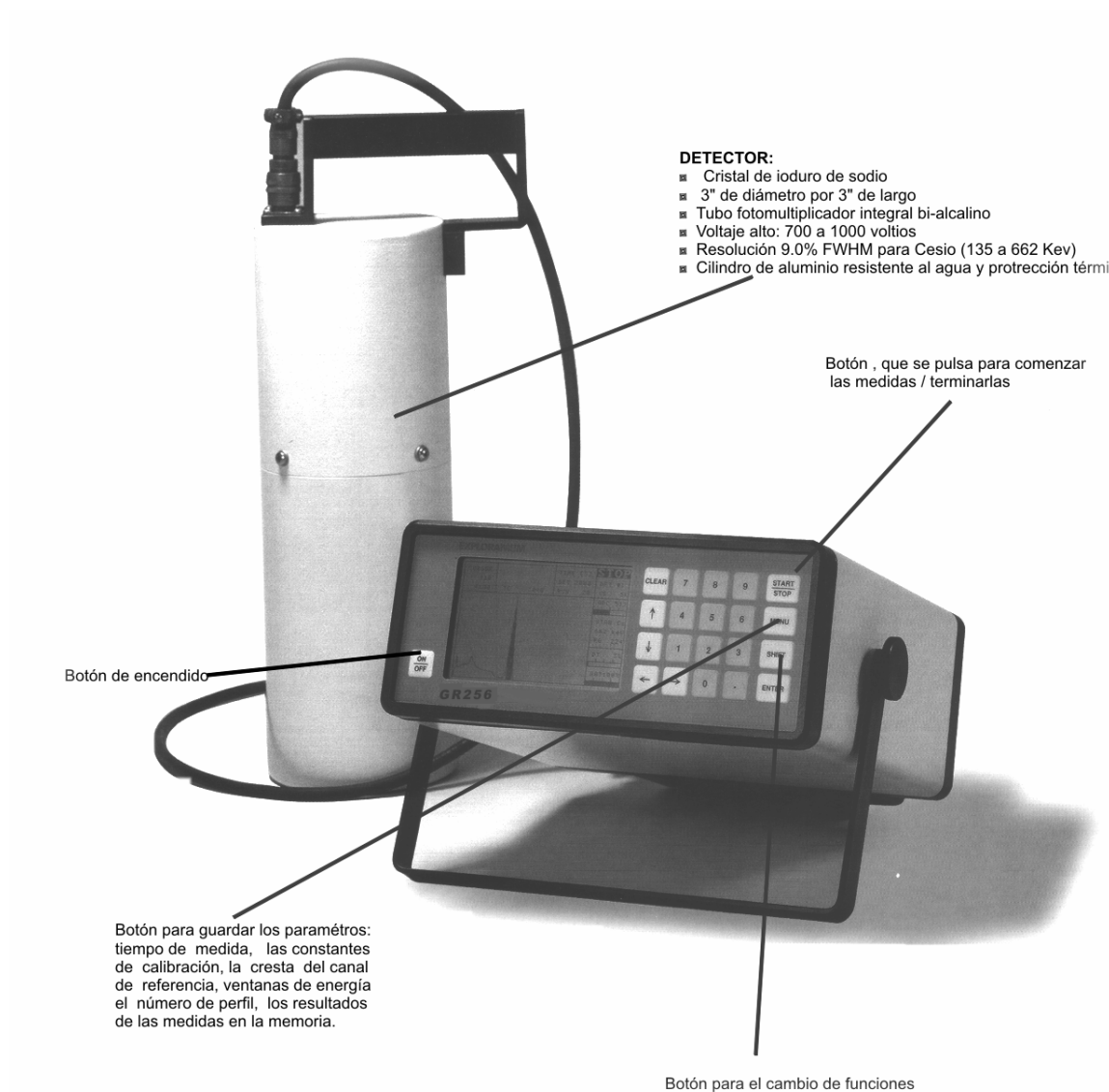


**Figura N° 28: Equipo EXPLORANIUM GR256, espectrómetro de radiación gamma portátil, utilizado para el levantamiento gamma pedestre.**

De acuerdo a su aplicación los equipos anteriores se dividen en equipo o sistema autotransportado (**EXPLORANIUM GR650**) y equipo de terreno o pedestre (**EXPLORANIUM GR256**). La información proporcionada al espectrómetro **GR256** se expresa generalmente en función de dos parámetros: tasa de conteo (energía) y concentración del radioelemento.

En la figura N° 29 se indica el espectro del isótopo de Cesio ( $\text{Cs}^{137}$ ), el cual es utilizado para la estabilización del equipo autotransportado **GR650**, primordial para controlar el buen funcionamiento del espectrómetro.

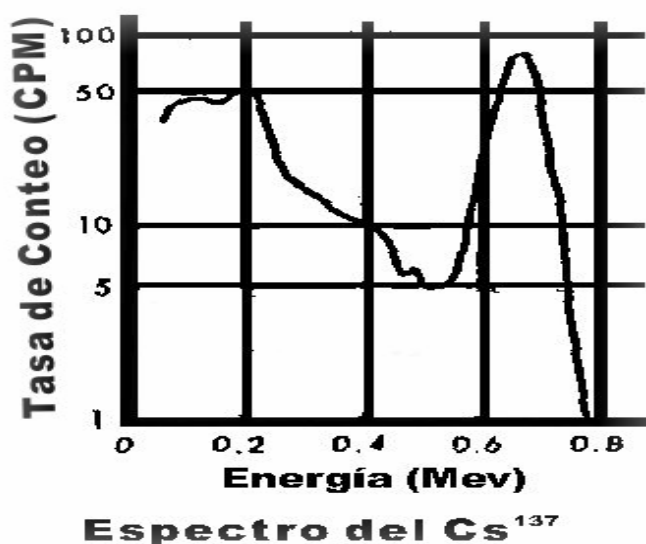


Figura N° 29: Espectro que muestra el pico o cresta del elemento  $\text{Cs}^{137}$  cesio, usado para determinar la resolución o estabilización del espectrómetro **EXPLORANIUM GR256**. Fuente: Trujillo (1993).

#### 3.2.2.1- Componentes de un Espectrómetro Gamma

El espectrómetro gamma **EXPLORANIUM GR256** abarca un amplio rango de aplicaciones al registrar y analizar el espectro de rayos gamma. Posee un microprocesador, 256 canales distribuidos sobre todo el espectro, lo que permite el estudio de un completo grupo de fenómenos discretos; en el apéndice A2 se presenta brevemente su funcionamiento.

El espectrómetro de radiación gamma consta de tres secciones (fig. N° 28) como se indica a continuación:

- 1) Sistema detector: compuesto de detector de centelleo, tubo fotomultiplicador y blindaje.
- 2) Sistema analizador de pulsos: compuesto de preamplificador, amplificador lineal, analizador de altura de pulsos y unidad de almacenamiento. En el espectrómetro gamma se determina no sólo el número de pulsos que se han producido en un intervalo de tiempo dado, sino que también se les clasifica de acuerdo con su energía. Esta clasificación la realiza el sistema analizador de pulsos
- 3) Sistema de manejo de datos: consta de visualización del espectro en pantalla y transmisión de la información al computador.

En la tabla N° 41 se indican en forma resumida las funciones de cada sistema.

#### 3.2.2.2- Calibración

Los procedimientos de la calibración para espectrómetros de radiación gamma que usan las extensiones numéricas son generalmente difíciles y extensos. Esto ha sido objeto de experimentos y a su vez ha permitido el avance tecnológico de estos instrumentos.

Al calibrar un equipo de espectrometría se está garantizando la calidad de los datos tanto cualitativa como cuantitativamente, ya que por la naturaleza del fenómeno de la radioactividad se ve afectada su medición por varios factores que se analizarán más adelante.

El **GR256** ofrece la ventaja del microprocesador, el cual incorpora ciertos programas que permiten almacenar datos de un patrón con una concentración conocida (pad), lo que garantiza que el instrumento puede calibrarse precisamente al convertir la



actividad radioactiva detectada en valores de concentraciones de un determinado radioelemento.

| SISTEMA                             | PARTES                                                                                                                                                                                                                                            | DESCRIPCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sistema detector</b>             | <b>Detector de centelleo</b>                                                                                                                                                                                                                      | Su función es convertir la energía de los fotones gamma incidentes en energía luminosa. La cantidad a intensidad de la luz es directamente proporcional a la energía transferida al cristal cuando interacciona con éste un fotón gamma. Por cada interacción se produce un destello luminoso representativo de la interacción.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                     | <b>Tubo fotomultiplicador</b>                                                                                                                                                                                                                     | La energía luminosa producida en el cristal se convierte en energía eléctrica mediante el tubo fotomultiplicador el cual está compuesto de dos partes fotocátodo y multiplicador de electrones. El fotocátodo posee la propiedad de que al incidir la luz emite electrones en proporción a la cantidad de luz que recibe. El pequeño número de electrones producido se multiplica acelerándolos mediante una serie de diferencias de potencial. El grupo de electrones producidos en una interacción gamma dan lugar a un pulso cuya altura es proporcional a la energía transferida en dicha interacción. |
|                                     | <b>Blindaje</b>                                                                                                                                                                                                                                   | Su propósito es reducir la radiación natural de fondo de manera que el efecto de la variación estadística en la tasa neta de conteo se haga tan pequeña como sea posible. El blindaje también afecta a la forma del espectro debido a la retrodispersión de los fotones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Sistema analizador de pulsos</b> | <b>Preamplificador y amplificador lineal</b>                                                                                                                                                                                                      | La función de estas dos unidades es convertir los pulsos débiles y de baja amplitud emitidos por el tubo fotomultiplicador impulsos más fuertes, de amplitud superior, que puedan ser manejados por el analizador de altura de pulsos. Las dos características primarias de estas unidades son la producción de pulsos de forma uniforme y que el tamaño del pulso sea directamente proporcional a la señal proveniente del tubo fotomultiplicador.                                                                                                                                                        |
|                                     | <b>Analizador de altura de pulsos</b>                                                                                                                                                                                                             | Los pulsos provenientes del amplificador lineal van alimentar al analizador de altura de pulsos el cual es capaz de clasificar pulsos de diferentes magnitud. El número de pulsos de cada magnitud es luego registrado o almacenado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                     | <b>Unidad de registro de pulsos</b>                                                                                                                                                                                                               | Esto es el sistema de archivo del espectrómetro. La información que se genera en el analizador de altura de pulsos se suma y compila en cada rango de altura de pulsos al final del período de conteo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Sistema de manejo de datos</b>   | La información almacenada en la unidad de registro de pulsos puede ser transmitida a un computador para ser procesada. También puede visualizarse el espectro en la pantalla del analizador multicanal o transferirse a otro sistema de registro. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Tabla N° 41: Cuadro resumen de las funciones de las partes del espectrómetro gamma.  
Fuente: Trujillo (1993).

Una función de calibración esta incorporada al equipo utilizado, lo que permite verificar los canales de energía analizados, para asegurar así una selección de energía exacta en las fuentes del rayo gamma bajo todas las condiciones, es decir alinear la energía que analiza los canales del instrumento. El propósito del procedimiento de la calibración consiste en establecer una relación entre las lecturas que se observan en el equipo y la intensidad de radiación que llega a él.

La calibración **GR256** se realiza usando los 2.615 Mev de rayo gamma, es el alcance el máximo del equipo, es el más energético (la energía más alta) en el espectro de serie de torio. El voltaje alto de la energía de umbral se usa para fijar en el comando **CAL** exactamente en esta cresta. Para la ejecución de este trabajo se adjudicó la calibración de fábrica del instrumento específico.

Para determinar solamente el valor de la energía correspondiente a un determinado fotón, se ajusta el sistema de detección para que no sea sensible sino tan sólo a una banda de energías procedente de este fotón. A esta banda de energía se le llama ventana. En el caso de los equipos autotransportado (**GR650**) y pedestre (**GR256**), permiten establecer simultáneamente las ventanas de potasio, uranio, torio y otras regiones de interés (**ROI**). Estas ventajas están indicadas y descritas para estos espectrómetros en los apéndices A1 y A2.

Otro factor importante que verifica la calidad de los datos es el control que se hace de la estabilidad del espectrómetro durante el levantamiento de campo, ya que la estabilización de la energía de los canales o ventanas del espectrómetro varía con los cambios en el voltaje de la fuente de alimentación y con los cambios en las características de la amplificación del tubo fotomultiplicador

Este equipo tiene un control automático de la ganancia, donde una fuente de cesio ( $\text{Cs}^{137}$ ) es insertada permanentemente o periódicamente en el rango de visión del cristal del detector, se mantiene una retroalimentación del circuito electrónico entre la salida del espectrómetro y la energía de la fuente conocida. El espectrómetro supone linealidad del espectro con el resto de los canales, los cuales también serán estables con respecto a energía gamma. Para ello se desplaza la fuente de Cesio ( $\text{Cs}^{137}$ ) sobre

la base del detector, hasta lograr que la energía correspondiente, 0.662 Mev, aparezca en el espectro gamma, canal 55, es decir el espectrómetro identifique al mencionado isótopo.

El uso de las fuentes de calibración y estabilización no ofrece peligro a la salud, por su bajo índice de actividad y por ende de absorción, por lo que la actividad de Cesio ( $\text{Cs}^{137}$ ) no presenta peligro al manipularlo. En el apéndice C, se presenta un breve compendio de las reglas de seguridad que se deben manejar al trabajar con este tipo de técnica nuclear.

Este procedimiento de la calibración simple toma sólo un tiempo corto y debe realizarse antes de tomar las medidas de energía cuantitativas. Se dan instrucciones más detalladas acerca del uso del procedimiento de la calibración en apéndice A2.

Los resultados de la calibración son utilizados en el procesamiento de las conclusiones del levantamiento, para determinar la radiactividad de las rocas y para el estudio de la distribución de los elementos radiactivos. Conocer las constantes de calibración de un sistema o equipo de espectrometría gamma en particular, garantiza llevar las proporciones o conteos de actividad radioactiva a concentraciones de los radioelementos. La calidad de la calibración determinará la calidad de los resultados de los trabajos del levantamiento.

### 3.2.3- Prospección con espectrometría de radiación gamma

El propósito de la espectrometría de radiación gamma es proveer información acerca de la distribución de los tres radioelementos, potasio, uranio y torio. Estos elementos emiten radiación gamma, cuya energía es característica del isótopo emitido.

La prospección por métodos de espectrometría gamma ( $\gamma$ ) tienen una gran importancia en la radimetría de campo. El objetivo principal de todos los métodos  $\gamma$  es la

búsqueda y prospección de menas radiactivas o de elementos asociados a elementos radioactivos (tabla N° 42). El conjunto de métodos  $\gamma$  está integrado por:

- ✓ Levantamiento  $\gamma$  de terreno o pedestre.
- ✓ Levantamiento  $\gamma$  autotransportado.
- ✓ Levantamiento  $\gamma$  aerotransportado.

Existen otras técnicas nucleares para la prospección del uranio que son utilizados ampliamente en la etapa de prospección de los pozos para el cálculo de reserva de uranio en las menas in situ, éstos son los perfiles de pozos gamma-gamma, neutrónicos, su empleo garantiza una mayor precisión, en este caso, durante la búsqueda y prospección de menas uraníferas (Calzadilla, 1978).

La desventaja fundamental de todos los métodos  $\gamma$  superficial consiste en la poca profundidad de estudio. Se obtienen buenos resultados en la aplicación de estos métodos para la búsqueda de minerales radiactivos, sólo cuando el espesor de los depósitos eluvio-aluviales es  $\leq 3$  metros. Al ser mayor el espesor, la búsqueda superficial es sólo razonable en presencia de aureolas de dispersión abiertas bien desarrolladas. La determinación de estas zonas perspectivas se realiza mediante el análisis de todos los datos del levantamiento y de escala pequeña, junto con los datos geológicos y geoquímicos de la región.

En este trabajo de investigación se emplearon las dos técnicas de prospección con espectrometría de radiación gamma superficiales, en las cuales se consideraron los factores que intervienen en el manejo de equipos, adquisición de datos y las limitaciones de su aplicación.

| TIPO                                                    | OBJETIVO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ALCANCES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EL LEVANTAMIENTO<br/>γ DE TERRENO O<br/>PEDESTRE</b> | Constituye la variedad más simple y utilizada de los métodos. El levantamiento γ pedestre constituye el método radimétrico más utilizado en la práctica, a causa de su sencillez y alto grado de información que permite obtener. Este tipo de levantamiento, por sus amplias posibilidades debe ser utilizado en todas las etapas de los levantamientos, prospección y exploración geológica, sean cuales fueran las condiciones geomorfológicas de las áreas de trabajo. Por otra parte es eficaz en la búsqueda y prospección de yacimientos útiles no radiactivos, que se encuentran asociados paragenéticamente a elementos radiactivos. Y en la cartografía geológica, estudio de la tectónica y de la metalogenia, basándose en el estudio de las leyes que rigen la distribución de elementos radiactivos. | En caso general, la interpretación de las anomalías descubiertas esta combinada por la evaluación de sus perspectivas con respecto a los radioelementos, el estudio del fondo geoquímico de estos elementos y el control de la geología de la zona y revelación de mineralizaciones útiles no radiactivas. Los trabajos de cada anomalía se realizan en dos etapas, preliminar y detallada. La evaluación preliminar debe responder a los siguientes aspectos:<br>✓ Intensidad máxima de radiación, dimensiones superficiales y configuración de la anomalía.<br>✓ Naturaleza de la radiactividad de la anomalía.<br>✓ Distribución de los elementos radiactivos y sus elementos acompañantes.<br>✓ Situación geológica de la zona de la anomalía.<br>✓ Causas que provocan la anomalía.<br>✓ Grado de perspectiva de la anomalía y el complejo de trabajos posteriores que se recomienda realizar. |
| <b>EL LEVANTAMIENTO<br/>γ<br/>AUTOTRANSPORTADO</b>      | Es un método muy rápido para el estudio de grandes territorios. Por sus posibilidades es equivalente al levantamiento γ pedestre, y se utiliza más frecuentemente en los lugares accesibles al vehículo. Mientras que en el pedestre la intensidad proviene de un círculo con un radio aproximado de 3 metros. En el autotransportado el 90% de la medición proviene de una distancia radial de 15- 20 metros                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Abarca múltiples campos de acción, desde reconocimientos geológico-geofísicos de alta resolución; en el análisis "in situ" de propiedades físicas de fuentes radiactivas naturales; en la determinación de densidades de suelos para investigaciones geotécnicas; en problemas hidrogeológicos; hasta la exploración geológica de nuevas áreas. La profundidad de estudio está limitada a los 50 y 70 cm cuando la capa de cobertura está constituida por depósitos mullidos, y de 40 a 50 cm cuando esta capa es de roca dura.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>EL LEVANTAMIENTO<br/>γ<br/>AEROTRANSPORTADO</b>      | Es el método más rápido y económico. Para realizar la espectrometría aérea se debe saber con exactitud la altura del avión con respecto al terreno, ya que la intensidad de la radiación registrada depende también de la altura de vuelo. Las anomalías radimétricas aéreas tienen que ser localizadas en tierra y revisadas en detalle, con el propósito de relacionarlas a situaciones geológicas específicas, porque la mayoría de los materiales (rocas, aire y agua) encontradas en las medidas de radiactividad aérea tienen un número atómico bajo y porque la mayoría de los rayos gamma (γ) de los materiales tienen de moderada a bajas energías (menos de 2,62 Mev).                                                                                                                                   | Las radiaciones gamma provenientes de materiales naturales son absorbidas por aproximadamente 30 cm de roca y están muy atenuadas por encima de 150 m de altura                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

**Tabla N° 42: Tipo de prospección con espectrometría de radiación gamma. Fuente: Calzadilla (1978).**

### 3.2.3.1- Variables a considerar

Los equipos de espectrometría de radiación gamma que se utilizan están sometidos a condiciones de humedad, temperatura, y dificultades logísticas que requieren de especial protección para asegurar su buen funcionamiento. En los apéndices A1 y A2, se indican los aspectos para el mantenimiento y buen funcionamiento de los equipos utilizados.

Los resultados de la exploración radiométrica o radimétrica deben ser examinados cuidadosamente, debido a dos razones: la radiación gamma registrada por los instrumentos no se deriva del U, Th o K por sí mismos, sino de sus productos de desintegración, y a menudo el U en la superficie está en desequilibrio con sus productos hijos. Los llamados valores equivalentes de uranio son algunas veces no relacionables con el contenido del elemento, por lo cual el análisis químico es comúnmente necesario para su interpretación.

#### **Las principales fuentes de error**

Antes y después de realizar los trabajos de campo, se efectúan mediciones diarias en un punto de control con los objetivos de controlar la sensibilidad del espectrómetro y controlar las variaciones del fondo natural. El punto de control se escoge cerca del campamento, en un lugar llano sobre rocas prácticamente no radiactivas. Este punto debe ser marcado de alguna forma para su identificación.

Los factores que intervienen en la lectura del instrumento y que hay tomar en cuenta o considerar en la adquisición y el procesamiento de los datos son:

- Topografías irregulares.
- Absorción y esparcimiento de radiación en los materiales de tierra.
- Dispersión de materiales radiactivos.
- Radiación de fondo.
- Las variaciones estadísticas.
- Los errores instrumentales, como la calibración, la tendencia en ganancia o niveles del umbral, la necesidad de utilizar cristales de gran volumen, de

mayor capacidad, los factores de corrección “stripping” y las constantes sensibilidad.

### **Topografías irregulares**

El relieve afecta el área superficial estudiada por el espectrómetro. Produce los llamados efectos de ángulo sólido, sobre los cuales no se pueden efectuar correcciones.

### **Absorción y esparcimiento de radiación en los materiales de tierra.**

La radiación gamma es totalmente absorbida por el recubrimiento de aluvión, arena, etc., que al igual que la vegetación afecta la amplitud de la anomalía.

### **El clima**

Las lluvias pueden reducir la lectura del conteo más de la mitad durante varias horas debido a que las fuentes radiactivas quedan cubiertas por una capa de humedad. Es necesario planificar la ejecución del trabajo de campo en consideración a la pluviosidad de la zona a investigar.

### **Control de la temperatura**

Es esencial en campo. Un choque térmico debido a los cambios en la temperatura puede agrietar los cristales del detector. Estos cambios también afectan la calibración por variaciones en el voltaje del fotomultiplicador.

### **La velocidad en el levantamiento y autotransportado o aerotransportado**

Afecta los regímenes de conteo, puesto que en cuanto mayor sea la velocidad de la nave, en el caso del aerotransportado, menor será el tiempo que la nave pasa dentro del flujo radioactivo, y en consecuencia mínima será la amplitud medida de la anomalía. En el caso del autotransportado, la velocidad óptima de detección de valores de radiación gamma en vehículo es de 30 km / h.

## **Radiación de fondo.**

El método fundamental para determinar el valor de fondo natural es realizar mediciones sobre la superficie del agua. La radiactividad de las aguas en los ríos, lagos y mares es de 100 a 1000 veces menor que en los suelos, y por esta razón las mediciones sobre el agua serán prácticamente igual al valor de nivel de fondo. En el caso de que no se disponga de una acumulación de agua, que cumpla tales requisitos, entonces será conveniente utilizar el método de pantalla que consiste en realizar a una misma altura, una medición del nivel de fondo con una pantalla de plomo y una lectura sin pantalla. Para determinar el valor de fondo natural, se toman alrededor de 15 a 20 lecturas independientes, las cuales posteriormente se promediarán.

Hay siempre un cierto nivel bajo de radiación gamma en el ambiente. Este nivel es llamado el fondo y se causa principalmente por:

1. Los rayos cósmicos. Éstos son debidos a la radiación cósmica de espacio exterior que produce un flujo bajo en el nivel de radiación de energía alta en la atmósfera.
2. La precipitación radiactiva. Los nucleidos radiactivos producen explosiones nucleares entre sí, que se extienden a los iones encima de la superficie de la tierra y atmósfera en cantidades variantes. Afortunadamente la energía de los rayos gamma resultantes son menos de 1 Mev.
3. Las cantidades remanentes de los elementos naturales radiactivos aparecen en muchos materiales y así contribuye al fondo.
4. Nivel del fondo (en la ausencia de fuentes concentradas), debe medirse periódicamente para que los operadores de los equipos puedan reconocer los niveles de la radiación anómalos. Esto normalmente puede hacerse en las áreas de sobrecarga profunda o encima del agua.

## **Las variaciones estadísticas**

Puede reducirse un poco usando un tiempo constante más largo cuando una lectura se toma. Antes de comenzar una exploración con el espectrómetro, se debe



considerar un número mínimo de lectura requerida para alcanzar la exactitud estadística deseada y los conteos / tiempos se deben variar para alcanzar el mínimo.

### **Los errores instrumentales**

Las amplitudes de cada impulso eléctrico son directamente proporcionales a la energía de los rayos gamma incidentes que fueron depositados en el cristal del detector. La energía de radiación gamma tiene un rango de 3000 Mev en ambiente terrestre. Pero hay factores o variables que hay que considerar al hacer mediciones de dichas energías.

### **La estabilidad espectral**

En el **EXPLORANIUM GR256**, el espectro que muestra el pico de cesio ( $\text{Cs}^{137}$ ) es usado para determinar la resolución del espectrómetro, como se explicó anteriormente, debido a que posee un control de ganancia automático.

Los espectrómetros aerotransportados son muy estables y es raro que afecten a los resultados significativamente. Sin embargo, la tendencia puede ocurrir si la temperatura de los cristales del detector cambia o si las fallas electrónicas ocurren en el instrumento. Por esta razón es importante supervisar la estabilidad espectral para asegurar la calidad de los datos.

### **El tiempo muerto del instrumento**

El conteo observado está sujeto a correcciones debido al tiempo muerto. El tiempo muerto se define como el tiempo que toma la electrónica del equipo en responder y procesar un evento entrante como resultado de la interacción del rayo gamma en el detector. Durante este tiempo, el circuito electrónico no puede procesar otro evento entrante. El tiempo muerto para el **EXPLORANIUM GR256** se ha determinado para ser 5 s por los cálculos normales; el proceso en la naturaleza es al azar.

### **Correcciones en las relaciones desnudas “stripping ratio”**

**EXPLORANIUM GR256** almacena directamente los datos de las correcciones correspondientes al efecto de dispersión Compton “stripping ratio”, es decir la

contribuciones de un radioelemento en una ventana del otro radioelemento (ver apéndice A1 y A2), y las constantes debidas a la sensibilidad del instrumento, por lo que permite obtener lecturas directas de conteo/período o ppm de uranio equivalente eU, eTh y %K.

Las correcciones por el efecto de dispersión Compton permiten obtener resultados cuantitativos. Todos los fotones pueden contribuir en una porción baja de energía del espectro cuando ellos interactúan con la materia. Los valores usados para corregir alguna parte del espectro por efecto de la contribución de unos rangos de energía de uno de los radioelementos naturales (potasio, uranio y torio) en otros son llamados coeficientes de correcciones Compton o sustracción de relación “stripping ratio”. Estos van a depender del tamaño y la geometría del detector, y la relación geométrica entre el detector y la fuente de radiación.

Entonces es necesario el uso de diferentes “stripping ratios” para diferentes tamaños de cristales de detectores. Para el **EXPLORANIUM GR256** se muestran los valores de estas correcciones, afectadas por la radiación de fondo, en el apéndice A1 y A2.

### **Las constantes de sensibilidad del equipo.**

Las constantes de sensibilidad dependen del conteo corregido en cualquier canal isotópico con la cantidad del isótopo dado, es decir relaciona la respuesta con la cantidad del isótopo en decaimiento. Estas constantes al igual que la “stripping ratio”, pueden ser determinadas experimentalmente para cada tamaño y forma del cristal como se mencionó anteriormente. Los valores de estas constantes para **EXPLORANIUM GR256** se encuentran en el apéndice A2.

### **Detector a una altura del suelo**

Debe variar de 50 a 30 cm sobre la muestra, o a la altura de la cintura del operador, en el caso del levantamiento a pie o pedestre, y luego se va evaluando de forma cualitativa la intensidad de la radiación. Es necesario hacer notar que el aumento de la altura del detector, implica un aumento del área que se investiga, pero también disminuye la probabilidad de detectar una anomalía localizada en un área pequeña, las

cuales tienen gran importancia según muestra la experiencia sobre todo en los afloramientos.

En el caso del levantamiento gamma autotransportado el detector debe estar colocado lo más alto posible sobre el vehículo. Esto incrementa el diámetro del radio de investigación y el porcentaje de radiación contribuido por el material que lo rodea y más allá, al mismo tiempo que decrece el porcentaje de contribución radioactiva de lo más cercano.

### **Errores en la relación altitud y detector**

En la interpretación de datos de espectrometría de radiación gamma aérea no es suficiente conocer la distribución de los rayos gamma del potasio, uranio y torio, ya que el detector modifica el espectro considerablemente. La incorporación de la respuesta del detector es un problema extremadamente complejo y generalmente puede ser sólo evaluado a través de una combinación de experimento y simulaciones de Monte Carlo.

Lovborg y Kirkegaard (1974) han incorporado la respuesta del detector a uno de ioduro de sodio de 7,6 cm x 7,6 cm y obtuvieron buena concordancia entre sus trabajos teóricos y experimentales.

Para un detector de 7,6 cm x 7,6 cm de energía depositado en el cristal tiene poca dependencia en el ángulo que el fotón de rayo gamma que choca con el cristal. Éste no es el caso de cristales de diámetro grande usados en levantamientos aéreos. En este caso es necesario derivar una respuesta del detector que varíe con el ángulo.

Lovborg et al. (1977) han intentado hacer esto, simplificando funciones y modificando sus resultados teóricos basados en datos experimentales. Desde su trabajo ellos han sido capaces de hacer un estimado de las sensibilidades del detector y de varias constantes de calibración para una serie de detectores cilíndricos de yoduro de sodio que son de 10.2 cm de espesor.

Grasty y Holman (1974) midieron la variación angular de sensibilidad a 2,62 Mev para una variedad de detectores comúnmente empleados en operaciones de levantamientos aéreos. Grasty (1976a) incorporó estos resultados experimentales en los cálculos teóricos (ecuación 1) y demostró cómo el porcentaje de contribución de áreas circulares por debajo del avión a la radiación total detectada variaba con el detector.

$$P = 100 \times \frac{E_2(\lambda h - \cos \phi) e^{-\frac{\lambda h}{\cos \phi}}}{E_2(\lambda h)} \quad (1)$$

Donde:

P = Porcentaje de la radiación total detectada,

E = Es una función conocida como la integral exponencial

$\phi$  = Ángulo que se origina desde un área circular

$\lambda$  = Coeficiente de atenuación lineal de rayos gamma en el aire

h = La altitud en m

### 3.2.3.2- Criterios para los levantamientos pedestre y autotransportado

La espectrometría de radiación gamma esta normada técnicamente, lo cual puede proveer un perfil cuantitativo continuo de la abundancia de un elemento radiactivo sobre cualquier tipo de superficie de la Tierra. Dicha normalización abarca desde la adquisición de medidas, hasta la manera de procesar los datos obtenidos.

Como el objetivo de este trabajo está enmarcado en la metodología de esta técnica nuclear aplicándola a la prospección de los radioelementos naturales y a las anomalías de un determinado mineral, se trató de resumir trabajos anteriores relacionados con este tema, por lo que se bosqueja de manera unificada los criterios planteados para el levantamiento con espectrometría de radiación gamma pedestre y autotransportada.

Haciendo referencia primordial al levantamiento gamma pedestre, ya que se empleó en su totalidad para cubrir la zona de estudio, se plantean a continuación otras características que se aplicaron para su ejecución. Según Calzadilla (1978) en este tipo de levantamiento, la exploración de una mineralización útil no radiactiva mediante la prospección de espectrometría gamma pedestre, se lleva a cabo en dos formas: determinar estructuras geológicas que controlan la posición de yacimientos de minerales útiles no radiactivos (estructuras de control de menas), y obtener un registro directo de los elementos radiactivos asociados paragenéticamente a los minerales útiles no radiactivos.

Dado que la zona en investigación carece de información radiactiva, todas las anomalías cuyo carácter prospectivo se compruebe durante la evaluación preliminar, se supeditan a una evaluación detallada. Los trabajos de evaluación detallada de las anomalías implican el mismo proceso de la evaluación preliminar, pero a mayor escala.

### **La selección correcta de la escala de los levantamientos**

Es una tarea de suma importancia, ya que de ella depende el éxito del trabajo. La escala se selecciona en función de los siguientes parámetros:

- Grado de afloramiento de las formaciones.
- Potencia de los depósitos mullidos sobre las rocas investigadas.
- Grado de complejidad de las estructuras geológicas.
- Grado de detalle de los estudios realizados anteriormente.

El levantamiento con espectrometría de radiación gamma, para la zona de estudio, se realizó en escalas 1:25 000. Los trabajos de levantamiento en esta escala, se realizaron según un mallado en los sectores donde se ha delimitado el mineral anómalo. La dirección de los perfiles o itinerario se escogió, habitualmente, perpendicular al rumbo de las rocas y de perfiles paralelos. En los casos que se consideró necesario, también se trazó itinerarios a lo largo de un contacto de rocas de diferente radiactividad. La dirección concreta de los itinerarios dependerá de la situación geólogo-geomorfológica de la región, de la vialidad de ciertos sectores. Generalmente los itinerarios del levantamiento pedestre están representados por líneas quebradas en forma de zig-zag, esto se debe a la necesidad de atravesar afloramientos, rodear lugares de difícil acceso, y por las variaciones bruscas del rumbo de las rocas y fallas.

### **Distancia entre los puntos**

Los puntos en que son realizadas estas mediciones se determinan por la distancia entre puntos correspondientes a la escala de trabajo sobre el itinerario, en afloramiento, áreas cubiertas por vegetación, las cuales no pueden ser observadas por el geólogo y en aquellos puntos donde al realizar las mediciones cualitativas, la distancia máxima entre estos puntos de medición corresponda a valores de alta intensidad (Calzadilla, 1978).

### **3.3- Génesis del yacimiento**

El éxito de la exploración futura de barita se incrementará si la prospección se guía por un conocimiento de la asociación geológica y la función del bario en diferentes ambientes geológicos.

Los estudios exploratorios realizados a escala nacional por el Ministerio de Energía y Minas con miras a localizar zonas mineralizadas señalaron que los depósitos de barita de la región central del país se asocian exclusivamente con rocas metavolcánicas y metasedimentarias del Grupo Villa de Cura. Localizándose niveles de barita masiva en las formaciones Santa Isabel, Estado Guárico y El Chino, Aragua central. La presencia de zonas con alteración hidrotermal y piritización diseminada está asociada con eventos metalogénicos de tipo volcánico hidrotermal. La zona mineralizada con bario se encuentra entre las formaciones Santa Isabel, Unidad Granofels y El Carmen, Unidad Metalavas (Fundacite, 1996).

La composición química y mineralógica, a lo largo y ancho de la capa mineralizada, está controlada por cambios litológicos locales que van desde metavolcánicas con barita a metavolcánicas sin barita y cuerpos máficos.

No obstante eso, la barita no es un mineral de rocas ígneas ni tampoco ocurre en depósitos metamórficos. Es muy común, sin embargo, como lentes y vetas en casi todo tipo de rocas. Se forma durante la sedimentación y generalmente es de origen acuoso.

Un fluido mineralizante hidrotermal cambia gradualmente a medida que migra de su foco u origen. Reacciona con las rocas encajantes, cambia su composición química, el pH y otras propiedades, viaja a regiones de presión más baja y cede calor a las rocas encajantes más frías. Según tienen lugar estos cambios físicos y químicos, los minerales de mena y de ganga se acercan a sus constantes de estabilidad respectivas y se depositan secuencialmente; de este modo, dejan un registro detallado en el tiempo y en el espacio de las tendencias evolutivas en una solución mineralizante.

El proceso de formación de la barita y los factores que conducen a la concentración de barita en un determinado medio, conllevan a estudiar la estructura y la génesis de concentraciones minerales conocidas e investigar las áreas geológicamente favorables, donde las manifestaciones de Pb- Zn- Cu- Ba asociadas con la secuencia metavolcánica de los estados Aragua y Guárico, presentan evidencia de niveles vulcanogénicos hidrotermales. Estas características se sintetizan en:

- ❖ Los depósitos de sulfuros y barita siempre están asociados con gruesos espesores volcánicos submarinos.
- ❖ Siempre está presente la clásica secuencia de Pb-Zn-Cu-Ba, representada por la galena, esfalerita, calcopirita y barita.
- ❖ Se han ubicado varios tipos de mineralizaciones, entre los cuales sobresalen las masas de sulfuros, los sistemas de vetas delgadas y las diseminaciones de pirita-calcopirita.
- ❖ Siempre está presente la clásica serie hidrotermal: sericita-sílice-pirita-barita, tan común en los depósitos vulcanogénicos- hidrotermales
- ❖ Tanto las masas de sulfuros como los lentes de barita se representan en forma concordante con la roca caja.

Los estudios anteriores sobre la génesis de la barita como mineral anómalo se resumen en la tabla N° 43.

### **La exploración**

No se han utilizado profundamente las técnicas geofísicas para explorar los depósitos de barita. El uso de un analizador portátil de fluorescencia radioisotópica en

la prospección geoquímica para la barita y celestina en Inglaterra occidental ha sido descrito por Ball et al. (1979).

| <b>AUTOR</b>                       | <b>ZONA</b>                                              | <b>CONCLUSIÓN</b>                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Balda.<br/>(1955)</b>           | Edos. Aragua y Guárico                                   | Yacimiento compuesto por: sulfuros de Zn, Pb, Fe y Cu. La barita como ganga en las vetas de minerales sulfurados                                                                                             |
| <b>Rodríguez<br/>(1971)</b>        | Guárico septentrional                                    | Los lentes de barita se relacionan con procesos hidrotermales.<br>Mineralizaciones de metales bases asociados: Cu, Pb y Zn.                                                                                  |
| <b>CONSULTOIL, S.A.<br/>(1982)</b> | Edos. Zulia, Yaracuy, Bolívar, Guárico, Aragua y Táchira | Cuerpos de barita masiva en rocas metavolcánicas del Grupo Villa de Cura, muy cizalladas y plegadas. Aparentemente tipifican manifestaciones asociadas con depósitos de tipo volcanogénico: Pb, Zn, Cu y Ba. |

**Tabla N° 43: Resumen de trabajos sobre la génesis del yacimiento.**

### **Clasificación de los yacimientos minerales**

El estudio de los yacimientos minerales requiere el examen de un gran número y tipos de distritos mineros; sus semejanzas y diferencias deben ser anotadas y descritas. Agrupando juntamente los yacimientos con características similares facilita la descripción y, como es de esperar, permite generalizaciones en lo que concierne a la génesis y localización mineral.

La clasificación de los yacimientos se ha desarrollado sobre las teorías de la génesis y medios de depositación. En las tablas N° 44, 45, 46 y 47 se presentan dichas clasificaciones, según los tres autores principales.

Analizando teóricamente la zona mineralizada, según la génesis sugerida por los autores de los trabajos de investigación, realizados en la zona de estudio, se puede relacionar que la clasificación de Schneiderhöhn es la más apropiada, ya que la depositación mineral ha sido controlada por diferencias químicas entre los fluidos hidrotermales y las rocas encajantes, mientras que la clasificación de Lindgren se adapta significativamente cuando la depositación mineral ha estado controlada tanto por la presión como por la temperatura, a pesar que la zona en estudio experimentó un metamorfismo de bajo grado.



| <p>Lindgren introdujo su sistema de clasificación en 1913; se usa hoy día casi en su forma original. Se han añadido términos tales como «teletermal» (Graton, 1933) y «xenotermal» (Buddington, 1935). Ridge (1968) reconoció la necesidad de revisión, Park y Macdiarmid (1981).</p> | I- Depósitos producidos por procesos químicos de concentración; las temperaturas y presiones varían entre límites amplios.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  | II- Yacimientos producidos por procesos mecánicos de concentración. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p><b>A. En magmas por procesos de diferenciación.</b></p> <p>1. Yacimientos propiamente magmáticos, yacimientos de segregación magmática, yacimientos por inyección. Temperaturas entre 700° y 1500° C presiones muy altas.</p> <p>2. Pegmatitas. Temperatura muy alta a moderada, presión muy alta.</p> <p><b>B. En formaciones de rocas</b></p> <p>1. Concentración efectuada por introducción de sustancias extrañas a las rocas (epigenético).</p> <p>a. Origen dependiente de la erupción de rocas ígneas.</p> <p>i- Yacimientos vulcanogénicos asociados normalmente a acumulaciones volcánicas. Temperaturas entre 100° y 600°C; presión atmosférica o moderada.</p> <p>ii- A partir de masas efusivas. Sublimados, fumarolas. Temperatura de 100° a 600°C; presión atmosférica o moderada.</p> <p>iii- A partir de masas efusivas (yacimientos ígneo metamórficos). Temperaturas oscilando probablemente entre 500° y 800°C; presión alta.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | <p>Temperatura y presión moderada a baja.</p>                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>b. Por aguas calientes ascendentes de origen incierto, probablemente magmáticas, metamórficas, oceánicas, connatas o meteóricas.</p> <p>i- Yacimientos hipotermales. Deposición y concentración a grandes profundidades, temperatura y presión elevadas. Temperatura entre 300° y 500°C. Presión muy alta.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |                                                                     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>ii- Yacimientos mesotermales. Precipitación y concentración a profundidades intermedias. Temperatura de 200° a 300°C; presión alta.</p> <p>iii- Yacimientos epitermales. Precipitación y concentración a poca profundidad. Temperatura de 50° a 200°C; presión moderada.</p> <p>iv- Depósitos teletermales. Precipitación a partir de «soluciones gastadas». Temperatura y presiones bajas; es el término más alto del rango hidrotermal.</p> <p>v- Depósitos xenotermales. Precipitación y concentración a profundidades someras, pero a temperaturas altas. Temperatura alta a baja; presión moderada a atmosférica.</p> <p>c. Origen por aguas meteóricas circulando a profundidades moderadas o ligeras. Temperatura superior a 100°C; presión moderada.</p> <p>2. Por concentración de sustancias contenidas en el propio conjunto geológico.</p> <p>a. Concentración por metamorfismo dinámico o regional. Temperatura superior a 400°C; presión alta.</p> <p>b. Concentración por agua subterránea de circulación más profunda. Temperatura 0° a 100°C; presión moderada.</p> <p>c. Concentración por desintegración de las rocas y alteración residual cerca de la superficie. Temperatura 0° a 100°C; presión moderada o atmosférica.</p> <p><b>C. En medios acuosos</b></p> <p>1. Vulcanogénicos. Emanaciones termales submarinas asociadas con vulcanismo. Temperaturas altas a moderadas; presión baja a moderada.</p> <p>2. Por interacción entre soluciones. Temperatura de 0° a 70°C; presión moderada.</p> <p>a. Reacciones inorgánicas.</p> <p>b. Reacciones orgánicas.</p> <p>3. Por evaporación de los disolventes.</p> |  |                                                                     |

**Tabla Nº 44: Clasificación de Lindgren (1913) de los yacimientos minerales, modificada. Los párrafos resaltados indican la génesis sugerida para las mineralizaciones de barita en la zona de estudio. Fuente: Park y Macdiarmid (1981).**

| Niggli (1929):<br>basada en<br>asociaciones<br>químicas y<br>asociaciones mena-<br>mineral. | I- Plutónico o intrusivo                                                                                                                                                                                                                                                                  | II- Volcánico o extrusivo                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                             | <b>A. Ortomagmático</b><br>1. Diamante, platino-cromo<br>2. Titanio-hierro-níquel-cobre<br><b>B. Neumatolítico a pegmatítico</b><br>1. Metal pesado-alkalino térreos-fósforo-titanio.<br>2. Silicatos-álcalis-fluoro-boro-estaño-molibdeno-wolframio.<br>3. Asociaciones turmalina-cuarzo | <b>A.</b> Estaño-plata-bismuto<br><b>B.</b> Metales pesados<br><b>C.</b> Oro-plata<br><b>D.</b> Antimonio-mercurio<br><b>E.</b> Cobre nativo<br><b>F.</b> Volcanes subacuáticos y depósitos bioquímicos |
|                                                                                             | <b>C. Hidrotermal</b><br>1. Hierro-cobre-oro-arsénico<br>2. Plomo-cinc-plata.<br>3. Níquel-cobalto-arsénico-plata.<br>4. Carbonatos-óxidos-sulfatos-fluoruros                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                         |

Tabla 45: Un esquema de la clasificación de Niggli (1929). Se puede ver que este sistema clasifica los yacimientos en base de su génesis y mineralogía. Los párrafos resaltados indican la génesis sugerida para las mineralizaciones de barita en la zona de estudio. Fuente: Park y Macdiarmid (1981).

| Clasificación de<br>Schneiderhöhn (1941) de<br>los yacimientos minerales. | I. Yacimientos intrusivos y líquido-magmáticos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                           | <b>II. Yacimientos neumatolíticos</b><br>A. Filones pegmatíticos<br>B. Filones neumatolíticos e impregnaciones<br>C-Reemplazamientos neumatolíticos de contacto                                                                                                                                                                                                                   |
|                                                                           | <b>III. Yacimientos hidrotermales</b><br>A. Asociaciones de oro y plata<br>B. Asociaciones piritas y cobre<br>C. Asociaciones Plomo-plata-cinc<br>D. Asociaciones plata-cobalto-níquel-bismuto-uranio<br>E. Asociaciones estaño-plata-wolframio-bismuto<br>F. Asociaciones antimonio-mercurio-arsénico-selenio<br>G. Asociaciones de no sulfuros<br>H. Asociaciones de no metales |
|                                                                           | VI. Yacimientos exhalativos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Tabla N° 46: Schneiderhöhn (1941) clasificó los yacimientos minerales de acuerdo a: 1) la naturaleza del fluido mineral; 2) las asociaciones minerales; 3) la distinción entre depositación cercana a la superficie y la depositación profunda, y 4) el tipo de depositación, huésped o ganga. Fuente: Park y Macdiarmid (1981).

| Serie         | Grupo-Tipo       | Clase                                                             |
|---------------|------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Endógena      | Magmática        | De licuación<br>Magmático temprano<br>Magmático tardío            |
|               | Pegamatítico     | Simples<br>Recristalizados<br>Metasomáticamente sustituidos       |
|               | Carbonatítico    | Magmático<br>Metasomático<br>Combinado                            |
|               | De Skarn         | Carbonatado<br>Magnesiano<br>De silicato                          |
|               | Albitita-greisen | Albitico<br>Greisen                                               |
|               | Hidrotermal      | Plutógeno<br>Vulcanógeno<br>Teletermal                            |
|               | Pirítico         | Metasomático<br>Vulcanógeno-sedimentario<br>Combinado             |
| Exógena       | De meteorización | Residual<br>De infiltración                                       |
|               | De placeres      | Eluvial<br>Deluvial<br>Proluvial<br>Aluvial<br>Lateral<br>Glaciar |
|               | Sedimentario     | Mecánico<br>Químico<br>Bioquímico<br>Vulcanógeno                  |
| Metamorfógena | Metamorfizada    | De metamorfismo regional<br>De metamorfismo de contacto           |
|               | Metamórfica      |                                                                   |

Tabla N° 47: Clasificación genética según Smirnov (1982). Los párrafos resaltados indican la génesis sugerida para las mineralizaciones de barita en la zona de estudio. Fuente: Lavandero et al. (1989).

### 3.3.1- Bario como paragenético

Se conoce como paragénesis de un yacimiento al orden cronológico de la depositación mineral, es decir, es la asociación de minerales en series características con arreglo a su origen u orden de formación. La paragénesis es determinada por estudios del mineral que comúnmente se hacen sobre rasgos texturales microscópicos.

Se ha establecido una secuencia general de depositación mineral en los yacimientos minerales (Park y Macdiarmid, 1981). Esta secuencia está basada en los rangos de estabilidad mineral y es prácticamente constante para la mayoría de los yacimientos, independiente de la profundidad y temperatura de formación e

independiente del origen, sea magmático directo, pegmatítico, hidrotermal, neumatolítico o metamórfico (Lavandero et al., 1989).

La clasificación genética de Lindgren (1913) de yacimientos minerales está estrechamente relacionada al zonado y a la paragénesis.

El determinar el orden de depositación es por tanto difícil, y la verdadera paragénesis no se puede deducir con certeza del estudio de unas pocas muestras; se requiere un examen de muchas secciones delgadas y secciones pulidas de las muestras tomadas en lugares ampliamente distribuidos dentro del yacimiento (Park y Macdiarmid, 1981).

El acuerdo entre los modelos paragenéticos de Lindgren (1913) y Edwards (1947 y 1952) sugieren que pueden formularse algunas relaciones generalizadas acerca de la secuencia de la depositación mineral (tablas N° 48 y 49). Los minerales dentro de cada grupo están situados en el orden de su depositación, los primeramente formados están puestos primero. Se debe hacer énfasis que aunque la secuencia mineral se mantiene de un modo general, hay muchas excepciones, inversiones y ejemplos de depositación solapada.

### **Minerales Asociados**

La barita está normalmente asociada con los siguientes minerales: cuarzo, chert, jaspe, calcita, dolomita, siderita, celestina, rodocrosita, fluorita y varios sulfuros como pirita, calcopirita, galena esfalerita, y sus productos de la oxidación como whiterita y cymrita (Brobst, 1995).

Proporciones de isótopos estables también pueden servir para indicar un depósito mineral, un elemento asociado con el depósito mineral, elemento explorador o elemento traza que puede ser detectado más fácilmente en comparación al elemento indicador directo, que puede ser dispersado en un área más extendida y que no está acompañado por tanto ruido de fondo en comparación al elemento indicador. La selección de un elemento explorador requiere un modelo del depósito mineral, que se espera descubrir. En la tabla N° 50 se presenta la relación de estos elementos con los depósitos minerales.

| Paragénesis de yacimientos minerales hidrotermales, según Lindgren (1937). |                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.                                                                         | Cuarzo (continua), clorita, turmalina, silicatos de hierro-calcio, sericita, albita, adularia, <b>barita</b> , fluorita, siderita, rodocrosita, ankerita, calcita (continua).                                                                            |
| 2.                                                                         | Magnetita, especularita (a veces posterior), uranita.                                                                                                                                                                                                    |
| 3.                                                                         | Pirita, arsenopirita, arseniuros de cobalto y níquel.                                                                                                                                                                                                    |
| 4.                                                                         | Casiterita (en ocasiones procede de la pirita), wolframita (scheclita), molibdenita (?).                                                                                                                                                                 |
| 5.                                                                         | Pirrotina, pentlandita, calcopirita, estannina, bismutina.                                                                                                                                                                                               |
| 6.                                                                         | Esfalerita, enargita, tennantita, tetraedrita, calcopirita, bornita, galena, calcosina, estromeyerita, argentita, platas rojas, polibasita, calcopirita, sulfoantimoniuros de plomo-plata, plata nativa, bismuto nativo, electro, telururos, oro nativo. |
| 7.                                                                         | Estibina, cinabrio.                                                                                                                                                                                                                                      |

Tabla N° 48: Modelo de paragénesis según Lindgren (1937). Los minerales dentro de cada grupo están situados en el orden de su depositación, los primeramente formados están puestos primero. Se debe hacer énfasis que aunque la secuencia mineral se mantiene de un modo general, hay muchas excepciones, inversiones y ejemplos de depositación solapada.

| Paragénesis de yacimientos minerales hidrotermales, según Edwards (1947,1952). |                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Minerales de mena</b>                                                       |                                                                                                                           |
| 1.                                                                             | Magnetita, ilmenita, hematita.                                                                                            |
| 2.                                                                             | Casiterita, tantalita, wolframita, molibdenita.                                                                           |
| 3.                                                                             | Pirrotina, pentlandita, lollingita, arsenopirita (mispiquel), pirita, arseniuros de cobalto y níquel.                     |
| 4.                                                                             | Calcopirita, esfalerita (intercambiable), bornita.                                                                        |
| 5.                                                                             | Tetraedrita, galena, sulfosales de plomo, sulfosales de plata, bismuto nativo y bismutina, telururos, estibina, cinabrio. |
| <b>Minerales de ganga</b>                                                      |                                                                                                                           |
| 1.                                                                             | Cuarzo, turmalina, topacio.                                                                                               |
| 2.                                                                             | Siderita (frecuentemente manganesífera), fluorita, calcita, <b>barita</b> , calcedonia                                    |

Tabla N° 49: Modelo de paragénesis según Edwards (1947,1952). Fuente: Park y Macdiarmid (1981).

| ASOCIACIÓN DE MENAS             | ELEMENTO INDICADOR | ELEMENTO EXPLORADOR                                                     |
|---------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Pórfido cuprífero               | Cu, Mo             | Zn, Au, Re, Ag, As, F                                                   |
| Depósitos complejos de sulfuros | Zn, Cu, Ag, Au     | Hg, As, S (en forma de SO <sub>4</sub> ), Sb, Se, Cd, <b>Ba</b> , F, Bi |
| Vetas de metales preciosos      | Au, Ag             | As, Sb, Te, Mn, Hg, I, F, Bi, Co, Se, Tl                                |
| Depósitos del tipo 'Skarn'      | Mo, Zn, Cu         | B, Au, Ag, Fe, Be                                                       |
| Uranio en areniscas             | <b>U</b>           | Se, Mo, V, Rn, He, Cu, Pb                                               |
| Uranio en vetas                 | <b>U</b>           | Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni, Pb, F                                           |
| Cuerpos ultramáficos de oro     | Pt, Cr, Ni         | Cu, Co, Pd                                                              |
| Vetas de fluorita               | F                  | Y, Zn, Rb, Hg, <b>Ba</b>                                                |

Tabla N° 50: Proporciones de isótopos estables también pueden servir para indicar un depósito mineral, por ejemplo Pb, S y Sr están distribuidos en zonas alrededor de algunos depósitos minerales. Fuente: <http://www.uda.cl/>

## Los tipos de Depósitos

La barita ocurre en muchos ambientes geológicos en rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Se presenta asociada con cinco (5) tipos básicos metalogénicos:

- a) Depósitos volcanogénicos-hidrotermales, Santa Isabel, Edo. Aragua. Venezuela: Pb- Zn y Sb.
- b) Barita sedimentaria estratiforme, Nevada, U.S.A:  
Ba- Ca – Si
- c) Depósitos de plomo-zinc, tipo Mississippi Valley, U.S.A:  
fluorita-barita
- d) Depósitos de evaporitas, tipo Sabkha, Cerro El Mono, Venezuela.
- e) Carbonatitas, origen ígneo, Cerro Impacto, Venezuela

Park y Macdiarmid (1981) suponen que los óxidos son depositados primeramente; los sulfuros y arseniuros de hierro, níquel, cobalto y molibdeno son generalmente contemporáneos o ligeramente posteriores a los óxidos; los sulfuros de cinc, plomo, plata y los sulfuros de cobre-hierro son intermedios en la paragénesis y están mezclados con las sulfosales de cobre, plomo, plata o son ligeramente anteriores; los metales nativos y telururos son típicamente posteriores, y los sulfuros de mercurio y antimonio son los más tardíos.

Todos los puntos señalados anteriormente permitirán plantear tentativamente de manera, generalmente teórica, la relación de los radioelementos naturales-característicos de las litologías-facies metamórficas y valores anómalos de barita con un modelo de paragénesis en la zona de investigación.

## **CAPÍTULO 4**

### **M E T O D O L O G Í A**

#### 4.1 Datos radimétricos de campo

En la prospección radimétrica desempeña un papel importante el equipo a utilizar. Debido a los avances tecnológicos se ha logrado corregir las desventajas que presentaban los equipos de espectrometría gamma para su aplicación en campo. Uno de estos inconvenientes es el hecho que cada ventana de energía contiene alguna contribución debida a fotones procedentes de los otros radioelementos. Además, el flujo gamma generado por ocurrencia natural de los elementos radioactivos necesita ser guardado o registrado como parte de una base común de datos contentiva de información acerca de todos los elementos.

Los equipos de espectrometría gamma portátil y autotransportado con que cuenta el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), representan una tecnología de avanzada, donde se han disminuido notablemente los errores y limitaciones de los equipos del pasado, entre ellos los mencionados anteriormente, lo que garantiza una prospección radimétrica eficiente.

La técnica de espectrometría de radiación gamma permite determinar cuantitativamente la abundancia de los elementos radiactivos. Su ventaja principal es, en adicción a ser una técnica de laboratorio, que puede comenzar rápidamente investigaciones, in situ, desde un vehículo móvil o de un avión a bajo vuelo, como ya se mencionó. En este trabajo se aplicaron los levantamientos de espectrometría gamma terrestre, a pie o pedestre y autotransportado.

Los datos radimétricos que se obtienen van desde conteos / tiempo para los radioelementos potasio (K), uranio (U), torio (Th) y la ROI número siete (7), adoptando los valores de energía para un isótopo de bario no identificado; hasta las concentraciones equivalentes de U y Th en ppm y las concentraciones en % de K.

Se debe mencionar que los puntos previos a este tema forman parte del enfoque principal del trabajo de investigación, es decir el establecimiento de una metodología de prospección con espectrometría gamma terrestre. En la figura N° 30 se ilustra un esquema con las etapas cumplidas hasta ahora para lograr el objetivo planteado; luego dicho esquema se completó a medida que se evolucionó en el trabajo de investigación.



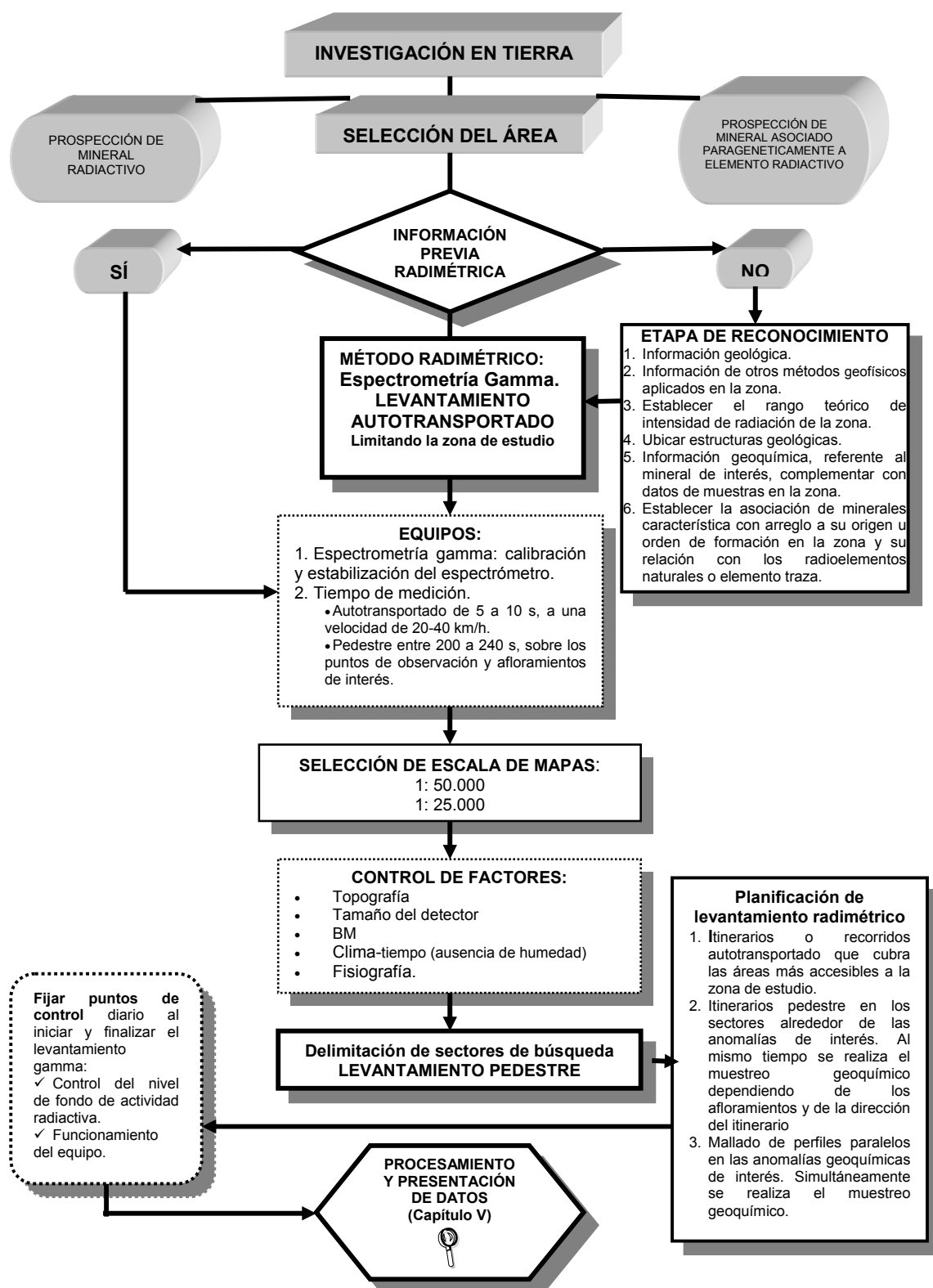


Figura N° 30: Esquema de metodología para levantamientos con espectrometría de radiación gamma. Etapa inicial al reconocimiento de la zona y posterior planificación del levantamiento general.

#### 4.1.1- Metodología de adquisición

Para iniciar este trabajo se consultaron los diferentes estudios realizados en la zona, tanto geoquímicos como geológicos. Los datos radimétricos en la zona son casi nulos, por lo que se planteó una etapa de campo de reconocimiento.

Al realizar los trabajos especializados con esta técnica nuclear, es conveniente planificar la distribución de los itinerarios geológico y radimétrico paralelos entre sí, más adelante se expone como se plantearon esos itinerarios y los perfiles de interés.

A partir de los trabajos geoquímicos previos, se procedió a la clasificación de las zonas con anomalías geoquímicas y a la determinación de su naturaleza y asociación geológica, determinándose con ello la tendencia o perspectiva de cada una de ellas para la mineralización objeto de estudio, lo que permitió la delimitación, a priori de los sectores de búsqueda.

#### **Etapas de reconocimiento**

Se realizó tomando en cuenta lo siguiente:

- ✓ Vías de acceso más favorables que cubran grandes distancias en la zona de estudio.
- ✓ Localización de las anomalías reconocidas por prospección geoquímica: día de reconocimiento hacia la zona anómala *Los Corozos*. Una distancia aproximada de 11.2 km, desde la entrada de la carretera nacional San Mateo-Villa de Cura-San Sebastián, de coordenadas GR650: 679.389 E, 1.100.468 N. Día de reconocimiento hacia zona anómala del *Valle de La Cruz*: la quebrada El Valle a 45 minutos del camino donde se dejó el vehículo con coordenadas: 690.636 E, 1.106.448 N.

#### **Planificación de los levantamientos**

Con esta información se delimitó la zona en cinco sectores (fig. N° 31), se procedió aplicar la metodología radimétrica, basándose en las diferentes pruebas realizadas con el equipo de espectrometría de radiación gamma auto transportable **EXPLORANIUM GR650** y el espectrómetro portátil **EXPLORANIUM GR256**.

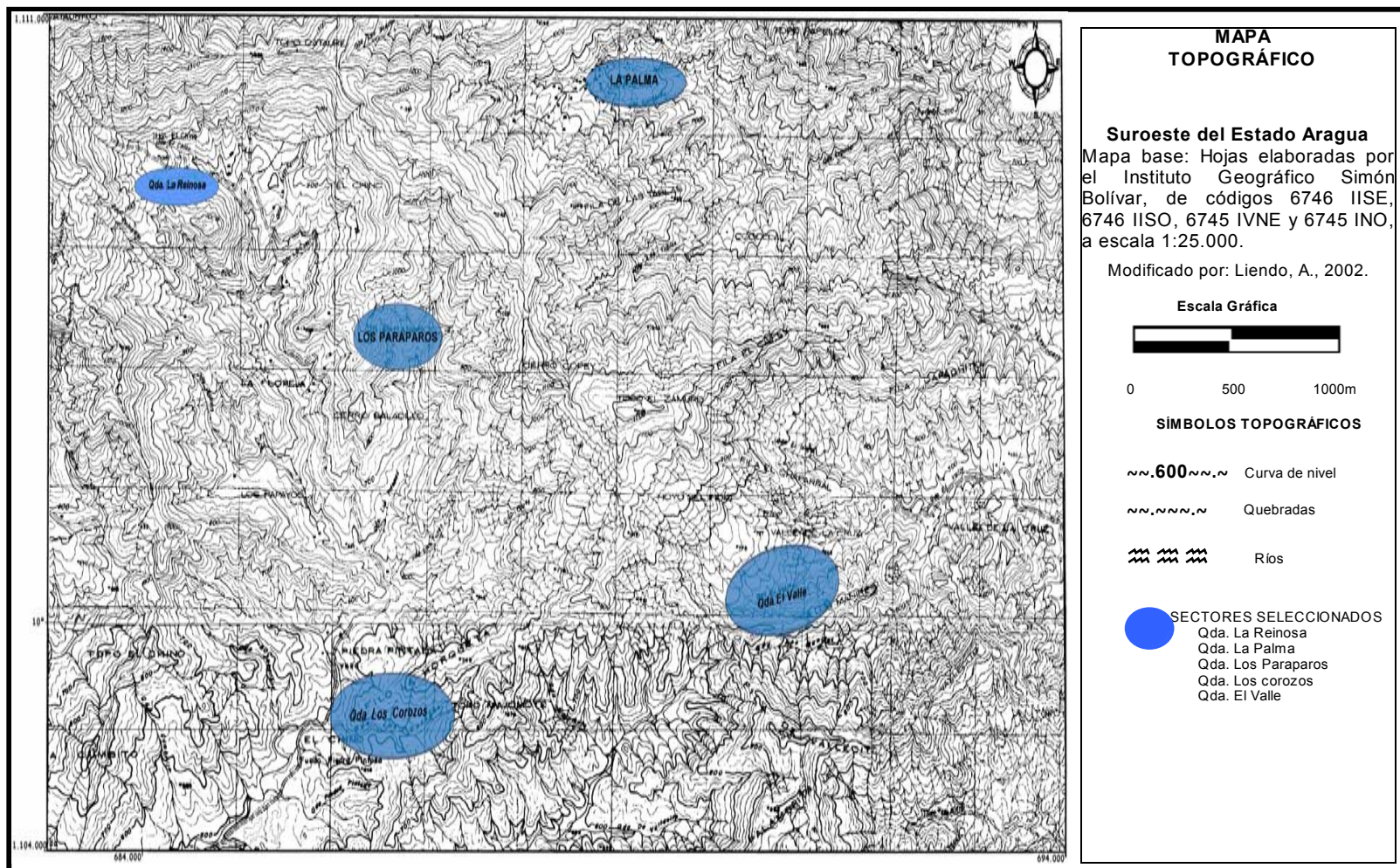


Figura N° 31: Mapa topográfico con la ubicación de los sectores de interés en la zona de estudio.

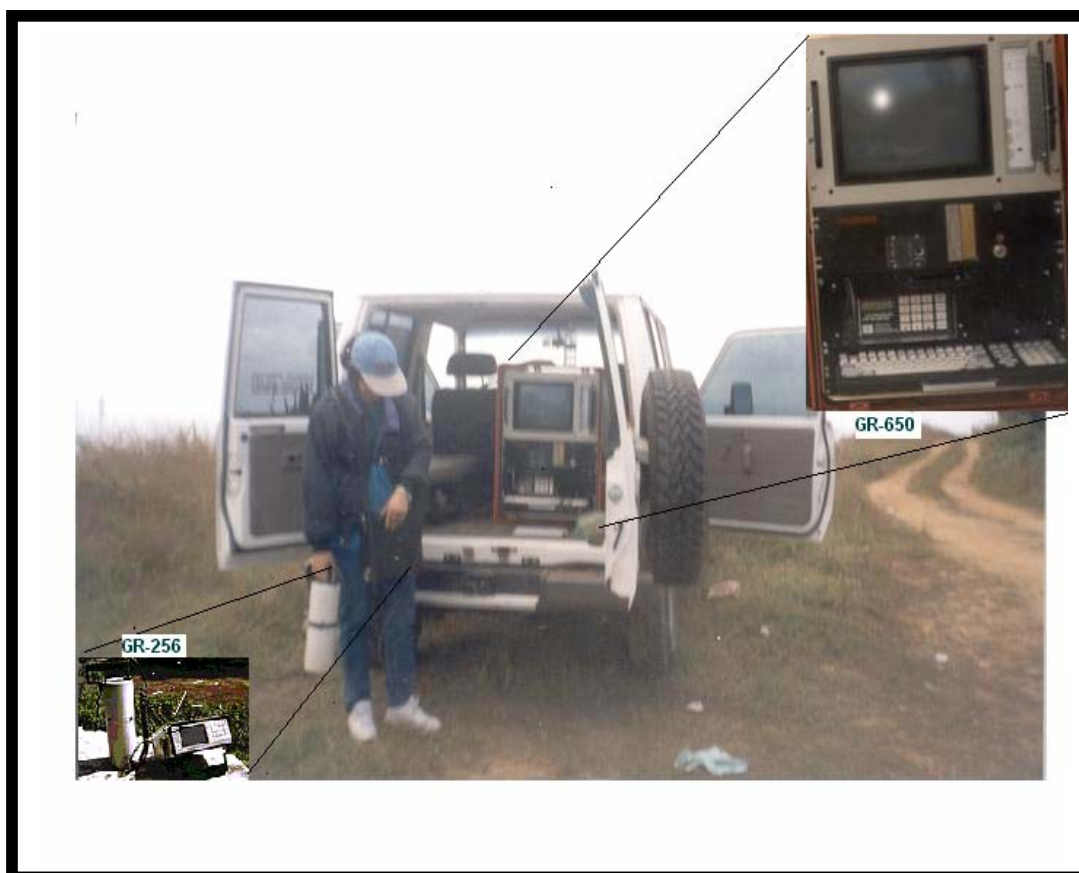


Figura N° 32: Equipos utilizados, espectrómetro portátil EXPLORANIUM GR256 y autotransportado EXPLORANIUM GR650.

#### 4.1.1.1- Equipos utilizados

Los equipos **EXPLORANIUM GR-256** y autotransportado **EXPLORANIUM GR-650** (fig. N° 32), permiten estudiar el espectro completo de radiación gamma y todos los fenómenos discretos a través de las llamadas regiones de interés (**ROI**) o ventanas espectrométricas.

Se contó con el apoyo instrumental de brújula y GPS (fig. N° 33) por parte del personal de Geotecnia perteneciente a la Gerencia de Investigaciones Geológicas y de Recursos Minerales de Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), ya que es necesario llevar un control de ubicación; en el apéndice A3 se resumen algunas características de este instrumento de posicionamiento geográfico, referido a su funcionamiento y a sus características principales. La función principal de un GPS es informar sobre la posición que ocupa, por medio de las coordenadas de longitud y latitud, de manera que dicha posición pueda situarse con facilidad en un mapa o plano.





**Figura N° 33: Equipo de posicionamiento satelital global, GPS navegador GARMIN eTrex y BM: Red Gravimétrica Nacional. Estación Plaza Bolívar de San Juan de Los Morros, Edo. Guárico.**

| ELEVACIÓN | LATITUD  | LONGITUD  | GRAVEDAD OBSERVADA | GRAVEDAD TEÓRICA |
|-----------|----------|-----------|--------------------|------------------|
| 428,15    | 9°55'00" | 67°23'00" | 97808,972          | 97820,737        |

Desde el punto de vista de la exploración geofísica estos equipos de espectrometría gamma ofrecen una gran ventaja, ya que se obtiene una medida directa de la concentración de los radioelementos en rocas y suelos con el propósito de localizar una mineralización.

Cuando se efectúan medidas de radiación gamma para la estimación de las concentraciones de uranio y torio hay que suponer que las respectivas cadenas de desintegración están en equilibrio. Como en ausencia de evidencia que la corrobore, no puede haber certeza de que las condiciones de equilibrio se aplican a una medida, de aquí que las mejoras instrumentales hayan ayudado a las determinaciones radimétricas de las concentraciones de uranio y torio, las cuales se identifican como "equivalentes". Es decir si se dan las condiciones de equilibrio una determinación radimétrica dada es equivalente a la concentración de un elemento.

Los problemas del desequilibrio no afectan al potasio por lo que la concentración se expresa en porcentaje. La obtención de estos parámetros en los equipos **EXPLORANIUM GR-650** y **EXPLORANIUM GR-256**, son soporte de su calibración los

cuales se detallan en los apéndices A1 y A2. A pesar de no contarse con las almohadillas (pads) de calibración se tomaron valores en los archivos por DEFECTO (DEFAULT) para el equipo autotransportado y para el portátil los valores indicados en el manual, obteniéndose valores relativos de concentraciones de los radioelementos.

A continuación se enumeran algunas pruebas y correcciones que se deben considerar al trabajar con estos equipos y realizar levantamiento de campo:

1. Verificación de baterías para el espectrómetro portátil **EXPLORANIUM GR-256**.
2. Fijar las ventanas de energía según cada radioelemento y ROI de interés (tabla N° 51).

| RADIOELEMENTO | ENERGÍA (Mev) | REGIONES DE INTERÉS (ROI) |                 |
|---------------|---------------|---------------------------|-----------------|
|               |               | LÍMITE INFERIOR           | LÍMITE SUPERIOR |
| Conteo Total  | -----         | 70                        | 255             |
| Potasio, K    | 1.46          | 111                       | 125             |
| Uranio, U     | 1.76          | 133                       | 151             |
| Torio, Th     | 2.62          | 197                       | 219             |

Tabla N° 51: Valores de las ventanas de energía correspondiente a cada radioelemento.

3. En el caso del equipo portátil la distancia del detector a la superficie plana de la roca, se logra con una configuración eficiente manteniendo el detector a 50 a 30 cm sobre la muestra, o a la altura de la cintura del operador.

4. Con el objetivo de controlar la sensibilidad del equipo en el campo, se recomienda realizar mediciones en períodos no mayores a 3 horas de trabajo continuo.

5. Se determina el nivel de fondo según el tipo de levantamiento, pedestre o autotransportado, analizando las lecturas obtenidas en los puntos de control, ubicados en lugares cercanos a la zona de estudio.

6. Para iniciar el levantamiento con el equipo de espectrometría autotransportado, se ejecuta el software **GR-650** en los siguientes pasos:

- Se crea el archivo de calibración, en la opción CALED, colocando el valor del nivel de fondo y los valores de la matriz que se explican en el apéndice A2, los cuales dependen de las características del detector. La otra alternativa es que se emplea el archivo por DEFECTO (DEFAULT) que posee

el software, el cual contiene las constantes de sensibilidad y las correcciones desnudas “stripping” con las cuales se calibró el espectrómetro, utilizando las almohadillas. En este levantamiento el archivo de calibración se designa como **ISABEL2.CAL**.

- Se seleccionan los radioelementos de las **ROI** a graficar; el software admite un máximo de cuatro (4) parámetros.

- Si se va directo al **GAMMAPAP**, toma de inmediato el archivo por defecto.

- Se va a la opción **GPS**, se corrige el **DATUM**, el cual está referido a la zona geográfica. Se enfatiza que si el **GPS** no funciona correctamente, el programa no registra ningún dato.

- Se verifica el funcionamiento del espectrómetro **EXPLORANIUM GR-256**, seleccionando el tiempo de muestreo. Se debe verificar la estabilización de éste, donde el canal de referencia es el de cesio ( $\text{Cs}^{137}$ ).

- Se regresa al **GAMMAPAP** y se procede con el funcionamiento del equipo para la adquisición de datos, de aquí se generan archivos **SPC**, los cuales se ubican en la opción **BROWSER**.

- Los parámetros que se obtienen son concentraciones de los radioelementos y la posición geográfica de dichos valores. Esto permite graficar estos levantamientos, utilizando el software **SURFER**.

7. Se debe recordar que el tiempo del levantamiento autotransportado, está limitado a una hora aproximadamente de grabación de datos (1Mb). En el apéndice A1 se amplía la información sobre el equipo autotransportado **EXPLORANIUM GR-650**.

#### 4.1.2- Adquisición de datos

La realización de los levantamientos geofísicos espectrométricos gamma se resume en dos modalidades: autotransportado y pedestre, aplicados en los sectores señalados.

### Levantamientos de espectrometría gamma con **EXPLORANIUM GR-650**

Los sectores se clasificaron como favorables en dependencia al contenido de barita reportado en las zonas anómalas dentro de la zona de estudio, mediante la

prospección geoquímica, además de existir en ellos las condiciones geológicas adecuadas para la ocurrencia de un depósito mineral (tabla N° 52).

El método tiene la ventaja de cubrir considerables distancias, pero su limitación principal está restringida a la accesibilidad del vehículo a la región estudiada, considerando que la actividad radioactiva solo se detecta a lo largo de los caminos o rutas transitables. Fijando la velocidad de desplazamiento del vehículo entre 20 a 40 km/h, favorecido por el hecho que las velocidades de descomposición de los materiales radiactivos son constantes en cualquier circunstancia.

Pero previo a todo inicio del levantamiento por espectrometría autotransportada, se debe realizar y tener presente las correcciones y recomendaciones enumeradas en el capítulo anterior.

En las figuras N° 34 y N° 35 se presenta el esquema del software **GR-650**: GAMMAP, CALED. SPEC, GPS, BROWSER y DEFAULT.CAL., que se debe seguir para iniciar la adquisición de datos por espectrometría de radiación gamma. Donde los valores de calibración para este levantamiento se indican en la tabla N° 53.

De la ejecución del software se obtiene la presentación en pantalla del espectro integral, además se pueden observar en campo simultáneamente los valores de concentraciones de los radioelementos naturales y la ubicación geográfica de éstos, donde al finalizar el levantamiento se pueden observar estos valores integrados, ya que el software los convierte en archivos.pkcs, que posteriormente se pasan a archivos.dat, para procesarlos en el programa SURFER 7.0 (1999). De aquí se concluye que la intensidad de radiación de las rocas en los puntos de observación, será determinada siempre que a la lectura observada se le reste el fondo natural en la carta de calibración que presenta el software **GR-650**.

Los datos de este levantamiento se encuentran en el anexo I, donde se reportan los valores de concentraciones equivalentes para cada radioelemento. En la figura N° 36 se ilustran los recorridos del levantamiento de espectrometría gamma autotransportada con **EXPLORANIUM GR-650**, en la zona de estudio.



| SECTOR                                                                       | LEVANTAMIENTO AUTOTRANSPORTADO GAMMA                                                                                                                                                                                                                                                           | DESCRIPCIÓN DE LA LOCALIDAD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Quebrada Los Corozos<br/>Quebrada La Reinosa<br/>Sector Los Paraparos</b> | En estos sectores el equipo autotransportado no llegó directamente, pero se ejecutaron mediciones de espectrometría gamma en lugares cercanos. Se realizó un recorrido como parte del itinerario de levantamiento entre Los Corozos y la parte norte de zona de estudio, sector Los Paraparos. | La zona en estudio se caracteriza por una complejidad topográfica del sistema de la Faja de Villa de Cura. Se encuentra en terreno montañoso donde las elevaciones oscilan entre los 600 y 1.800 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar).<br>Los valles son ligeramente suaves en su comienzo pero a medida que se asciende comienzan a aparecer grandes saltos y la pendiente se hace muy pronunciada, entre 45° y 50°.<br>Las características climatológicas corresponden a las de tipo de clima tropical húmedo basado en la Clasificación de Kooffen. (Informe CORPOCENTRO, 1996). La temperatura media anual oscila entre 24° y 28° C. La altura produce una disminución anual de la medias hasta un valor de 18° C. Período lluvioso que cubre entre 6 y 7 meses al año( mayo a noviembre) y los 5 meses restantes (diciembre a abril), corresponden al período seco.<br>La vegetación predominante la constituyen los bosques húmedos a subhúmedos tropófilos, que alternan con vegetación de sabana y chaparros. |
| <b>Quebrada El Valle</b>                                                     | Se realizó un recorrido como parte del itinerario de levantamiento entre el caserío Valle de La Cruz y la parte noroeste del sector de la Qda. El Valle.                                                                                                                                       | Las quebradas principales Los Corozos y El Valle pertenecen a la red hidrográfica del río Guárico, que constituye el principal drenaje de toda la región. Estos drenajes disminuyen su caudal en los meses de sequía, pero conservan un flujo constante de agua durante todo el año. Las quebradas y tributarios pequeños son de régimen intermitente, predominando un patrón de drenaje dendrítico a subdendrítico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Sector La Palma</b>                                                       | Se realizó un recorrido como parte del itinerario de levantamiento entre el caserío La palma y la carretera principal nacional del Estado Aragua, parte norte.                                                                                                                                 | <b>Quebrada Los Corozos</b> , situada en el Municipio San Sebastián. Cabecera: Nace en la vertiente Norte del cerro La Hierbabuena. Desembocadura: Río Caramacate. Coordenadas geográficas de la desembocadura: 10°01'16" de Latitud Norte y 67°10'00" de Longitud Oeste. La longitud de su curso es de 4 km, (aprox.). Régimen fluvial: Corriente de agua.<br><b>Quebrada El Valle</b> , situado en el Municipio San Sebastián. Cabecera: Nace en la vertiente Norte de la fila El Copey. Desembocadura: Río Pao. La longitud de su curso es de 3-4 km (aprox.). Régimen fluvial: Corriente de agua.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

**Tabla N° 52: Esquema de sectores de levantamiento por espectrometría gamma autotransportado, con EXPLORANIUM GR-650, en la zona de estudio.**

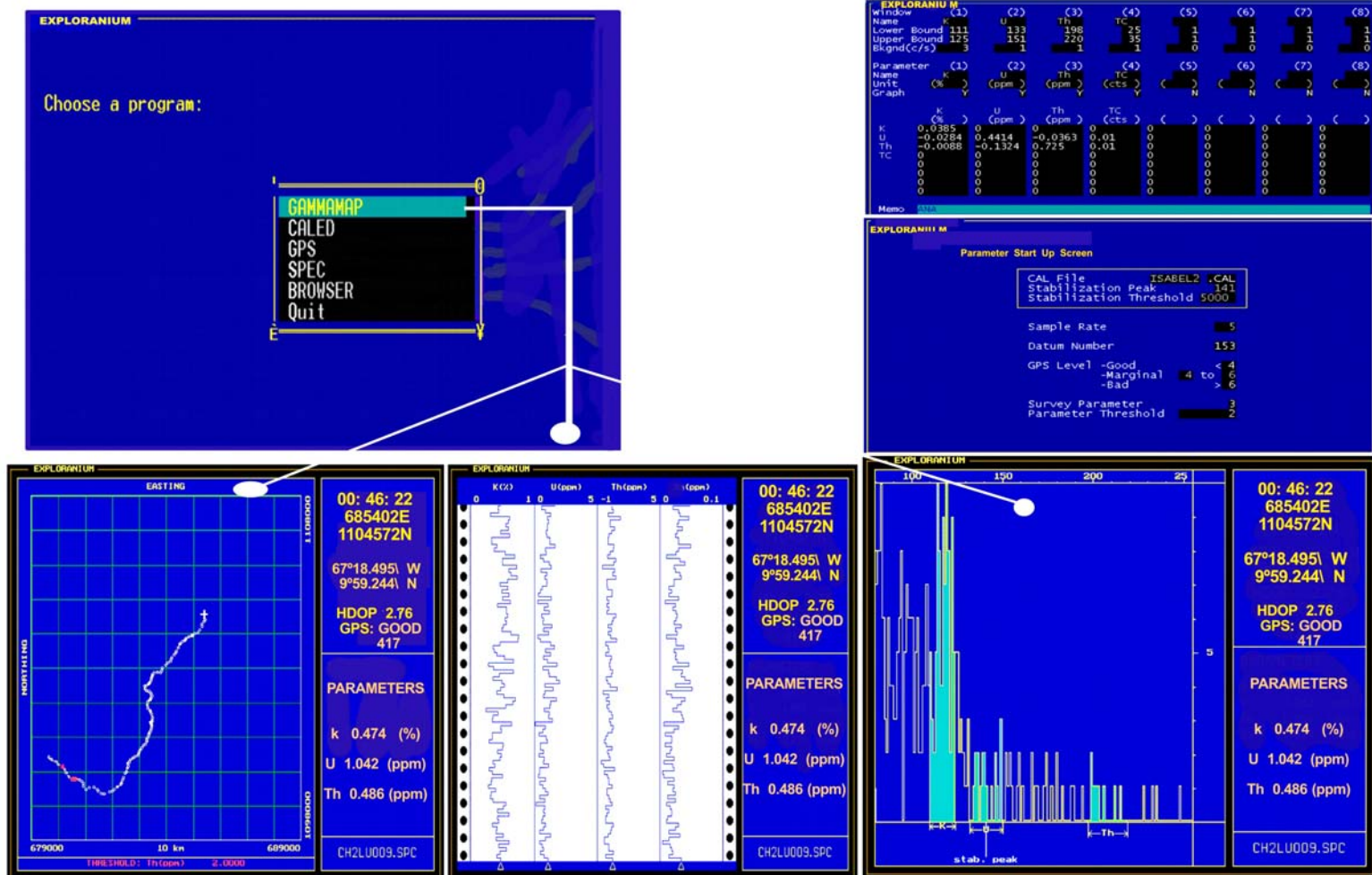


Figura N° 34: Esquema del software GR-650: GAMMAP, CALED y ISABEL2.CAL. Presentación en pantalla: Mapa del recorrido del autotransportado; localización (UTM o geográfica), parámetros de la actividad radioactiva, espectro individual y total de la radiación gamma, los señalados en esta figura.

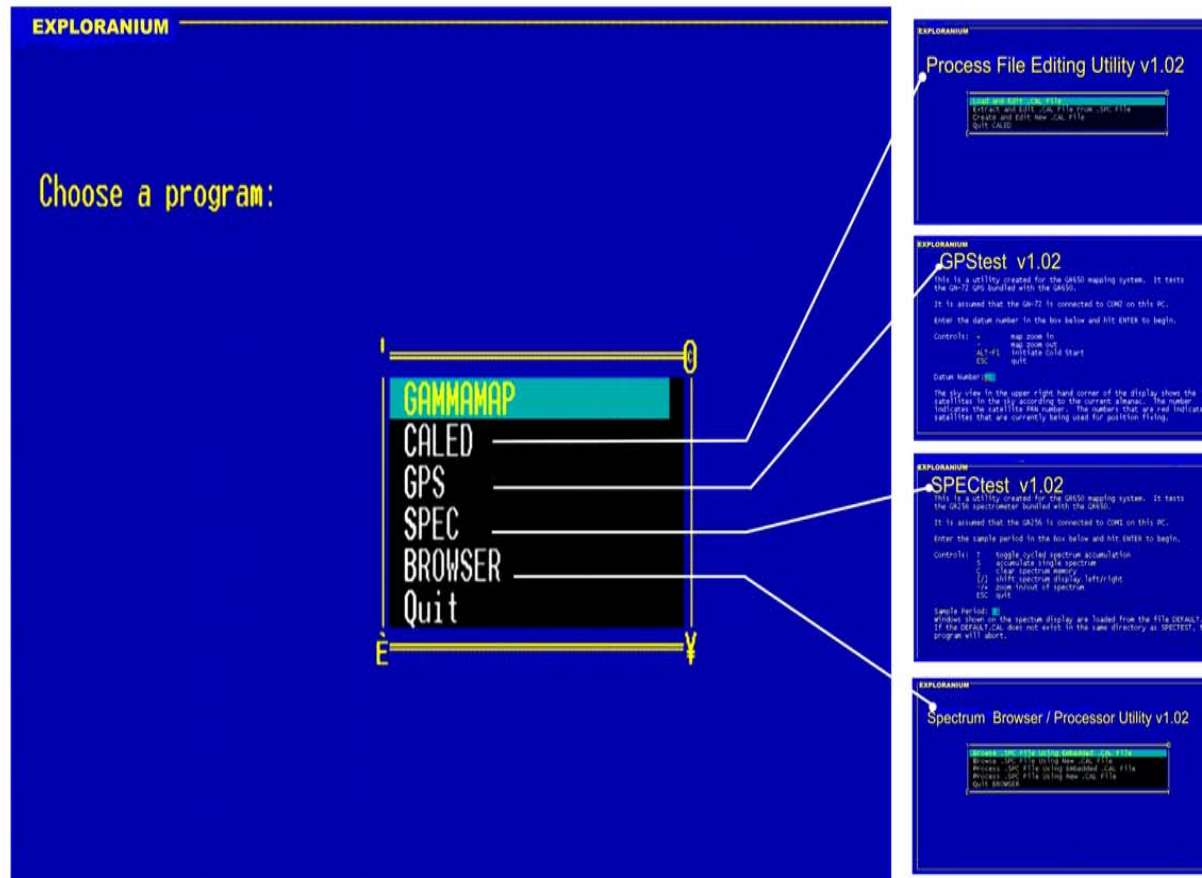


Figura N° 35: Esquema del software GR-650: CALED, GPS, SPEC y BROWSER. Presentación en pantalla de los otros acciones o comandos que ejecuta el programa para completar o verificar la adquisición de los datos radimétricos.

| EQUIPO                                                                                                        | ROI          | CONSTANTES DE CALIBRACIÓN:<br>C <sub>1</sub> a C <sub>4</sub> | MATRIZ DE CALIBRACIÓN:<br>C <sub>6</sub> a C <sub>14</sub> |         |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------|---------|
| <b>GR-256</b><br>PORTÁTIL<br>TIEMPO: 200 S                                                                    | # 1:10 - 255 | 32767                                                         | 478                                                        | -399    | -59     |
|                                                                                                               | # 2:111-125  | 30                                                            | -52                                                        | 4213    | -2770   |
|                                                                                                               | # 3:133-151  | 13                                                            | 118                                                        | -436    | 13088   |
|                                                                                                               | # 4:197-219  | 6                                                             |                                                            |         |         |
| <b>GR-650</b><br>AUTOTRANSPORTADO<br>TIEMPO: 5 S<br>ARCHIVO DE CAL: ISABEL2.CAL<br>PICO DE ESTABILIZACIÓN:141 | # 1:10 - 255 | 3                                                             | 0.0385                                                     | 0       | 0       |
|                                                                                                               | # 2:111-125  | 1                                                             | -0.0284                                                    | 0.4414  | -0.0363 |
|                                                                                                               | # 3:133-151  | 1                                                             | -0.0088                                                    | -0.1324 | 0.725   |
|                                                                                                               | # 4:198-220  | 1                                                             |                                                            |         |         |

Tabla N° 53: Constantes de calibración del los equipos GR-256 y GR-650.

### Levantamientos de espectrometría gamma pedestre con EXPLORANIUM GR-256

Durante este trabajo de campo se ejecutaron itinerarios radimétricos pedestres (tabla N° 54), realizándose mediciones de la intensidad de radiación gamma, en superficie y afloramientos de los sectores de anomalías geoquímicas de barita, de manera que limitaran estas regiones. En la figura N° 36 se ilustran los recorridos del levantamiento de espectrometría gamma pedestre con **EXPLORANIUM GR-256**, en la zona de estudio.

| SECTOR                                       | LEVANTAMIENTO RADIMÉTRICO                                                                                                                                                                    | PERFILES                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LOS COROZOS.</b><br>Qda. Los Corozos      | Se realizaron mediciones de espectrometría de radiación gamma pedestre, con un mallado de cinco (5) perfiles.                                                                                | Se cubrió un área de 0.2 km <sup>2</sup> . Se realizaron 5 perfiles con una longitud de 1000 metros cada uno, y una separación entre estaciones de 25 metros.           |
| <b>EL VALLE</b><br>Qda. El Valle             | Se realizaron mediciones de espectrometría de radiación gamma pedestre, con un mallado de cinco (5) perfiles.                                                                                |                                                                                                                                                                         |
| <b>Sector</b><br><b>Los Corozos-El Valle</b> | Se realizaron mediciones de Espectrometría de Radiación Gamma Pedestre Se realizó un levantamiento final de cierre entre Los Corozos y el sector El Valle, utilizando el GR-650 y el GR-256. | Se realizó un itinerario desde el Sector Los Corozos hasta el Sector El Valle, con una longitud de 4,786 km, y una separación entre estaciones de 50 metros.            |
| <b>LOS PARAPAROS</b>                         | Levantamiento con espectrometría de radiación gamma pedestre con el GR-256.                                                                                                                  | Se realizó un itinerario desde la vía principal engrazonada hasta el sector Los Paraparos con una longitud de 2,135 km, y una separación entre estaciones de 50 metros. |
| <b>LA PALMA</b>                              | Levantamiento radimétrico pedestre, con espectrometría de radiación gamma                                                                                                                    | Se realizó un itinerario desde el Sector Los Paraparos hasta el sector La Palma, con una longitud de 2,100 km, y una separación entre estaciones de 50 metros.          |

Tabla N° 54: Esquema de sectores del levantamiento por espectrometría gamma pedestre EXPLORANIUM GR-256 en la zona de estudio.

## Metodología de las mediciones

El equipo de trabajo para el levantamiento en escala pequeña estuvo formado por cuatro personas: un geofísico, un operador y dos obreros, que sirvieron para el levantamiento topográfico de los perfiles planificados.

La distribución de los perfiles se realizó en base a las características geológicas de los sectores de detalle, específicamente perpendiculares a las estructuras y al rumbo de las capas y afloramientos ubicados en las zonas de las anomalías geoquímicas. Simultáneamente se ejecutaron itinerarios en estos sectores: 1°. itinerario geoquímico. 2°. itinerario radiométrico, donde el primero está condicionado a la dirección y sentido del segundo.

Este levantamiento se complemento con la ejecución de una red de perfiles paralelos (fig. N° 36), que consta de cinco perfiles paralelos, de una longitud de un (1) kilómetro cada uno, con una separación entre los perfiles de cincuenta (50) m, haciendo una lectura en estaciones separadas cada 25 m.

Trazando el rumbo o dirección de dichos perfiles perpendiculares a las estructuras geológicas presentes y además partiendo como referencia de un eje principal que coincide con la ubicación de lentes de barita (Zerpa et al., 1997), para así lograr detectar el valor de máxima intensidad de radiación, alrededor de los afloramientos de la mineralización.

Las medidas *in situ* con el espectrómetro gamma portátil se efectuaron en cada sitio secundario donde se recogió una muestra de referencia geoquímica del mineral anómalo, para así realizarles los análisis de laboratorio con el objetivo de determinar las concentraciones de los radioelementos naturales en ellas y del mineral anómalo.

Para conocer la respuesta de la situación geológica de las zonas de las anomalías geoquímicas, se ejecutaron levantamientos radiométricos en forma de recorridos o itinerario que unieron las zonas estudiadas a detalle, es decir en los

## LEVANTAMIENTO DE ESPECTROMETRÍA GAMMA AUTOTRANSPORTADO Y PEDESTRE

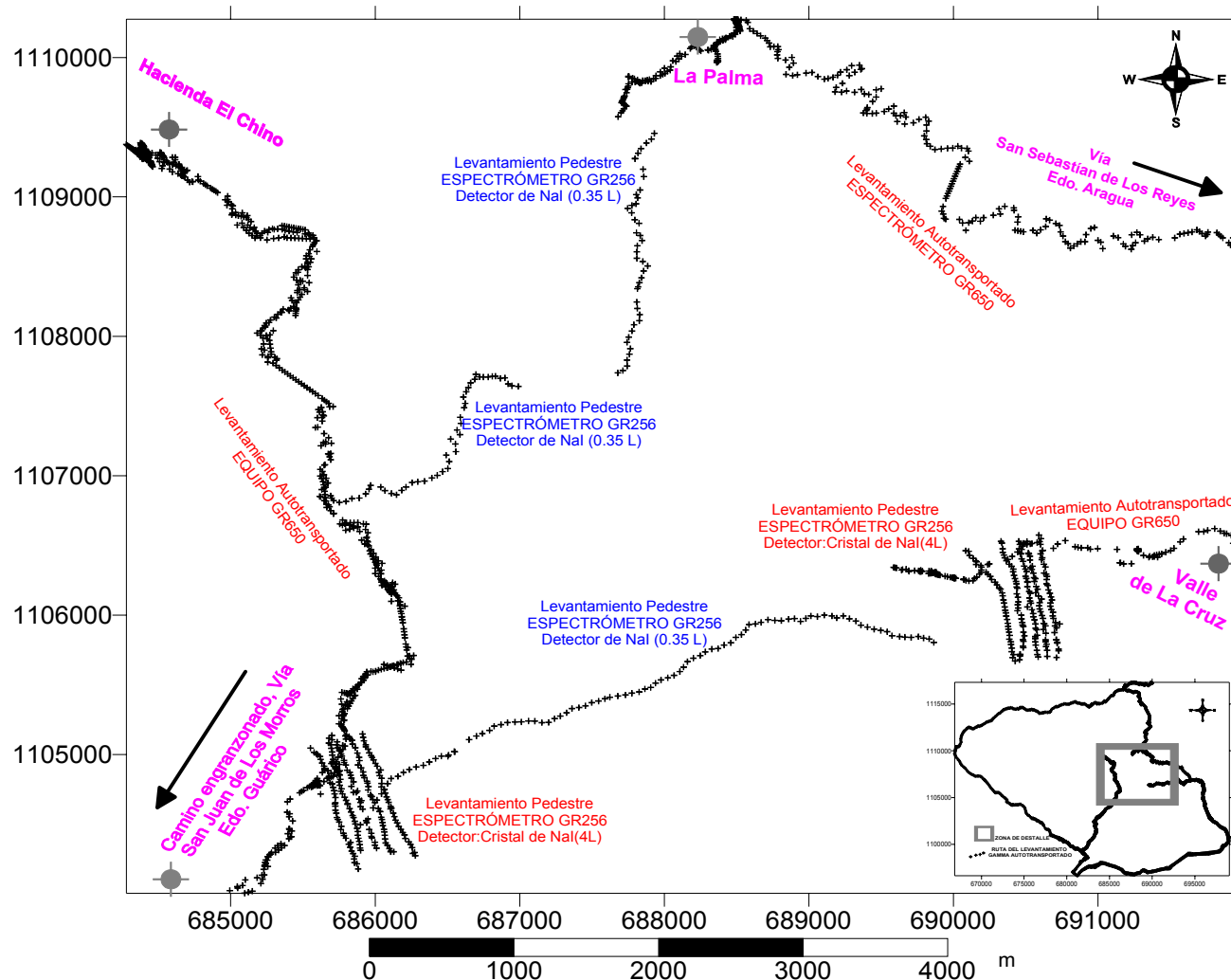


Figura N° 36: Recorridos del levantamiento de espectrometría gamma autotransportada y pedestre con EXPLORANIUM GR-650 y GR-256, en la zona de estudio.

sectores Los Corozos (Qda. Los Corozos) y El Valle (Qda. El Valle). Al igual que en los sectores adyacentes como Los Paraparos y La Palma, se realizó un muestreo con un espaciamiento de cincuenta (50) m entre estación o punto de medida, considerándose los sitios, como se mencionó anteriormente, de las anomalías geoquímicas de barita.

Por otra parte se trató de cubrir las regiones situadas cerca de rutas accesibles al transporte, realizándose el mayor número de levantamiento gamma autotransportado y lograr así circundar o rodear los sectores de detalle.

Se debe apuntar que la respuesta de la actividad radiactiva en los sectores a detalle está influenciada por las características topográficas de la zona de estudio, lo que ocasiona que en regiones montañosas con relieve abrupto se encuentre con frecuencia un desplazamiento de la aureola de dispersión de determinadas rocas de radiactividad elevada. A consecuencia de ello, sería detectada una intensidad elevada por debajo del lugar donde se encuentra la roca que le dio origen; este hecho se tendrá en cuenta a la hora de relacionar los contactos de las rocas investigadas.

En cuanto a la confiabilidad de las medidas, se efectuaron en un intervalo de conteo de 200 segundos, lo que se considera un requisito importante para un buen conteo estadístico, ya que el índice del conteo de rayo gamma o el número de conteo total de los rayos gammas en una medida debe ser bastante grande para ser considerado una medida estadística confiable, esto se relaciona con la exactitud deseada de una medida.

El aumento del tiempo de conteo para un espectrómetro gamma portátil reduce el número de las lecturas que se pueden hacer cada día. En un levantamiento autotransportado, el aumento del tiempo de conteo significa que cada medida se relaciona con una mayor distancia respecto al detector, y por lo tanto cada una representa un volumen más grande de roca.

Las mediciones espectrométricas se realizaron mayormente en los afloramientos de rocas, y en zonas cubiertas por vegetación de chaparros y arbustos.

Los datos obtenidos se presentan en el anexo I, tanto el levantamiento autotransportado como los levantamientos pedestres, que comprenden los itinerarios y perfiles en los sectores favorables a las anomalías geoquímicas.



## 4.2- Caracterización del fondo geoquímico

Como fase subsiguiente en la aplicación de la espectrometría de radiación gamma, la caracterización del fondo geoquímico forma parte importante en la prospección del método radimétrico, orientado a la ubicación y delimitación de minerales anómalos radiactivos o asociados a éstos. Constituye un tema de investigación en la parte inicial de la metodología, que se debe seguir para el estudio del método en cuestión.

El estudio del fondo geoquímico de los elementos radiactivos en las rocas tiene gran importancia para las zonas estudiadas por primera vez, ya que son indicadores de procesos geológicos. Sólo sobre la base de estos datos se puede determinar si el contenido de uranio en una roca es elevado o no. Los resultados de estos trabajos son un parámetro importantísimo en la evaluación de las perspectivas de una zona, de una anomalía y para el levantamiento geológico en sí.

Este estudio en su variante más simple, se realiza mediante el análisis de las curvas de variación de intensidad o de actividad radiactiva de los distintos tipos de rocas aflorantes y de zonas recubiertas por depósitos diseminados. Como resultado de este análisis se determinan el valor más probable y el intervalo de variación de la intensidad de radiación para cada tipo de roca. En este caso se tomaron los valores de concentración de radioelementos reportados por el **EXPLORANIUM GR-650**, y así compararlos con la litología propuesta por Serrano (1982). Estos criterios son los planteados en la parte correspondiente al cálculo de valor de fondo radiactivo de las medidas realizadas para los dos tipos de levantamiento de espectrometría gamma.

Se plantea igualmente la información básica para tener un control del valor del fondo geoquímico en la zona de estudio, asociado al mineral anómalo, barita.

### 4.2.1- Trabajos previos geoquímicos

Una investigación de la prospección geoquímica preliminar sobre el mineral anómalo en la región estudiada y una aplicación de una técnica nuclear, como es la fluorescencia de rayos X para la prospección de barita se presentan en la tabla N° 49. A su vez se ubicaron las muestras de dichos trabajos, en el mapa geológico de la zona de

| AUTOR                   | CONCLUSIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BALL et al.,<br>1979    | DESCRIBEN UN MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN EN CAMPO Y EN EL LABORATORIO DEL CONTENIDO DEL BA Y DEL SR, USANDO UN ESPECTRÓMETRO PORTÁTIL DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X, EN EL OESTE DE INGLATERRA. CON LÍMITES DE DETECCIÓN EN GAMMA DE 200-1500 PPM. LAS CONCENTRACIONES DEL FONDO DEL BA Y DEL SR, COINCIDEN O ESTÁN POR ENCIMA DE LOS LÍMITES DE DETECCIÓN DEL MINERAL CON EL ANALIZADOR DE CAMPO Y DEL LABORATORIO QUE POR LO TANTO SATISFACE AL ANÁLISIS DEL CAMPO O DEL LABORATORIO DEL CAMPO DURANTE LAS EXPLORACIONES PARA LAS OCURRENCIAS DE ESTOS ELEMENTOS, LAS VENTAJAS DEL ANÁLISIS EN CAMPO SON MÁS RÁPIDAS, REDUCCIÓN DE LOS COSTOS DE TRANSPORTE, Y OPERACIONALES MEJORADO EFICACIA TOTAL, LOS RESULTADOS ESTÁN ENFOCADOS A LAS BONDADDES TÉCNICAS DEL LOS EQUIPOS UTILIZADOS.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Navarro,<br><br>1983    | 1. Se dividió la secuencia del Grupo villa de Cura en tres unidades (Granofels, Metalavas y Metatobas), en base al predominio de un determinado tipo de roca.<br>2. Las características geoquímicas de las rocas estudiadas permiten concluir que se trata fundamentalmente de tipos litológicos de afinidad toleítica de piso oceánico, aunque rocas andesíticas pertenecientes posiblemente a una asociación calco-alcalina, se encuentran en menor proporción. Esta últimas pertenecen a la Unidad de Lavas, Brechas y Tobas.<br>3. El metamorfismo de las rocas del Grupo Villa de Cura es el tipo bárico de alta P/T y es evidente un aumento del grado del mismo, de norte a sur.<br>4. Determinó las facies metamórficas para la zona de estudio.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Rodríguez,<br>1983      | ✓ Los resultados de los elementos SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , MnO y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> dio como resultado que las rocas del Grupo Villa de Cura presentan una composición química en el rango de basaltos.<br>✓ El diagrama d variación de Na <sub>2</sub> O +K <sub>2</sub> O en función de SiO <sub>2</sub> muestra que estas rocas pertenecen a una serie no-alcalina.<br>✓ La variación de K <sub>2</sub> O en función de SiO <sub>2</sub> indica que estas rocas fueron enriquecidas en potasio, este enriquecimiento posiblemente se debe a la presencia de sedimentos en las metatobas o que algunos esquistos y granofels son de origen sedimentario ya que no hay evidencias que indiquen que esta variación haya sido producida por meteorización submarina.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Flores,<br>1984         | El estudio de la dispersión secundaria de las quebradas Los Corozos y Las Tunas dio como resultados:<br>♦ El Ba presenta concentraciones anómalas en amabas quebradas.<br>♦ El comportamiento del Ba, es contrario al de los elementos Fe, Ca, y Mg.<br>♦ El comportamiento geoquímico y estadístico de las quebradas Los Corozos aguas abajo y Las Tunas es similar, lo cual indica que ambas quebradas son similares.<br>♦ El origen de la mineralización de barita ubicada en la quebrada Los Corozos, probablemente sea volcanogénico con cierto carácter hidrotermal, debido a la presencia del mineral cymrita de origen hidrotermal, formado probablemente por reacción metasomática en el contrato de la barita y la moscovita a temperatura relativamente alta.<br>♦ Los elementos Cu y Zn presentan una distribución contraria a la del Ba, en las mineralizaciones estudiadas lo cual significa que el Ba tiene un comportamiento geoquímico contrario al Zn y Cu.                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Navarro et al.,<br>1985 | a. Se determinó la concentración de Ti, Rb, Sr, Zr, Y, Nb, Ni y Cr en 54 muestras de lava metamorfozada provenientes del Grupo Villa de Cura, la mayoría de las cuales de origen piroxénicos.<br>b. La mayoría de las muestras se ubican en el campo de MORB, basaltos originados en el dorsal centro-oceánica, lo cual corrobora en parte lo señalado por Navarro (1983) en cuanto al origen de Grupo Villa de Cura, que debe estar relacionado a una cuenca oceánica del tipo marginal ubicada al norte del cratón de Guayana y al sur de donde hoy se localiza la Cordillera de la costa.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| CORPOCENTRO,<br>1996    | 1- Como resultado de los estudios de prospección geoquímica ejecutados se logró ubicar áreas anómalas en bario y delimitar una amplia zona hidrotermalizada asociado a los intervalos litológicos de las formaciones El Chino Y El Carmen del Grupo Villa de Cura.<br>2- Las anomalías en bario delimitan un área potencial para mineralizaciones de barita de aproximadamente 20 Km <sup>2</sup> que incluyen las quebradas Los Corozos, Copey Las Tunas, Los Paraparos, Los Papayos, afluentes de la Quebrada El Chino, y las cabeceras de Las Tablas y, El Valle, afluentes del río Pao.<br>3- En la Quebrada Los Paraparos se detectó la presencia de una zona hidrotermalizada caracterizada por intervalos sericiticos. piríticos.y síliceos semejantes a la mineralización de Santa Isabel, Edo. Guárico.<br>4- La coincidencia en el área de distribución del bario, el zinc y el hecho de obtener la más alta correlación en el estudio efectuado señalan que estos elementos presentan una alta asociación geoquímica.<br>5- Toda la zona investigada se ubica en la secuencia metavolcánica y metasedimentaria de las formaciones El Chino, El Carmen y Santa Isabel.                                                                                       |
| Zerpa et al.,<br>1997   | ❖ Los altos contenidos de Ba, Sr, Pb y un tramo de interés de unos 200 m de longitud, que coincide con la presencia de capa mineralizada con barita asociada con piritita en la quebrada El Valle.<br>❖ Los altos contenidos de Ba y Sr en el concentrado de minerales pesados en el extremo oeste de la Quebrada El Valle, indican que es posible la existencia de otra de bario o la prolongación de en la Quebrada El Valle.<br>❖ La capa mineralizada tiene una longitud de unos 100 m de largo por 6 de ancho con posibilidades de continuar hacia el oeste.<br>❖ Hay una asociación entre los altos contenidos de barita, estroncio y piritita en la mineralización. En el tope de la capa mineralizada se ubicó la presencia de una roca básica con alto contenido de piroxenos y cantidades significativas de elementos asociados a minerales ferromagnesianos como el Fe, Cr, Ni y Co.<br>❖ La composición química y mineralógica, a lo largo y ancho de la capa mineralizada, está controlada por cambios litológicos locales que van desde metavolcánicas con barita a metavolcánicas sin barita y cuerpos máficos.<br>❖ El muestreo de concentrado de minerales pesados en la roca metavolcánica es sumamente útil para localizar áreas anómalas en bario. |
| INGEOMIN,<br>2001       | ➢ En la Quebrada Los Corozos existe un lente de barita de 5 m de largo por 2m de ancho, con un porcentaje de 99 % de BaSO <sub>4</sub> .<br>➢ Los análisis mineralógicos de muestras de rocas en las quebradas Los Paraparos y La Reinosa indican la presencia de barita en el orden de 1-4 %.<br>➢ En el área de San Francisco existen manifestaciones de barita.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Tabla Nº 55: Resumen de los trabajos de investigación geoquímica en la zona de estudio.

estudio, pero se debe aclarar que su situación es relativa, ya que se obtuvieron de mapas referidos a una escala gráfica (fig. N° 37).

Los valores anómalos de bario en algunas muestras de los trabajos realizados en la zona de estudio sugieren la posible existencia de nuevas mineralizaciones de barita o continuidad de la anterior, en la zona de estudio.

#### 4.2.2- Muestreo geoquímico

Los métodos de radiación gamma tienen un papel importante en la geoquímica, ya que puede llevarse a cabo *in situ* la estimación cuantitativa de elementos radiactivos. Es muy significativo conocer el contenido de estos elementos (U, Th, K) por separado. La espectrometría gamma autotransportada es un componente importante de la cartografía geoquímica, porque permite determinar traza de elementos radiactivos (ambos que ocurre naturalmente y artificial), además puede informar sobre los datos relacionados a la abundancia del radioelemento y dosis de proporción del nucleido asociado. En la práctica, la técnica es la única entre los métodos que puede el geoquímico aplicar en cualquier superficie de la Tierra.

La exploración geoquímica está enfocada en el descubrimiento de distribuciones anómalas de elementos. La selección del elemento bario en este caso, como explorador, requiere un modelo del depósito mineral que se espera delimitar o localizar.

El objetivo de un reconocimiento detallado es la delineación y la caracterización geoquímica del cuerpo mineralizado en la manera más precisa como posible. Para verificar si existe una correlación entre la probabilidad de la presencia de los radioelementos naturales y la abundancia media de barita en una roca representativa para la región se estableció una red de muestreo con un espaciamiento amplio en los afloramientos de rocas con mineralizaciones de barita.

Se efectuó el levantamiento pedestre y recolección de muestras de rocas para determinar anomalías y la relación existente entre la petrología y concentración de minerales radiactivos, y a su vez entre las anomalías geoquímicas de barita.



Partiendo de que la composición química y mineralógica, a lo largo y ancho de la capa mineralizada, está controlada por cambios litológicos locales que van desde metavolcánicas con barita a metavolcánicas sin barita (Zerpa et al., 1997), se ejecutó en la zona de estudio este muestreo geoquímico de 39 muestras de rocas, alrededor de los afloramientos de barita, en unos casos seleccionadas en base de los antecedentes geoquímicos-geológicos, y otros en lugares condicionados por la trayectoria de los perfiles radiométricos (fig. N° 38).

#### 4.2.2.1- Análisis de laboratorio

En la etapa preliminar para el análisis de las muestras se efectuaron los siguientes procedimientos: clasificación de las muestras, pulverización, cuarteo, etc. hasta obtener una pastilla.

Los análisis de las muestras de rocas que se realizaron en los laboratorios del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) fueron: análisis de espectrofotometría de absorción atómica, de fluorescencia de rayos X y el análisis mineralógico. Estos resultados se presentan en las tablas N° 56, 57 y 58.

Se determinaron las concentraciones de los elementos mayoritarios y minoritarios por espectrofotometría de absorción atómica, mientras que el uranio, el torio y la concentración del bario a partir del óxido de bario(%) por fluorescencia de rayos-X.

La información que resulta del estudio de estas muestras se considera detalladamente más adelante, donde se presenta el análisis estadístico de los resultados y evaluación geológica de los datos tomando en cuenta los datos geológicos y geofísicos. Además se tendrá una información que sirve de apoyo para establecer los valores de fondo, el umbral y valores anómalos de las mineralizaciones de barita.



| ANÁLISIS FLUORESCENCIA DE RAYO X |            |          |           |                                                                             |         |         |
|----------------------------------|------------|----------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------|---------|---------|
| Nº                               | MUESTRA    | UTM Este | UTM Norte | BaO (%)                                                                     | U (ppm) | Th(ppm) |
| 1                                | BWa-1      | 685.900  | 1.104.697 | 6,54*                                                                       | <20     | <20     |
| 2                                | 2BNa-523   | 687.611  | 1.105.427 | 4,39*                                                                       | <20     | <20     |
| 3                                | BNa-527    | 687.908  | 1.105.513 | 6,72*                                                                       | <20     | <20     |
| 4                                | 7BNa-528   | 685.906  | 1.104.721 | 0,54                                                                        | <20     | <20     |
| 5                                | BSNa       | 685.901  | 1.104.644 | 0,04                                                                        | <20     | <20     |
| 6                                | BSNa-2     | 685.885  | 1.104.696 | 0,01                                                                        | <20     | <20     |
| 7                                | BOa        | 685.907  | 1.104.704 | 0,20                                                                        | <20     | <20     |
| 8                                | EV1Q-14    | 690.723  | 1.105.727 | 23,07*                                                                      | <20     | <20     |
| 9                                | EV2P-1S    | 690.712  | 1.105.823 | 0,11                                                                        | <20     | <20     |
| 10                               | EV2P-9U    | 690.565  | 1.105.846 | 0,05                                                                        | <20     | <20     |
| 11                               | EV2Q-17    | 690.565  | 1.105.831 | 0,03                                                                        | <20     | <20     |
| 12                               | EV2P-1125S | 690.188  | 1.105.799 | 0,16                                                                        | <20     | <20     |
| 13                               | EV2WP-920  | 690.729  | 1.105.861 | 0,12                                                                        | <20     | <20     |
| 14                               | EV2WP-921  | 690.767  | 1.105.843 | 19,13*                                                                      | <20     | <20     |
| 15                               | LC1C-1     | 685.932  | 1.104.732 | 0,10                                                                        | <20     | <20     |
| 16                               | LC1C-3     | 685.930  | 1.104.746 | 0,06                                                                        | <20     | <20     |
| 17                               | LC1C-12    | 685.964  | 1.104.756 | 0,10                                                                        | <20     | <20     |
| 18                               | LCP-#67N   | 685.744  | 1.105.056 | 1,30                                                                        | <20     | <20     |
| 19                               | LCP-140ON2 | 685.741  | 1.105.047 | 0,04                                                                        | <20     | <20     |
| 20                               | LCP-12751  | 685.782  | 1.104.951 | 0,15                                                                        | <20     | <20     |
| 21                               | LCP-13425N | 685.733  | 1.105.069 | 0,02                                                                        | <20     | <20     |
| 22                               | LC2P-10    | 685.889  | 1.104.811 | 63,96*                                                                      | <20     | <20     |
| 23                               | LC2P-30    | 685.977  | 1.104.647 | 1,03                                                                        | <20     | <20     |
| 24                               | LC2P-40    | 686.344  | 1.105.881 | 0,01                                                                        | <20     | <20     |
| 25                               | LC2P-50    | 686.088  | 1.105.537 | 0,47                                                                        | <20     | <20     |
| 26                               | LC2P-225N  | 686.230  | 1.106.142 | 0,05                                                                        | <20     | <20     |
| 27                               | LC2P-250S  | 685.886  | 1.104.799 | 0,10                                                                        | <20     | <20     |
| 28                               | LC2P-275S  | 685.888  | 1.104.798 | 0,05                                                                        | <20     | <20     |
| 29                               | LC2P-425N  | 686.293  | 1.105.995 | 0,01                                                                        | <20     | <20     |
| 30                               | LC2P-525N  | 686.170  | 1.105.554 | 2,37*                                                                       | <20     | <20     |
| 31                               | LC2P-550N  | 686.279  | 1.105.625 | 0,72                                                                        | <20     | <20     |
| 32                               | LC2P-575S  | 686.242  | 1.105.598 | 0,05                                                                        | <20     | <20     |
| 33                               | LC2P-4100S | 685.950  | 1.104.693 | 0,11                                                                        | <20     | <20     |
| 34                               | LPA1QPA    | 687.931  | 1.109.456 | 0,07                                                                        | <20     | <20     |
| 35                               | LPA1QPA(B) | 688.131  | 1.109.756 | 0,10                                                                        | <20     | <20     |
| 36                               | LP-310N1   | 686.809  | 1.108.246 | 0,10                                                                        | <20     | <20     |
| 37                               | LP-311N    | 686.759  | 1.108.146 | 0,13                                                                        | <20     | <20     |
| 38                               | LR-1QU     | 684.876  | 1.109.387 | 63,14*                                                                      | <20     | <20     |
| NOMENCLATURA:                    |            |          | (ppm)     | Partes por millón                                                           |         |         |
|                                  |            |          | *         | Muestras analizadas por difracción de rayos x por presentar valores máximos |         |         |

**Tabla N° 56: Análisis químico de las muestras en la zona de estudio.**  
Realizado por Laboratorios del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN)



| ANÁLISIS ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA |            |          |           |                      |                                    |          |          |          |
|--------------------------------------------------|------------|----------|-----------|----------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|
| Nº                                               | MUESTRA    | UTM Este | UTM Norte | K <sub>2</sub> O (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | Zn (ppm) | Co (ppm) | Pb (ppm) |
| 1                                                | BWa-1      | 685.900  | 1.104.697 | 1,80                 | 1,72                               | 58       | 32       | 26       |
| 2                                                | 2BNa-523   | 687.611  | 1.105.427 | 0,23                 | 1,96                               | 149      | 29       | 26       |
| 3                                                | BNa-527    | 687.908  | 1.105.513 | 0,22                 | 2,54                               | 175      | 19       | 39       |
| 4                                                | 7BNa-528   | 685.906  | 1.104.721 | 0,70                 | 1,35                               | 156      | 32       | 32       |
| 5                                                | BSNa       | 685.901  | 1.104.644 | 0,53                 | 10,01                              | 121      | 72       | 67       |
| 6                                                | BSNa-2     | 685.885  | 1.104.696 | 0,01                 | 7,84                               | 552      | 63       | 67       |
| 7                                                | BOa        | 685.907  | 1.104.704 | 0,73                 | 10,91                              | 99       | 82       | 94       |
| 8                                                | EV1Q-14    | 690.723  | 1.105.727 | 0,71                 | 7,77                               | 127      | 46       | 39       |
| 9                                                | EV2P-1S    | 690.712  | 1.105.823 | 1,19                 | 12,72                              | 100      | 96       | 66       |
| 10                                               | EV2P-9U    | 690.565  | 1.105.846 | 0,19                 | 1,68                               | 65       | 42       | 53       |
| 11                                               | EV2Q-17    | 690.565  | 1.105.831 | 0,52                 | 9,82                               | 123      | 76       | 87       |
| 12                                               | EV2P-1125S | 690.188  | 1.105.799 | 2,56                 | 6,01                               | 178      | 49       | 46       |
| 13                                               | EV2WP-920  | 690.729  | 1.105.861 | 0,93                 | 9,83                               | 85       | 82       | 52       |
| 14                                               | EV2WP-921  | 690.767  | 1.105.843 | 0,82                 | 7,66                               | 92       | 46       | 46       |
| 15                                               | LC1C-1     | 685.932  | 1.104.732 | 1,36                 | 9,30                               | 122      | 79       | 73       |
| 16                                               | LC1C-3     | 685.930  | 1.104.746 | 0,84                 | 11,47                              | 124      | 79       | 87       |
| 17                                               | LCIC-12    | 685.964  | 1.104.756 | 0,06                 | 9,50                               | 103      | 96       | 46       |
| 18                                               | LCP-#67N   | 685.744  | 1.105.056 | 0,10                 | 10,17                              | 97       | 66       | 73       |
| 19                                               | LCP-140ON2 | 685.741  | 1.105.047 | 0,05                 | 10,93                              | 73       | 86       | 66       |
| 20                                               | LCP-12751  | 685.782  | 1.104.951 | 1,89                 | 9,02                               | 93       | 83       | 53       |
| 21                                               | LCP-13425N | 685.733  | 1.105.069 | 0,05                 | 13,62                              | 122      | 82       | 60       |
| 22                                               | LC2P-10    | 685.889  | 1.104.811 | ND                   | 0,08                               | 17       | ND       | ND       |
| 23                                               | LC2P-30    | 685.977  | 1.104.647 | 5,13                 | 10,92                              | 258      | 63       | 80       |
| 24                                               | LC2P-40    | 686.344  | 1.105.881 | 0,03                 | 10,00                              | 91       | 86       | 60       |
| 25                                               | LC2P-50    | 686.088  | 1.105.537 | 1,39                 | 6,17                               | 179      | 29       | 53       |
| 26                                               | LC2P-225N  | 686.230  | 1.106.142 | 0,55                 | 1,97                               | 64       | 36       | ND       |
| 27                                               | LC2P-250S  | 685.886  | 1.104.799 | 1,37                 | 9,59                               | 88       | 73       | 53       |
| 28                                               | LC2P-275S  | 685.888  | 1.104.798 | 0,97                 | 10,43                              | 94       | 76       | 66       |
| 29                                               | LC2P-425N  | 686.293  | 1.105.995 | 0,04                 | 9,58                               | 83       | 76       | 94       |
| 30                                               | LC2P-525N  | 686.170  | 1.105.554 | 6,42                 | 10,34                              | 187      | 66       | 66       |
| 31                                               | LC2P-550N  | 686.279  | 1.105.625 | 5,67                 | 11,43                              | 307      | 62       | 80       |
| 32                                               | LC2P-575S  | 686.242  | 1.105.598 | 0,24                 | 7,02                               | 91       | 66       | 39       |
| 33                                               | LC2P-4100S | 685.950  | 1.104.693 | 1,27                 | 10,90                              | 101      | 72       | 66       |
| 34                                               | LPA1QPA    | 687.931  | 1.109.456 | 0,02                 | 13,24                              | 125      | 59       | 73       |
| 35                                               | LPA1QPA(B) | 688.131  | 1.109.756 | 0,33                 | 10,40                              | 111      | 63       | 94       |
| 36                                               | LP-310N1   | 686.809  | 1.108.246 | 2,15                 | 9,20                               | 117      | 42       | 128      |
| 37                                               | LP-311N    | 686.759  | 1.108.146 | 4,91                 | 7,28                               | 28       | 52       | 73       |
| 38                                               | LR-1QU     | 684.876  | 1.109.387 | 0,03                 | 0,23                               | 131      | ND       | 6800     |

Limite de detección: Zn = 1mg/Kg    Co = 12 mg/Kg    Pb = 25 mg/Kg

**Tabla N° 57: Análisis químico de las muestras en la zona de estudio.**  
Realizado por Laboratorios del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN)



| Nº | MUESTRA    | UTM Este | UTM Norte | Cl | Anf | Cz | Pl | Musc | Ba | Epid | Hem | Caol | Yeso | Goet | Opx | FK | Biot | Cym |
|----|------------|----------|-----------|----|-----|----|----|------|----|------|-----|------|------|------|-----|----|------|-----|
| 1  | BWa-1      | 685.900  | 1.104.697 | -  | -   | MP | -  | -    | A  |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 2  | 2BNa-523   | 687.611  | 1.105.427 | -  | -   | A  | -  | -    | -  | -    | -   | -    | -    | -    | -   | -  | -    | E   |
| 3  | BNa-527    | 687.908  | 1.105.513 | -  | -   | MP | -  | -    | A  | -    | -   | -    | ME?  | -    | -   | -  | -    | E   |
| 4  | 7BNa-528   | 685.906  | 1.104.721 | -  | -   | A  | MP | E    |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 5  | BSNa       | 685.901  | 1.104.644 | A  | E   | -  | E  |      |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 6  | BSNa-2     | 685.885  | 1.104.696 | A  | -   | E  |    |      |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 7  | BOa        | 685.907  | 1.104.704 | -  | MP  | -  | -  | -    | -  | E    | -   | A    |      |      |     |    |      |     |
| 8  | EV1Q-14    | 690.723  | 1.105.727 | -  | -   | -  | -  | -    | MA |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 9  | EV2P-1S    | 690.712  | 1.105.823 | A  | E   | -  | E  | -    | -  | E    | -   | -    | -    | -    | E   |    |      |     |
| 10 | EV2P-9U    | 690.565  | 1.105.846 | -  | -   | E  | A  |      |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 11 | EV2Q-17    | 690.565  | 1.105.831 | A  | MP  | -  | -  | -    | -  | E    |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 12 | EV2P-1125S | 690.188  | 1.105.799 | A  | E   | -  | -  | E    |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 13 | EV2WP-920  | 690.729  | 1.105.861 | A  | MP  |    |    |      |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 14 | EV2WP-921  | 690.767  | 1.105.843 | E  | -   | E  | E  | -    | A  |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 15 | LC1C-1     | 685.932  | 1.104.732 | MP | A   | -  | -  | -    | -  | -    | -   | -    | -    | -    | -   | -  | ME?  |     |
| 16 | LC1C-3     | 685.930  | 1.104.746 | MP | A   |    |    |      |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 17 | LCIC-12    | 685.964  | 1.104.756 | MP | A   |    |    |      |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 18 | LCP-#67N   | 685.744  | 1.105.056 | ME | E   | -  | -  | -    | -  | A    | E   |      |      |      |     |    |      |     |
| 19 | LCP-140ON2 | 685.741  | 1.105.047 | -  | E   | A  | -  | -    | -  | MP   | E   |      |      |      |     |    |      |     |
| 20 | LCP-12751  | 685.782  | 1.104.951 | MP | MP  | -  | -  | A    |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 21 | LCP-13425N | 685.733  | 1.105.069 | E  | A   | -  | -  | -    | -  | MP   |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 22 | LC2P-10    | 685.889  | 1.104.811 | -  | -   | -  | -  | -    | MA |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 23 | LC2P-30    | 685.977  | 1.104.647 | E  | -   | MP | -  | A    |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 24 | LC2P-40    | 686.344  | 1.105.881 | MP | A   |    |    |      |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 25 | LC2P-50    | 686.088  | 1.105.537 | -  | -   | E  | A  | ME   |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 26 | LC2P-225N  | 686.230  | 1.106.142 | -  | E   | A  | MP |      |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 27 | LC2P-250S  | 685.886  | 1.104.799 | A  | MP  | -  | -  | E    |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |
| 28 | LC2P-275S  | 685.888  | 1.104.798 | E  | MP  | -  | A  |      |    |      |     |      |      |      |     |    |      |     |

Tabla N° 58: Análisis Mineralógico. Realizado por Laboratorios del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN).

|    |            |         |           |    |   |    |    |    |     |   |   |   |   |    |   |    |  |  |
|----|------------|---------|-----------|----|---|----|----|----|-----|---|---|---|---|----|---|----|--|--|
| 29 | LC2P-425N  | 686.293 | 1.105.995 | MP | A |    |    |    |     |   |   |   |   |    |   |    |  |  |
| 30 | LC2P-525N  | 686.170 | 1.105.554 | ME | E | E? | -  | A  | -   | - | - | - | - | -  | - | MP |  |  |
| 31 | LC2P-550N  | 686.279 | 1.105.625 | ME | - | MP | -  | A  | ME? |   |   |   |   |    |   |    |  |  |
| 32 | LC2P-575S  | 686.242 | 1.105.598 | MP | A |    |    |    |     |   |   |   |   |    |   |    |  |  |
| 33 | LC2P-4100S | 685.950 | 1.104.693 | E  | A | -  | MP | -  | -   | - | E |   |   |    |   |    |  |  |
| 34 | LPA1QPA    | 687.931 | 1.109.456 | A  | - | E  | -  | -  | -   | - | E | - | - | ME |   |    |  |  |
| 35 | LPA1QPA(B) | 688.131 | 1.109.756 | ME | - | E  | A  | E  | -   | - | E |   |   |    |   |    |  |  |
| 36 | LP-310N1   | 686.809 | 1.108.246 | MP | - | A  | E  | ME |     |   |   |   |   |    |   |    |  |  |
| 37 | LP-311N    | 686.759 | 1.108.146 | -  | - | A  | E  | MP |     |   |   |   |   |    |   |    |  |  |
| 38 | LR-1QU     | 684.876 | 1.109.387 | -  | - | -  | -  | -  | MA  |   |   |   |   |    |   |    |  |  |

**LEYENDA:**Cl (clorita); Anf (anfíbol); Cz (cuarzo); Pl (plagioclasa); Musc (muscovita); Ba (barita); Epid (epidoto); Hem (hematita); Caol(caolinita);Goet (goetita); Opx (ortopiroxeno);FK (feldespato potásico); Biot (biotita);Cym (cymrite).

**NOMENCLATURA:**

|    |                  |        |
|----|------------------|--------|
| MA | Muy Abundante    | > 65 % |
| A  | Abundante        | 64-35% |
| MP | Menor proporción | 34-15% |
| E  | Escaso           | 14-05% |
| ME | Muy Escaso       | 4-01 % |
| Tz | Trazas           | < 1 %  |

**Tabla N° 58: Análisis Mineralógico. Realizado por Laboratorios del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN)**

## **CAPÍTULO 5**

### **PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE LOS DATOS**

## **Presentación de los Datos Radimétricos**

Esta sección detalla la manera en que los datos radimétricos se presentan para el procesamiento e interpretación. Primeramente se analizan en forma de mapas de contornos de concentraciones equivalentes de los radioelementos naturales y la segunda en forma de perfiles, representando las cuentas totales, conteo de potasio (K %), uranio (Uppm) y torio (Th ppm) y las relaciones U/K, U/Th

### **5.1- Representación de los datos del levantamiento gamma autotransportado**

Con los datos obtenidos del levantamiento autotransportado, empleando el software del equipo, se pudo realizar contornos de concentraciones de los radioelementos naturales a escala regional en la zona de estudio. Para procesar dichos datos se utilizó el programa SURFER 7.0 (1999), con la finalidad de dilucidar el comportamiento espacial de la variable en estudio, en este caso la concentración y la actividad radiactiva de los radioelementos naturales.

#### **5.1.1- Obtención del mapa de grado de estudio de la región de trabajo**

La realización del mapa de concentraciones de los radioelementos se llevó a cabo simultáneamente con el levantamiento gamma, es decir se superpuso sobre éste la situación de los itinerarios, así como las áreas sometidas a trabajos más detallados. Estos mapas dieron resultados informativos y semi-cuantitativos, a su vez facilitaron la interpretación integral de este trabajo de investigación al superponer estos mapas con el geológico.

Estos mapas de contorno son muy efectivos a la hora de presentar la información radimétrica, y será considerado como el producto principal para las exploraciones regionales. En la figura N° 39 se representa el recorrido con el equipo autotransportado **EXPLORANIUM GR650** en la zona de estudio. A partir de esta información se realizaron los mapas de contornos iniciales para cada uno de los radioelementos naturales, potasio, uranio y torio.

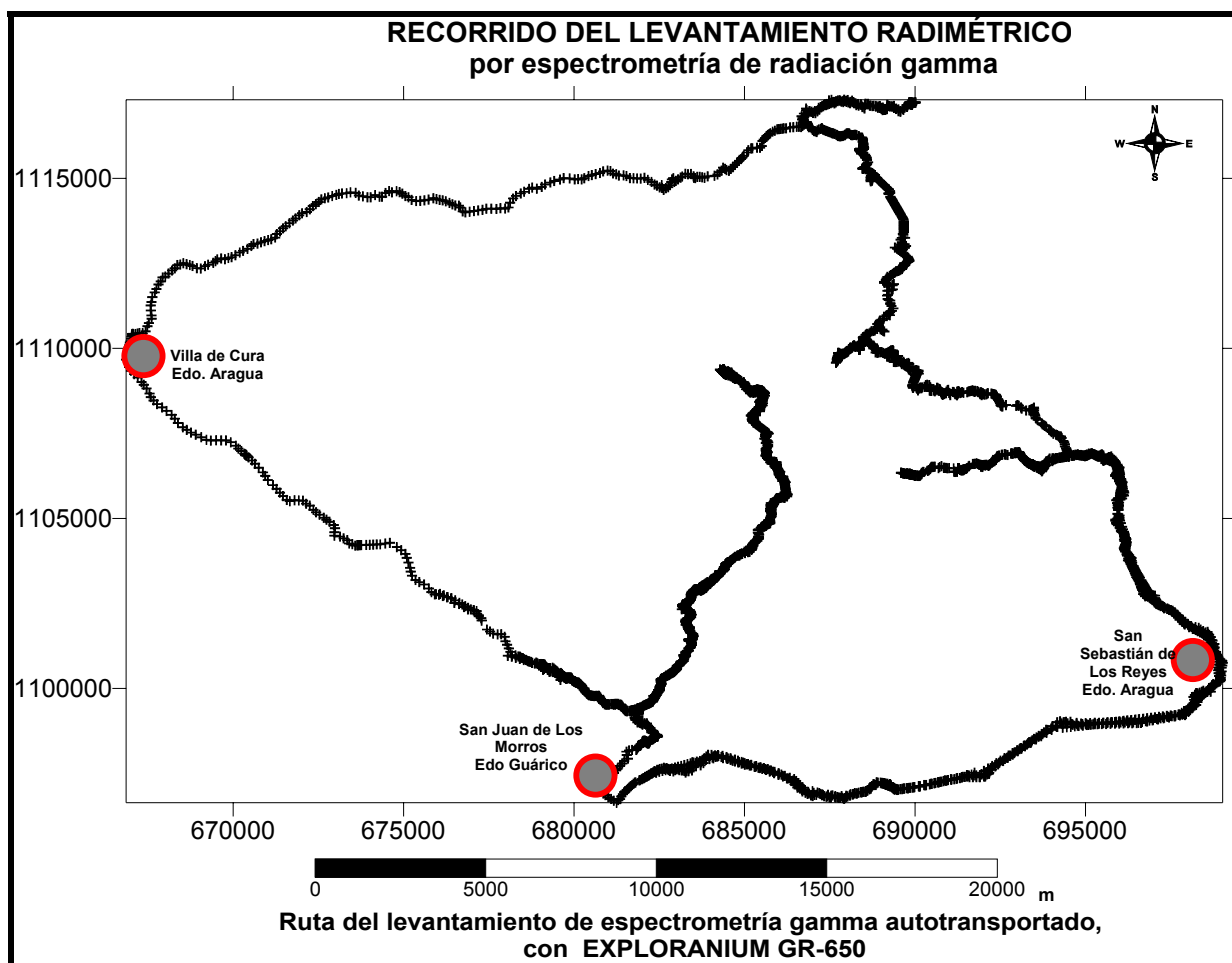


**Figura N° 39: Representación en la zona de estudio del levantamiento de espectrometría gamma autotransportado en la zona de estudio.**

### **Forma de los mapas de isolíneas que representan las concentraciones de los radioelementos naturales**

Muchos de los algoritmos geofísicos estándares de rejilla o grilla (*gridding*) son inadecuados para los análisis de datos radiométricos, debido a las variaciones estadísticas inherentes. Un algoritmo "*gridding*" conveniente es uno que toma el promedio de todos los puntos de referencias que se infieren dentro de un área circular, incrementando la distancia del punto de rejilla, aproximando con un mínimo de suavizado a la data bruta. El método "*gridding*" utilizado en el programa SURFER 7.0 (1999) es el "*krigging*", con el cual al procesarse los datos del levantamiento

autotransportado delimita el comportamiento regional dentro del cual se ubican las zonas anómalas por prospección geoquímica.

Al definir la superficie de estudio por medio del muestreo autotransportado se tiene como propósito determinar el comportamiento del fondo radioactivo natural de las distintas variables radiactivas estudiadas. En la figura N° 40 se muestra este procesamiento inicial de carácter regional para las concentraciones de cada radioelemento. (K, U y Th).

#### 5.1.2- Determinación del valor de fondo natural regional

Si a los compuestos de uranio, torio y productos de desintegración de estos elementos se añaden los radiactivos naturales presentes en reducidas cantidades, se comprende que en el campo siempre se detectará una radiactividad mínima, conocida como ruido de fondo local, que habrá de ser considerada como unidad base, a partir de la cual los valores superiores obtenidos deben ser considerados como anómalos.

El procesamiento de los **datos radimétricos** se ejecutó de la siguiente manera:

1. Del levantamiento autotransportado regional se procedió a filtrar un grupo de datos que incluyen la zona denominada de detalle, vinculada con la ubicación de las anomalías geoquímicas de barita. En la figura N° 41 se presentan las concentraciones de los radioelementos en la zona de estudio a detalle, sin el cálculo del valor de fondo natural o “background”.

2. Los datos de la zona de detalle se filtraron nuevamente y se calculó el valor de fondo regional; para ello se procedió de la siguiente manera:

- a. **Parte norte de la zona de detalle (itinerario Las Palmas).** Se efectuó el filtrado de los valores más altos en este itinerario o perfil irregular para cada concentración de radioelemento. Con este resultado se realizó un primer análisis estadístico a cada una de las concentraciones de los radioelementos naturales, calculando las medidas de tendencia central principales como la media y mediana. Posteriormente se examinó el comportamiento de los datos referidos a esos términos, determinándose que el valor del fondo natural regional para las concentraciones de:

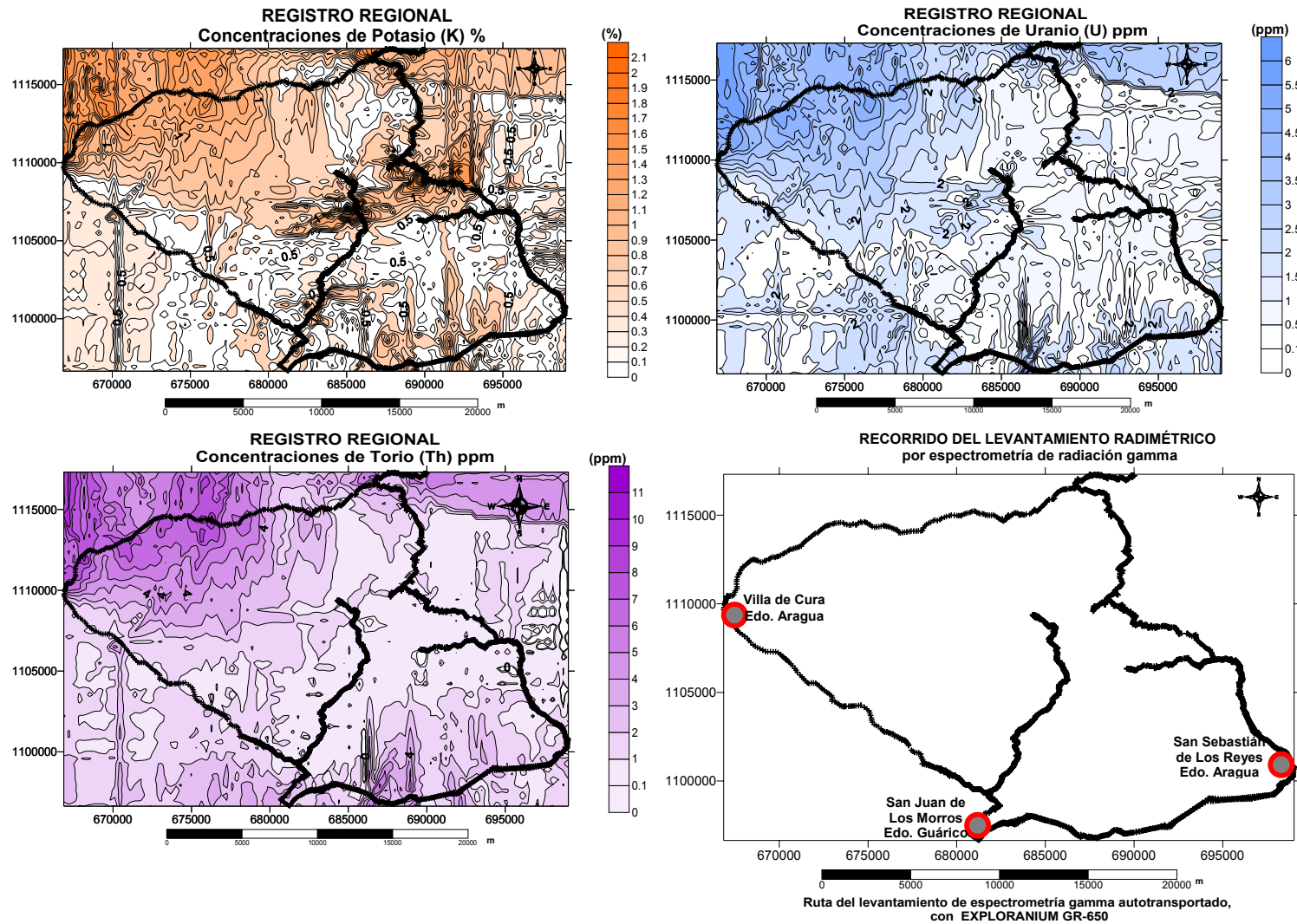


Figura N° 40: Concentraciones regionales de los radioelementos potasio, uranio y torio en el recorrido del levantamiento autotransportado, en la zona de estudio.

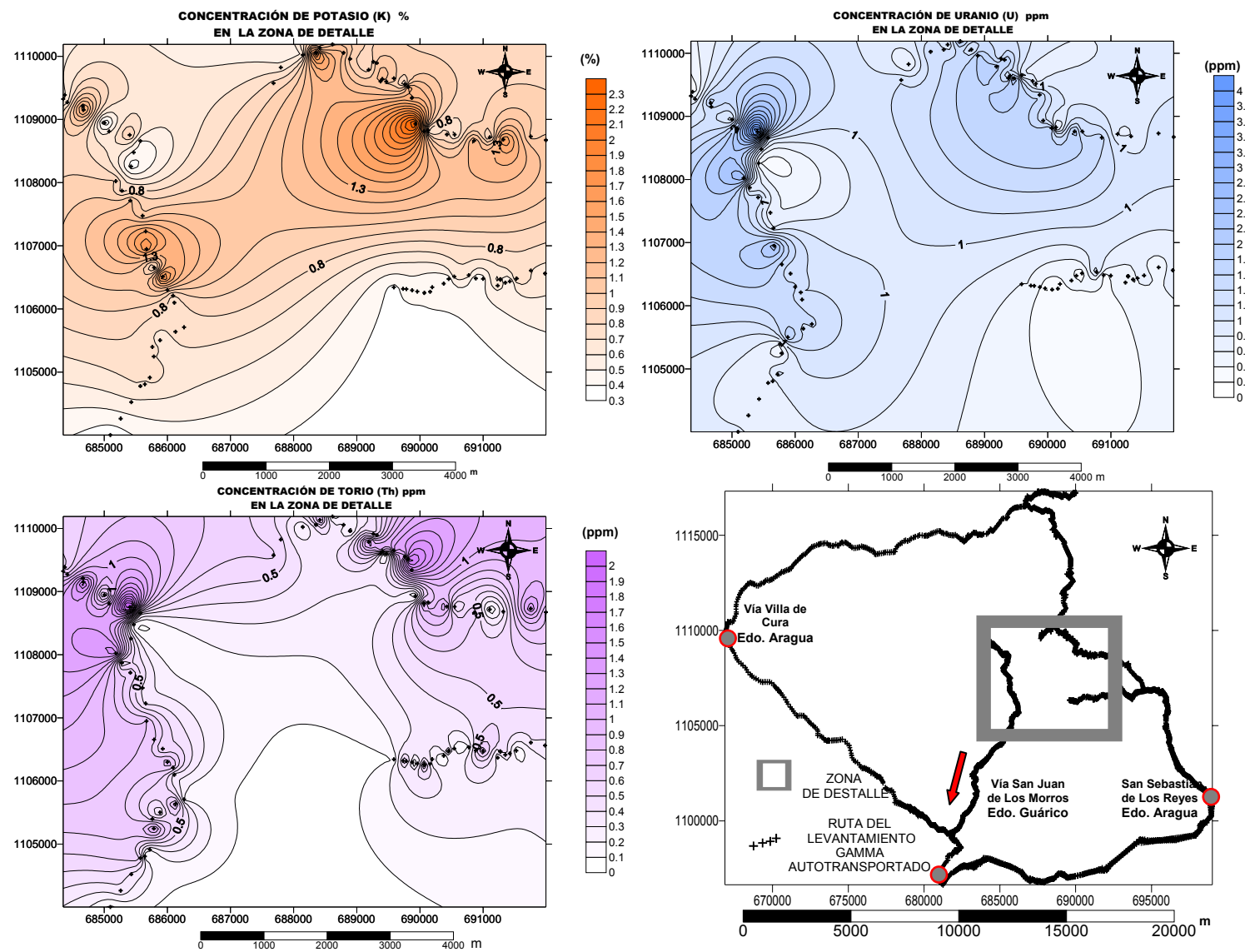


Figura N° 41: Concentraciones de potasio (K) %, uranio (U) ppm y torio (Th) ppm, en la zona de detalle.



- Potasio (K): van de 1 – 1.2      %
- Uranio (U): van de 1.2 – 1.4      ppm
- Torio (Th): van de 0.45 – 0.66      ppm

Se representa en la figura N° 42, el valor de fondo natural para el potasio (%), uranio (ppm) y torio (ppm).

b. **Parte oeste de la zona de detalle (recorrido Los Corozos-La Reinososa).** Este itinerario o recorrido fue el más completo ya que abarca una gran extensión en la zona de estudio. El procesamiento es el mismo para cada concentración de radioelemento.

c. **Parte este de la zona de detalle (recorrido El Valle de La Cruz).** Con este recorrido se quiere relacionar la parte oeste de la zona de estudio, con el fin de conocer las respuesta de esta metodología geofísica y vincularla con la presencia del mineral anómalo (barita). Se efectuó el mismo procedimiento que para los itinerarios mencionados.

#### 5.1.3- Elaboración del mapa de concentraciones sin el valor de fondo

Al procesar la información obtenida anteriormente se logra revelar o acentuar los valores más altos en la zona de estudio, a la vez que se presenta la necesidad de apoyarse con la geología de la zona. Los mapas en la figura N° 43 se pueden comparar con los anteriores mapas de contornos procesados.

De este análisis se desprenden las limitaciones del programa de computación utilizado, ya que se puede observar que la mayoría de los cierres ocurren en los puntos de medición, por lo cual se recurrió a la utilización de otros programas de procesamiento para el análisis y evaluación de los datos radimétricos. En las secciones siguientes se desarrolla lo antes mencionado.

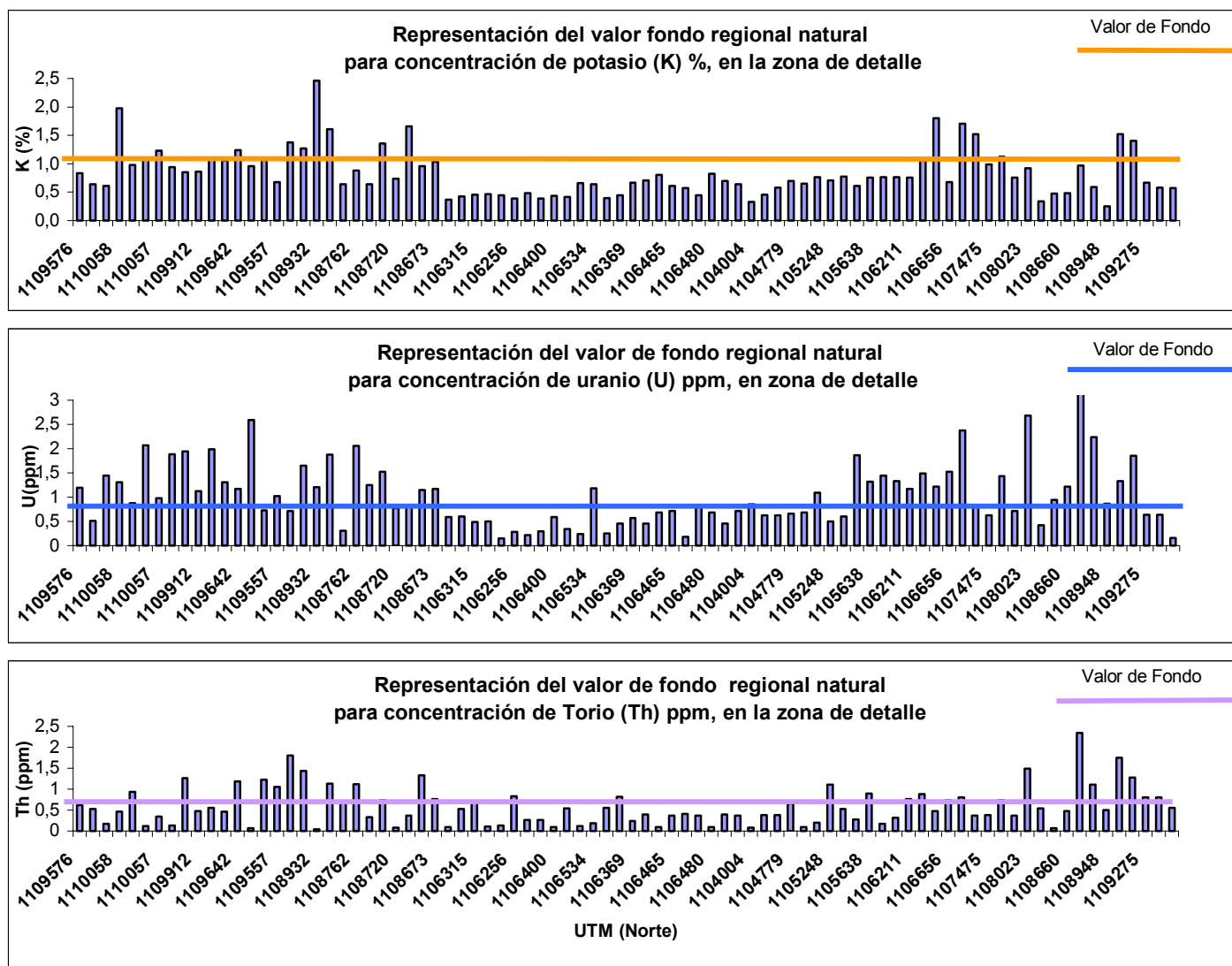


Figura N° 42: Representación del valor de fondo de la concentración de potasio %, uranio (ppm) y torio (ppm), en la zona de estudio.

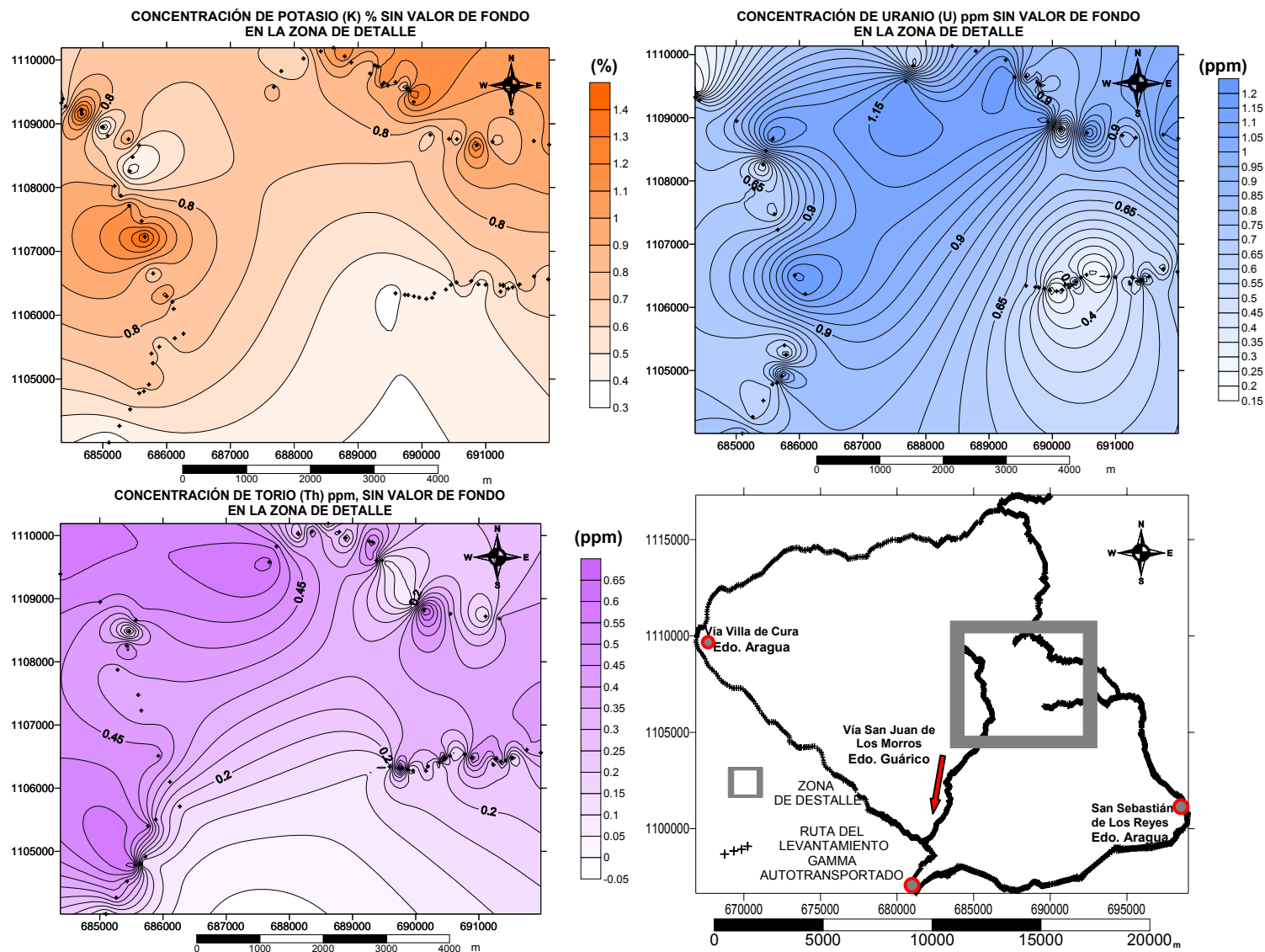


Figura N° 43: Levantamiento gamma autotransportado Concentraciones de potasio (K) %, uranio (U) ppm y torio (Th) ppm, sin el valor de fondo natural en al zona de detalle.

#### 5.1.4- Evaluación estadística de los datos

Como la transmutación de los núcleos de los elementos radiactivos y su distribución radial están sujetas a leyes estadísticas, se recurrió a las estadísticas básicas, para el análisis, estudio e interpretación de los resultados obtenidos.

Con el propósito de cuantificar la calidad de los datos radimétricos, se ejecutó un análisis estadístico, empleando estadística clásica con apoyo del software SPSS v. 10.0 desarrollado por SPSS Inc. (1999). Se obtuvieron:

- ✓ Las medidas de tendencia central.
- ✓ Las medidas de dispersión.
- ✓ Los principales estadígrafos para establecer la normalidad de los datos.

Del procesamiento en SPSS, se obtuvieron las siguientes tablas y gráficos, las cuales se agruparon para cada concentración de los radioelementos naturales, K (%), U (ppm) y Th(ppm) (tablas N° 59 y N° 60):

##### **Tabla N° 59:**

1. Tabla de procesamiento de casos de los datos de la zona: conteo / zona o sector; Válidos, Perdidos y Total, en cada caso: N-Porcentaje.
2. Tabla descriptiva de datos de la zona: media, intervalo de confianza para la media al 95%, media recortada, mediana, varianza, desviación típica, curtosis, asimetría, etc, expresada en Estadístico y error típico.
3. Prueba de normalidad: Kolmogorov-Smirnov: estadístico/ gl/ Sig.

##### **Tabla N° 60:**

4. Tres histogramas de frecuencias de concentraciones de los radioelementos en la zona.
5. Figuras con los gráficos de Q-Q normal y Q-Q normal sin tendencias del conteo total.
6. Figuras con gráfico boxplot del conteo en la zona.

El análisis estadístico de los datos tiene como objetivo determinar si la muestra, o el número de muestras seleccionadas es representativo de la población en estudio. El número total de datos considerados, al realizar un filtrado final de los datos,

|                        | Resumen del procesamiento de los casos |            |          |            |       |            | Descriptivos                                |                 |            | Pruebas de normalidad |                       |    |      |
|------------------------|----------------------------------------|------------|----------|------------|-------|------------|---------------------------------------------|-----------------|------------|-----------------------|-----------------------|----|------|
| CONCENTRACIÓN K (%)    | Casos                                  |            |          |            |       |            | POTASIO                                     | Estadístico     | Error típ  | POTASIO               | Kolmogorov-Smirnov(a) |    |      |
|                        | Válidos                                |            | Perdidos |            | Total |            | Media                                       | ,8346           | 4,494E-02  |                       | Estadístico           | gl | Sig. |
|                        | N                                      | Porcentaje | N        | Porcentaje | N     | Porcentaje | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | ,7453      |                       | ,148                  | 84 | ,000 |
|                        | 84                                     | 100,0%     | 0        | ,0%        | 84    | 100,0%     | Media recortada al 5%                       | Límite superior | ,9240      |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mediana                                     | ,7250           |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Varianza                                    | ,170            |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Desv. típ.                                  | ,4118           |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mínimo                                      | ,25             |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Máximo                                      | 2,46            |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Rango                                       | 2,21            |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Amplitud intercuartil                       | ,4550           |            |                       |                       |    |      |
| CONCENTRACIÓN U (ppm)  | Casos                                  |            |          |            |       |            | URANIO                                      | Estadístico     | Error típ. | URANIO                | Kolmogorov-Smirnov(a) |    |      |
|                        | Válidos                                |            | Perdidos |            | Total |            | Media                                       | 1,0537          | 7,710E-02  |                       | Estadístico           | gl | Sig. |
|                        | N                                      | Porcentaje | N        | Porcentaje | N     | Porcentaje | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | ,9004      |                       | ,127                  | 84 | ,002 |
|                        | 84                                     | 100,0%     | 0        | ,0%        | 84    | 100,0%     | Media recortada al 5%                       | Límite superior | 1,2071     |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mediana                                     | ,8607           |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Varianza                                    | ,499            |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Desv. típ.                                  | ,7067           |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mínimo                                      | ,15             |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Máximo                                      | 4,53            |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Rango                                       | 4,38            |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Amplitud intercuartil                       | ,7394           |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Asimetría                                   | 1,821           | ,263       |                       |                       |    |      |
| CONCENTRACIÓN TH (ppm) | Casos                                  |            |          |            |       |            | TORIO                                       | Estadístico     | Error típ. | TORIO                 | Kolmogorov-Smirnov(a) |    |      |
|                        | Válidos                                |            | Perdidos |            | Total |            | Media                                       | ,5901           | 4,984E-02  |                       | Estadístico           | gl | Sig. |
|                        | N                                      | Porcentaje | N        | Porcentaje | N     | Porcentaje | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | ,4909      |                       | ,147                  | 84 | ,000 |
|                        | 84                                     | 100,0%     | 0        | ,0%        | 84    | 100,0%     | Media recortada al 5%                       | Límite superior | ,6892      |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mediana                                     | ,5507           |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Varianza                                    | ,209            |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Desv. típ.                                  | ,4568           |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mínimo                                      | ,04             |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Máximo                                      | 2,34            |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Rango                                       | 2,30            |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Amplitud intercuartil                       | ,5419           |            |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Asimetría                                   | 1,283           | ,263       |                       |                       |    |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Curtosis                                    | 1,961           | ,520       |                       |                       |    |      |

Tabla N° 59: Resultados del análisis estadístico clásico de los datos de concentraciones de los radioelementos.

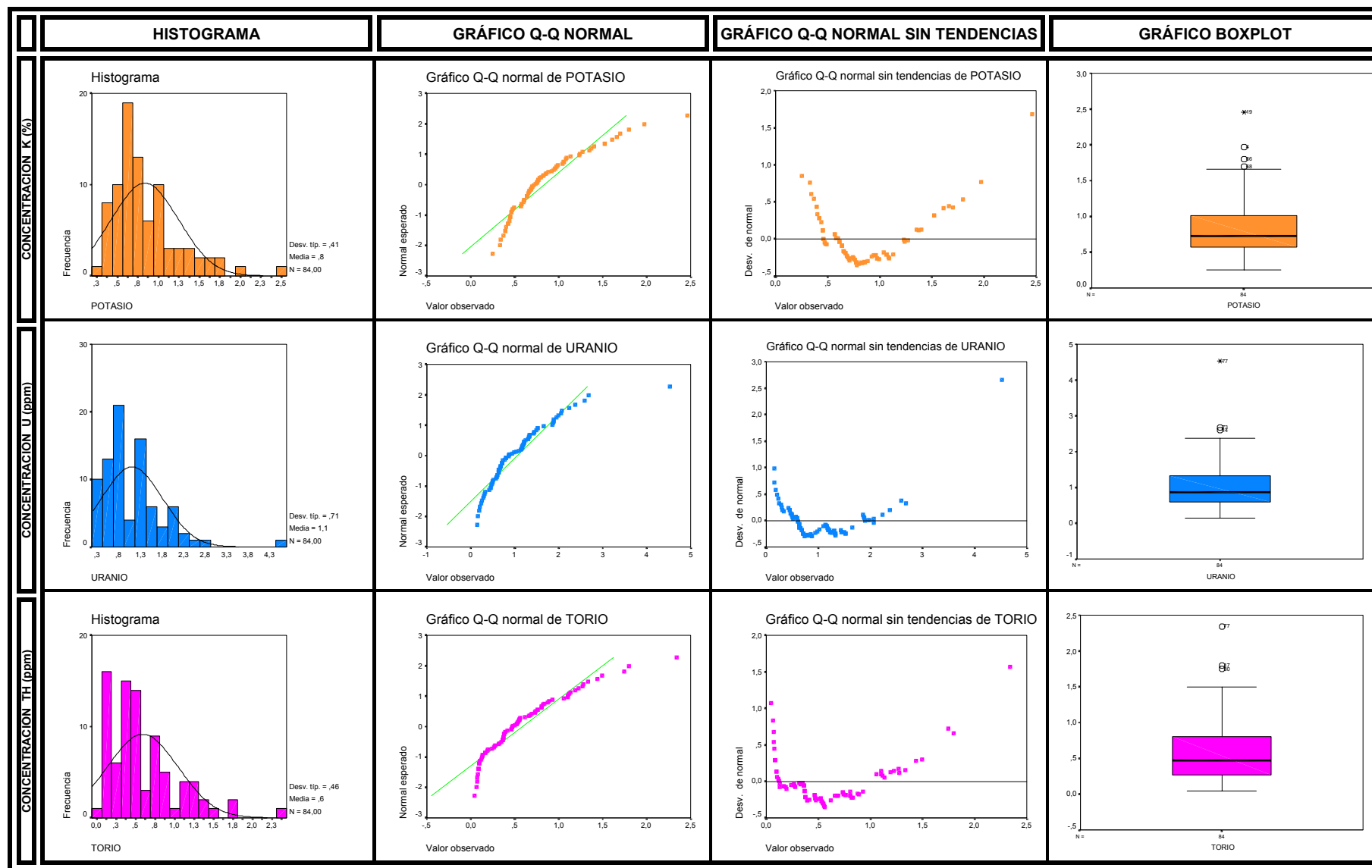


Tabla N° 60: Presentación de los resultados gráficos del procesamiento de los datos de concentraciones de los radioelementos, al aplicar análisis estadístico.

es de 84 puntos de lectura que cubren la mayor parte de la zona llamada de detalle. En este sentido, los resultados indican que los datos filtrados proporcionan una característica definida de la población (o poblaciones) estudiada. Se debe destacar que en las tablas especificadas anteriormente, el análisis para la concentración de potasio debe ser distinto debido a la diferencia en las unidades expresadas respecto al resto de los radioelementos.

La tabla N° 59 muestra los principales parámetros estadísticos, donde se puede sugerir el comportamiento regional algo discontinuo para las concentraciones de los tres radioelementos, potasio, uranio y torio. Esto se refleja tanto en la diferencia entre sus valores extremos como en los mayores valores en las medidas de dispersión, en este caso en la concentración del uranio. De igual manera se observa que los valores de tendencia central muestran los máximos para las concentraciones de uranio mientras que para el torio presenta los mínimos, casi la mitad de los correspondientes a los de uranio, esto se asume como el aporte mayor de isótopos por parte del uranio en la serie de decaimiento. En el potasio, a pesar que hay diferencia entre sus valores extremos, presentan menos variabilidad que en el caso del uranio y el torio.

Además se nota la tendencia clara de un comportamiento más regular en las concentraciones de potasio que en el caso del uranio y del torio, reflejado tanto en el ajuste del histograma de frecuencia como en la prueba de normalidad aplicada, donde además, se observa un valor muy bajo del estadístico para las concentraciones de uranio y un alto valor de significancia, presentándose un menor ajuste para el torio. Los valores de desviación típica y varianza se encuentran dentro de valores bajos para el caso del torio, donde en la prueba de normalidad, el valor estadístico es bajo en las concentraciones de potasio y torio, al igual que el de significancia. Este comportamiento sugiere la presencia de más de una población de datos.

Los histogramas correspondientes a la tabla N° 60 resaltan puntos anómalos para cada concentración de los radioelementos. La curva de normalidad define un comportamiento de la población sesgado hacia la izquierda para los tres radioelementos naturales, lo que indica que el mayor porcentaje de los datos está acumulado preferentemente hacia las menores concentraciones, mientras que un bajo

porcentaje se presenta hacia las mayores concentraciones. Los gráficos Normal Q-Q y Normal Q-Q sin tendencias exponen una disposición clara de la conducta normal para las concentraciones de uranio, ya que las muestras se alinean en una línea casi recta, salvo que para el potasio y el torio se presenta una mayor desviación en los extremos. Además los valores fluctúan alrededor de cero, pero siguen en los tres casos una tendencia o patrón.

En los gráficos box plot, se observa una apariencia bastante simétrica de los datos con respecto a la mediana, situada hacia el mínimo valor estudiado, características que son naturales en el comportamiento normal sesgado hacia los mínimos valores de concentración de las muestras. En general el comportamiento de los parámetros estadísticos analizados para las tres concentraciones regionales de los radioelementos naturales permite suponer que los datos radimétricos adquiridos tienden a agruparse en más de una población (dos), o que la radioactividad de esas rocas es variable, por lo que será necesario considerar los siguientes factores:

- Efecto de la calibración.
- Metodología del cálculo del registro de fondo radioactivo natural.
- Utilización de diferentes detectores, etc.

## **5.2- Representación de los datos del levantamiento gamma pedestre**

Para este tipo de levantamiento radimétrico se orientó a representar los datos dependiendo de los objetivos para lo que fueron ejecutados. Es decir en los sectores favorables, que tienen como eje principal la ubicación de las anomalías geoquímicas, se representaron los datos en perfiles paralelos y en mapas de contornos de concentraciones de los radioelementos; y en los itinerarios o recorridos realizados para demarcar dichas anomalías, se representaron en perfiles de actividad radioactiva.

### **5.2.1- Evaluación estadística de los datos**

Se realizó nuevamente un análisis estadístico con la finalidad de establecer una mayor definición de las características radioactivas de la litología y de las rocas presentes en los sectores favorables. En este caso a los valores de concentración



obtenidos para el Sector Los Corozos y Sector El Valle, los cuales se presentan en las tablas N° 61, N° 62, N° 63 y N° 64. Del análisis de la curva normal en los histogramas, el dato más importante es la posición del máximo, moda en el eje de intensidad, el cual da el valor más probable de la intensidad para este tipo de roca en particular.

| CONCENTRACIÓN K (%)    | Resumen del procesamiento de los casos |            |          |            |       |            | Descriptivos                                |                 |            | Pruebas de normalidad |                       |     |      |
|------------------------|----------------------------------------|------------|----------|------------|-------|------------|---------------------------------------------|-----------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----|------|
|                        | Casos                                  |            |          |            |       |            | POTASIO                                     | Estadístico     | Error típ. | POTASIO               | Kolmogorov-Smirnov(a) |     |      |
|                        | Válidos                                |            | Perdidos |            | Total |            | Media                                       | 5,4518          | ,2000      |                       | Estadístico           | gl  | Sig. |
|                        | N                                      | Porcentaje | N        | Porcentaje | N     | Porcentaje | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | 5,0574     |                       |                       |     |      |
| CONCENTRACIÓN U (ppm)  | 195                                    | 100,0%     | 0        | ,0%        | 195   | 100,0%     | Límite superior                             | 5,8462          |            |                       | ,112                  | 195 | ,000 |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Media recortada al 5%                       | 5,2150          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mediana                                     | 5,0000          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Varianza                                    | 7,800           |            |                       |                       |     |      |
| CONCENTRACIÓN TH (ppm) |                                        |            |          |            |       |            | Desv. típ.                                  | 2,7928          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mínimo                                      | 1,10            |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Máximo                                      | 20,40           |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Rango                                       | 19,30           |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Amplitud intercuartil                       | 3,0000          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Asimetría                                   | 2,100           | ,174       |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Curtosis                                    | 7,847           | ,346       |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | URANIO                                      | Estadístico     | Error típ. | URANIO                | Kolmogorov-Smirnov(a) |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Media                                       | 6,7410          | ,5292      |                       | Estadístico           | gl  | Sig. |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | 5,6973     |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Límite superior                             | 7,7848          |            |                       | ,298                  | 195 | ,000 |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Media recortada al 5%                       | 5,6130          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mediana                                     | 3,9000          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Varianza                                    | 54,614          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Desv. típ.                                  | 7,3901          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mínimo                                      | 1,50            |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Máximo                                      | 39,90           |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Rango                                       | 38,40           |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Amplitud intercuartil                       | 3,4000          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Asimetría                                   | 2,515           | ,174       |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Curtosis                                    | 6,303           | ,346       |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | TORIO                                       | Estadístico     | Error típ. | TORIO                 | Kolmogorov-Smirnov(a) |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Media                                       | 11,4415         | ,3265      |                       | Estadístico           | gl  | Sig. |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Intervalo de confianza para la media al 95% | Límite inferior | 10,7977    |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Límite superior                             | 12,0854         |            |                       | ,204                  | 195 | ,000 |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Media recortada al 5                        | 10,9833         |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mediana                                     | 9,6000          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Varianza                                    | 20,783          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Desv. típ.                                  | 4,5588          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Mínimo                                      | 6,00            |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Máximo                                      | 26,90           |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Rango                                       | 20,90           |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Amplitud intercuartil                       | 5,5000          |            |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Asimetría                                   | 1,510           | ,174       |                       |                       |     |      |
|                        |                                        |            |          |            |       |            | Curtosis                                    | 1,703           | ,346       |                       |                       |     |      |

Tabla N° 61: Análisis estadístico clásico de los datos radimétricos con el programa SPSS en el Sector Los Corozos.

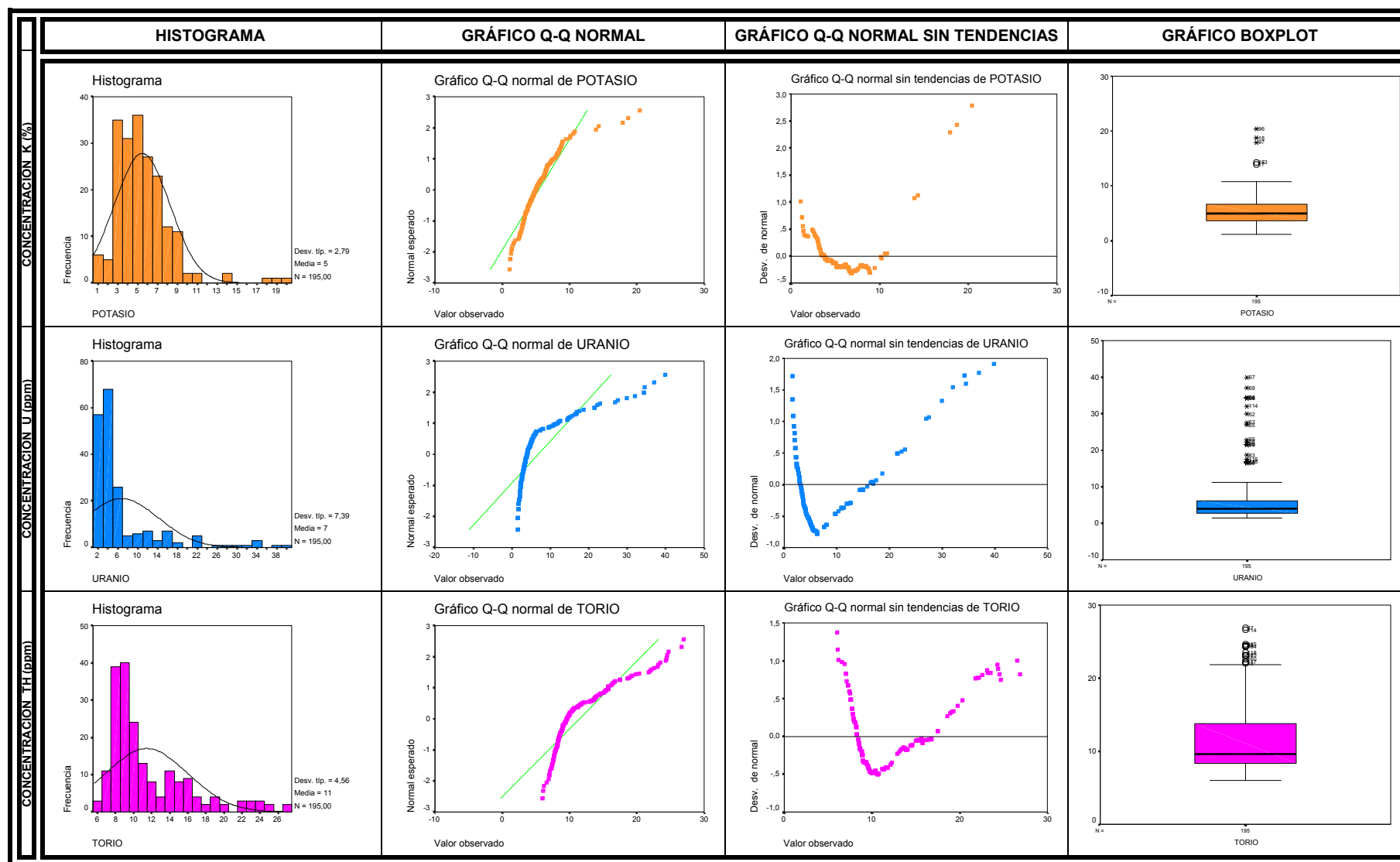


Tabla N° 62: Resultados estadísticos gráficos de los datos radimétricos en el Sector Los Corozos.

| CONCENTRACIÓN K (%)                    |            |          |            |       |            |                                             |                       |                 |             |         |            |  |                       |                       |    |      |
|----------------------------------------|------------|----------|------------|-------|------------|---------------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------|---------|------------|--|-----------------------|-----------------------|----|------|
| Resumen del procesamiento de los casos |            |          |            |       |            |                                             | Descriptivos          |                 |             |         |            |  | Pruebas de normalidad |                       |    |      |
| Casos                                  |            |          |            |       |            |                                             | POTASIO               |                 | Estadístico |         | Error típ. |  | POTASIO               | Kolmogorov-Smirnov(a) |    |      |
| Válidos                                |            | Perdidos |            | Total |            |                                             | Media                 |                 | 10,8515     |         | ,3265      |  |                       | Estadístico           | gl | Sig. |
| N                                      | Porcentaje | N        | Porcentaje | N     | Porcentaje | Intervalo de confianza para la media al 95% |                       | Límite inferior |             | 10,2077 |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            | Límite superior                             |                       | 11,4954         |             |         |            |  |                       |                       |    |      |
| 195                                    | 100,0%     | 0        | ,0%        | 195   | 100,0%     | Media recortada al 5%                       |                       | 10,3933         |             |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Mediana               |                 | 9,0100      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Varianza              |                 | 20,783      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Desv. típ.            |                 | 4,5588      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Mínimo                |                 | 5,41        |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Máximo                |                 | 26,31       |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Rango                 |                 | 20,90       |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Amplitud intercuartil |                 | 5,5000      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Asimetría             |                 | 1,510       |         | ,174       |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Curtosis              |                 | 1,703       |         | ,346       |  |                       |                       |    |      |
| Casos                                  |            |          |            |       |            |                                             | URANIO                |                 | Estadístico |         | Error típ. |  | URANIO                | Kolmogorov-Smirnov(a) |    |      |
| Válidos                                |            | Perdidos |            | Total |            |                                             | Media                 |                 | 4,1823      |         | ,2831      |  |                       | Estadístico           | gl | Sig. |
| N                                      | Porcentaje | N        | Porcentaje | N     | Porcentaje | Intervalo de confianza para la media al 95% |                       | Límite inferior |             | 3,6239  |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            | Límite superior                             |                       | 4,7407          |             |         |            |  |                       |                       |    |      |
| 190                                    | 100,0%     | 0        | ,0%        | 195   | 100,0%     | Media recortada al 5%                       |                       | 3,6511          |             |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Mediana               |                 | 2,9470      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Varianza              |                 | 15,225      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Desv. típ.            |                 | 3,9019      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Mínimo                |                 | ,45         |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Máximo                |                 | 27,15       |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Rango                 |                 | 26,70       |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Amplitud intercuartil |                 | 3,1500      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Asimetría             |                 | 2,810       |         | ,176       |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Curtosis              |                 | 10,686      |         | ,351       |  |                       |                       |    |      |
| Casos                                  |            |          |            |       |            |                                             | TORIO                 |                 | Estadístico |         | Error típ. |  | TORIO                 | Kolmogorov-Smirnov(a) |    |      |
| Válidos                                |            | Perdidos |            | Total |            |                                             | Media                 |                 | 10,7274     |         | ,3083      |  |                       | Estadístico           | gl | Sig. |
| N                                      | Porcentaje | N        | Porcentaje | N     | Porcentaje | Intervalo de confianza para la media al 95% |                       | Límite inferior |             | 10,1191 |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            | Límite superior                             |                       | 11,3356         |             |         |            |  |                       |                       |    |      |
| 190                                    | 100,0%     | 0        | ,0%        | 190   | 100,0%     | Media recortada al 5%                       |                       | 10,2290         |             |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Mediana               |                 | 9,1100      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Varianza              |                 | 18,064      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Desv. típ.            |                 | 4,2502      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Mínimo                |                 | 6,51        |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Máximo                |                 | 27,71       |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Rango                 |                 | 21,20       |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Amplitud intercuartil |                 | 2,0500      |         |            |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Asimetría             |                 | 1,975       |         | ,176       |  |                       |                       |    |      |
|                                        |            |          |            |       |            |                                             | Curtosis              |                 | 3,165       |         | ,351       |  |                       |                       |    |      |

Tabla N° 63: Análisis estadístico clásico de los datos radimétricos con el programa SPSS del Sector El Valle.

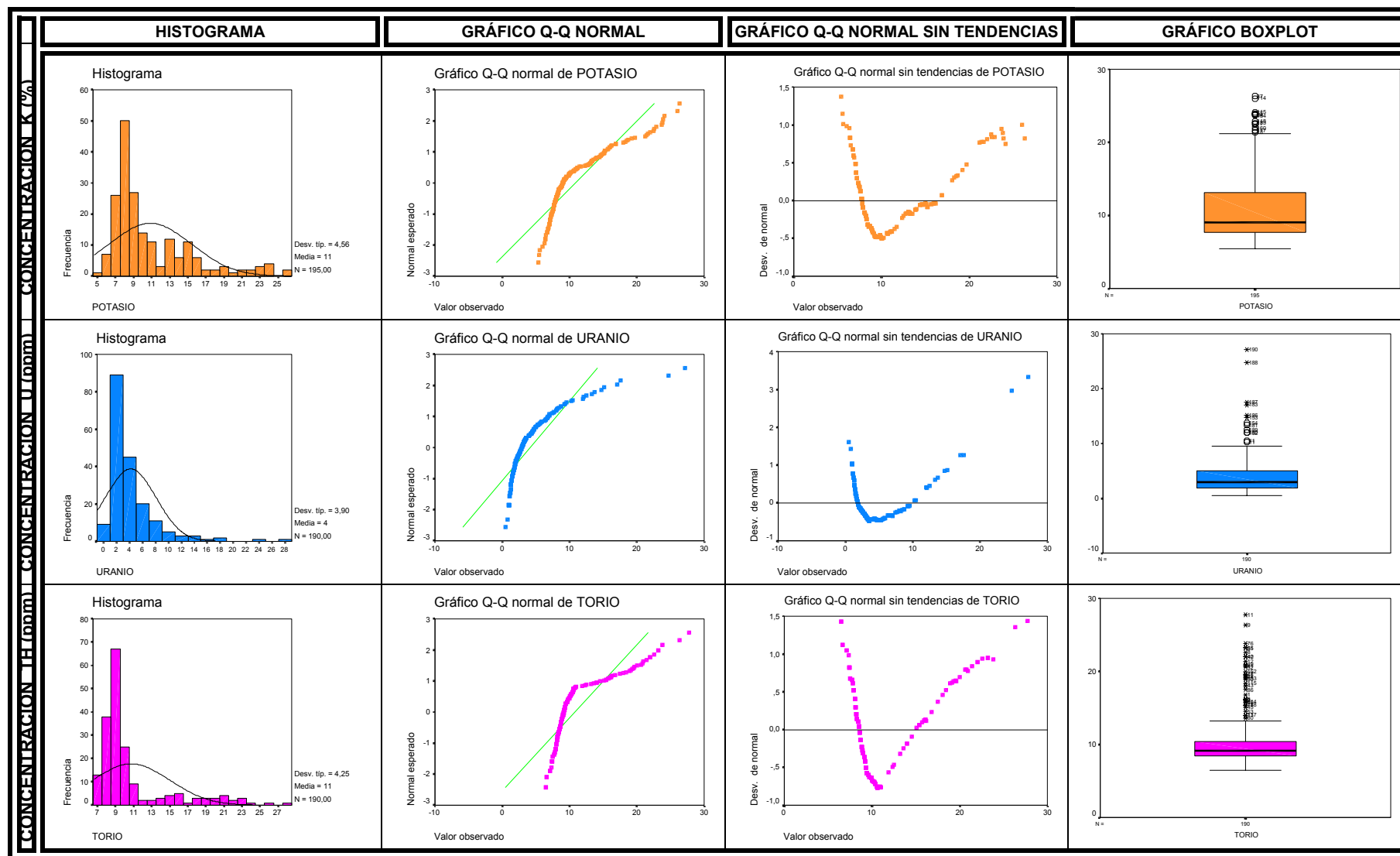


Tabla N° 64: Resultados estadísticos gráficos al procesar los datos radimétricos con el programa SPSS, en el Sector El Valle.

## **Sector Los Corozos**

### **Concentración de potasio**

La distribución del potasio en las rocas estudiadas es algo asimétrica, presenta una gran variabilidad en los valores de concentración, con una dispersión hacia los valores altos. Las medidas de tendencia central están bastante cerca, es decir los valores de concentraciones se acercan a un valor central. Del gráfico de frecuencia acumulada se deduce la existencia de al menos dos poblaciones, ya que en la prueba de normalidad el valor estadístico es bajo al igual que el de significancia.

Los gráficos Normal Q-Q y Normal Q-Q sin tendencia señalan una disposición al comportamiento casi normal, donde se observa un ajuste en la gráfica Normal Q-Q, aunque con una mayor desviación en los extremos. Un 25 % de las muestras presentan valores anómalos y un 75% valores normales. En el gráfico “box plot” se puede observar un comportamiento algo simétrico por lo que se puede establecer una normalidad en las concentraciones de potasio.

### **Concentración de uranio y de torio**

La distribución del uranio en las rocas estudiadas es fuertemente asimétrica en comparación con el torio. Con una gran dispersión hacia los valores altos, tanto para las concentraciones de uranio como de torio. Las medidas de tendencia central están bastante alejadas, es decir los valores de concentraciones se separan de un valor central, marcando categóricamente una dispersión. Del gráfico de frecuencia acumulada se deduce la existencia de al menos dos poblaciones muy bien marcadas, en el uranio y en el torio, ya que en la prueba de normalidad el valor estadístico es bajo al igual que el de significancia. En ambos radioelementos los gráficos Normal Q-Q y Normal Q-Q sin tendencias señalan una disposición al comportamiento anormal, donde se observa un mal ajuste en la gráfica Normal Q-Q, aunque con una mayor desviación en los extremos para el uranio. En el uranio un 30 % de las muestras presentan valores anómalos y un 70% valores normales, mientras que para el torio 45 % presenta valores anómalos y 55 % valores normales. En el gráfico “box plot” se puede observar un

comportamiento asimétrico bien acentuado, por lo que en general, se puede establecer un análisis de por lo mínimo dos poblaciones muestreadas.

## **Sector El Valle**

### **Concentración de potasio**

La distribución del potasio en las rocas del sector El Valle es simétrica, presenta una gran variabilidad en los valores de concentración. Las medidas de tendencia central están bastante cerca, es decir los valores de concentraciones se acercan a un valor central. Del gráfico de frecuencia acumulada se deduce un comportamiento normal para la concentración de potasio, tanto reflejado en el ajuste del histograma de frecuencia como en la prueba de normalidad, donde el valor estadístico es bajo al igual que el de significancia.

Los gráficos Normal Q-Q y Normal Q-Q sin tendencias señalan una disposición al comportamiento casi normal, donde se observa un mal ajuste en la gráfica Normal Q-Q, aunque con una mayor desviación en los extremos. Un 45 % de las muestras presentan valores anómalos y un 55% valores normales. En el gráfico “box plot” se puede observar un comportamiento algo simétrico por lo que se puede establecer una normalidad en las concentraciones de potasio.

### **Concentración de uranio y de torio**

La distribución del torio en las rocas estudiadas es fuertemente asimétrica en comparación con el uranio. Con una gran dispersión hacia los valores altos, tanto para las concentraciones de uranio como de torio. Las medidas de tendencia central están algo alejadas, es decir los valores de concentraciones se separan de un valor central, marcando categóricamente una dispersión. Del gráfico de frecuencia acumulada se deduce la existencia de al menos dos poblaciones bien contrastadas, en el uranio y en el torio, ya que en la prueba de normalidad el valor estadístico es bajo al igual que el de significancia. En ambos radioelementos los gráficos Normal Q-Q y Normal Q-Q sin tendencias señalan una disposición al comportamiento anormal, donde se observa un mal ajuste en la gráfica Normal Q-Q, aunque con una mayor desviación en los extremos para el torio, donde se aleja fuertemente de un comportamiento lineal. En el uranio un

10 % de las muestras presentan valores anómalos y un 90% valores normales, mientras que para el torio 65 % presenta valores anómalos y 35 % valores normales. En el gráfico “box plot” se puede observar un comportamiento asimétrico por lo que se puede establecer un análisis de por lo mínimo dos poblaciones consideradas.

#### 5.2.2- Elaboración de perfiles en los sectores favorables

Se ejecutaron cinco (5) perfiles, perpendiculares al rumbo de la estratificación de las rocas, en los siguientes sectores: Los Corozos y El Valle. Los resultados de esta medición se representaron en perfiles longitudinales sobre los cuales se colocó la intensidad, en conteos por segundo y la distancia sobre la superficie investigada. Para el sector Los Corozos están representados en las figuras N° 44 a N° 48, y para el sector El Valle en las figuras N° 49 a N° 53.

Con este tipo de análisis a los datos se plantea la menor pérdida de información. El gráfico de la actividad radiactiva, se traza en la misma escala del levantamiento o en una mayor, la cual se escoge tratando de lograr la mayor claridad y el mínimo de interferencia entre los gráficos de cada radioelemento.

##### 5.2.2.1- Análisis de los perfiles en el sector Los Corozos

En la figura N° 54 se puede observar la ubicación de cada perfil en los sectores Los Corozos y El Valle de la zona de estudio, lo que permite examinar y comparar las respuestas radimétrica para cada uno de ellos con respecto a la ubicación de la mineralización o lente de barita. Localizada en sentido sur-centro del perfil # 1 para el sector Los Corozos y hacia el sur del perfil #1 del sector El Valle.

A pesar que hay diferencia entre sus valores extremos se puede observar en las figuras N° 44 a N° 46, que en el punto de medición ubicado sobre el lente de barita en el **perfil #1** existe una anomalía bien acentuada de los tres radioelementos naturales (K, U y Th). Entendiéndose como anomalía aquella región en la que el valor de radioactividad natural es duplicado o alcanza un valor superior al promedio de las lecturas detectadas. Se debe señalar que se revisó la topografía de este perfil (fig. N° 55), para descartarla como factor de influencia en el levantamiento radimétrico pedestre. El hecho tal es que de la observación del resto de los perfiles se llega a deducir que este



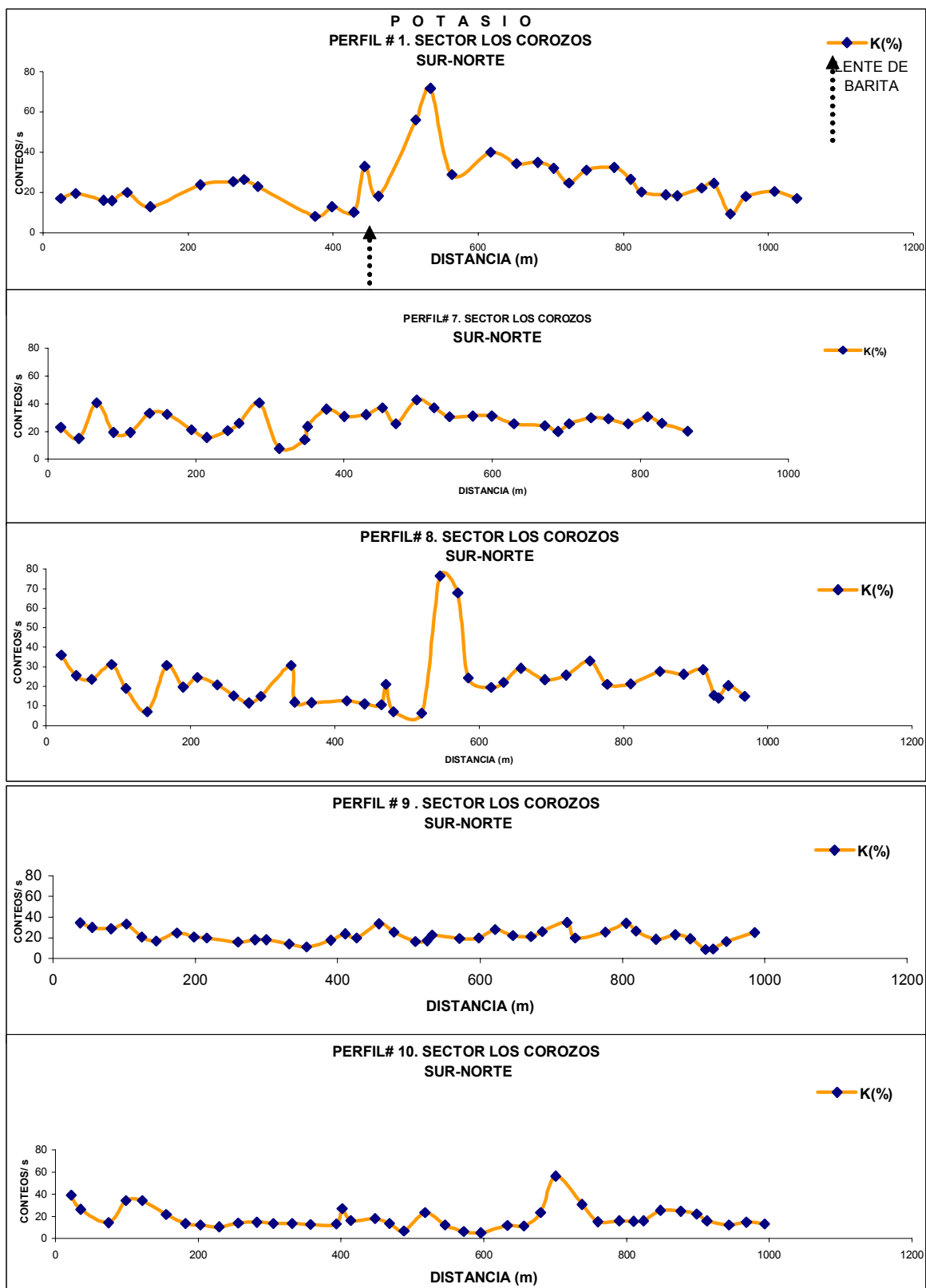


**Figura N° 44: Perfiles longitudinales de conteos/s de potasio en Sector Los Corozos.**  
**Dirección sur-norte.**

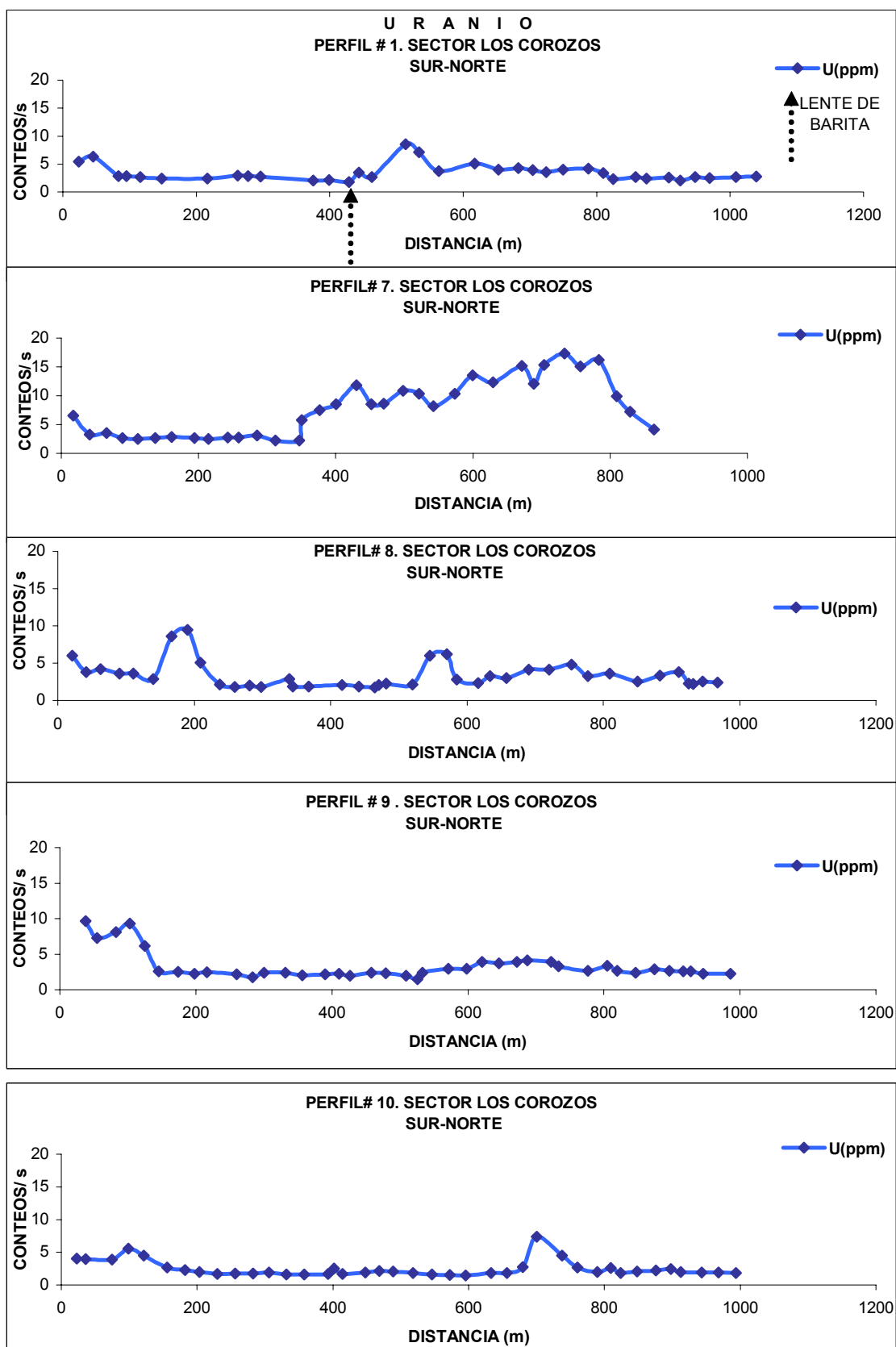


**Figura N° 45: Perfiles longitudinales en conteos/s de uranio en Sector Los Corozos.**  
**Dirección sur-norte.**

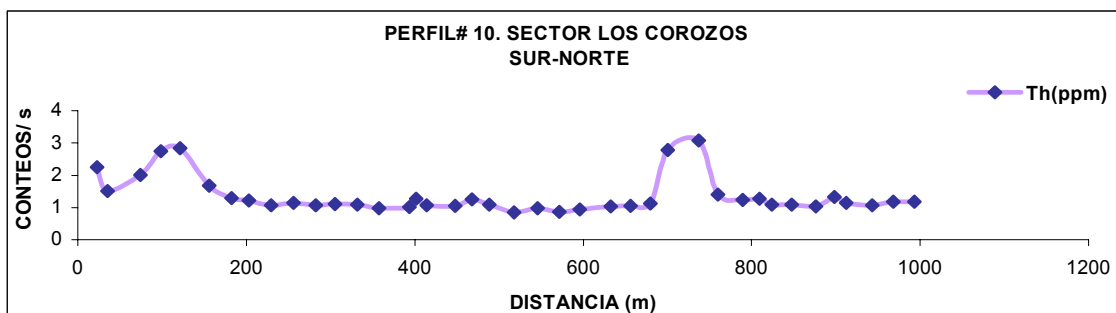
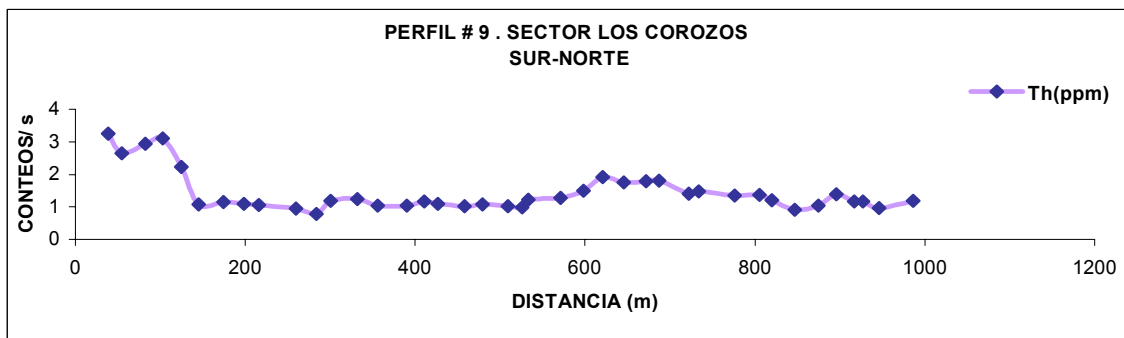
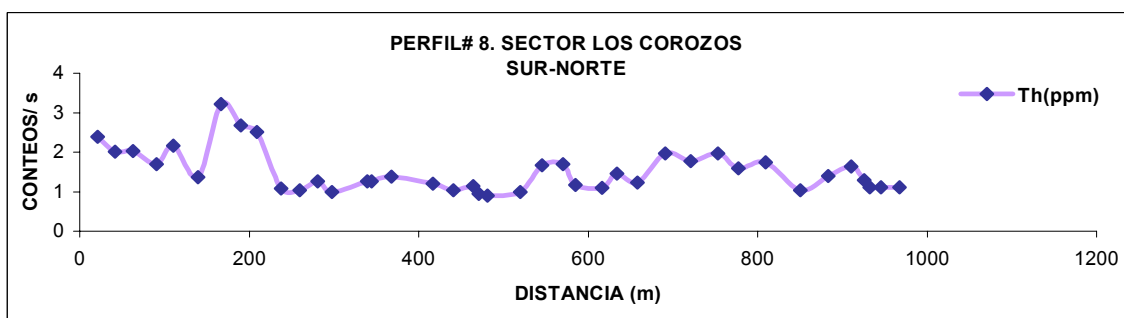
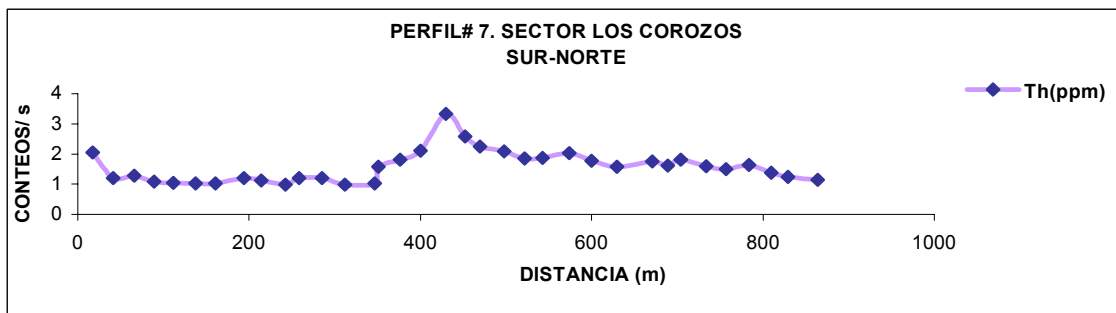
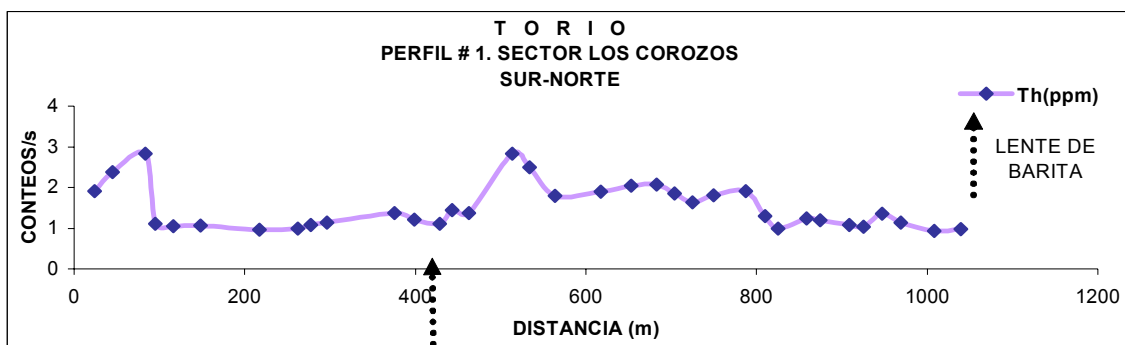


**Figura N° 46: Perfiles longitudinales en conteos/s de torio**  
**en Sector Los Corozos. Dirección sur-norte.**

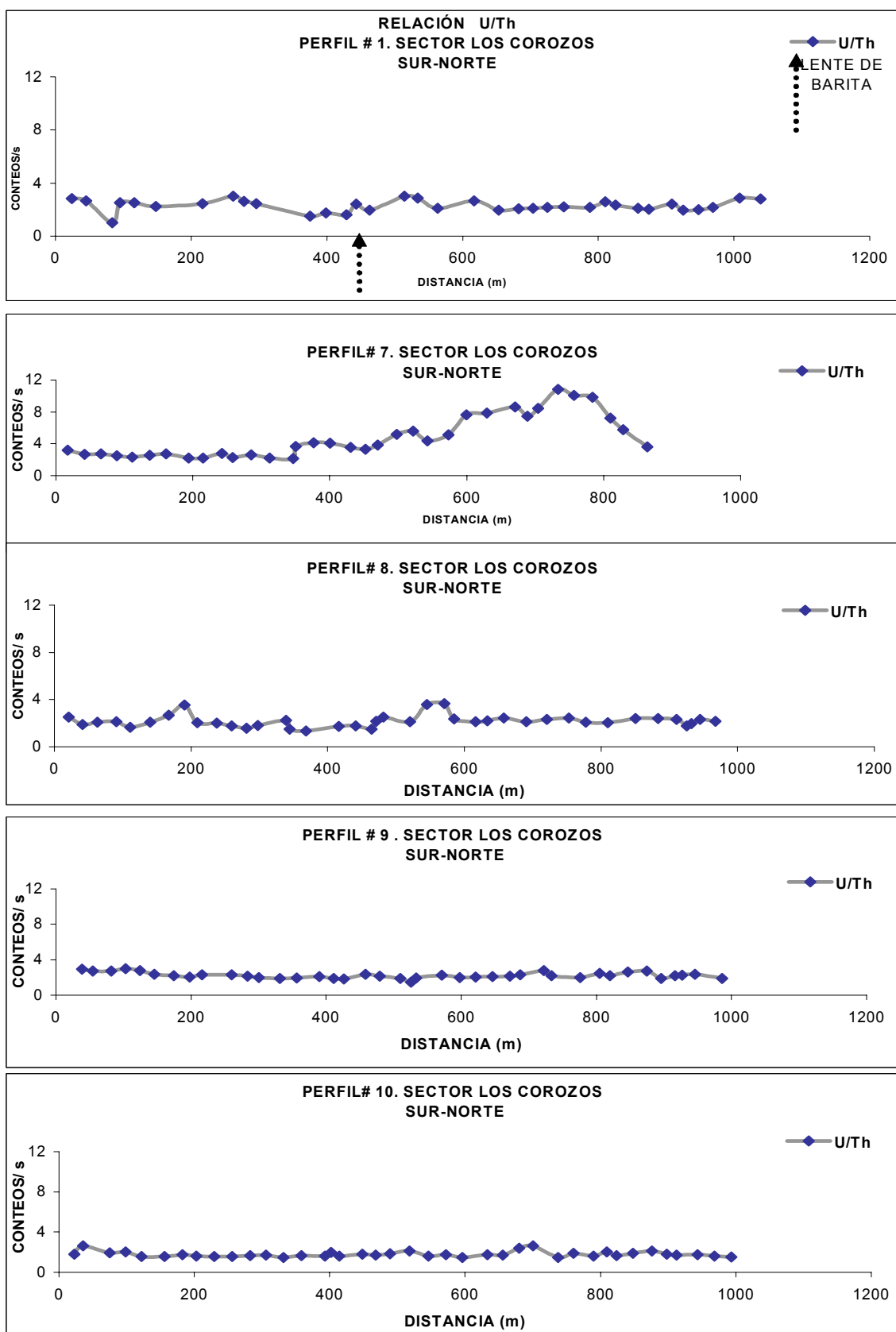


**Figura N° 47: Perfiles longitudinales en conteos/s de la relación U/Th en Sector Los Corozos. Dirección sur-norte**

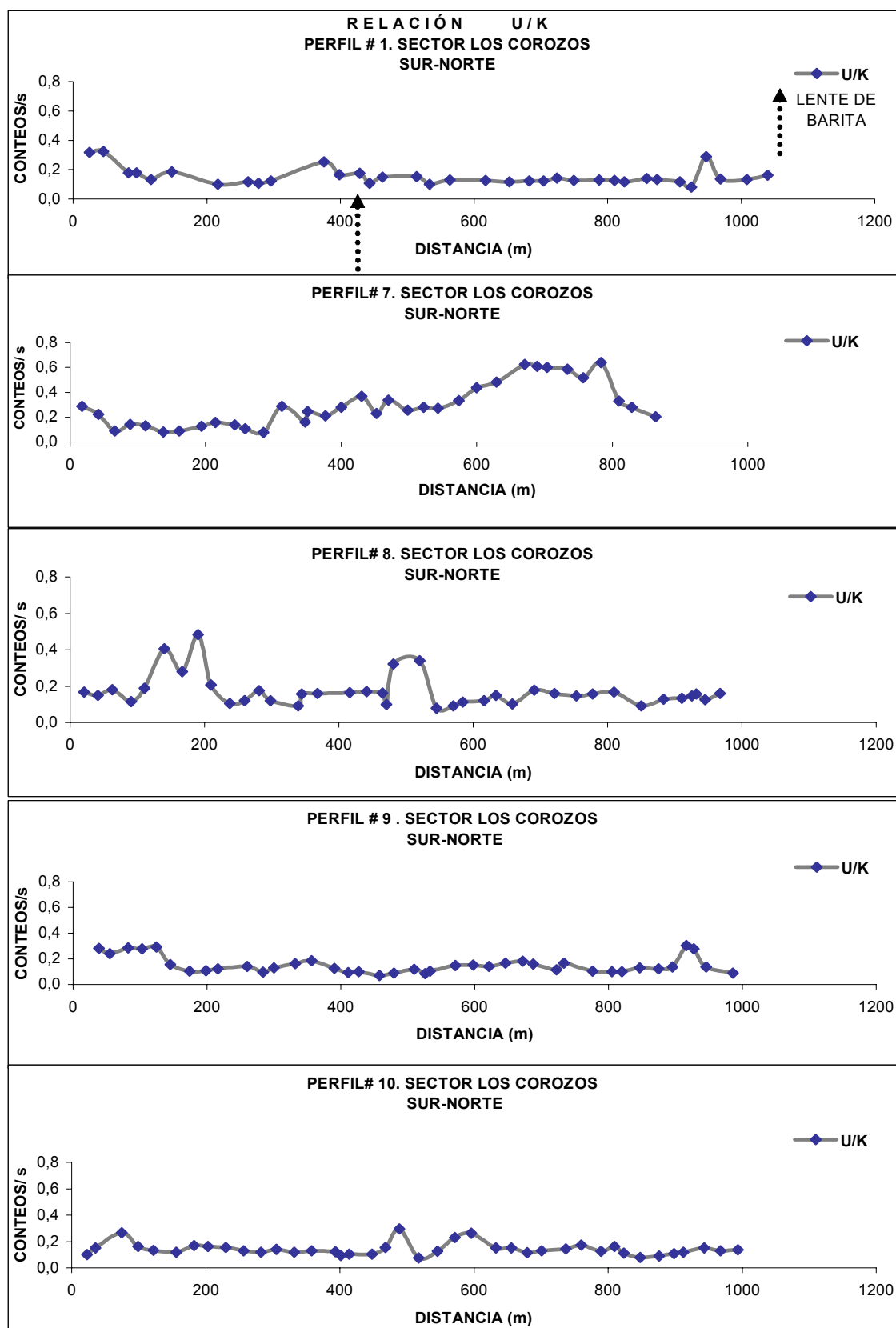


**Figura N° 48: Perfiles longitudinales en conteos/s de la relación U/K en Sector Los Corozos.**  
**Dirección sur-norte**

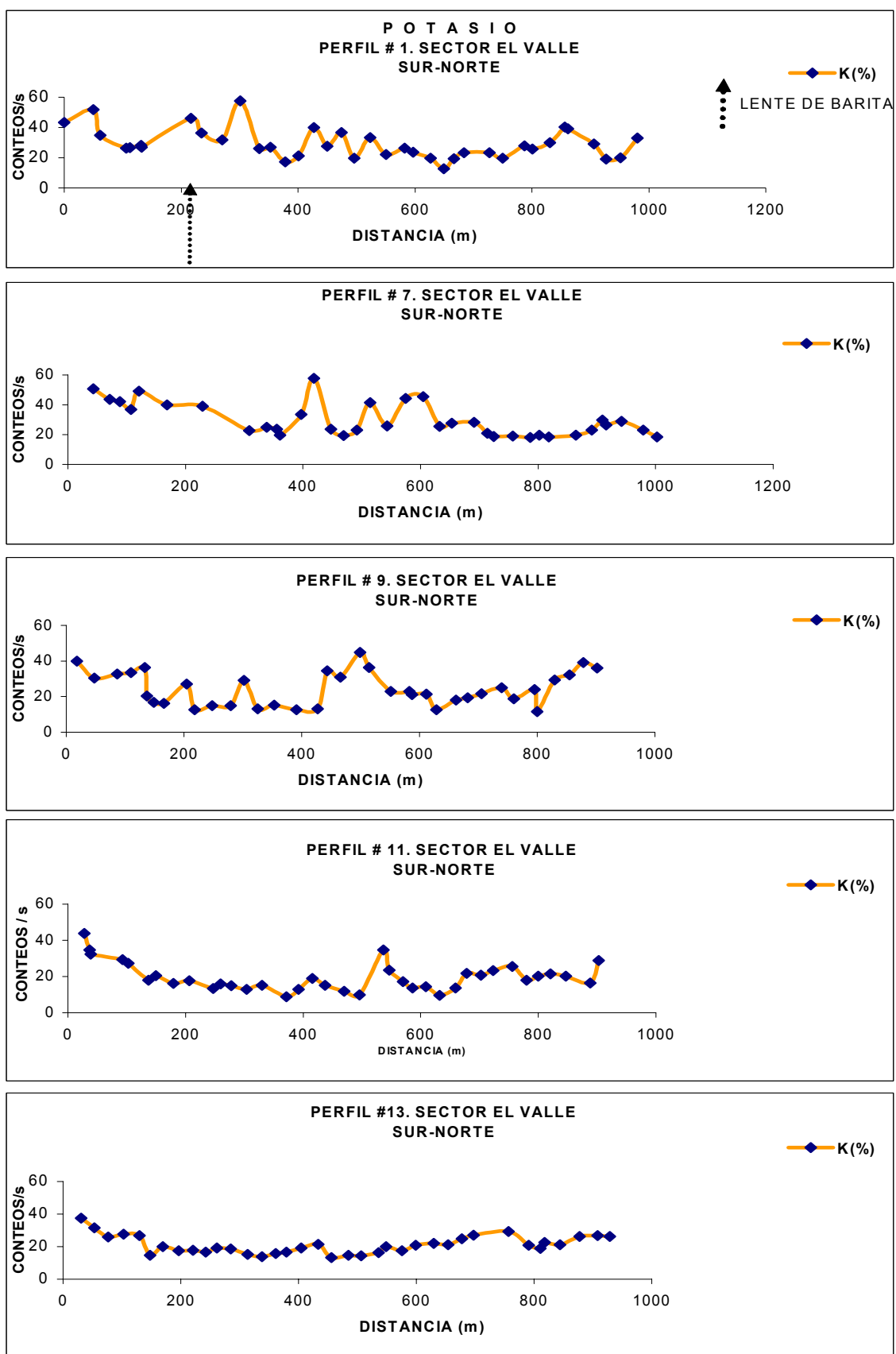


Figura N° 49: Perfiles longitudinales de potasio en el Sector El Valle. Dirección sur-norte.

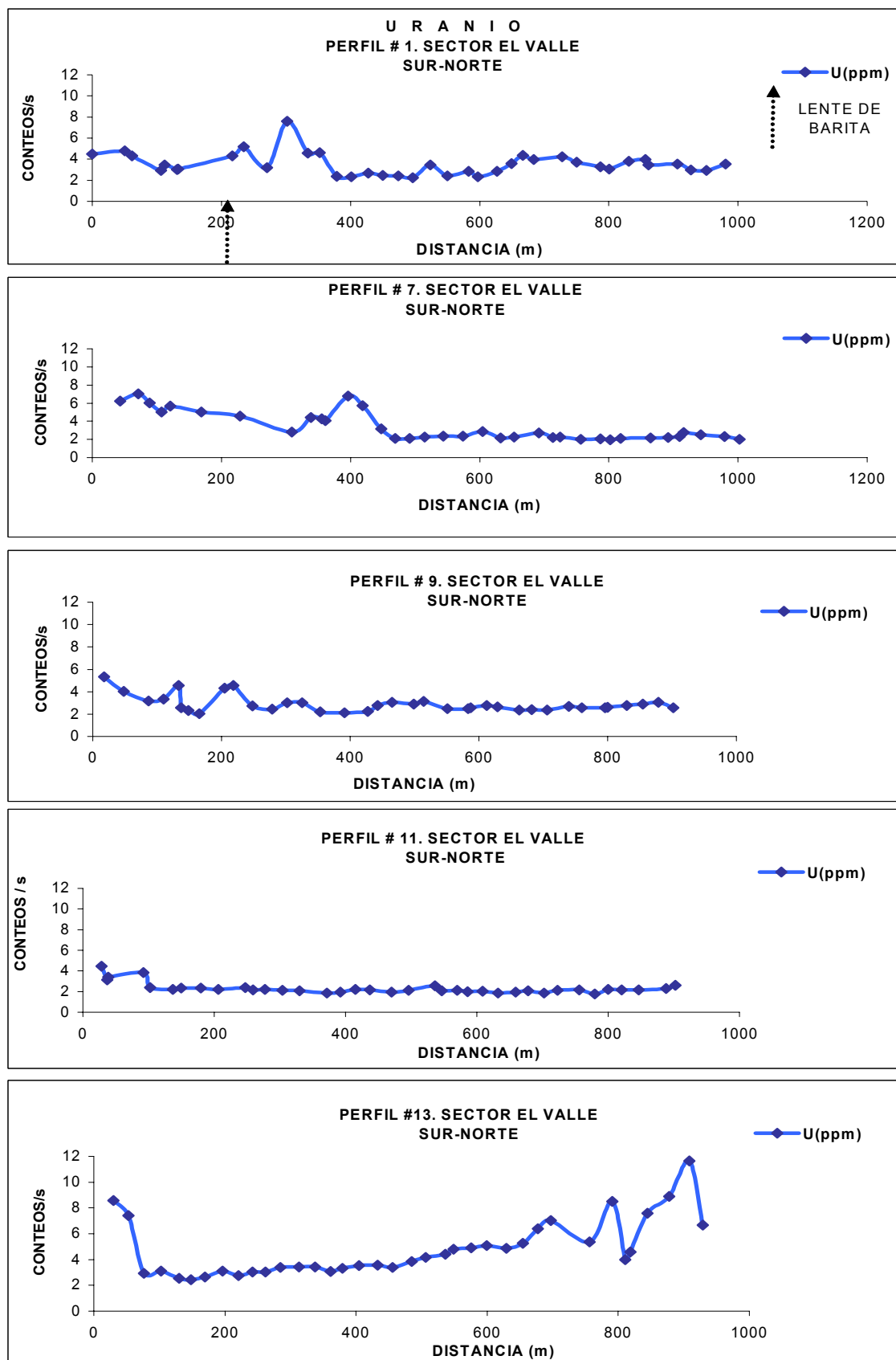


Figura N° 50: Perfiles longitudinales de uranio en el Sector El Valle. Dirección sur-norte.

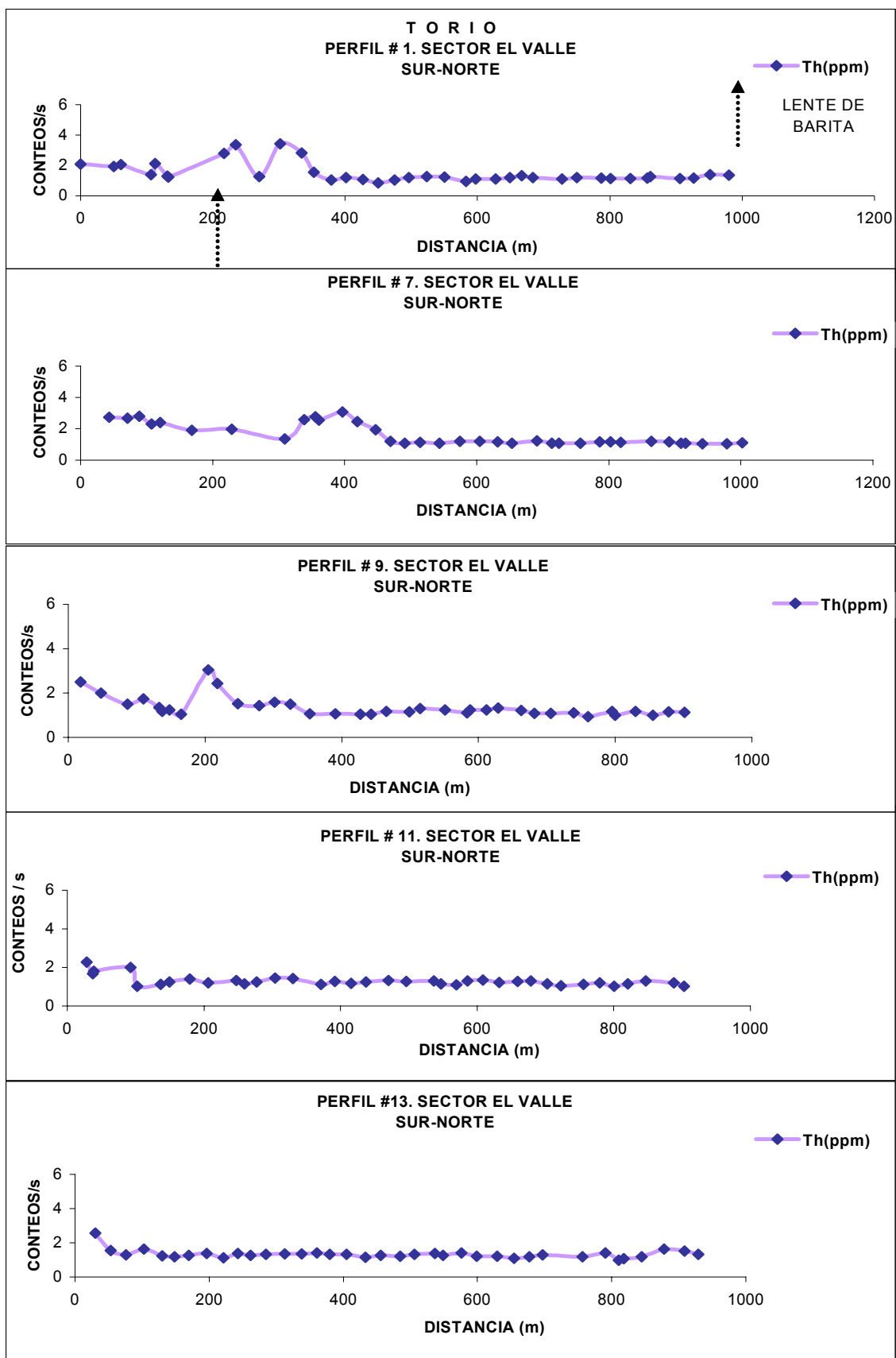


Figura N° 51: Perfiles longitudinales de torio en el Sector El Valle. Dirección sur-norte.



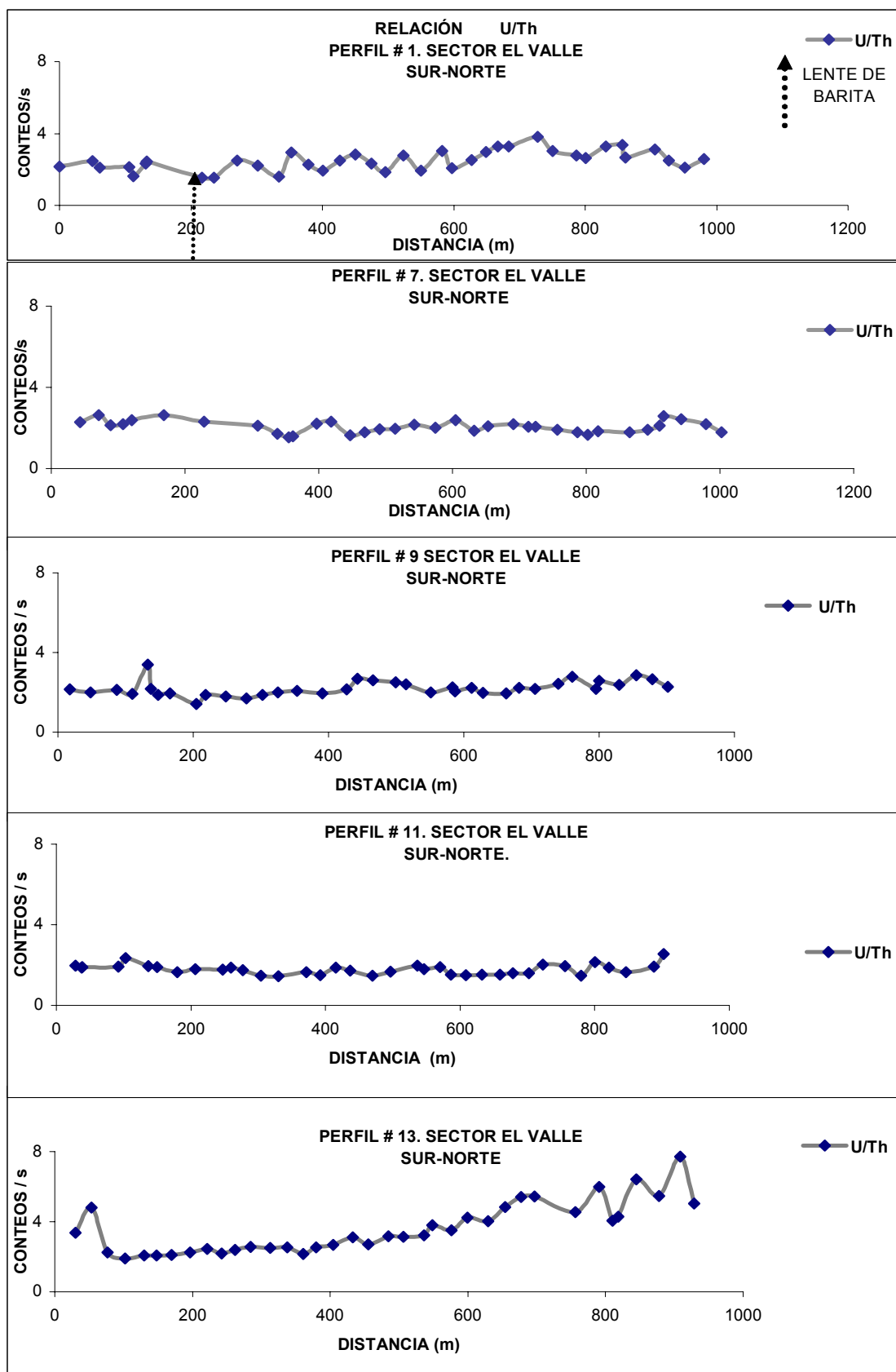


Figura N° 52: Perfiles longitudinales de la relación U/Th en el Sector El Valle. Dirección sur-norte.

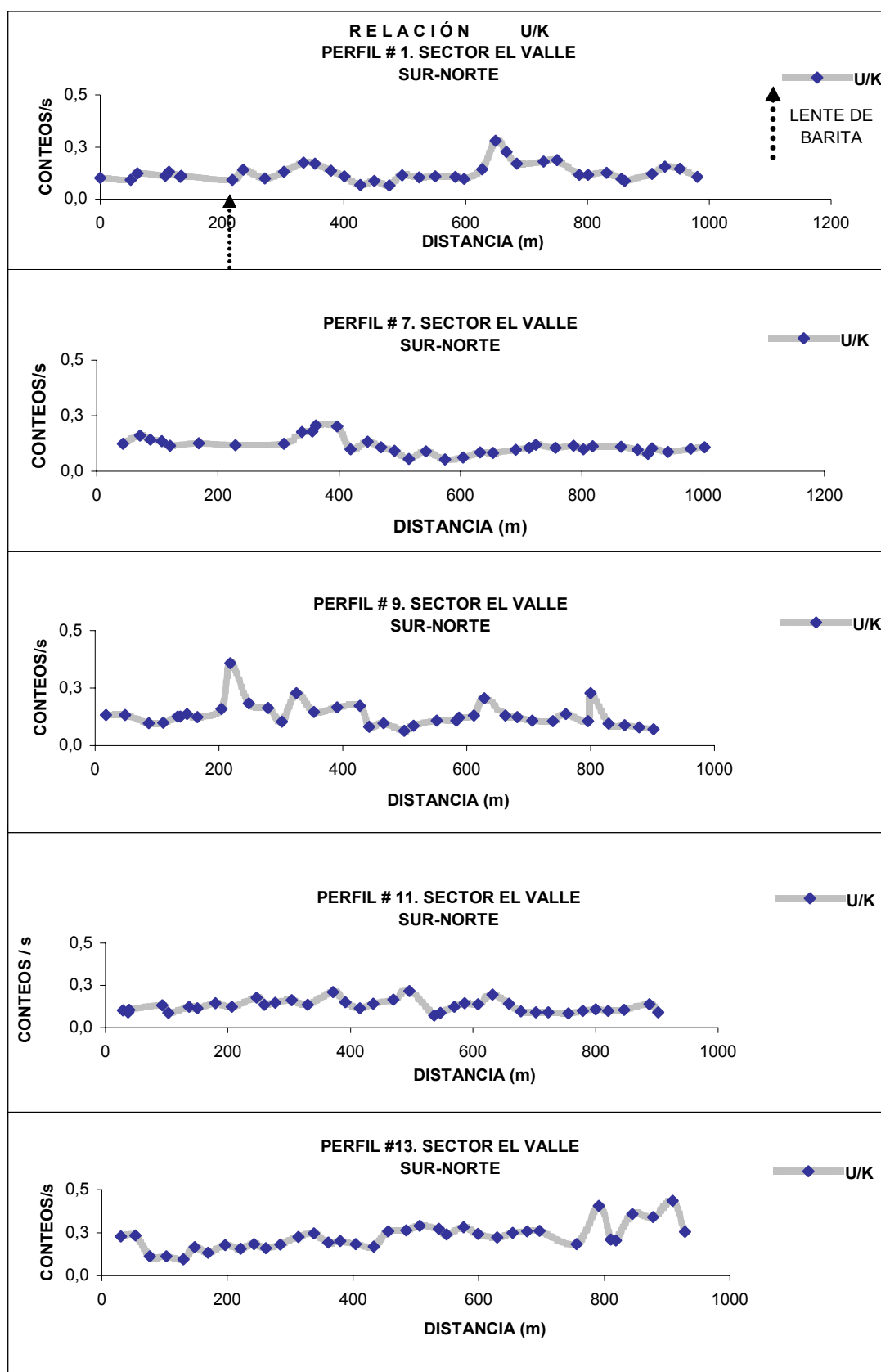


Figura N° 53 : Perfiles longitudinales de la relación U/K en el Sector El Valle. Dirección sur-norte.

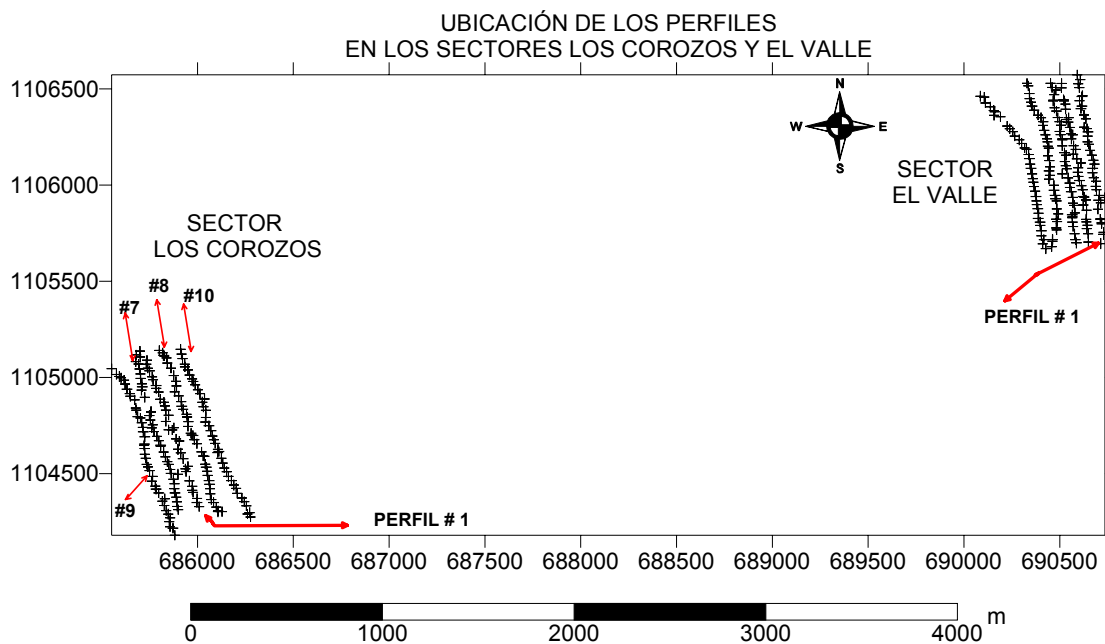


Figura N° 54: Ubicación de los perfiles en los sectores Los Corozos y El Valle

efecto anómalo es producido por la litología circundante al afloramiento de barita, ya que éste en su análisis químico no refleja ninguna presencia de elementos radioactivos.

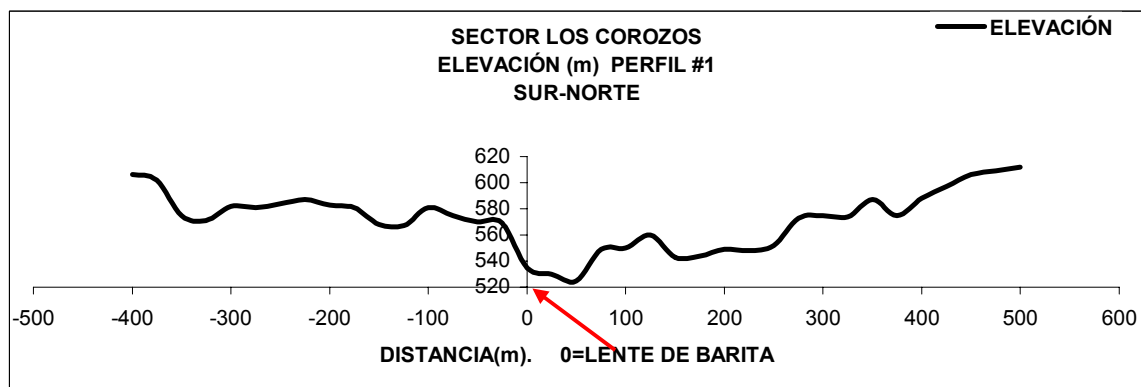


Figura N° 55: Línea topográfica para el perfil #1 del Sector Los Corozos

### Radioelemento natural: potasio (K)

Al señalar los valores anómalos de este radioelemento el alto se inicia en la estación que tiene como referencia el afloramiento del lente de **barita**. Al observar los perfiles # 7 y # 8, se debe señalar que la actividad radioactiva crece hacia la parte norte del perfil #8, al igual que hacia el perfil # 10, en la misma dirección, pero con una tendencia hacia el este en el mismo sentido del rumbo del lente de **barita**. Mientras que

en los perfiles # 7 y #9 se tienen valores de actividad en el potasio menores hacia el norte y algo mayores hacia el sur.

### **Radioelemento natural: uranio (U)**

Los valores anómalos del uranio se inician en la estación que tiene como referencia el afloramiento del lente de **barita**. Al observar los perfiles #1, #7, #8, #9 y #10, se debe señalar que la actividad radioactiva crece hacia la parte norte de estos perfiles, repitiéndose la tendencia hacia el este en el mismo sentido del rumbo del lente de **barita** en los perfiles #1, #8 y #10, como se señaló en la actividad radioactiva del potasio. Mientras que en los perfiles # 7 y #9 se tienen valores de actividad menores hacia el norte y mayores hacia el sur. Se debe además recalcar el alto conteo por segundo detectado en el perfil #7 hacia la parte norte de éste donde se presentan valores superiores al resto de los perfiles.

### **Radioelemento natural: torio (Th)**

Al señalar los valores anómalos de este radioelemento, igualmente se presenta un alto en el afloramiento del lente de **barita**, se debe indicar que las lecturas reportadas son inferiores a las de uranio, se podría decir que son la mitad de los conteos por segundos de uranio.

A partir de este punto se observa que en los perfiles #1, #7 y #8 la actividad radioactiva crece hacia la parte norte en mayor proporción, disminuyendo en el extremo. En cambio en el perfil #9 se tienen valores de actividad en el torio menores hacia el norte y algo mayores hacia el sur. Mientras que en el perfil #10 se puede puntualizar una tendencia hacia el este de valores altos, en el mismo sentido del rumbo del lente de **barita**, ya que se correlaciona con la misma dirección presentada en los perfiles #8 y #1.

### **Relación U/Th**

Se desprende que el uranio es el que produce el mayor aporte en la actividad radioactiva, considerando los valores de conteos por segundos reportados. Analizando el perfil #1, por estar el afloramiento de **barita**, se concluye que el aporte de uranio con respecto al torio no es muy significativo, esto a partir del lente de **barita**

hacia el norte del perfil. Pero si es de interés recalcar la anomalía que presenta el perfil #1 de U/Th en la parte sur, ya que indica un aporte mayor de torio en esta zona.

### Relación U/K

Analizando el perfil #1 en el afloramiento de barita, se desprende que el potasio es el que produce el mayor aporte en la actividad radioactiva. Es de interés recalcar que si esta anomalía es atribuida a la mineralización presente, hace suponer por la poca extensión de ésta, que dicha mineralización o lente es de poco espesor, por lo menos en este sentido del perfil.

El perfil #1 de U/K, en la parte sur, es anómalo ya que indica un aporte mayor de uranio en esta zona.

#### 5.2.2.2- Análisis de los perfiles en el sector El Valle

A pesar que hay diferencia entre sus valores extremos se puede observar en las figuras N° 49 a N° 51, que en el punto de medición ubicado sobre el afloramiento de barita en el **perfil # 1** existe una anomalía disminuida de los tres radioelementos naturales (K, U y Th). Al igual que para el sector anterior se revisó la topografía de este perfil (fig. N° 56), para suprimirla como factor de influencia en el levantamiento radimétrico pedestre.

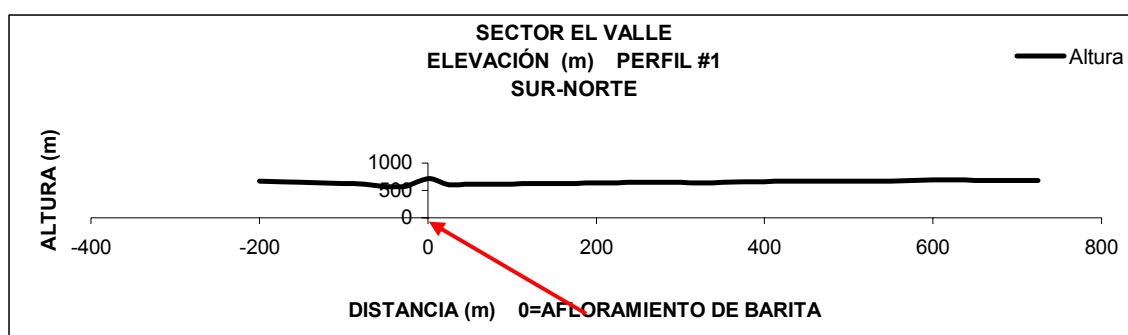


Figura N° 56: Línea topográfica para el perfil #1 del Sector El Valle.

### **Radioelemento natural: potasio (K)**

Al desplegar los valores anómalos de este radioelemento se señala que el alto se inicia un poco antes del afloramiento del lente de **barita**. Al observar los perfiles #7, #9 y #11, se debe apuntar que la actividad radioactiva crece hacia la parte central de estos perfiles, disminuyendo en el perfil #13.

El perfil # 13 muestra un marcado contraste con los otros perfiles, son casi constantes los valores de actividad radioactiva, lo que supone el límite de una capa. Si se considera el sentido del rumbo del afloramiento de **barita** y se supone la respuesta de potasio asociada a ella o a la roca caja, se indica entonces que el espesor de esta mineralización va en aumento en sentido casi oeste-este, teniendo presente la poca resolución en profundidad que presente esta metodología geofísica.

Al comparar estos perfiles con los del Sector Los Corozos, se debe indicar que representan valores de conteos por segundo menores hacia la parte norte de la zona, mientras que para el sur van en aumento.

### **Radioelemento natural: uranio (U)**

La actividad radioactiva está muy atenuada para este sector lo que litológicamente confirma el carácter básico de este tipo de litología volcánica.

Los valores anómalos del uranio se presentan en la estación que tiene como referencia el afloramiento de **barita**. Al observar los perfiles #7, #9 y #11, se debe señalar que la actividad radioactiva es casi constante y mucho menor que la del Sector Los Corozos. Mientras que en el perfil #13 del Sector El valle se tienen valores de actividad mayores hacia el norte.

### **Radioelemento natural: torio (Th)**

Los valores anómalos de este radioelemento se presentan en un alto en el afloramiento del lente de **barita** en el perfil #1, donde no está muy clara la respuesta radimétrica con la mineralización. Se debe indicar que las lecturas reportadas son inferiores a las de uranio, se podría decir que son la mitad de los conteos por segundos.

Al observar los perfiles #7, #9, #11 y #13, se debe señalar que la actividad radioactiva es casi constante y mucho menor que los del Sector Los Corozos. En general los perfiles del Sector El valle tienen valores de actividad mayores hacia el sur.

### **Relación U/Th**

Analizando el perfil #1, por estar el afloramiento de **barita**, se extrae que el aporte de uranio con respecto al torio no es muy representativo. Pero si es de interés recalcar que las anomalía que presentan los perfiles #9 y #13 de U/Th, indican un aporte mayor de uranio en esas zonas. Mientras que en el perfil #11 se puntualiza una anomalía de torio.

### **Relación U/K**

Comparando el perfil #1 en el afloramiento de barita con los otros perfiles, se desprende que el potasio es el que aporta en la actividad radioactiva, pero sin presentar valores anómalos, ya que esta relación es casi constante, a excepción en los perfiles #9 y #13 donde se confirma la anomalía de uranio ya señalada en el análisis del radioelemento uranio por si solo y de la relación U/Th.

#### **5.2.3- Elaboración de mapas de concentraciones de los sectores**

Se procesaron los datos de concentraciones y de actividad radiactiva (conteos/ s) en los sectores Los Corozos y El Valle, sectores favorables de la anomalía geoquímica utilizando el programa GRIDSTAT v.99.01 (GRIDSTATPRO Inc., 1999), el cual proporciona mapas, variogramas, elipses de anisotropía, entre otros productos derivados de la muestra. Este programa da a conocer la variación espacial de los datos al aplicar varios métodos estadísticos que permiten describir la autocorrelación espacial de los datos de la muestra mediante una variedad de modelos espaciales.

Previo a la aplicación de este programa a los datos de concentraciones de potasio, uranio y torio de cada uno de los sectores se les sustrajo el valor de fondo natural regional de concentraciones.

### 5.2.3.1- Sector Los Corozos

Al analizar los resultados obtenidos al aplicar el programa se denota el comportamiento espacial de la concentración de cada uno de los radioelementos naturales en cada uno de los sectores, es decir se puede observar la dirección de mayor y menor continuidad espacial de esta variable al igual que la de la actividad radioactiva en conteos por segundo (conteos/ s). Dando una imagen global respecto a la distribución de los diferentes tipos de concentración y de conteos/ s, es decir la abundancia de cada radioelemento. Esto permitió la delineación de amplias zonas de interés, lo cual ha sido recopilado para la interpretación de este trabajo de investigación.

En la tabla N° 65 se presentan los resultados de los diferentes ajustes de datos, la roseta de distribución y la elipse de anisotropía, en base a las cuales se puede establecer la continuidad espacial de los datos. En la elipse de anisotropía el eje mayor se relaciona con la dirección de mayor continuidad de los datos y el eje menor a la mayor variación de los mismos.

Posteriormente se aplicó el método “Krigging” para la construcción del mapa de contornos de las concentraciones y de la actividad radioactiva, el cual reduce al mínimo la variación de errores de valoración, es decir asigna un valor estimado a una localización determinada, dicha estimación corresponde a una combinación ponderada de los valores de la muestra alrededor del punto a ser estimado (figuras N° 57 y N° 58).

#### **Mapa de contornos de las concentraciones y de contornos de los conteos/ s**

Del análisis de estos contornos se define claramente una tendencia de la variación de la concentración de cada radioelemento en particular, al igual que poder suponer su continuidad, soportada esta afirmación por los resultados obtenidos con el programa estadístico, haciendo referencia a la elipse de anisotropía obtenida.

#### **Radioelemento potasio**

De acuerdo a los valores de concentraciones (**0 – 19.2 %**) presentes en este sector, se clasificó a estas rocas como rocas efusivas básicas, según la tabla de



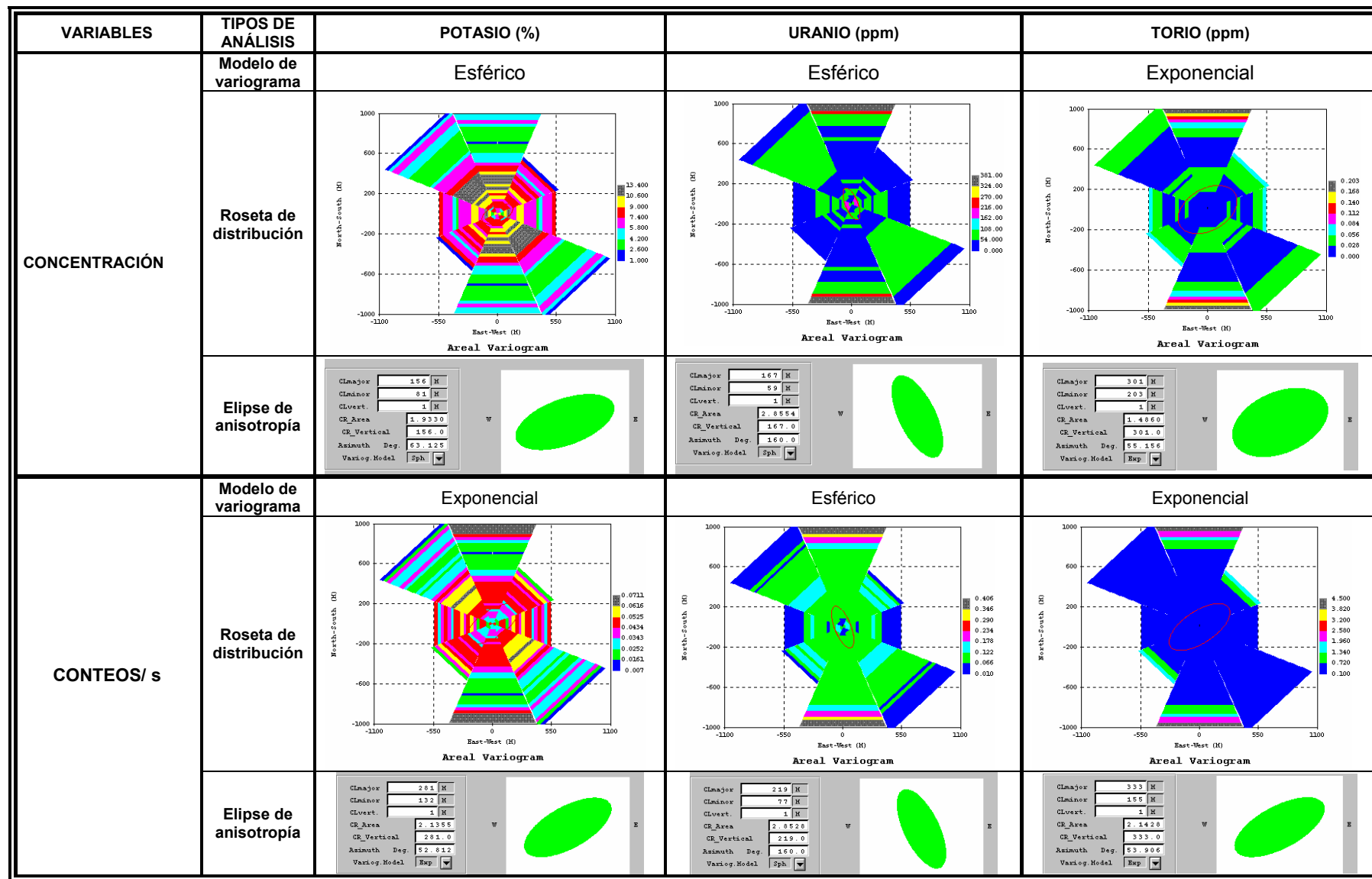


Tabla N° 65: Resultados del análisis de los datos con el programa GRIDSTAT del Sector Los Corozos.

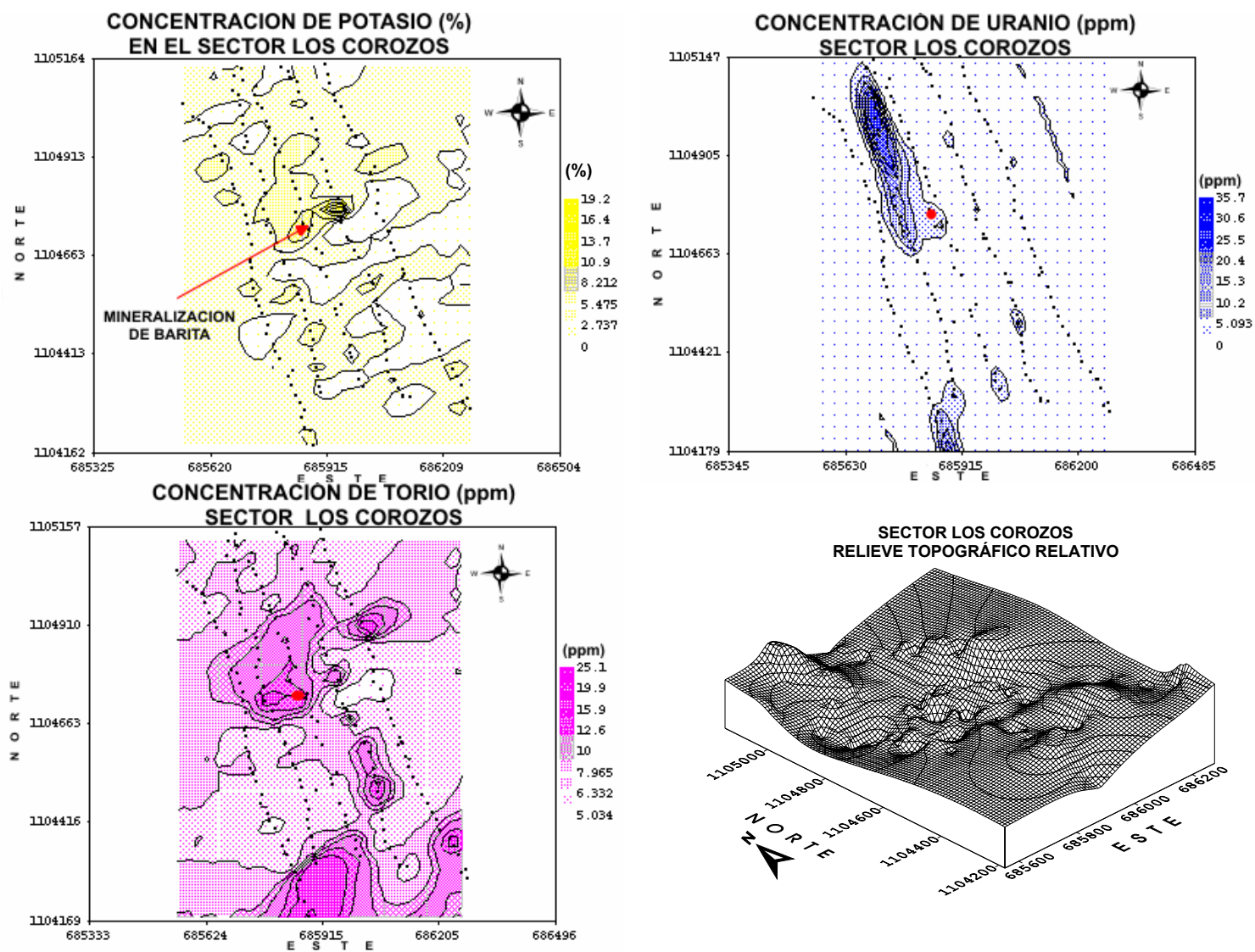


Figura N° 57: Contornos de las concentraciones de potasio (%), uranio (ppm) y torio (ppm), en el Sector Los Corozos. Localización de la mineralización de barita (#).

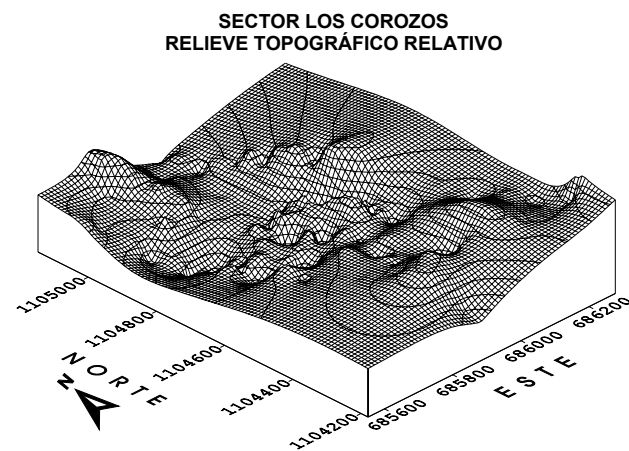
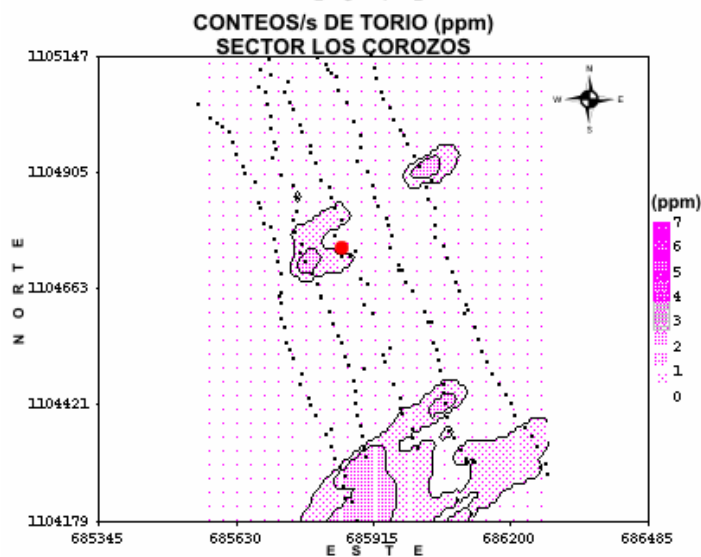
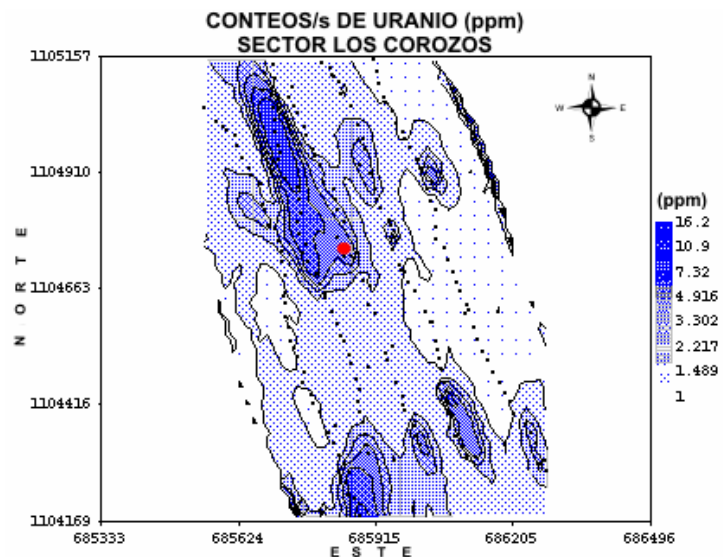
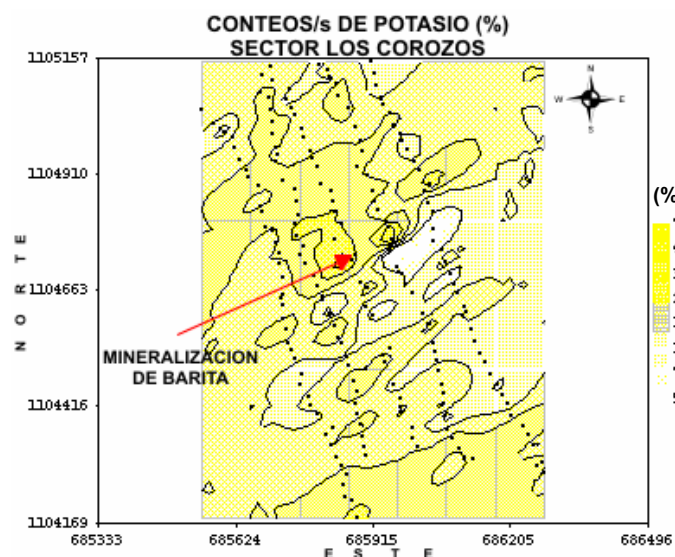


Figura N° 58: Contornos de los conteos/s de potasio (%), uranio (ppm) y torio (ppm), en el Sector Los Corozos. Localización de la mineralización de barita (#).

valores de concentraciones de radioelementos naturales de Killeen (1979) y las características litológicas asumidas por Serrano (1982), definiéndose un valor anómalo en la mineralización y su entorno, lo que estaría asociado al cambio de la composición química de las rocas originales por penetración fluida de sustancias químicas procedentes de magmas circundantes (comunicación personal, Grande, 2003). Siguiendo este radioelemento natural una continuidad en dirección este-oeste. Es de hacer notar que al referirse a la respuesta por espectrometría de radiación gamma en la mineralización de barita identificada en el terreno, se nota los altos en conteos/ s (**72.4 - 5.33**) de este radioelemento al igual que en el torio, lo que se presume como la incorporación de material originario de una fuente externa, con mayor contenido de potasio.

### **Radioelemento uranio**

Los valores de concentraciones detectados varían en un rango de **0 – 35.7 ppm**, donde los valores mínimos a intermedios soportan la clasificación propuesta anteriormente, presentan una continuidad hacia la parte norte de la zona y una fuerte variación en sentido este-oeste, observándose claramente en la actividad radioactiva (conteos/ s), donde se confirma el mayor aporte isótopos de la serie de decaimiento del uranio. El valor anómalo detectado está relacionado con las características mineralógicas de un cuerpo de roca de aproximadamente 200 a 300 metros de longitud, ubicado en la parte noroeste del sector Los Corozos. Dicho cuerpo presenta una gran diferenciación respecto a su entorno. Aunque no se tomó muestra alguna, según la descripción hecha en campo y consultada posteriormente, se atribuyen sus características a una roca compuesta principalmente por trogerita ( $(\text{UO}_2)_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$  (?) y peso molecular = 964.03 gr), cuya composición generaría las altas concentraciones de uranio (49.38 % U ; 56.02 %  $\text{UO}_2$  ). En Aragua central se ha localizado otro cuerpo de una mayor longitud, con tipología semejante (comunicación personal, Grande, 2003).

### **Radioelemento torio**

De acuerdo al rango de valores (**5 - 25.1 ppm**) de concentraciones observados, los altos se asumen como la incorporación de material fluido que involucró

el cambio de composición química de la roca originaria; ésta sería la explicación al alto valor de concentración de torio en la zona mineralizada de barita, se tiene una continuidad en dirección este-oeste y variación de valores en dirección norte-sur. Se confirma al observar la actividad radioactiva en el punto de ubicación de la mineralización que el aporte de isótopos ha sido del uranio sobre el torio.

#### 5.2.3.2- Sector El Valle

En la tabla N° 66 se presentan los resultados de los diferentes ajustes de datos, la roseta de distribución y la elipse de anisotropía, en base a las cuales se puede establecer la prolongación espacial de los datos.

Posteriormente se aplicó el método “Krigging” para la construcción del mapa de contornos de las concentraciones y de actividad radioactiva; dicho método reduce al mínimo la variación de errores de valoración, es decir asigna un valor estimado a una localización concreta (fig. N° 59 y N° 60).

#### **Mapa de contornos de las concentraciones y de contornos de los conteos/ s**

Del análisis de estos contornos se delimita claramente una tendencia de la variación de la concentración de cada radioelemento en particular, al igual que el poder presumir su continuidad, soportada esta aseveración por los resultados obtenidos con el programa estadístico GRIDSTAT (1999), específicamente por la elipse de anisotropía obtenida para ambos análisis de variables, es decir la concentración y la actividad radioactiva del sector El Valle.

#### **Radioelemento potasio**

Los valores de concentración detectados están en el rango de **(1.1-11.3 %)**, mucho más bajos que en el sector Los Corozos, lo que supondría un carácter mucho más básico a la litología presente en este sector, o que estuvo menos afectada por la metasomatización. De acuerdo a los valores de concentraciones presentes en este sector se puede clasificar a estas rocas, según la tabla de Killen (1979) y correlacionado su litología como efusivas básicas. Donde la concentración de este

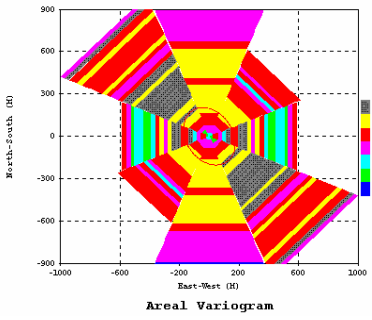
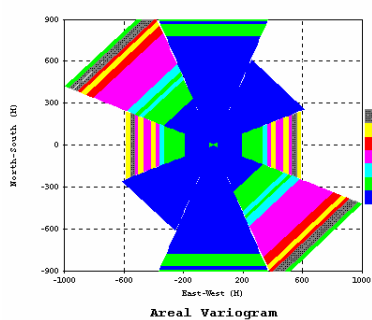
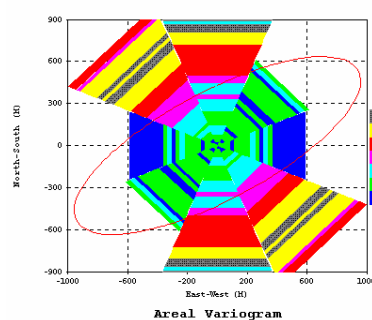
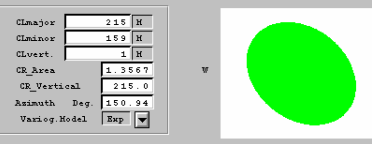
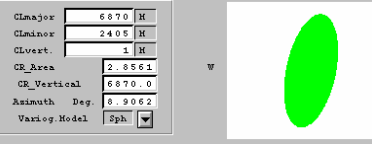
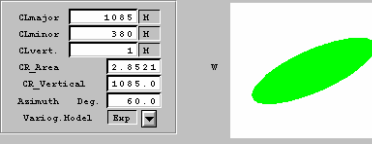
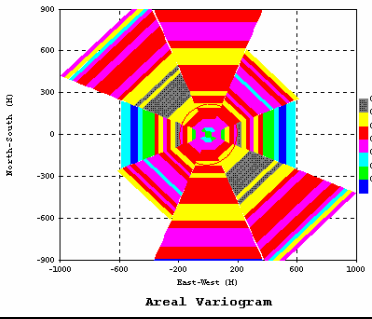
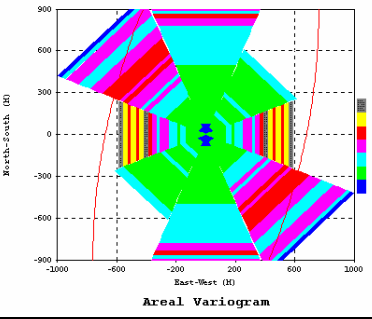
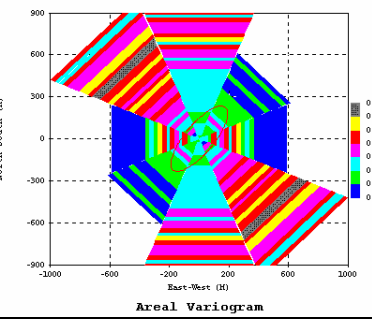
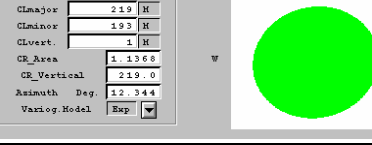
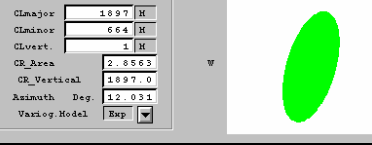
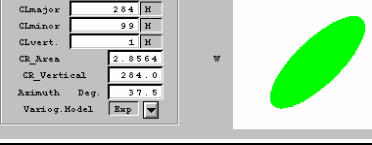
| VARIABLES     | TIPOS DE ANÁLISIS      | POTASIO (%)                                                                          | URANIO (ppm)                                                                          | TORIO (ppm)                                                                           |
|---------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| CONCENTRACIÓN | Modelo de variograma   | Exponencial                                                                          | Esférico                                                                              | Exponencial                                                                           |
|               | Roseta de distribución |    |    |    |
|               | Elipse de anisotropía  |    |    |    |
| CONTEOS/ s    | Modelo de variograma   | Exponencial                                                                          | Exponencial                                                                           | Exponencial                                                                           |
|               | Roseta de distribución |   |   |   |
|               | Elipse de anisotropía  |  |  |  |

Tabla N° 66: Resultados del análisis de los datos con el programa GRIDSTAT del Sector El Valle.



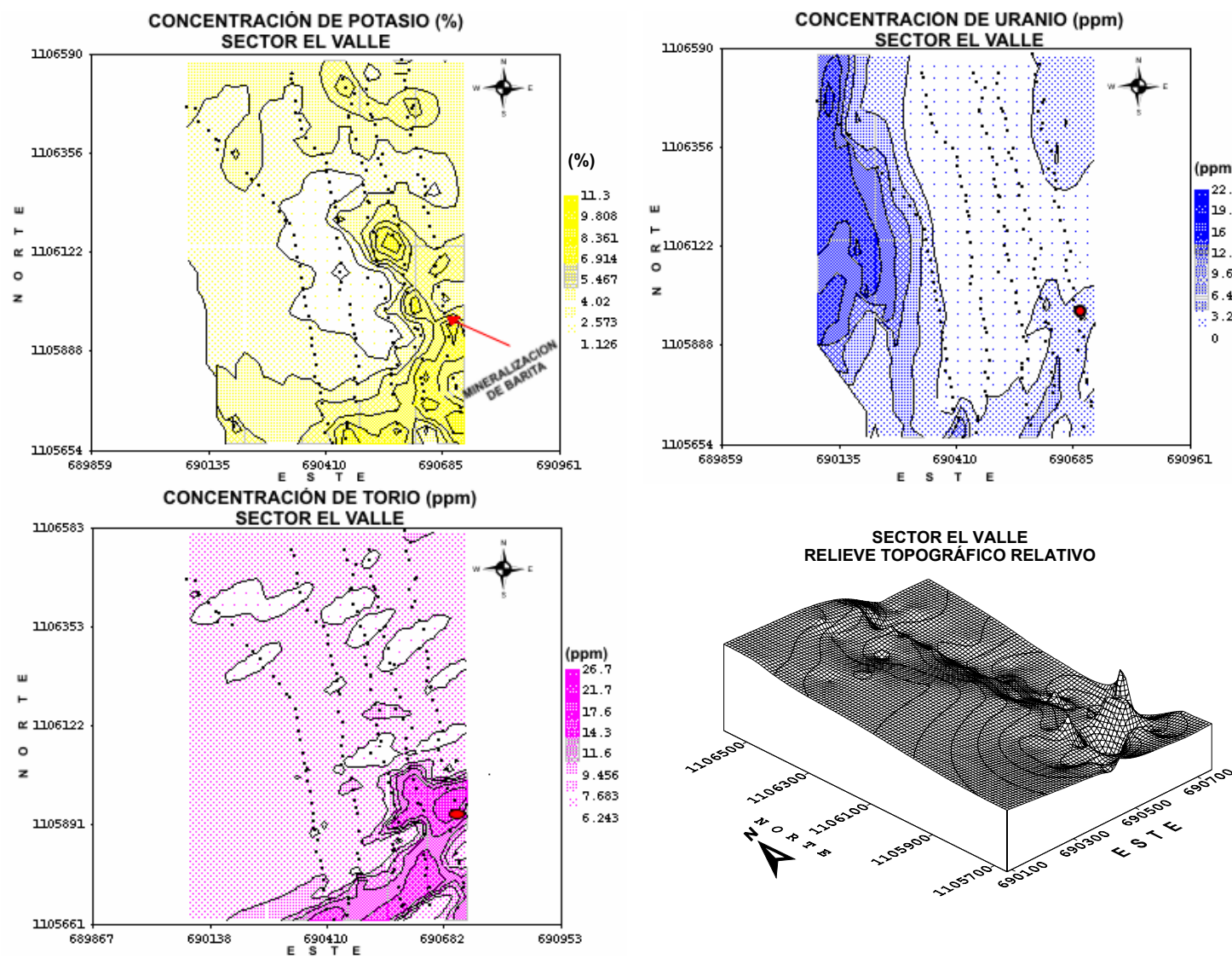


Figura N° 59: Contornos de las concentraciones de potasio (%), uranio (ppm) y torio (ppm), en el Sector El Valle.  
Localización de la mineralización de barita (#).

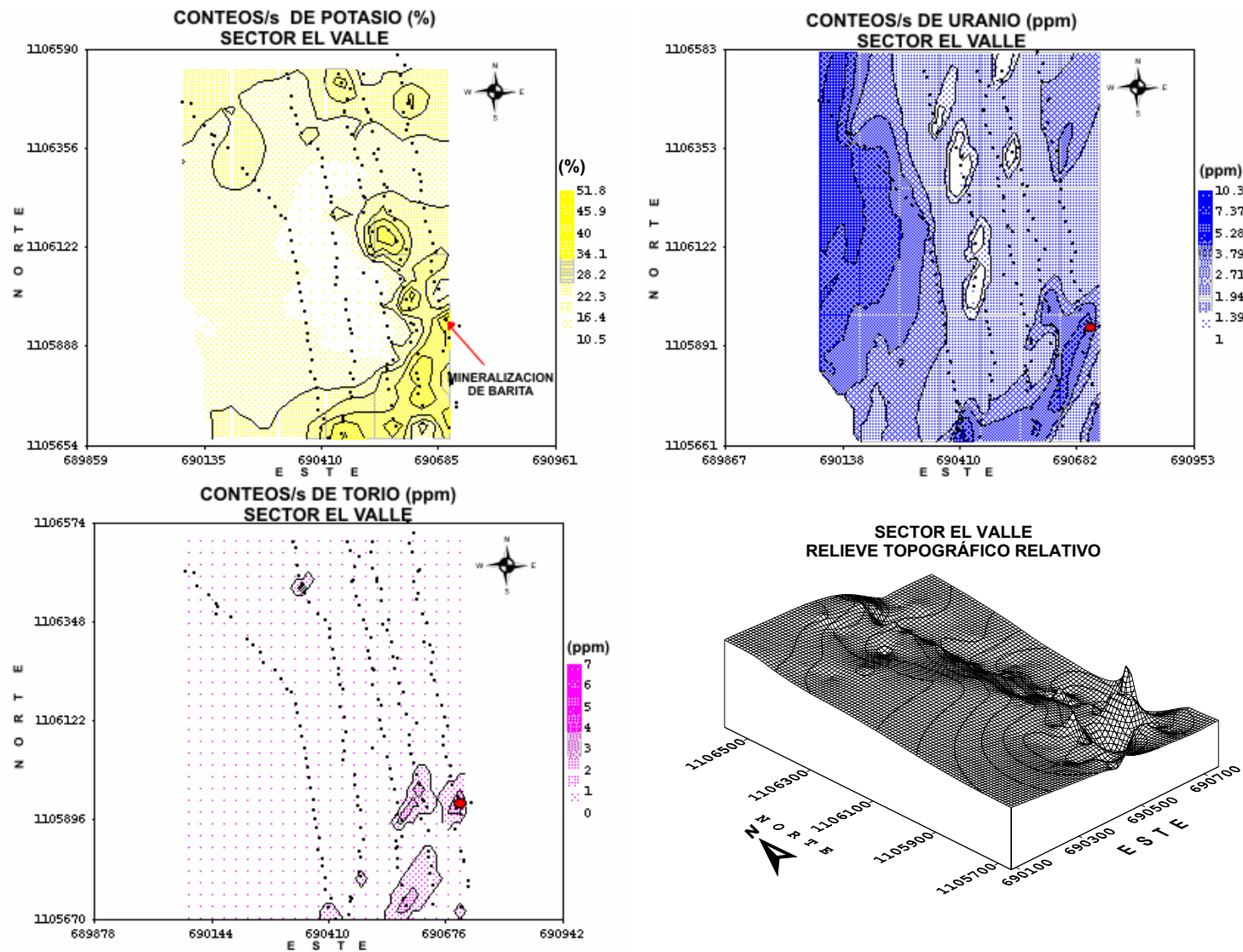


Figura N° 60: Actividad radioactiva en Conteos/ s de potasio (%), uranio (ppm) y torio (ppm), en el Sector El Valle.  
 Localización de la mineralización de barita (#).



radioelemento tiene una distribución homogénea en cuanto a continuidad y variación, como se observa en la elipse de anisotropía.

Se notan los altos en la respuesta radimétrica sobre y en el entorno de la mineralización de barita reconocida en el terreno de este radioelemento al igual que en el torio. Además, estos contornos definen el rumbo de la Quebrada El Valle.

### **Radioelemento uranio**

Los valores de concentraciones detectados de uranio presentan un rango de **0 – 22.5 ppm**, donde los valores anómalos en el extremo oeste se ponen en duda ya que no hay continuidad en el muestreo de campo, por lo que se atribuye a una respuesta del programa al realizar el “Krigging”. Pero los valores mínimos de uranio confirman el carácter básico de la litología en el sector, lo que soporta la clasificación propuesta anteriormente.

Presenta una continuidad determinante hacia la parte norte de la zona y una fuerte variación hacia el oeste. Observándose claramente en la actividad radioactiva (conteos/ s) se confirma el mayor aporte de isótopos de la serie de decaimiento del uranio. Igualmente coincide el cauce de la Quebrada El Valle en el extremo sur del sector El Valle con los contornos de los valores altos de concentración de uranio, lo que involucra el entorno de la mineralización de barita.

Es de hacer notar la analogía en la continuidad (norte-sur) y variación de la concentración del radioelemento uranio en los sectores Los Corozos y El Valle.

### **Radioelemento torio**

De acuerdo a los valores de concentraciones mínimos e intermedios observados (**6 – 9.4 ppm**) sustentan la clasificación sugerida. Donde los valores son atribuidos al metasomatismo que afectó al sector en estudio, lo que se relaciona directamente con la génesis hidrotermal de la mineralización en estudio. Teniendo una continuidad en dirección este-oeste y mayor variación de valores en dirección sur. El rango de valores es parecido al del sector Los Corozos.

Se confirma al observar la actividad radioactiva (conteos/ s) en el punto de ubicación de la mineralización que el aporte de isótopos ha sido del uranio sobre el torio. Los contornos de los valores altos de concentración de torio definen igualmente el curso de la Quebrada El Valle y al mismo tiempo están en el entorno de la barita.

#### 5.2.4- Elaboración de los perfiles en los itinerarios pedestres

Generalmente los itinerarios de este levantamiento pedestre están representados por líneas quebradas en forma de zig-zag, esto se debe a la necesidad de atravesar afloramientos, rodear lugares de difícil acceso y por las variaciones bruscas del terreno.

En la figura N° 61, N° 62 y N° 63 se representa la respuesta radimétrica de los perfiles para cada uno de los recorridos siguientes

- ❖ Itinerario La Palma.
- ❖ Itinerario Los Paraparos.
- ❖ Itinerario Los Corozos-El Valle.

##### 5.2.4.1- Análisis de los itinerarios

Esta comparación tiene como esencia la respuesta radimétrica de estas superficies, colindantes a los sectores favorables (Los Corozos y El Valle), en las cuales fueron ejecutados los itinerarios pedestres. Además fueron realizados en intersecciones con la mineralización de barita.

Siguiendo esta misma idea, se puede observar las respuestas para cada radioelemento al recorrer cada perfil dicha mineralización. Complementándose con la geología de la zona que exploran, según cada dirección de éstos (fig. N° 64) y donde se identifican las muestras de barita en los mismos.

#### **Itinerario La Palma.**

El radioelemento potasio es el que reporta más actividad radioactiva, en comparación con los radioelementos uranio y torio. Confirmándose más si se observa la relación U/K. se debe destacar que los altos en los conteos/s coinciden con las muestras

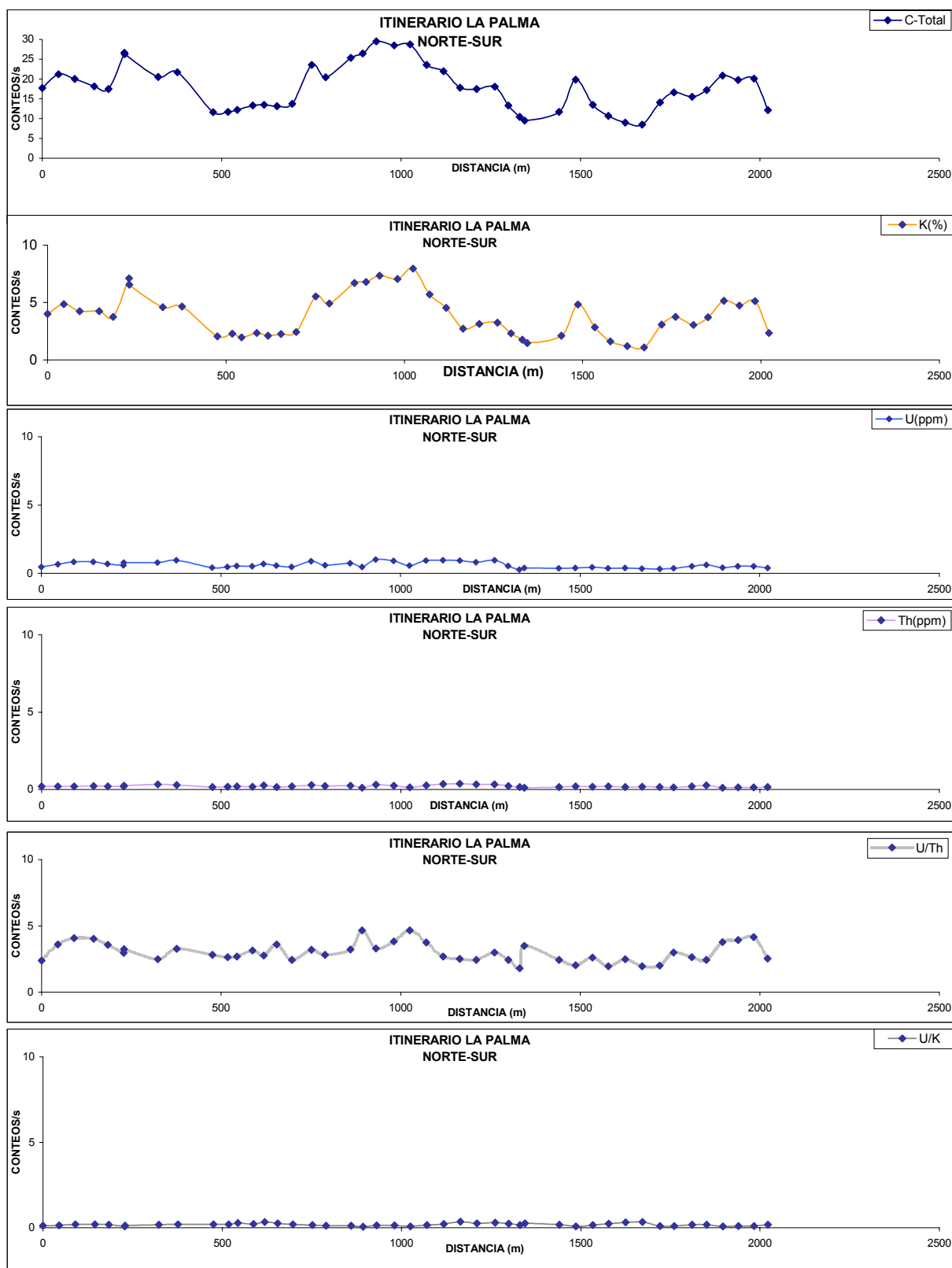


Figura N° 61: Perfil de actividad radioactiva en conteos/s de los radioelementos naturales, la relación U/Th y relación U/K, en el Sector La Palma.

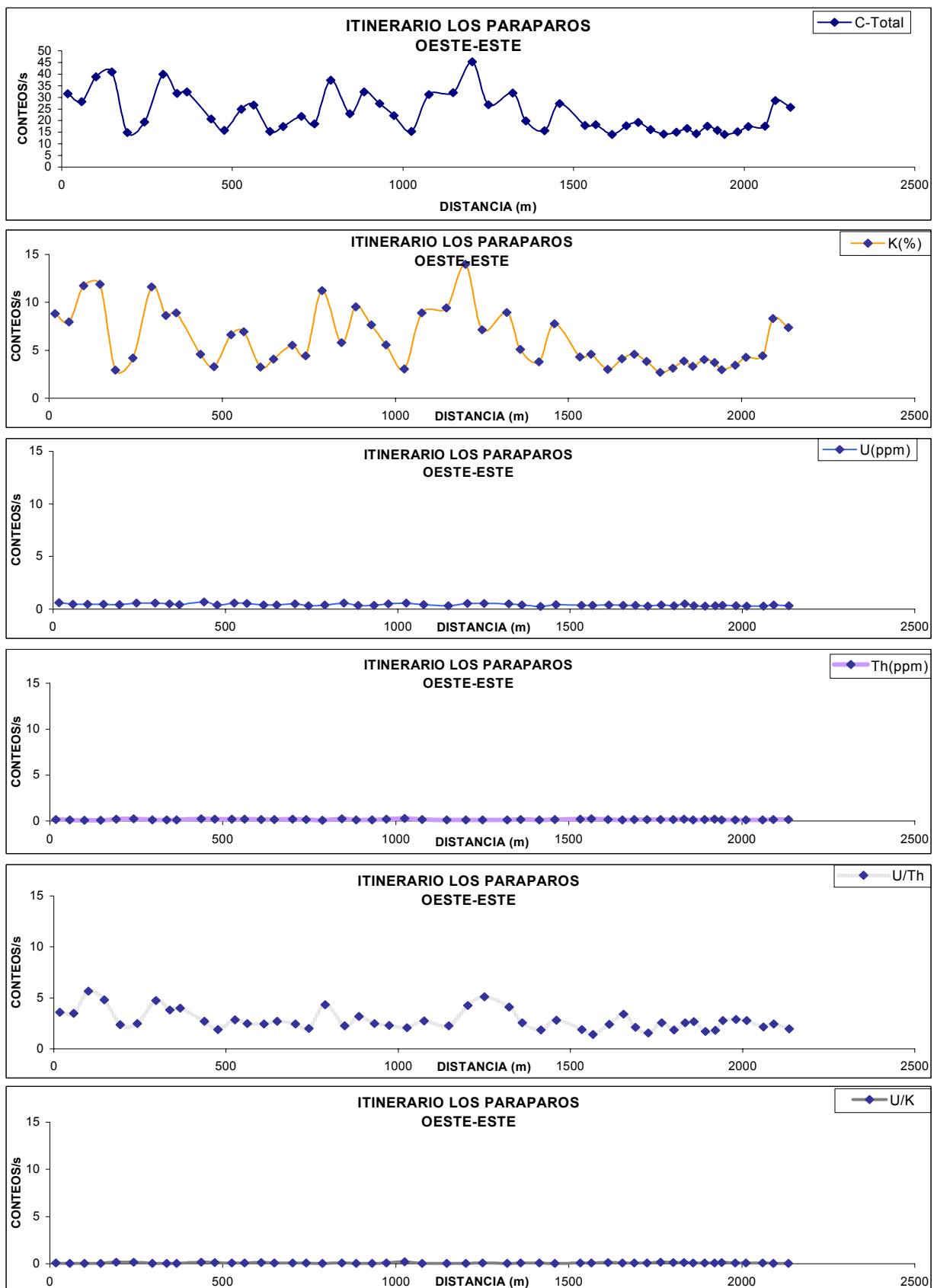


**Figura N° 62: Perfil de actividad radioactiva en conteos/s de los radioelementos naturales, la relación U/Th y relación U/K, en el Sector Los Paraparos.**

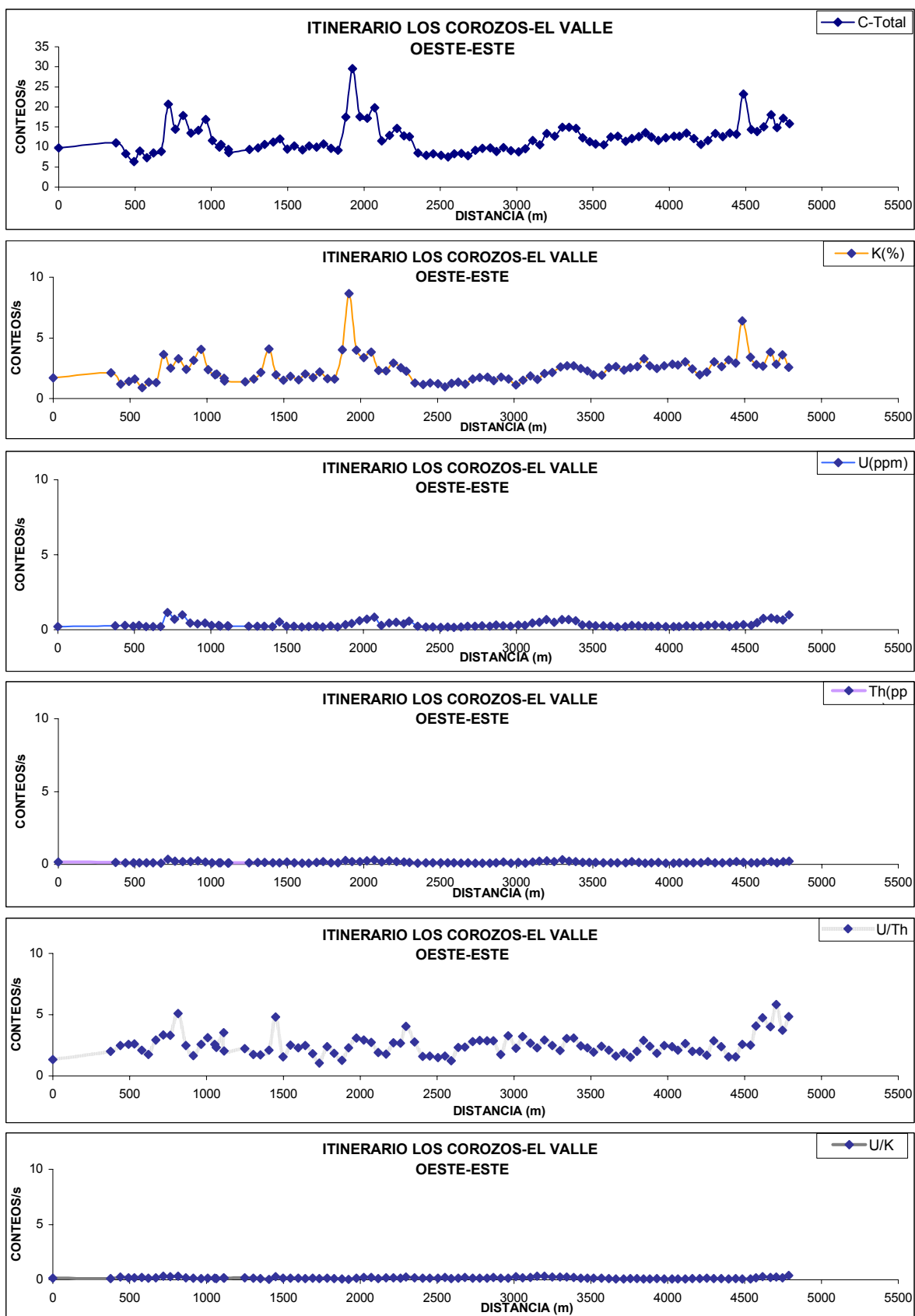


Figura N° 63: Perfil de actividad radioactiva en conteos/s de los radioelementos naturales, la relación U/Th y relación U/K, en el Sector Los Corozos - El Valle.

de roca con un contenido de mediano a alto del elemento bario (Ba), como puede advertirse en la figura N° 64.

Los valores de uranio son mayores que los de torio, presentan valores bajos hacia el sur del itinerario, respaldado por la relación U/Th, donde contrasta la caída de la actividad.

### **Itinerario Los Paraparos.**

El radioelemento potasio presenta mayor actividad radioactiva, en comparación con los radioelementos uranio y torio, además de tener valores de conteos/ s superiores a los detectados en el itinerario La Palma. Confirmándose más si se observa la relación U/K. se debe destacar que los altos en los conteos/s coinciden con las muestras de roca con un contenido de mediano a alto del elemento bario (Ba), como puede notarse en la figura N° 64.

El área oeste del itinerario en el Sector Los Paraparos está dividida en dos zonas bien marcadas, caracterizadas cada una por una respuesta radimétrica diferente. Teniéndose como argumento para la mayor presencia de potasio, la metasomatización y el cizallamiento al cual fue sometida la zona de estudio.

Los valores de uranio son mayores que los de torio, presentan valores bajos hacia el este del itinerario, soportado por la relación U/Th, donde contrasta la caída de la actividad.

### **Itinerario Los Corozos-El Valle.**

El radioelemento potasio es el que reporta más actividad radioactiva, en comparación con los radioelementos uranio y torio, pero con valores menores a los perfiles analizados anteriormente. Esto supone un cambio de litología a rocas más básicas, lo que se confirma más si se observa la relación U/K; se debe destacar que los altos en los conteos/s coinciden con las muestras de roca con un contenido de mediano a alto del elemento bario (Ba), como puede distinguirse en la figura N° 64.

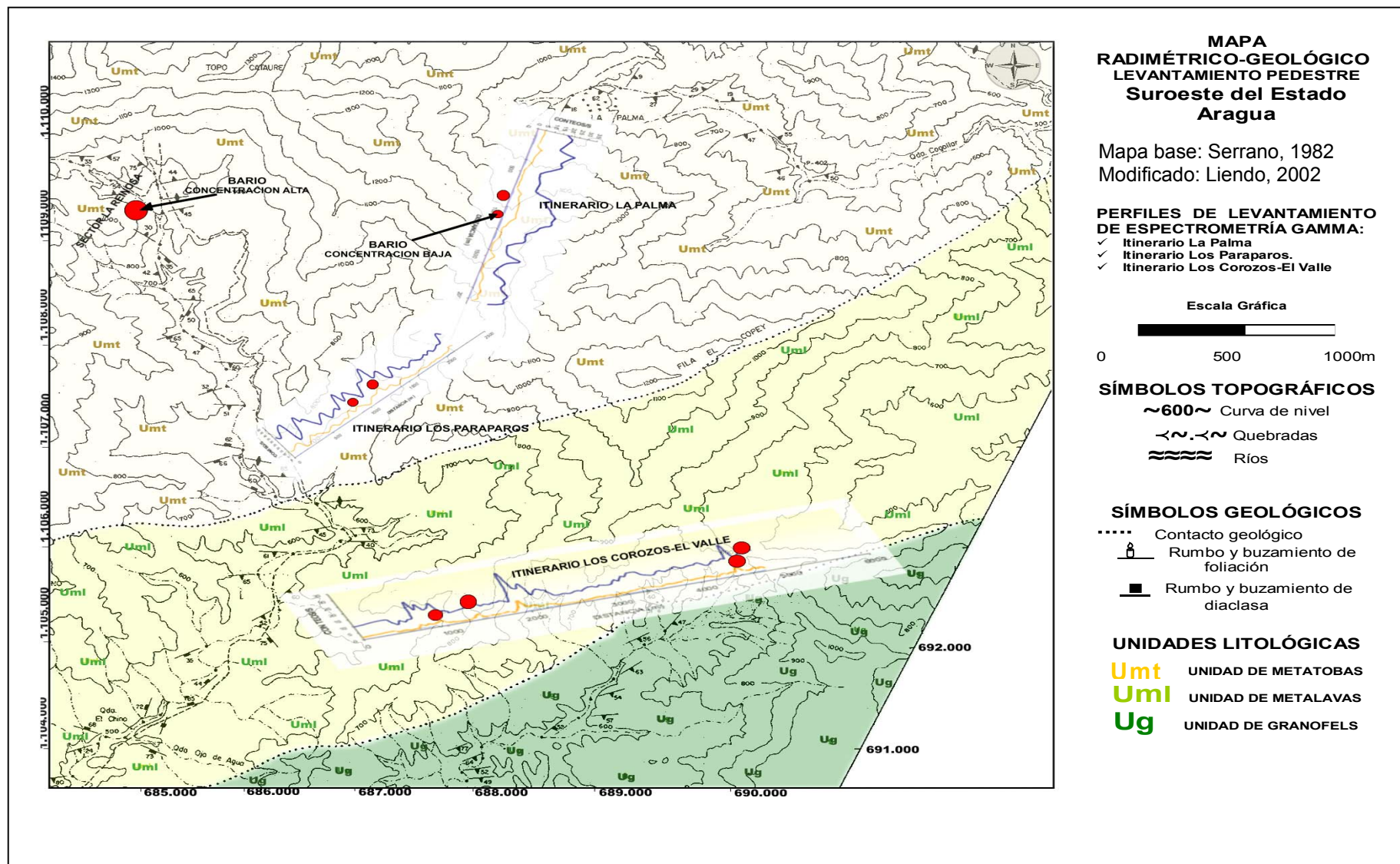


**Figura N° 64:** Ubicación de los itinerarios La Palma, Los Paraparos y Los Corozos-El Valle, en la zona de estudio y a su vez la representación de las muestras de rocas como concentraciones de bario (#), referida al mineral anómalo: barita

Los valores de uranio son mayores que los de torio, manifiestan valores bajos hacia el sur del itinerario, sustentado por la relación U/Th, donde contrasta la caída de la actividad.

En síntesis se establecieron las relaciones entre los afloramientos o manifestaciones de mineralización y las respuestas en conteo total y conteos/s en potasio, uranio y torio. Haciendo énfasis en que los valores detectados para cada uno de los radioelementos naturales, son más altos en los itinerarios La Palma y Los Paraparos, resaltando a su vez que la actividad radioactiva para el potasio es mayor, lo que se interpreta como el efecto hidrotermal a que fueron sometidas estas rocas volcánicas, presentes en la parte norte de la zona de estudio.

Se debe indicar que cualitativamente las respuestas de los itinerarios La Palma y Los Paraparos coinciden con lo antes adoptado. Las zonas mineralizadas con barita litológicamente coinciden con las formaciones El Carmen y El Chino, equivalente a las unidades de Metatobas y Metalavas descritas por Navarro (1983) y Serrano (1982).

### **5.3- Relación entre levantamientos autotransportado y pedestre**

Con el fin de comparar estas dos modalidades de levantamiento con espectrometría gamma, se representa el itinerario La Reinosita-Los Corozos ejecutado con el mismo detector pero diferente tiempo de medición, indicando que se hicieron en una vía o camino de tierra. No tienen puntos de encuentros o coincidentes ya que el levantamiento pedestre se realizó con un muestreo cada 200 segundos y una separación aproximada de 50 metros y en condiciones climáticas adversas. En contraposición con el levantamiento autotransportado que se efectuó a una velocidad de 30 km/h y en época de verano.

#### **5.3.1- Itinerario La Reinosita-Los Corozos**

En la figura N° 65 se presenta la comparación de ambos levantamientos, cuyo análisis sirve para poner en claro y lograr mayor provecho de la metodología radimétrica



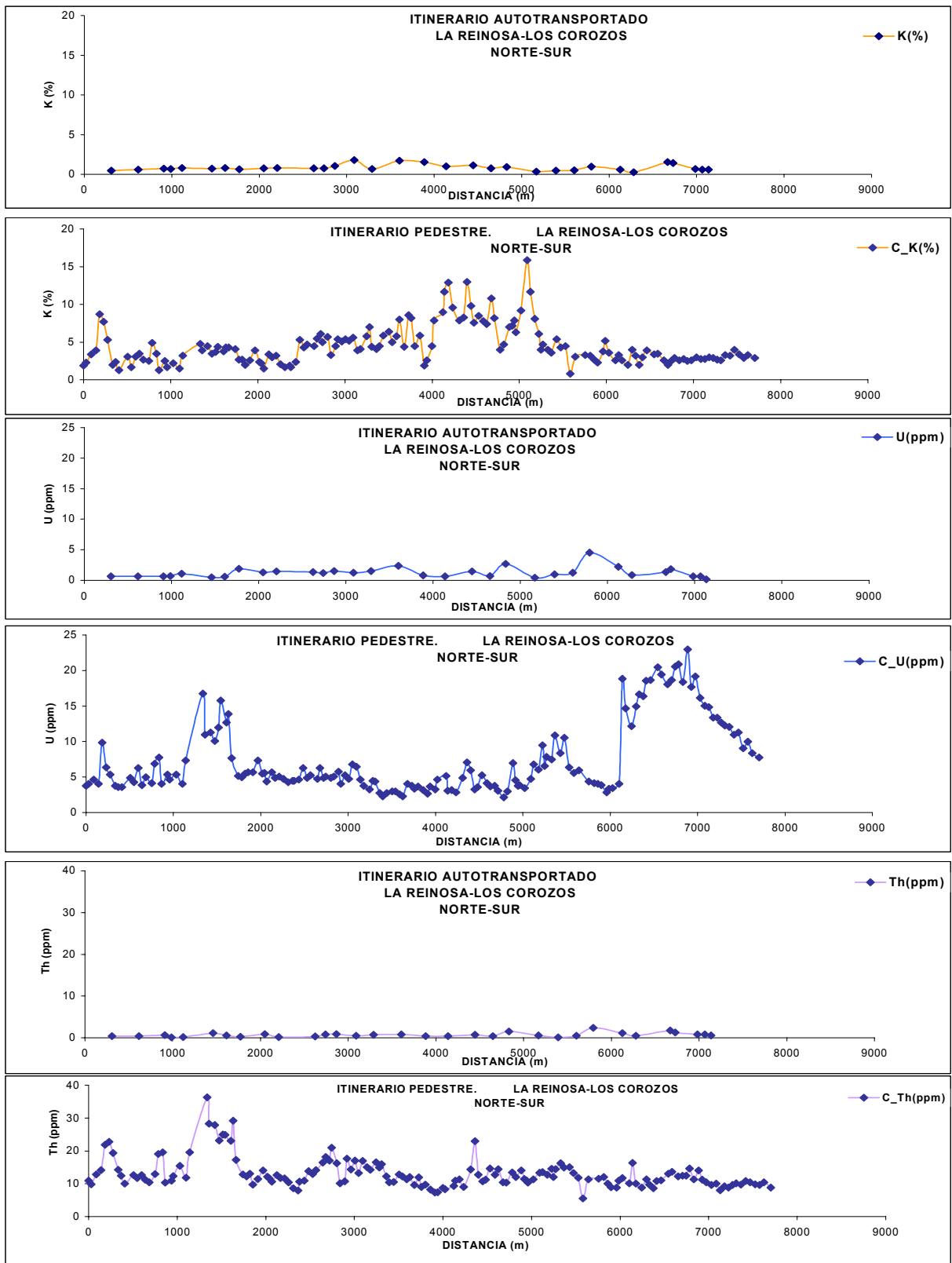


Figura N° 65: Perfil de concentración de los radioelementos naturales, K, U y Th, en un perfil ejecutado en la zona de estudio, aplicando las dos modalidades de levantamiento radimétrico: autotransportado y pedestre.

en la zona de estudio y además para adquirir algún complemento y fundamento real en su aplicación para la exploración minera.

### 5.3.2- Evaluación de los datos

Principalmente por no tener puntos coincidentes en ambos levantamientos para compararlos mediante otros métodos (crossplot), lo que se planteó fue un análisis estadístico y una comparación cualitativa de los perfiles. Se puede observar que el comportamiento de los radioelementos es más integral en el levantamiento autotransportado ya que en el pedestre, por efectuarse con un tiempo de mayor muestreo, se observan respuestas más detalladas.

#### **Radioelemento potasio**

Los valores de concentraciones son mayores en el levantamiento pedestre, coincidiendo cualitativamente en la respuesta radimétrica en el centro del perfil. A su vez se debe señalar que el aporte radioactivo de este radioelemento es menor en el itinerario ejecutado. Asociándolo a la litología presente se puede indicar que hacia el extremo sur existe mayor variación de concentración de potasio.

#### **Radioelemento uranio**

Al analizar esta respuesta se nota la disociación en cuanto a valores y calidad de la respuesta radimétrica, lo que se puede asociar a la influencia de los factores externos que afectan las mediciones.

#### **Radioelemento torio**

Los valores de concentraciones de torio son mayores en el levantamiento pedestre, sobre todos los radioelementos.

## 5.4- Representación de datos geoquímicos

Como uno de los objetivos específicos a desarrollar se encuentra establecer la relación entre la metodología de espectrometría de radiación gamma y las anomalías geoquímicas de barita en la zona de estudio. Una anomalía es una desviación con respecto a la norma, por lo que una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico.

La distribución geoquímica relacionada con la génesis o la erosión del depósito mineral también es una anomalía, donde la determinación de valores de fondo, umbral y anómalos para los elementos analizados son cálculos determinantes al realizar una investigación geoquímica de una determinada zona de estudio.

### 5.4.1- Análisis estadístico de los datos

En los resultados de los análisis químicos (tablas N° 56, N° 57 y N° 58) se destaca que las concentraciones de los radioelementos naturales uranio y torio, predominan en la zona de estudio en valores constantes de concentraciones menores a 20 ppm, por lo que se podrían calificar estos resultados como indicativos, desde el punto de vista geológico, del tipo de litología de la región, es decir del ambiente geológico de las formaciones en estudio. Desde el punto de vista minero, la zona tiene bajas posibilidades de hospedar depósitos económicos de minerales radioactivos de interés minero, específicamente de uranio.

El radioelemento natural, potasio, forma parte de los elementos mayoritarios analizados en estas muestras en forma de  $K_2O$ , por lo que se realizaron los cálculos del elemento potasio (K) en porcentaje (%) y del bario (Ba) en ppm, a partir de BaO (%), para así establecer una relación con la presencia de la anomalía geoquímica de barita y uno de los radioelementos naturales (K), por su contenido tanto analítico como “in situ”. Estos resultados y los obtenidos de los trabajos previos, anteriormente señalados, se presentan en la tabla N° 67.

A continuación se efectuó el procesamiento a los resultados obtenidos de las concentraciones de potasio y bario en la zona de estudio para establecer una relación

| RELACIÓN ELEMENTO DEL MINERAL ANÓMALO Y RADIOELEMENTO EN ROCAS |           |            |       |                    |                                                        |           |            |          |                    |
|----------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------|--------------------|--------------------------------------------------------|-----------|------------|----------|--------------------|
| AUTOR                                                          | UTM(E)    | UTM(N)     | K (%) | Muestras           | AUTOR                                                  | UTM(E)    | UTM(N)     | Ba (ppm) | Muestras           |
| Gutiérrez, O. y Liendo, A. (2002).                             | 685900,00 | 1104697,00 | 0,738 | BWa-1              | Gutiérrez, O. y Liendo, A. (2002).                     | 685900,00 | 1104697,00 | 58533,0  | BWa-1              |
|                                                                | 687611,00 | 1105427,00 | 0,094 | 2BNa-523           |                                                        | 687611,00 | 1105427,00 | 39290,5  | 2BNa-523           |
|                                                                | 687908,00 | 1105513,00 | 0,090 | BNa-527            |                                                        | 687908,00 | 1105513,00 | 60144,0  | BNa-527            |
|                                                                | 685906,00 | 1104721,00 | 0,287 | 7BNa-528           |                                                        | 685906,00 | 1104721,00 | 4833,0   | 7BNa-528           |
|                                                                | 685901,00 | 1104644,00 | 0,217 | BSNa               |                                                        | 685901,00 | 1104644,00 | 358,0    | BSNa               |
|                                                                | 685885,00 | 1104696,00 | 0,004 | BSNa-2             |                                                        | 685885,00 | 1104696,00 | 89,5     | BSNa-2             |
|                                                                | 685907,00 | 1104704,00 | 0,299 | BOa                |                                                        | 685907,00 | 1104704,00 | 1790,0   | BOa                |
|                                                                | 690723,00 | 1105727,00 | 0,291 | EV1Q-14            |                                                        | 690723,00 | 1105727,00 | 206476,5 | EV1Q-14            |
|                                                                | 690712,00 | 1105823,00 | 0,488 | EV2P-1S            |                                                        | 690712,00 | 1105823,00 | 984,5    | EV2P-1S            |
|                                                                | 690565,00 | 1105846,00 | 0,078 | EV2P-9U            |                                                        | 690565,00 | 1105846,00 | 447,5    | EV2P-9U            |
|                                                                | 690565,00 | 1105831,00 | 0,213 | EV2Q-17            |                                                        | 690565,00 | 1105831,00 | 268,5    | EV2Q-17            |
|                                                                | 690188,00 | 1105799,00 | 1,050 | EV2P-1125S         |                                                        | 690188,00 | 1105799,00 | 1432,0   | EV2P-1125S         |
|                                                                | 690729,00 | 1105861,00 | 0,381 | EV2WP-920          |                                                        | 690729,00 | 1105861,00 | 1074,0   | EV2WP-920          |
|                                                                | 690767,00 | 1105843,00 | 0,336 | EV2WP-921          |                                                        | 690767,00 | 1105843,00 | 171213,5 | EV2WP-921          |
|                                                                | 685932,00 | 1104732,00 | 0,558 | LC1C-1             |                                                        | 685932,00 | 1104732,00 | 895,0    | LC1C-1             |
|                                                                | 685930,00 | 1104746,00 | 0,344 | LC1C-3             |                                                        | 685930,00 | 1104746,00 | 537,0    | LC1C-3             |
|                                                                | 685964,00 | 1104756,00 | 0,025 | LC1C-12            |                                                        | 685964,00 | 1104756,00 | 895,0    | LC1C-12            |
|                                                                | 685744,00 | 1105056,00 | 0,041 | LCP-#67N           |                                                        | 685744,00 | 1105056,00 | 11635,0  | LCP-#67N           |
|                                                                | 685741,00 | 1105047,00 | 0,021 | LCP-140ON2         |                                                        | 685741,00 | 1105047,00 | 358,0    | LCP-140ON2         |
|                                                                | 685782,00 | 1104951,00 | 0,775 | LCP-12751          |                                                        | 685782,00 | 1104951,00 | 1342,5   | LCP-12751          |
|                                                                | 685733,00 | 1105069,00 | 0,021 | LCP-13425N         |                                                        | 685733,00 | 1105069,00 | 179,0    | LCP-13425N         |
|                                                                | 685889,00 | 1104811,00 | N/D   | LC2P-10            |                                                        | 685889,00 | 1104811,00 | 572442,0 | LC2P-10            |
|                                                                | 685977,00 | 1104647,00 | 2,103 | LC2P-30            |                                                        | 685977,00 | 1104647,00 | 9218,5   | LC2P-30            |
|                                                                | 686344,00 | 1105881,00 | 0,012 | LC2P-40            |                                                        | 686344,00 | 1105881,00 | 89,5     | LC2P-40            |
|                                                                | 686088,00 | 1105537,00 | 0,570 | LC2P-50            |                                                        | 686088,00 | 1105537,00 | 4206,5   | LC2P-50            |
|                                                                | 686230,00 | 1106142,00 | 0,226 | LC2P-225N          |                                                        | 686230,00 | 1106142,00 | 447,5    | LC2P-225N          |
|                                                                | 685886,00 | 1104799,00 | 0,562 | LC2P-250S          |                                                        | 685886,00 | 1104799,00 | 895,0    | LC2P-250S          |
|                                                                | 685888,00 | 1104798,00 | 0,398 | LC2P-275S          |                                                        | 685888,00 | 1104798,00 | 447,5    | LC2P-275S          |
|                                                                | 686293,00 | 1105995,00 | 0,016 | LC2P-425N          |                                                        | 686293,00 | 1105995,00 | 89,5     | LC2P-425N          |
|                                                                | 686170,00 | 1105554,00 | 2,632 | LC2P-525N          |                                                        | 686170,00 | 1105554,00 | 21211,5  | LC2P-525N          |
|                                                                | 686279,00 | 1105625,00 | 2,325 | LC2P-550N          |                                                        | 686279,00 | 1105625,00 | 6444,0   | LC2P-550N          |
|                                                                | 686242,00 | 1105598,00 | 0,098 | LC2P-575S          |                                                        | 686242,00 | 1105598,00 | 447,5    | LC2P-575S          |
|                                                                | 685950,00 | 1104693,00 | 0,521 | LC2P-4100S         |                                                        | 685950,00 | 1104693,00 | 984,5    | LC2P-4100S         |
|                                                                | 687931,00 | 1109456,00 | 0,008 | LPA1QPA            |                                                        | 687931,00 | 1109456,00 | 626,5    | LPA1QPA            |
|                                                                | 688131,00 | 1109756,00 | 0,135 | LPA1QPA(B)         |                                                        | 688131,00 | 1109756,00 | 895,0    | LPA1QPA(B)         |
|                                                                | 686809,00 | 1108246,00 | 0,882 | LP-310N1           |                                                        | 686809,00 | 1108246,00 | 895,0    | LP-310N1           |
|                                                                | 686759,00 | 1108146,00 | 2,013 | LP-311N            |                                                        | 686759,00 | 1108146,00 | 1163,5   | LP-311N            |
|                                                                | 684876,00 | 1109387,00 | 0,012 | LR-1QU             |                                                        | 684876,00 | 1109387,00 | 565103,0 | LR-1QU             |
| Fuente: Instituto Nacional de Geología y Minería, 2001         | 685667,88 | 1104670,26 | 0,250 | RLC <sub>1</sub>   | Fuente: Instituto Nacional de Geología y Minería, 2001 | 685667,88 | 1104670,26 | N/D      | RLC <sub>1</sub>   |
|                                                                | 685789,66 | 1104625,43 | 0,168 | RLC <sub>2</sub>   |                                                        | 685789,66 | 1104625,43 | N/D      | RLC <sub>2</sub>   |
|                                                                | 685799,81 | 1104626,79 | 0,016 | RLC <sub>28</sub>  |                                                        | 685799,81 | 1104626,79 | 548523,0 | RLC <sub>28</sub>  |
|                                                                | 685946,96 | 1104675,69 | 0,021 | RLC <sub>29</sub>  |                                                        | 685946,96 | 1104675,69 | N/D      | RLC <sub>29</sub>  |
|                                                                | 685683,10 | 1106631,78 | 0,021 | RCRP <sub>1</sub>  |                                                        | 685683,10 | 1106631,78 | N/D      | RCRP <sub>1</sub>  |
|                                                                | 685830,26 | 1106642,65 | 1,279 | RLP <sub>1</sub>   |                                                        | 685830,26 | 1106642,65 | N/D      | RLP <sub>1</sub>   |
|                                                                | 685952,04 | 1106637,22 | 0,964 | RLP <sub>2</sub>   |                                                        | 685952,04 | 1106637,22 | 24898,0  | RLP <sub>2</sub>   |
|                                                                | 686068,75 | 1106648,08 | 0,820 | RLP <sub>3</sub>   |                                                        | 686068,75 | 1106648,08 | N/D      | RLP <sub>3</sub>   |
|                                                                | 686160,09 | 1106702,42 | 0,410 | RLP <sub>4</sub>   |                                                        | 686160,09 | 1106702,42 | N/D      | RLP <sub>4</sub>   |
|                                                                | 686226,06 | 1106789,36 | 0,246 | RLP <sub>5</sub>   |                                                        | 686226,06 | 1106789,36 | N/D      | RLP <sub>5</sub>   |
|                                                                | 686281,88 | 1106887,16 | 0,299 | RLP <sub>6</sub>   |                                                        | 686281,88 | 1106887,16 | N/D      | RLP <sub>6</sub>   |
|                                                                | 686347,84 | 1106979,53 | 0,164 | RLP <sub>7</sub>   |                                                        | 686347,84 | 1106979,53 | N/D      | RLP <sub>7</sub>   |
|                                                                | 686418,88 | 1107077,34 | 0,205 | RLP <sub>8</sub>   |                                                        | 686418,88 | 1107077,34 | N/D      | RLP <sub>8</sub>   |
|                                                                | 686464,55 | 1107153,41 | 0,041 | RLP <sub>9</sub>   |                                                        | 686464,55 | 1107153,41 | N/D      | RLP <sub>9</sub>   |
|                                                                | 686505,15 | 1107251,21 | 1,968 | RLP <sub>10</sub>  |                                                        | 686505,15 | 1107251,21 | N/D      | RLP <sub>10</sub>  |
|                                                                | 686540,67 | 1107359,88 | 1,246 | RLP <sub>11</sub>  |                                                        | 686540,67 | 1107359,88 | N/D      | RLP <sub>11</sub>  |
|                                                                | 686606,64 | 1107463,12 | 1,271 | RLP <sub>12</sub>  |                                                        | 686606,64 | 1107463,12 | N/D      | RLP <sub>12</sub>  |
|                                                                | 686637,08 | 1107588,10 | 1,599 | RLP <sub>13</sub>  |                                                        | 686637,08 | 1107588,10 | N/D      | RLP <sub>13</sub>  |
|                                                                | 686728,42 | 1107620,70 | 1,656 | RLP <sub>14</sub>  |                                                        | 686728,42 | 1107620,70 | N/D      | RLP <sub>14</sub>  |
|                                                                | 686819,76 | 1107696,77 | 1,451 | RLP <sub>14a</sub> |                                                        | 686819,76 | 1107696,77 | N/D      | RLP <sub>14a</sub> |
|                                                                | 686916,17 | 1107783,70 | 0,836 | RLP <sub>14b</sub> |                                                        | 686916,17 | 1107783,70 | N/D      | RLP <sub>14b</sub> |
|                                                                | 687012,58 | 1107865,21 | 0,955 | RLP <sub>15</sub>  |                                                        | 687012,58 | 1107865,21 | N/D      | RLP <sub>15</sub>  |
|                                                                | 687139,44 | 1107968,45 | 0,779 | RLP <sub>16</sub>  |                                                        | 687139,44 | 1107968,45 | N/D      | RLP <sub>16</sub>  |
|                                                                | 687317,05 | 1108049,95 | 0,779 | RLP <sub>17</sub>  |                                                        | 687317,05 | 1108049,95 | N/D      | RLP <sub>17</sub>  |
|                                                                | 687433,76 | 1108071,69 | 1,050 | RLP <sub>18</sub>  |                                                        | 687433,76 | 1108071,69 | N/D      | RLP <sub>18</sub>  |
|                                                                | 687535,24 | 1108093,42 | 0,033 | RLP <sub>19</sub>  |                                                        | 687535,24 | 1108093,42 | N/D      | RLP <sub>19</sub>  |
|                                                                | 687657,03 | 1108082,55 | 1,804 | RLP <sub>20</sub>  |                                                        | 687657,03 | 1108082,55 | N/D      | RLP <sub>20</sub>  |
|                                                                | 687773,74 | 1108098,85 | 1,353 | RLP <sub>21</sub>  |                                                        | 687773,74 | 1108098,85 | N/D      | RLP <sub>21</sub>  |
|                                                                | 687860,00 | 1108098,85 | 0,984 | RLP <sub>22</sub>  |                                                        | 687860,00 | 1108098,85 | N/D      | RLP <sub>22</sub>  |
|                                                                | 688813,98 | 1108283,60 | 1,976 | RLP <sub>22a</sub> |                                                        | 688813,98 | 1108283,60 | N/D      | RLP <sub>22a</sub> |
|                                                                | 688816,52 | 1108284,95 | 0,713 | RLP <sub>25</sub>  |                                                        | 688816,52 | 1108284,95 | N/D      | RLP <sub>25</sub>  |
|                                                                | 688902,23 | 1108306,95 | 2,312 | RLP <sub>26</sub>  |                                                        | 688902,23 | 1108306,95 | N/D      | RLP <sub>26</sub>  |

|                                                        |           |            |       |                    |                                                                          |           |            |          |                    |
|--------------------------------------------------------|-----------|------------|-------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|----------|--------------------|
| Fuente: Instituto Nacional de Geología y Minería, 2001 | 688949,72 | 1108365,10 | 1,599 | RLP <sub>27</sub>  | Fuente: Instituto Nacional de Geología y Minería, 2001                   | 688949,72 | 1108365,10 | N/D      | RLP <sub>27</sub>  |
|                                                        | 688956,06 | 1108359,67 | 0,107 | RTL <sub>2</sub>   |                                                                          | 688956,06 | 1108359,67 | N/D      | RTL <sub>2</sub>   |
|                                                        | 684176,02 | 1109125,80 | 1,271 | RTL <sub>3</sub>   |                                                                          | 684176,02 | 1109125,80 | N/D      | RTL <sub>3</sub>   |
|                                                        | 684348,54 | 1109114,93 | 0,209 | R <sub>1</sub> LR  |                                                                          | 684348,54 | 1109114,93 | N/D      | R <sub>1</sub> LR  |
|                                                        | 684465,26 | 1109087,77 | 1,189 | R <sub>2</sub> LR  |                                                                          | 684465,26 | 1109087,77 | N/D      | R <sub>2</sub> LR  |
|                                                        | 684587,04 | 1109038,86 | 0,779 | R <sub>3</sub> LR  |                                                                          | 684587,04 | 1109038,86 | N/D      | R <sub>3</sub> LR  |
|                                                        | 684713,90 | 1108989,96 | 1,476 | R <sub>4</sub> LR  |                                                                          | 684713,90 | 1108989,96 | N/D      | R <sub>4</sub> LR  |
|                                                        | 684800,16 | 1108892,16 | 1,230 | R <sub>5</sub> LR  |                                                                          | 684800,16 | 1108892,16 | N/D      | R <sub>5</sub> LR  |
|                                                        | 688140,36 | 1109704,48 | 0,533 | MR <sub>1</sub> LR |                                                                          | 688140,36 | 1109704,48 | N/D      | MR <sub>1</sub> LR |
|                                                        | 688198,72 | 1109775,12 | 0,492 | RPA                |                                                                          | 688198,72 | 1109775,12 | N/D      | RPA                |
| Fuente: ZERPA, L. (1997)                               | 690752,54 | 1105908,25 | 0,246 | RV <sub>0</sub>    | Fuente: ZERPA, L. (1997)                                                 | 690752,54 | 1105908,25 | 223750,0 | RV <sub>0</sub>    |
|                                                        | 690762,54 | 1105898,25 | 0,201 | RV <sub>1S</sub>   |                                                                          | 690762,54 | 1105898,25 | 107400,0 | RV <sub>1S</sub>   |
|                                                        | 690757,46 | 1105784,14 | 0,205 | RV <sub>2S</sub>   |                                                                          | 690757,46 | 1105784,14 | 40275,0  | RV <sub>2S</sub>   |
|                                                        | 690757,46 | 1105686,34 | 0,574 | RV <sub>3S</sub>   |                                                                          | 690757,46 | 1105686,34 | 0,0      | RV <sub>3S</sub>   |
|                                                        | 690752,39 | 1105968,89 | 0,861 | RV <sub>1N</sub>   |                                                                          | 690752,39 | 1105968,89 | 0,0      | RV <sub>1N</sub>   |
|                                                        | 690747,32 | 1106044,96 | 1,025 | RV <sub>2N</sub>   |                                                                          | 690747,32 | 1106044,96 | 0,0      | RV <sub>2N</sub>   |
|                                                        | 690737,17 | 1106169,93 | 0,984 | RV <sub>3N</sub>   |                                                                          | 690737,17 | 1106169,93 | 0,0      | RV <sub>3N</sub>   |
|                                                        | 690924,92 | 1106023,22 | 0,410 | RV <sub>2E</sub>   |                                                                          | 690924,92 | 1106023,22 | 0,0      | RV <sub>2E</sub>   |
|                                                        | 690838,65 | 1105985,19 | 0,205 | RV <sub>1E</sub>   |                                                                          | 690838,65 | 1105985,19 | 232700,0 | RV <sub>1E</sub>   |
|                                                        | 690655,98 | 1105952,59 | 0,164 | RV <sub>1W</sub>   |                                                                          | 690655,98 | 1105952,59 | 89500,0  | RV <sub>1W</sub>   |
| Fuente: Rodríguez, I. (1983)                           | 690554,49 | 1105930,85 | 0,164 | RV <sub>2W</sub>   | Fuente: CORPORACIÓN DE DESARROLLO DE LA REGIÓN CENTRAL(COPOCENTRO), 1996 | 690554,49 | 1105930,85 | 223750,0 | RV <sub>2W</sub>   |
|                                                        | 690758,17 | 1105943,59 | 0,164 | RV <sub>3W</sub>   |                                                                          | 690758,17 | 1105943,59 | 205850,0 | RV <sub>3W</sub>   |
|                                                        | 685609,70 | 1105847,87 | 0,812 | 279-B              |                                                                          | 685850,56 | 1104778,93 | 1440,0   | ABP-37             |
|                                                        | 685896,23 | 1106131,89 | 0,824 | 283                |                                                                          | 685911,45 | 1104811,53 | 130,0    | ABP-40             |
|                                                        | 686363,07 | 1105773,28 | 1,021 | 286                |                                                                          | 685997,71 | 1104800,66 | 630,0    | ABP-52             |
|                                                        | 686302,17 | 1105914,55 | 1,021 | 287-A              |                                                                          | 686165,17 | 1104773,50 | 400,0    | ABP-53             |
|                                                        | 684992,99 | 1108087,99 | 0,107 | 303                |                                                                          | 686276,80 | 1104768,06 | 500,0    | ABP-62             |
|                                                        | 684937,17 | 1108837,82 | 1,689 | 304                |                                                                          | 686368,14 | 1104708,29 | 380,0    | ABP-70             |
|                                                        | 684724,05 | 1108897,59 | 0,066 | 308                |                                                                          | 686479,78 | 1105849,35 | 230,0    | ABP-4              |
|                                                        | 690143,47 | 1109354,01 | 0,242 | 381                |                                                                          | 686626,93 | 1105854,78 | 1300,0   | ABP-5              |
| Fuente: NAVARRO, E. (1983)                             | 690493,60 | 1106805,66 | 0,927 | 382                |                                                                          | 686718,27 | 1105833,05 | 5200,0   | ABP-10             |
|                                                        | 685759,22 | 1105305,99 | 0,221 | 276                |                                                                          | 688494,30 | 1108196,66 | 1000,0   | ABP-74             |
|                                                        | 685764,29 | 1105561,37 | 0,558 | 279                |                                                                          | 688646,53 | 1108207,52 | 1000,0   | ABP-75             |
|                                                        | 685759,22 | 1106365,54 | 0,135 | 284                |                                                                          | 688763,24 | 1108250,99 | 890,0    | ABP-81             |
|                                                        | 684982,84 | 1107789,14 | 0,287 | 295                |                                                                          | 688966,21 | 1108430,30 | 400,0    | ABP-83             |
|                                                        | 685109,70 | 1108247,87 | 0,049 | 297                |                                                                          | 688856,35 | 1108390,56 | 180,0    | ABP-89             |
|                                                        | 685210,31 | 1109387,99 | 0,832 | 298                |                                                                          | 686758,87 | 1107506,59 | 1750,0   | ABP-12             |
|                                                        | 684916,87 | 1108984,53 | 1,074 | 299                |                                                                          | 687017,66 | 1107702,20 | 900,0    | ABP-14             |
|                                                        | 685033,58 | 1109390,18 | 0,107 | 300                |                                                                          | 685175,67 | 1106740,46 | 1880,0   | ABP-19             |
|                                                        | 684881,35 | 1109109,50 | 0,303 | 301                |                                                                          | 685241,63 | 1106653,52 | 450,0    | ABP-25             |
| Fuente: NAVARRO, E. (1983)                             | 688560,27 | 1110092,98 | 0,480 | 376                |                                                                          | 685302,52 | 1106588,32 | 350,0    | ABP-30             |
|                                                        | 689001,73 | 1105148,41 | 0,332 | 397                |                                                                          | 685454,76 | 1106528,55 | 500,0    | ABP-31             |
|                                                        | 686606,64 | 1110397,26 | 0,090 | 234                | Fuente: Flores, E. (1984)                                                | 689981,09 | 1105680,91 | 3350,0   | ABP-91             |
|                                                        | 684556,59 | 1104078,00 | 0,857 | 248                |                                                                          | 690148,54 | 1105740,68 | 200,0    | ABP-93             |
|                                                        | 684724,05 | 1104072,56 | 0,816 | 260                |                                                                          | 690285,55 | 1105773,28 | 180,0    | ABP-94             |
|                                                        | 684871,20 | 1104121,47 | 0,361 | 263                |                                                                          | 690407,33 | 1105838,48 | 210,0    | ABP-99             |
|                                                        | 684881,35 | 1104121,47 | 0,234 | 264                |                                                                          | 690569,71 | 1105876,52 | 250,0    | ABP-102            |
|                                                        | 685018,36 | 1104224,70 | 0,119 | 265                |                                                                          | 686525,45 | 1104708,29 | 200,0    | 19E-O              |
|                                                        | 685287,30 | 1104480,08 | 0,492 | 269                |                                                                          | 686413,81 | 1104708,29 | 200,0    | 18E-O              |
|                                                        | 685475,05 | 1104545,29 | 0,078 | 271                |                                                                          | 686286,95 | 1104713,73 | 190,0    | 17E-O              |
|                                                        | 685743,99 | 1105354,89 | 1,205 | 274                |                                                                          | 686180,39 | 1104713,73 | 300,0    | 16E-O              |
|                                                        | 686352,92 | 1105925,42 | 0,221 | 276                |                                                                          | 686078,90 | 1104746,33 | 1100,0   | 15E-O              |
| Fuente: NAVARRO, E. (1983)                             | 686582,66 | 1106340,88 | 0,135 | 284-B              |                                                                          | 685962,19 | 1104746,33 | 700,0    | 14E-O              |
|                                                        | 685180,74 | 1107685,90 | 0,287 | 295                |                                                                          | 685855,63 | 1104675,69 | 1000,0   | 13E-O              |
|                                                        | 684998,06 | 1107848,91 | 0,049 | 297                |                                                                          | 685728,77 | 1104686,56 | 200,0    | 12E-O              |
|                                                        | 684967,62 | 1107990,18 | 0,832 | 298                |                                                                          | 685591,76 | 1104719,16 | 700,0    | 11E-O              |
|                                                        | 684911,80 | 1108897,59 | 1,074 | 299                |                                                                          | 687043,03 | 1106512,81 | 900,0    | 43E-O              |
|                                                        | 684805,24 | 1108968,23 | 0,107 | 300                |                                                                          | 686977,06 | 1106709,81 | 1000,0   | 42E-O              |
|                                                        | 684774,79 | 1109152,97 | 0,303 | 301                |                                                                          | 686941,54 | 1106676,81 | 700,0    | 41E-O              |
|                                                        | 684399,29 | 1109169,27 | 0,123 | 312                |                                                                          | 686926,32 | 1106506,81 | 950,0    | 40E-O              |
|                                                        | 684079,60 | 1104502,04 | 0,057 | 370                |                                                                          | 686911,10 | 1106376,41 | 1050,0   | 39E-O              |
|                                                        | 689001,73 | 1105148,41 | 0,332 | 397                |                                                                          | 686906,02 | 1106468,78 | 650,0    | 38E-O              |
| Fuente: NAVARRO, E. (1983)                             | 690574,79 | 1106821,96 | 1,497 | 530                |                                                                          | 686895,87 | 1106055,82 | 450,0    | 37E-O              |
|                                                        | 692142,76 | 1109549,62 | 0,258 | 562                |                                                                          | 686804,54 | 1106273,17 | 500,0    | 36E-O              |
|                                                        | 684008,56 | 1109028,00 | 0,111 | 1200               |                                                                          | 686708,12 | 1106164,50 | 350,0    | 35E-O              |
|                                                        |           |            |       |                    |                                                                          | 686555,89 | 1105968,89 | 250,0    | 44E-O              |

Tabla N° 67: Resultados analíticos del radioelemento potasio (%) y bario (ppm), en muestras de rocas de la zona de estudio.

con la anomalía geoquímica de barita y estos elementos. El procesamiento de estos datos comprendió los siguientes pasos:

- ✓ Se efectuó la estadística clásica a los datos utilizando el software SPSS v. 10.0 desarrollado por SPSS Inc. (1999).

- ✓ Los histogramas se utilizaron para establecer la caracterización geoquímica de las rocas, mediante la determinación del tipo de distribución y composición de cada elemento en la población estudiada (tabla N° 68).

#### 5.4.2- Determinación del valor de fondo, de umbral y anómalo de potasio y bario

En base a los valores de la frecuencia acumulada, media y desviación se establece el rango para la determinación de la concentración del elemento de interés, designado por el valor de umbral o de fondo según sea el caso. El valor de fondo está representado por los valores comprendidos en el intervalo de 0 a 50% de frecuencia acumulada. Mientras que el valor de umbral, por el intervalo de 50 a 95% de frecuencia acumulada. El valor anómalo comprende los valores mayores a un 95% de frecuencia acumulada (fig. N° 66).

El valor umbral designa la concentración del elemento indicador sobre una muestra, a partir de la cual se produce una concentración que se puede considerar anómala; es decir representa el nivel de concentración requerido para considerar una anomalía. En el caso más sencillo el valor umbral coincide con el límite superior de los valores del fondo, los valores mayores son anomalías, los valores menores pertenecen al fondo. Por esto se recomienda considerar el fondo como un intervalo de valores en vez de tratarlo como un valor absoluto, incluso cuando se observa un ambiente relativamente uniforme. Por consiguiente en el estudio de muestras de un área no conocida se debería determinar o por lo menos tener en cuenta el rango de los valores del fondo ( [http:// www.plata.uda.com/minas/apuntes](http://www.plata.uda.com/minas/apuntes) ).

#### 5.4.3- Análisis de los resultados

La dispersión existente en el análisis de las concentraciones del elemento bario es muy marcada, lo que indica la presencia de dos poblaciones. En comparación con los resultados analíticos obtenidos de las concentraciones de potasio que se define con

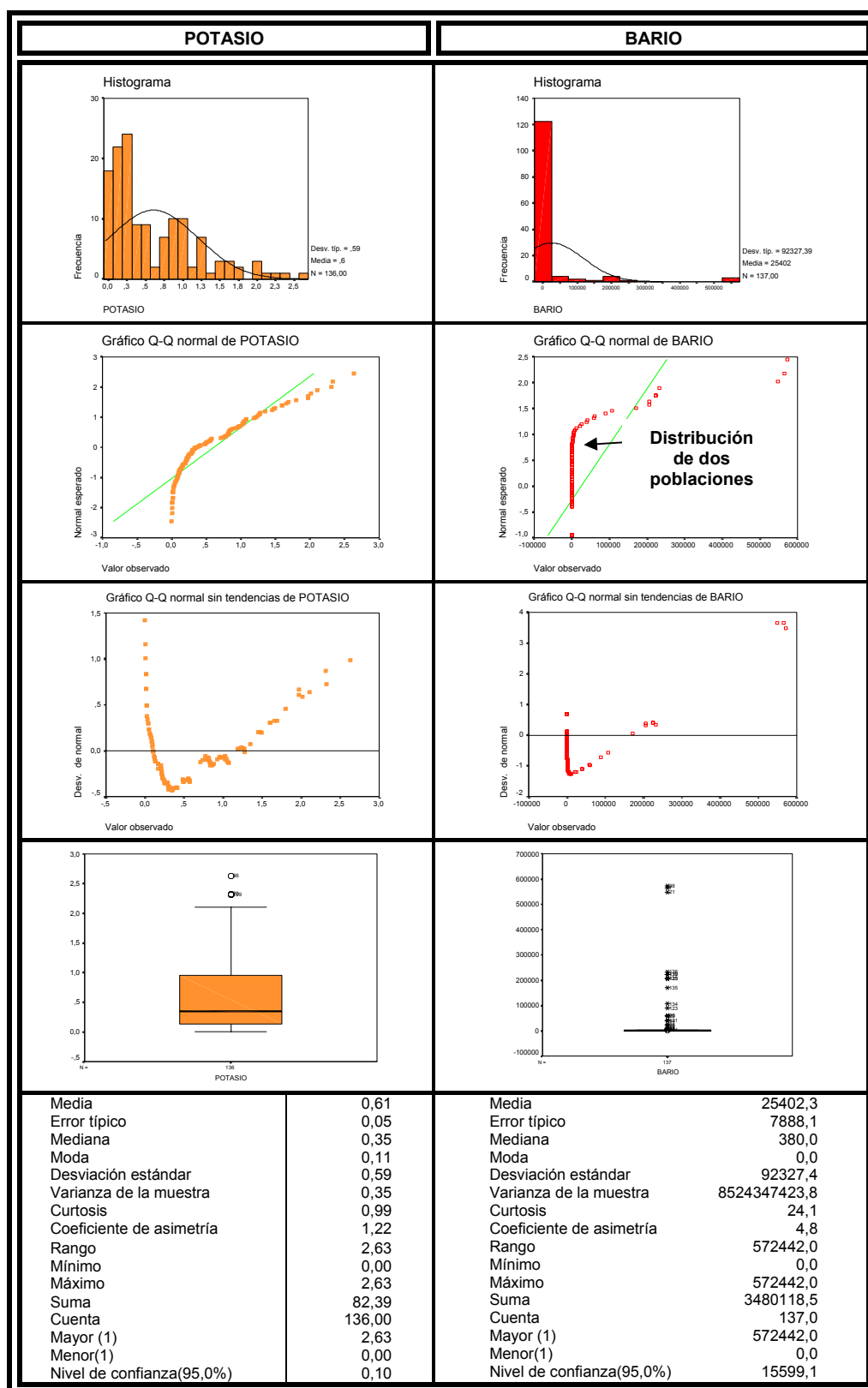


Tabla N° 68: Resultados de análisis estadístico para las concentraciones de las muestras de rocas

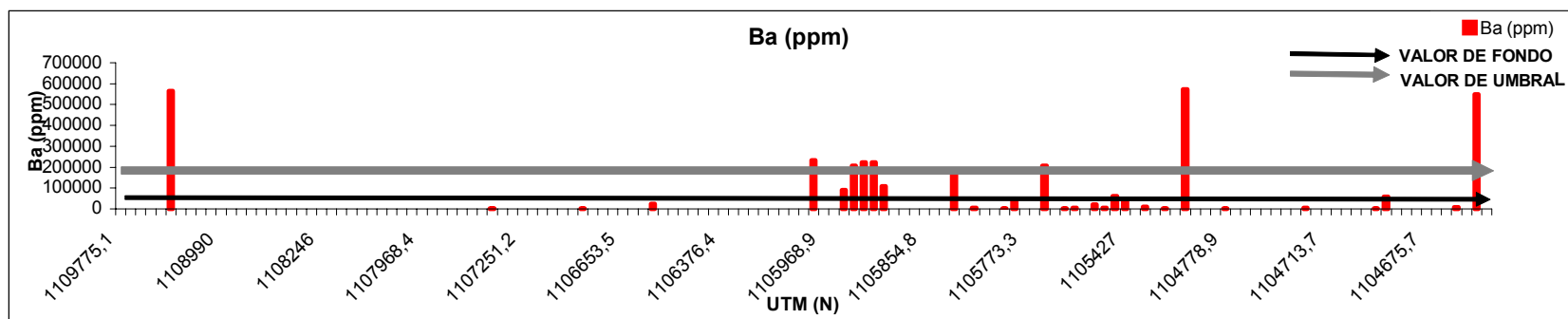
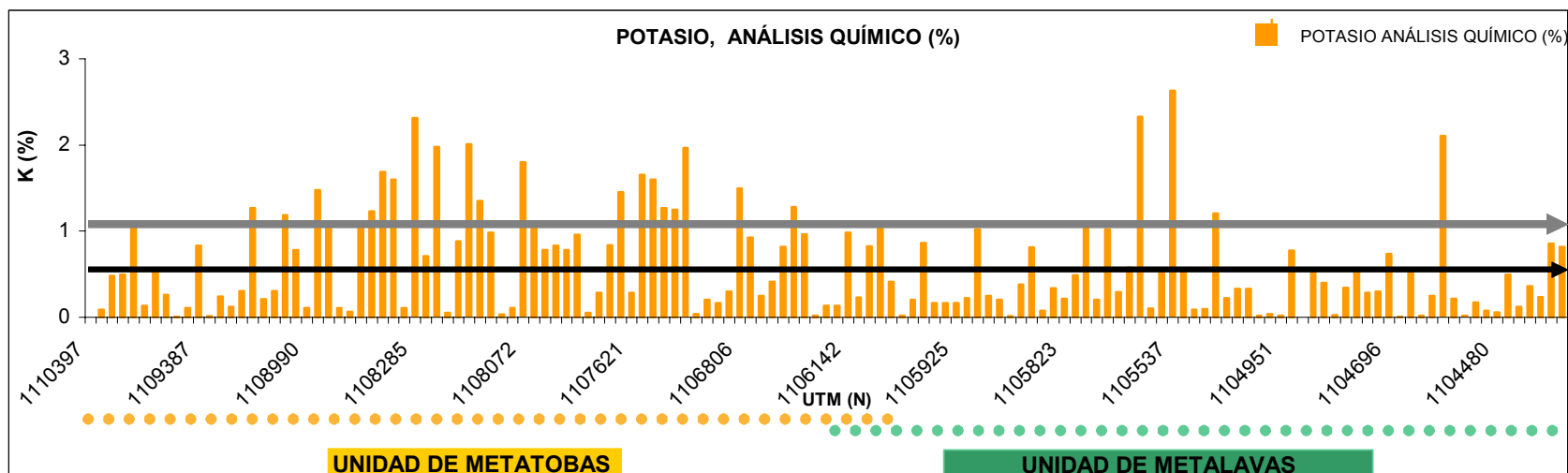


**Figura N° 66: Determinación del valor de fondo y umbral para los elementos potasio (K) % y bario (Ba) ppm. Presenta valores anómalos hacia la parte norte (Unidad de Metatobas) y sur de la zona de estudio (Unidad de Metalavas).**

|         | Fondo       | Umbral       |
|---------|-------------|--------------|
| K(%)    | 0,67-0,85   | 0,86-1,05    |
| Ba(ppm) | 25800-50000 | 50001-210000 |



un ajuste leve, ya que se tienen valores altos hacia los extremos lo que se verifica al observar el histograma del análisis estadístico, es decir una dispersión hacia los extremos.

Al realizar la cartografía geoquímica se quiere reunir la información de la tendencia en el aspecto minero de la zona de estudio, a partir de la cual se confirmaría la ubicación de la mineralización de barita. Del análisis del elemento bario se planteó omitir los valores muy anómalos ubicados en la parte noroeste de la zona de estudio, concentraciones que se dispersan marcadamente en el análisis estadístico de los datos, considerando como una sola población los valores hacia el sur con el fin de conocer el comportamiento espacial del bario, para ello se ejecutó el programa SURFER v.07, 1999, en los sectores favorables a la presencia de barita. Se observa una gran interpolación entre los puntos de muestreo por los cierres muy evidentes alrededor de éstos (fig. N° 67).

Estratigráficamente las concentraciones anómalas de bario reportadas en este trabajo se ubican dentro de las rocas metavolcánicas de las unidades Metatobas y Metalavas (Serrano, 1982) correspondientes a las formaciones El Chino y El Carmen del Grupo Villa de Cura, que confirma lo señalado en los trabajos previos.

Al estudiar las correlaciones entre los elementos bario y potasio se tiene como finalidad la determinación del grado de asociación entre ellos, con la idea de poder comparar subzonas geoquímicamente similares y establecer alguna afinidad con la mineralización de barita. Para el establecimiento de correlaciones se utilizaron los parámetros de concentración de estos elementos, determinándole el factor estadístico de correlación, lo que da una visión inmediata del movimiento conjunto de estas dos variables. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 69. Se puede observar que el elemento Ba y el elemento K no son independientes, pero presentan una correlación grande y negativa (-0.27), lo que indica que tienen una relativa asociación geoquímica, por lo que se debe en investigaciones posteriores sintetizar (trabajos previos) y estudiar su asociación con los elementos mayoritarios y minoritarios, existentes en la zona de estudio, lo que contribuirá a tener una información definitiva acerca de esta mineralización.

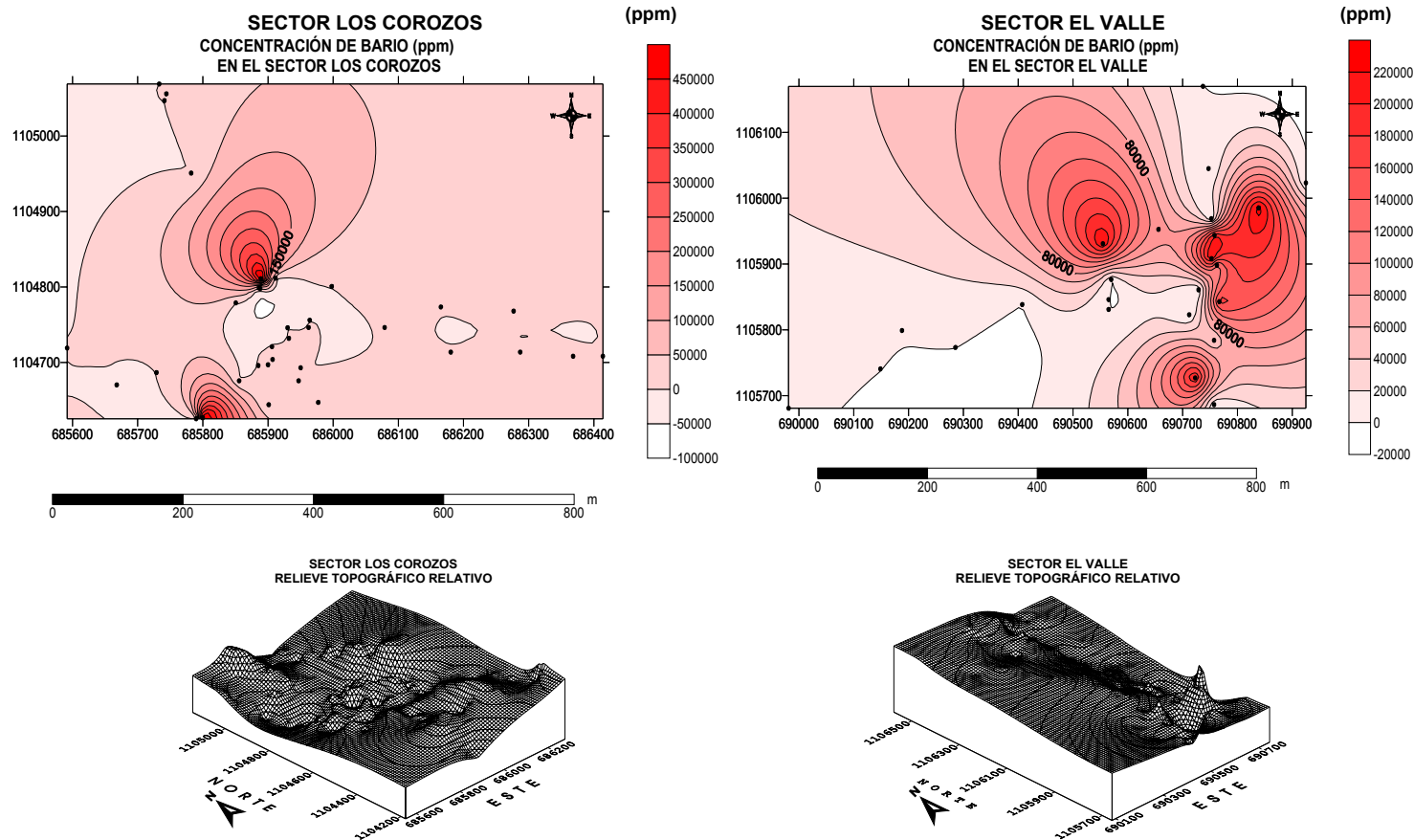


Figura N° 67: Comportamiento espacial del elemento bario en los sectores favorables Los Corozos y El Valle.

|                 |                 |              |
|-----------------|-----------------|--------------|
|                 | <b>Ba (ppm)</b> | <b>K (%)</b> |
| <b>Ba (ppm)</b> | 1,00            |              |
| <b>K (%)</b>    | -0,27           | 1            |

**Tabla N° 69: Factor de correlación ente el bario y potasio en la zona de estudio.**

### **5.5- Secuencia de la metodología planteada**

En la Figura N° 68 se presenta la síntesis de las fases de procesamiento y análisis ejecutadas para el levantamiento con espectrometría de radiación gamma en la zona de estudio.

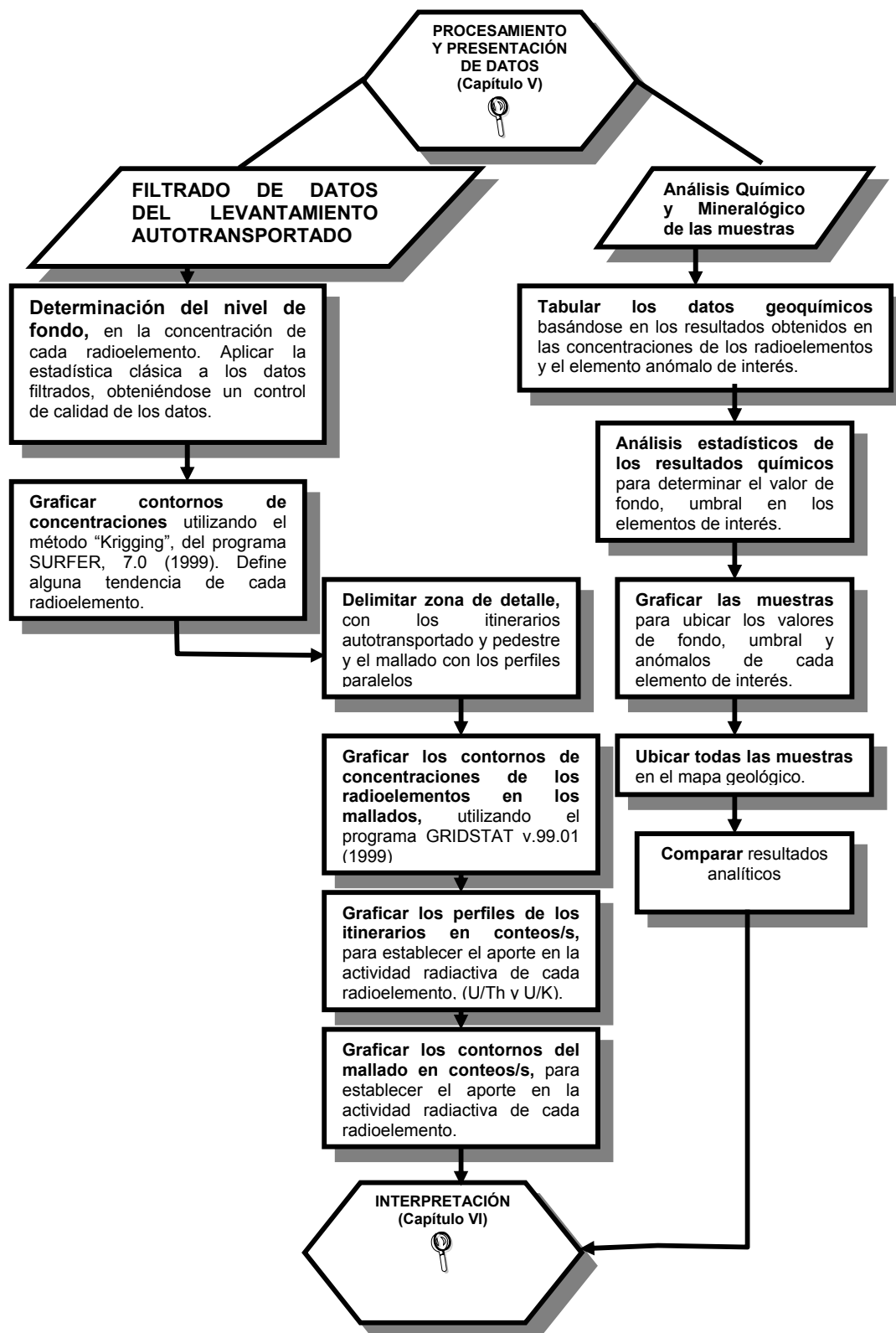


Figura N° 68: Esquema de metodología para levantamientos con espectrometría de radiación gamma. Síntesis de las fases de procesamiento y análisis ejecutadas.

**CAPÍTULO 6**

**INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

## **6.1- Interpretación radimétrica: levantamiento gamma autotransportado / pedestre**

La interpretación obtenida del análisis de los resultados está determinada por el manejo de la información teórica, dirigida a la integración de la geología, geoquímica y la geofísica, lo que en primera instancia logra establecer la respuesta de espectrometría de radiación gamma debida a la presencia o no de la mineralización de barita.

Se verificó al ejecutar el procesamiento de los datos de los levantamientos por espectrometría de radiación gamma autotransportado y pedestre integrat la necesidad que se tiene de trabajar en conjunto con la geología y la geoquímica. Esto se debe a que el levantamiento gamma autotransportado logra cubrir más área circular y define una característica regional de la zona en estudio, por otra parte el levantamiento gamma pedestre posee sólo una pequeña profundidad de estudio y permite sólo obtener información de una franja relativamente estrecha a lo largo del itinerario, pero apoyándose con la información litológica y geoquímica se logra delimitar la zonas de interés prospectivo. El muestreo por prospección geoquímica confirmaría las anomalías detectadas por ambos levantamientos, mientras que la geología indicaría los procesos por los cuales se ha formado una determinada mineralización. Es necesario lograr una relación óptima entre el volumen de trabajos de estos métodos de exploración donde tendrá un aspecto importantísimo el estudio de los criterios o índices geológicos de búsqueda del mineral.

La interpretación de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se enfocó desde los siguientes puntos de vista que se detallan a continuación.

## **6.2- Levantamiento o recorrido radimétrico autotransportado**

La interpretación de la exploración, desde el punto de vista de la respuesta de la técnica de espectrometría de radiación gamma al tipo de ambiente geológico, se concluyó con la integración del levantamiento radimétrico autotransportado con la geología de la zona. Esto se presenta en la figura N° 69, donde se cartografían los

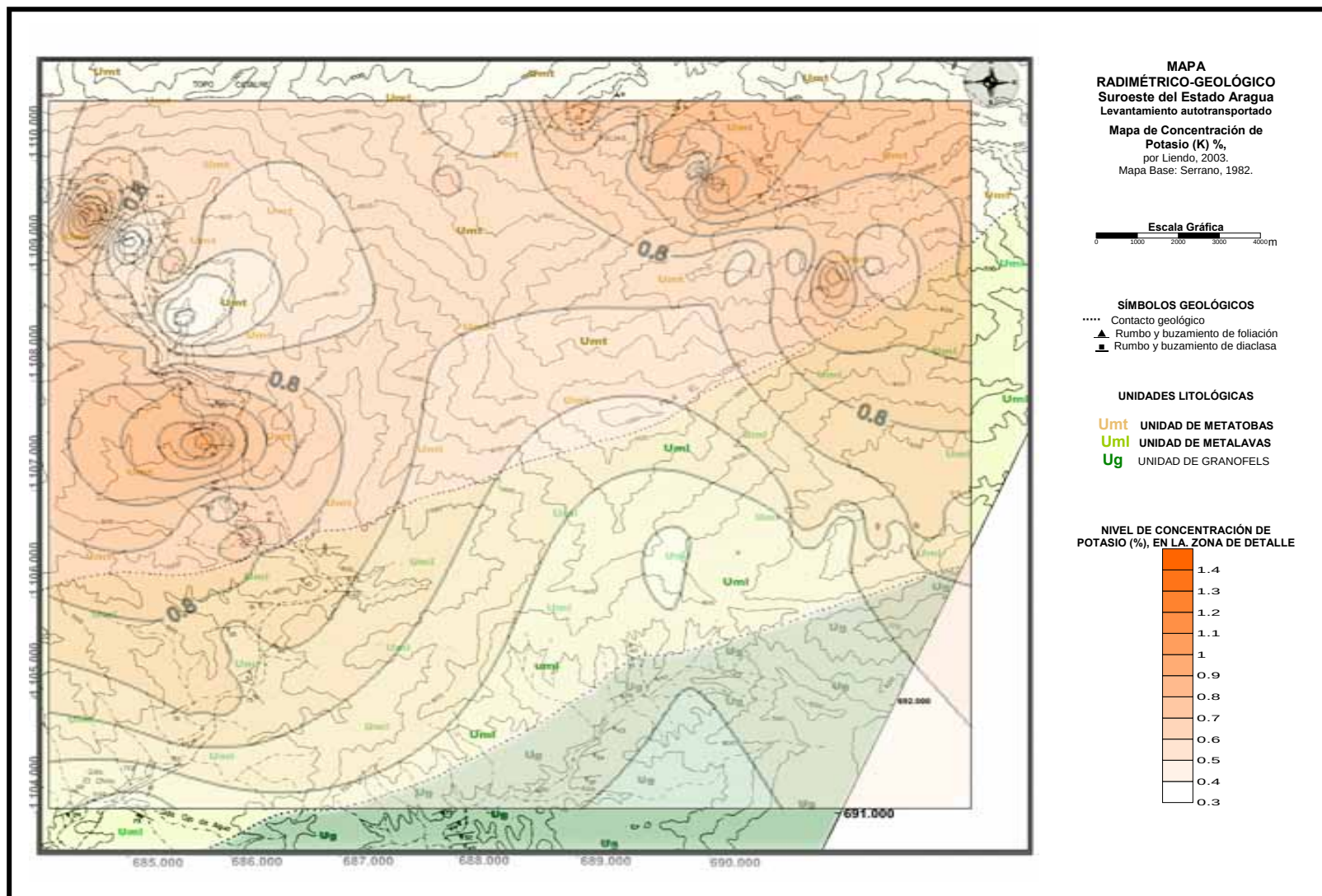


Figura N° 69: Mapa de integración geológica-radimétrica autotransportada de concentración de potasio, K (%) en la zona de estudio.

valores del radioelemento potasio (K), donde el máximo contraste de las anomalías útiles se puede observar hacia la parte norte de la zona de estudio, de allí la importancia de determinar el valor de fondo de los valores de concentraciones para cada radioelemento. Estos mapas son un medio muy eficaz de desplegar los datos y deben considerarse como el producto del mapa principal para los estudios regionales, ya que igualmente dan información semi-cuantitativa del elemento en estudio.

Se observa que los altos de potasio coinciden con el cambio de litología o clasificación litológica asumida por Serrano (1982) y según Killlen (1979), la concentración de este radioelemento en la zona de estudio indica una carácter menos básico de las rocas hacia el norte de ésta.

Los resultados de la exploración radiométrica o radimétrica deben ser tratados cuidadosamente, debido a dos razones. Primero, la radiación gamma registrada por los instrumentos no se deriva del U, Th o K por sí mismos, sino de sus productos de desintegración. Segundo, las radiaciones gamma provenientes de materiales naturales son absorbidas por aproximadamente 30 cm de roca y están muy atenuadas por encima de 150 m de altura. Si las rocas radioactivas están cubiertas por suelos, capas lateríticas, etc., esta técnica no es exitosamente aplicable.

### **Comparación entre concentración de potasio *in situ* y análisis químico**

Con el objeto de establecer algún paralelismo entre los valores de conteo de radiación gamma y la concentración de potasio (K) por métodos analíticos de las muestras tomadas en la zona de estudio, se comparó la estadística obtenida para cada caso tomándose la gráfica de normalidad como referencia para concluir que la coincidencia es muy puntual en cierta áreas de la zona de estudio.

Se cartografiaron los valores de este elemento mayoritario como es el potasio (K), obtenido a partir de análisis de laboratorio del  $K_2O$ , para así saber su comportamiento espacial, ejecutando para ello el programa SURFER 7.0 (1999) (fig. N° 70). Se establece la comparación con el obtenido en la zona de detalle con el levantamiento de espectrometría gamma en la integración de la información geológica radimétrica, observando que los puntos altos de concentraciones analíticas tienen



alguna tendencia parecida a los valores altos de concentraciones por espectrometría gamma, o por lo menos el rango de concentraciones coinciden.

Se debe señalar que el muestreo es en puntos diferentes para cada metodología, es decir la radimétrica y la prospección geoquímica, de allí los diferentes cierres en los puntos de muestreo, lo que a su vez involucra la respuesta del programa empleado.

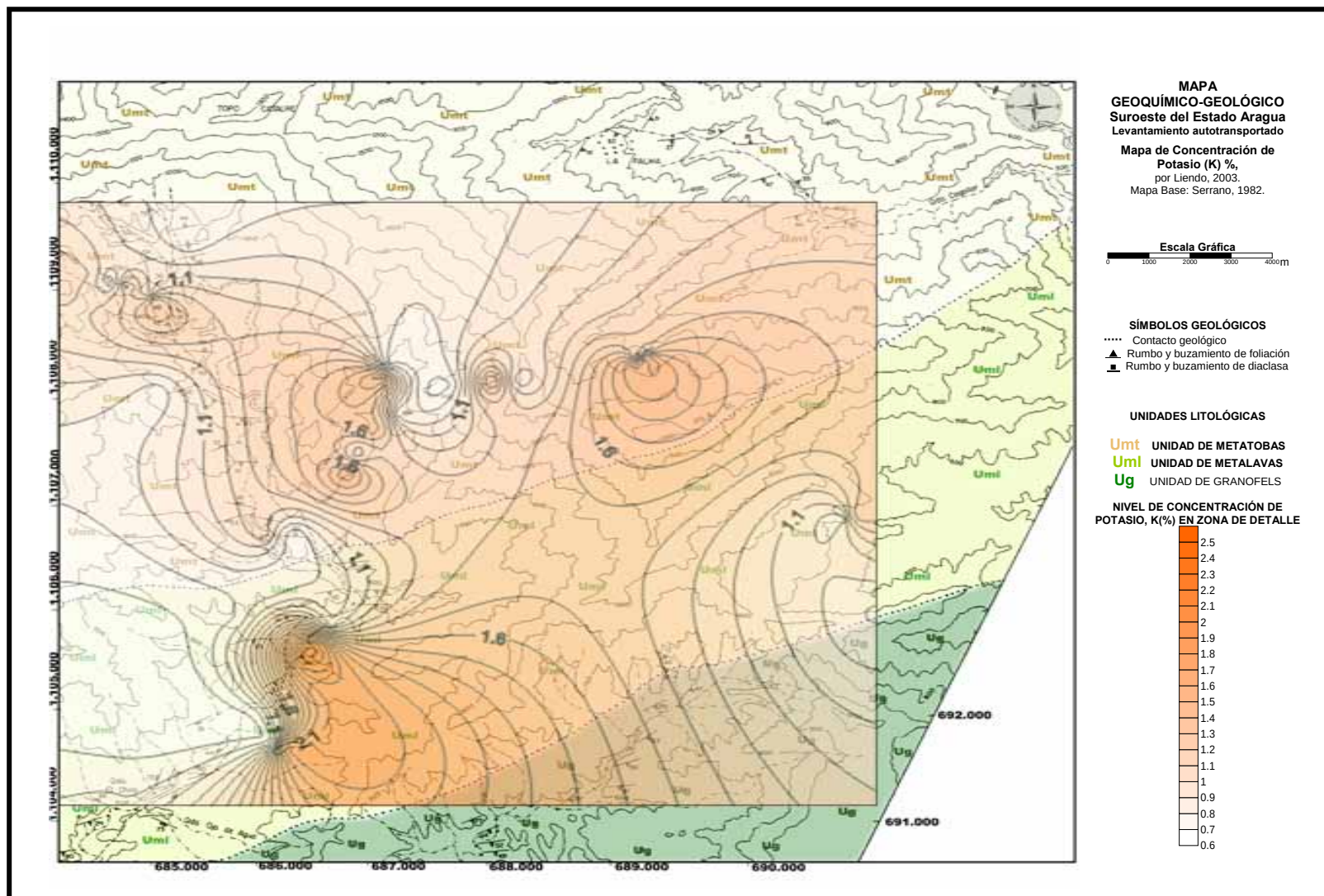


Figura N° 70: Mapa de integración geológica-geoquímica con el elemento potasio, K (%) en la zona de estudio.

### **6.3- Levantamiento o itinerario radimétrico pedestre en los sectores favorables**

El enfoque principal para la interpretación de este trabajo de investigación es el levantamiento pedestre en los sectores Los Corozos y El Valle. Adoptando el criterio litológico planteado por Serrano (1982), ambos sectores están localizados en la misma litología, por lo que las anomalías radimétricas evidentes y las no significativas se observaron con cuidado, analizándolas desde el punto de vista del aporte de la actividad radioactiva de un radioelemento natural respecto a otro, es decir de U/Th y U/K, puesto que pueden existir depósitos de ciertos minerales o elementos cuya radiactividad está apantallada por el recubrimiento o características estructurales del sector estudiado.

Antes de entrar de lleno con el estudio de los resultados se considera conveniente especificar los parámetros escogidos para clasificar las anomalías geofísicas encontradas. Del uso de los programas SURFER 7.0 (1999) y GridstatPro 2K.01S, tanto para el análisis de los radioelementos naturales como para el elemento bario, indicador de la mineralización de barita, se obtuvo el comportamiento espacial (tabla N° 70) de la variable en estudio; reforzado por el resultado de las direcciones de anisotropía en los sectores para cada elemento. Por lo que la interpretación se orientó desde los siguientes aspectos:

- ♦ Respuestas de las concentraciones de potasio, uranio y torio con la litología del sector.
- ♦ Análisis de las concentraciones de potasio, uranio y torio respecto a la concentración del elemento bario como indicador de la mineralización de barita.

#### **6.3.1- Sector Los Corozos**

Para la interpretación de los datos, se superpuso el levantamiento espectrométrico de radiación gamma pedestre con el mapa geológico-topográfico, señalando las áreas de detalle. Se apoyó en las posiciones de los afloramientos y observaciones geológicas ya realizadas en el mapa base (Serrano, 1982); de igual manera se ubicaron los resultados de los estudios geoquímicos relevantes correlacionables

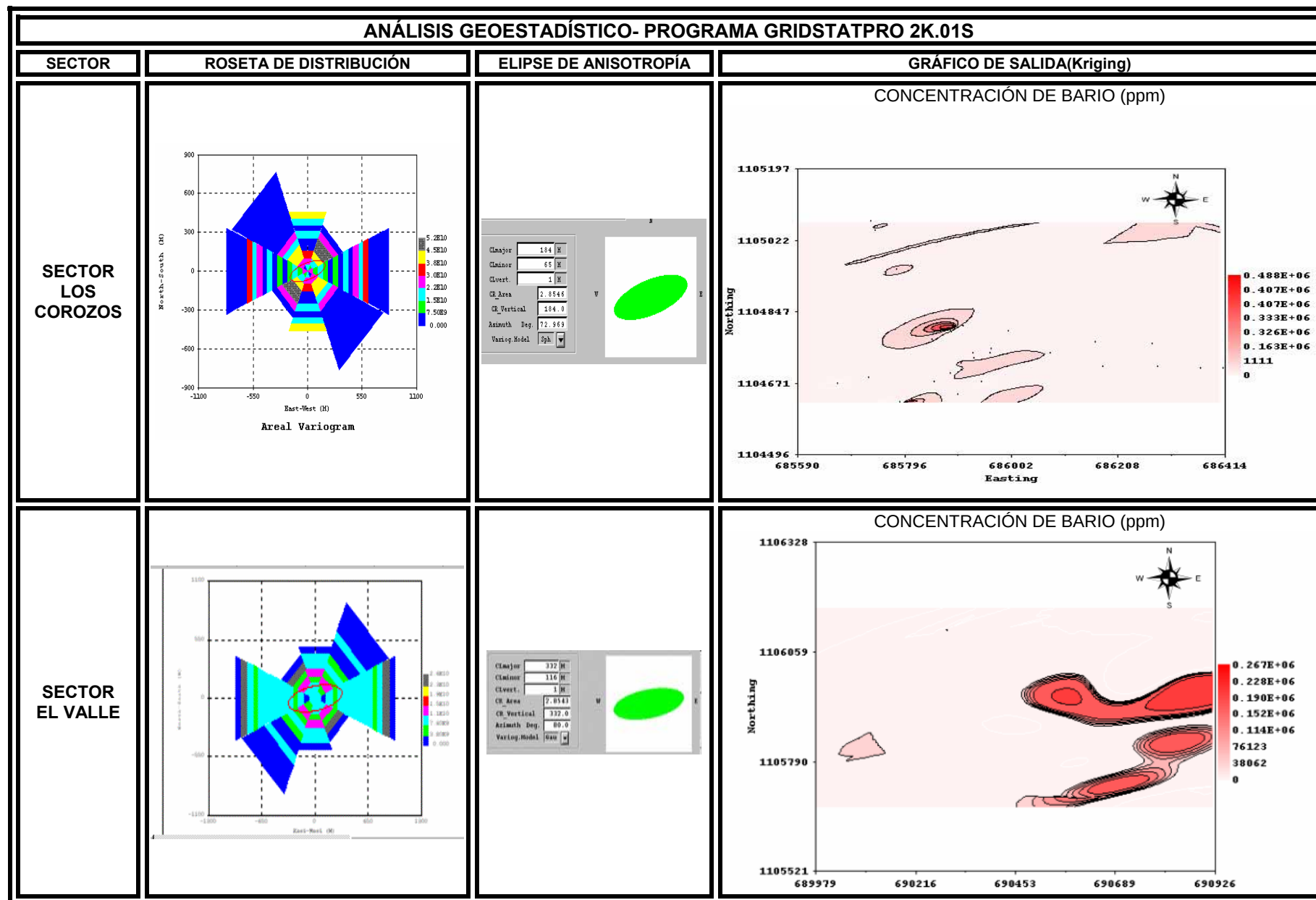


Tabla N° 70: Resultados del programa GRIDSTATPRO 2K.01S, para las concentraciones de bario en los sectores Los Corozos y El Valle.

con el mineral de interés. De esta manera, una vez cartografiados los resultados se hizo la correlación e interpretación integrada para dicho sector.

### **Integración de las concentraciones de potasio, uranio y torio con la litología del sector.**

En la figura N° 71 se observa que los valores anómalos en este sector se corresponden con el radioelemento uranio, por el tamaño y el grado de concentración definido. La relación del comportamiento espacial de cada radioelemento con la litología es poco apreciable. Donde el potasio y el torio presentan valores altos de concentraciones cerca del afloramiento de la mineralización de barita, se observó que hacia la parte norte del sector el buzamiento de las foliaciones identificadas en el mapa geológico es perpendicular a la dirección de continuidad (este-oeste) de la concentración del potasio y el torio. En caso contrario el buzamiento de las diaclasas es paralelo a la mayor continuidad de la variable en estudio.

Estos valores anómalos de concentraciones confirman el carácter hidrotermal de la génesis de la barita debido a que se asocia a los cambios en la composición química de las rocas por acción del metasomatismo.

No es determinante asociar estas pocas estructuras geológicas a valores de concentraciones dados, por lo que se plantea la necesidad de tener un mayor control geológico-estructural al efectuar un levantamiento pedestre.

En cuanto al uranio, la dirección de continuidad y su variabilidad es contraria al anterior y presenta una anomalía principal que presenta una delineación paralela a los perfiles realizados, con un valor de concentración elevado. Como se mencionó anteriormente esta anomalía es de carácter litológico relacionado posiblemente con la trogerita, puesto que no se cuenta con una información geológica-geoquímica más precisa. Se considera como una anomalía significativa de interés para explorar con más detalle tomando en consideración estructuras geológicas, ambiente geológico, etc., y a su vez plantear un mallado con perfiles perpendiculares a esta dirección inicial, que ayudaría también a confirmar la dirección de la continuidad de los radioelementos naturales en la zona de estudio.

En la tabla N° 71 se presenta la correlación que se ha establecido entre los datos radimétricos y las unidades geológicas que afloran en la zona, según Killeen (1979).

| FUENTE                    | RANGO CONCENTRACIONES |            |            | TIPO DE ROCAS, SEGÚN<br>KILLEEN (1979) |
|---------------------------|-----------------------|------------|------------|----------------------------------------|
|                           | K (%)                 | U (ppm)    | Th (ppm)   |                                        |
| <b>KILLEN, 1979</b>       | 0.06 – 2.4            | 0.03 - 3.3 | 0.05 – 8.8 | Efusivas básicas                       |
| <b>SECTOR LOS COROZOS</b> | 0,0 – 19,2            | 0,0 – 35,7 | 5,0 – 25,1 |                                        |

**Tabla N° 71: Interpretación litológica según características radimétricas (Killen, 1979) de las unidades geológicas en la zona de estudio.**



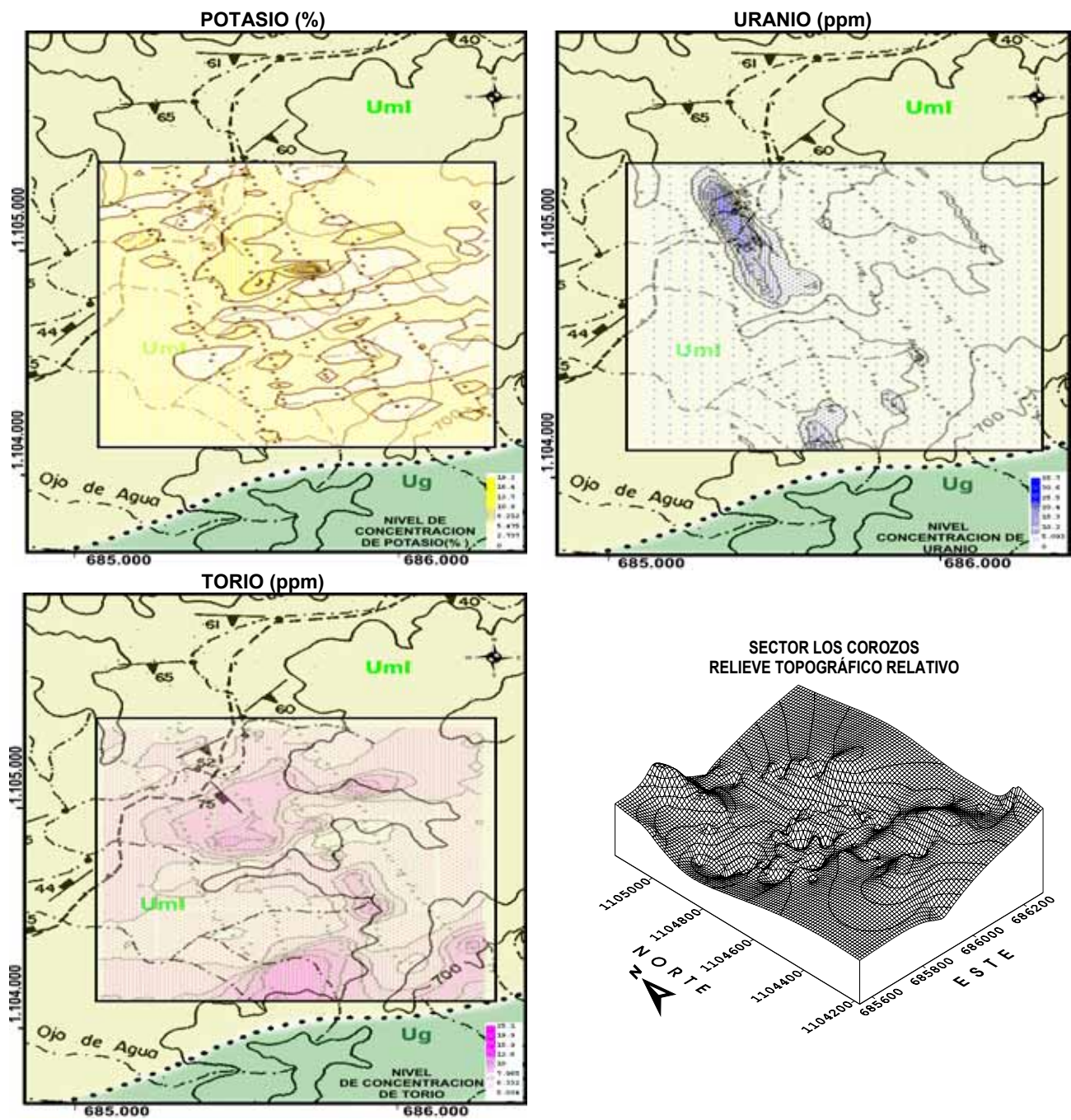


Figura N° 71: Integración geológico-radimétrica en el Sector Los Corozos.

## **Integración de las concentraciones de potasio, uranio y torio y la concentración del elemento bario.**

En la figura N° 72 se observa el comportamiento de la mineralización de la barita respecto a cada radioelemento, donde se puede presumir que éstos presentan altos en su entorno, especialmente el potasio, donde en el capítulo anterior se determinó una correlación grande y negativa, que los definen como dependientemente asociados.

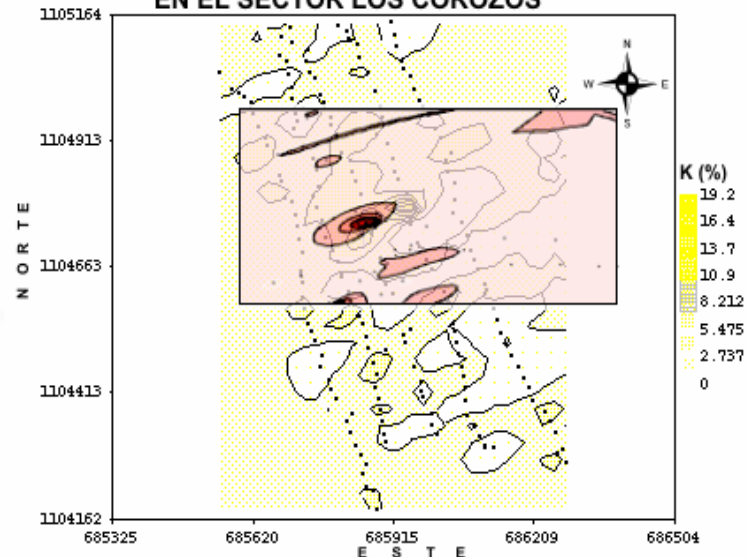
Se tiene que las características de la litología existente en la zona señalan un valor de concentración de cada radioelemento, como se puede observar en la tabla N° 70, donde los valores anómalos del uranio se encuentran asociados a la posible presencia de la trongenita en este tipo de litología mientras que los valores elevados de potasio y torio están asociados en primera instancia al metasomatismo, pero además se podría suponer que esa diferencia o valores anómalos deberían ser causados por un cuerpo no característico de la litología presente. Es decir, existe una discrepancia entre los valores esperados de potasio y de torio y los valores medidos, la cual podría atribuirse también a las ocurrencias de mineralizaciones de barita o a su entorno, ya que como se analizó en el Capítulo 5, los altos valores se ajustan a los lugares donde están los afloramientos de barita.

Si esto se repite en los distintos afloramientos ya identificados en campo permitiría señalar la correlación entre la presencia de barita, su entorno y la actividad radioactiva, lo cual reconocería el uso de este tipo de técnica radimétrica para la ubicación de afloramientos de barita en ambientes geológicos de iguales características.

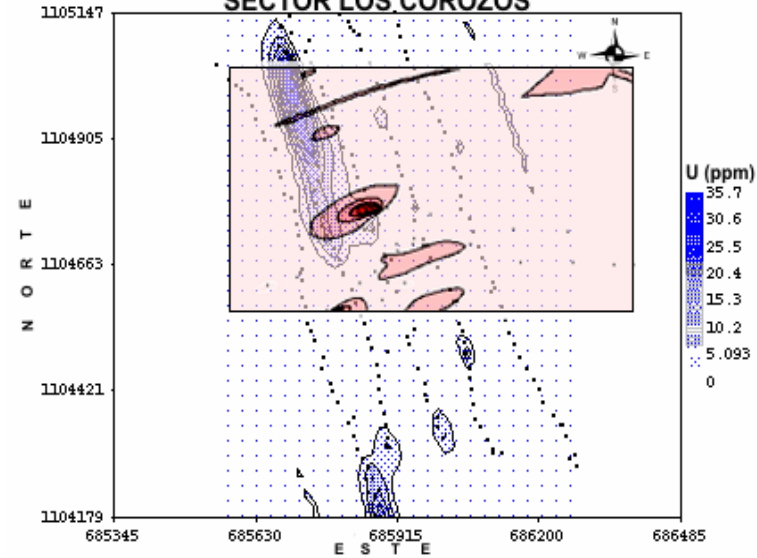
Al establecer la relación entre los afloramientos y los contornos de los radioelementos se confirma gráficamente la forma lenticular de la mineralización y la coincidencia de la dirección de continuidad, aproximadamente este-oeste, del potasio y torio con la mineralización en estudio. Esta dirección sería la más prometedora para la localización de mineralizaciones de barita, donde una concentración de por lo menos 100 a 300 libras de barita por yarda cúbica, es requerida de un depósito para que sea considerado como económicamente explotable.



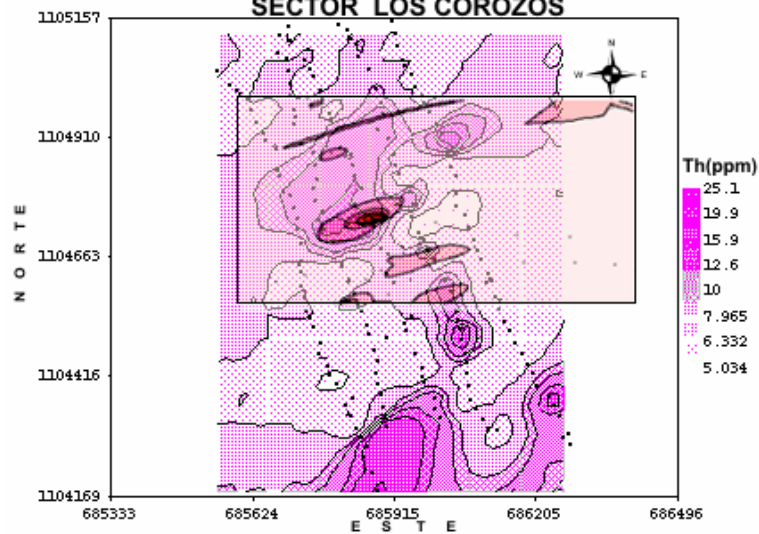
**CONCENTRACION DE POTASIO (%) y BARIO (ppm)  
EN EL SECTOR LOS COROZOS**



**CONCENTRACIÓN DE URANIO (ppm) Y BARIO (ppm)  
SECTOR LOS COROZOS**



**CONCENTRACIÓN DE TORIO (ppm) Y BARIO (ppm)  
SECTOR LOS COROZOS**



**SECTOR LOS COROZOS  
RELIEVE TOPOGRÁFICO RELATIVO**

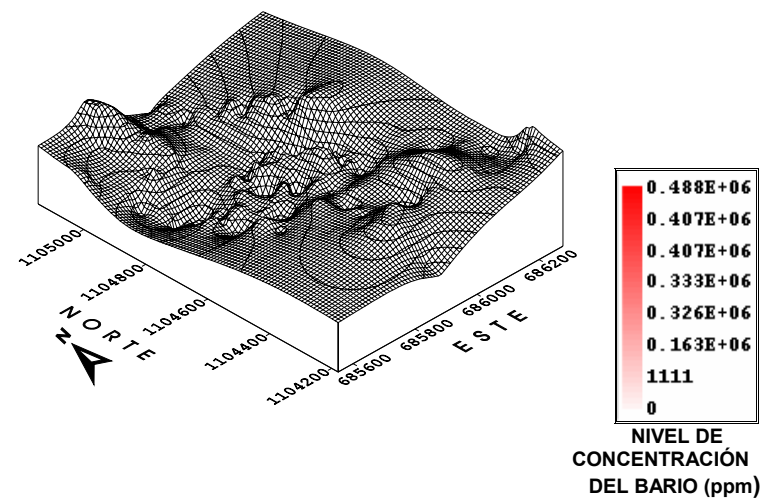


Figura N° 72: Integración de resultados radimétricos - análisis químicos de bario (ppm), Sector Los Corozos.

### 6.3.2- Sector El Valle

Se estableció que los radioelementos naturales presentan la misma tendencia en cuanto a la continuidad de la concentración que el Sector Los Corozos, es decir el potasio y el torio son semejantes en comportamiento espacial y se hace hincapié que igualmente el uranio concuerda en continuidad y variabilidad en ambos sectores.

#### **Integración de las concentraciones de potasio, uranio y torio con la litología del sector.**

De la figura N° 73 y del análisis de los resultados se sugirió que la actividad de los radioelementos, potasio y torio, se correlaciona con el ambiente geológico ya que se asume que los valores altos presentados en el extremo sur se deben al carácter litológico de esta área, además que coinciden con el cauce de la Quebrada El Valle. Por otra parte se plantea la necesidad de despejar las dudas de las anomalías no significativas que podrían asociarse a características estructurales por los antecedentes tectónicos regionales de la zona en estudio.

El cuadro adjunto (tabla N° 72) representa la correlación que se ha encontrado entre los datos geofísicos y las unidades geológicas que afloran en la zona. De esta correlación se nota el alcance de la integración de los resultados del método radimétrico con la geología. Se puntualiza la necesidad del control de cada una de las ramas de la geociencia: geología y geoquímica, simultáneo en la fase exploratoria por espectrometría de radiación gamma, de una zona de estudio. Por lo que involucra la precisión de un levantamiento geológico-geoquímico detallado, simultáneo al levantamiento radimétrico, lográndose ampliar la información concerniente a la presentencia de otros minerales de interés económico para su posterior sistematización.

| FUENTE          | RANGO CONCENTRACIONES |            |             | TIPO DE ROCAS, SEGÚN KILLEEN, 1979 |
|-----------------|-----------------------|------------|-------------|------------------------------------|
|                 | K (%)                 | U (ppm)    | Th (ppm)    |                                    |
| KILLEN, 1979    | 0.06 – 2.4            | 0.03 – 3.3 | 0.05 – 8.80 | Efusivas básicas.                  |
| SECTOR EL VALLE | 1,1 – 11,3            | 0 – 22,5   | 6,2 – 26,7  |                                    |

**Tabla N° 72: Interpretación litológica según características radimétricas , Killen (1979), de las unidades geológicas en la zona de estudio, correspondiente al Sector El Valle.**

### **Integración de las concentraciones de potasio, uranio y torio respecto a la concentración del elemento bario como indicador de la mineralización de barita.**

En la figura N° 74 se muestra la relación entre los afloramientos o manifestaciones de mineralización y las formas de los contornos de cada radioelemento natural. Los contornos anómalos de la mineralización confirman su carácter lenticular como posible yacimiento, por otra parte se relacionan con la continuidad de su comportamiento espacial, coincidiendo con el comportamiento de los radioelementos potasio y torio, de dirección este-oeste, con una tendencia hacia el este del Sector El Valle. Eso indica que ésta es la dirección más favorable de la barita, por lo que se sugiere la continuidad de la exploración en ese sentido, con perfiles perpendiculares a los realizados

Se establecieron las relaciones entre los afloramientos o manifestaciones de mineralización y las respuestas en concentración específicamente del radioelemento potasio, donde los valores anómalos coinciden con la ubicación del afloramiento de barita y se relacionan con el curso de la Quebrada El Valle.

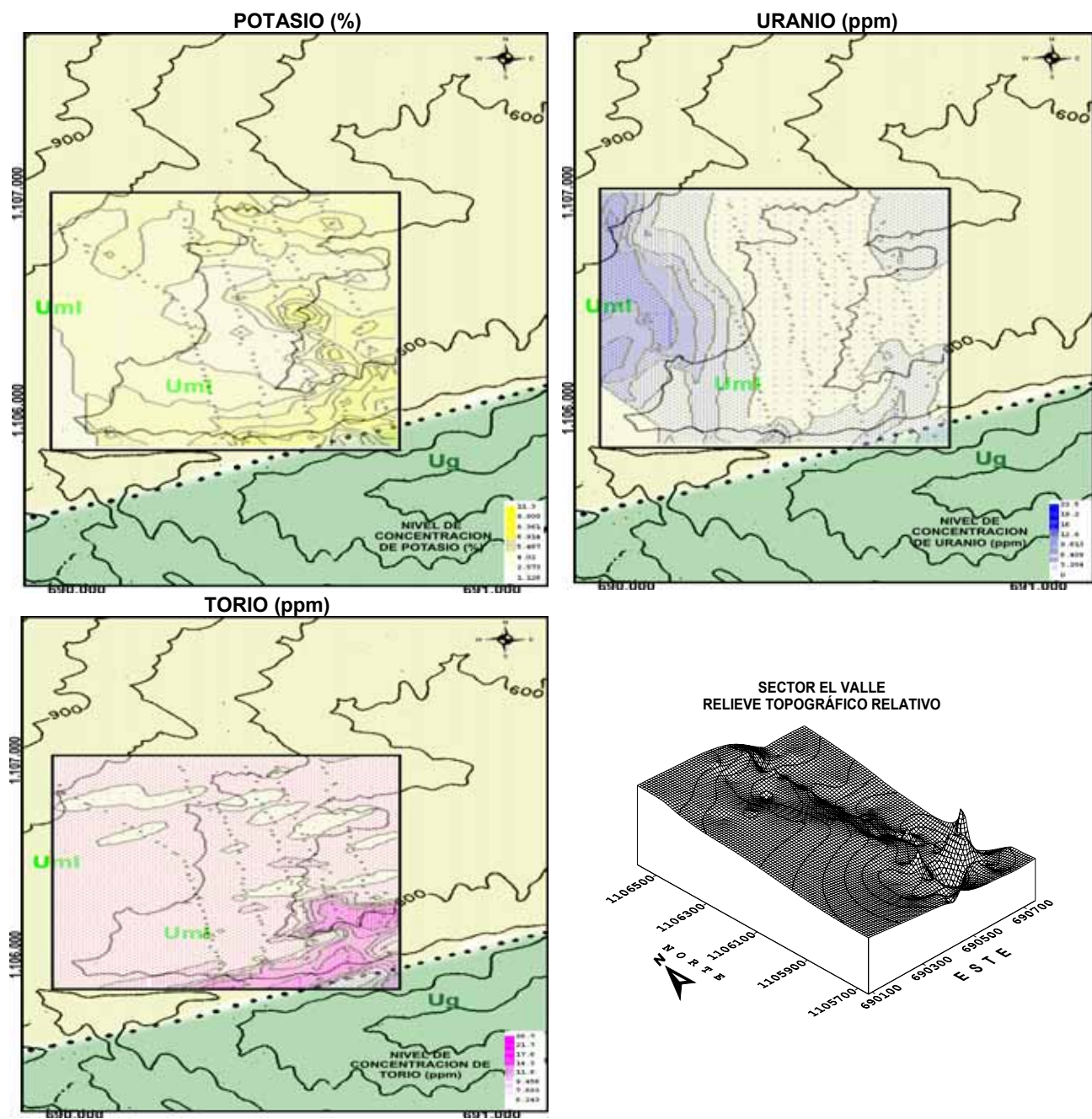
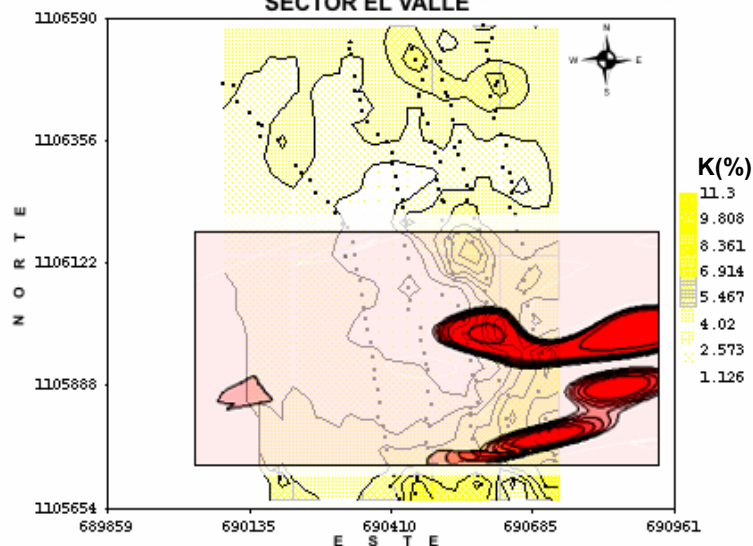


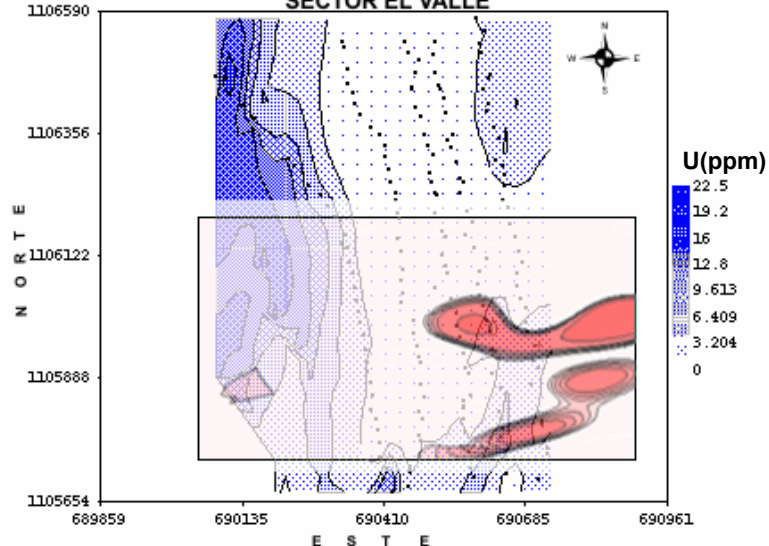
Figura N° 73: Integración geológico-radimétrica en el Sector El Valle.



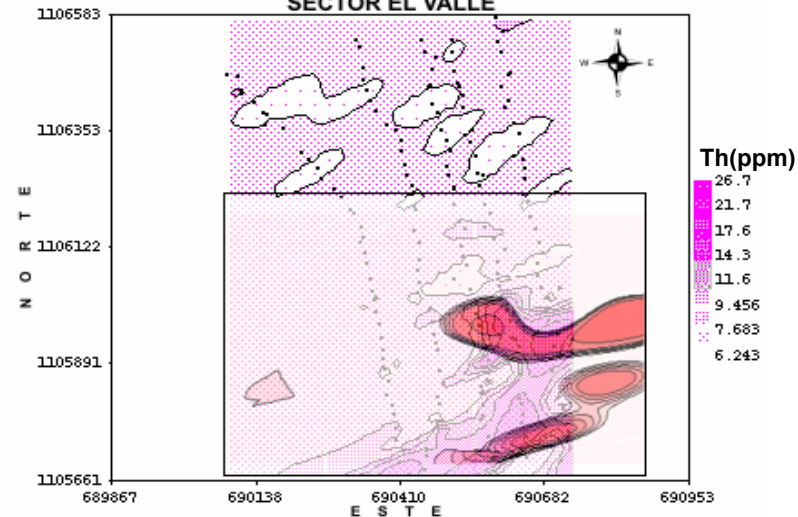
### CONCENTRACION DE POTASIO (%) Y BARIO (ppm) SECTOR EL VALLE



### CONCENTRACION DE URANIO (ppm) SECTOR EL VALLE



### CONCENTRACION DE TORIO (ppm) Y BARIO (ppm) SECTOR EL VALLE



### SECTOR EL VALLE RELIEVE TOPOGRAFICO RELATIVO

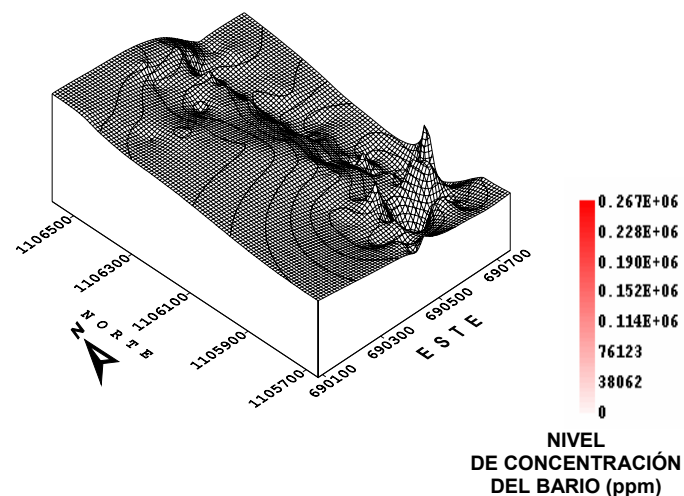


Figura N° 74: Integración de resultados radimétricos - análisis químicos de bario (ppm), Sector El Valle.

## 6.4- Paragénesis

En el desarrollo de esta investigación se planteó la necesidad de compendiar la información geológico-geoquímica sobre la cual se analizó este trabajo, con el fin de contar con una exploración que sirva de base para relacionar la presencia de minerales de interés económico con la geología y futuras exploraciones geofísicas. Se sugiere realizar esto no sólo en esta zona, sino en zonas prospectivas y zonas ya confirmadas como mineras.

Específicamente las características radimétricas de las rocas estudiadas permiten confirmar que se trata fundamentalmente de tipos litológicos de afinidad fundamentalmente basáltica, soportadas por la información de las características geoquímicas de estas rocas en los trabajos previos ya citados en este trabajo de investigación.

Según Navarro (1983) , la depositación del Grupo Villa de Cura aumenta de norte a sur, de la misma forma que el grado de metamorfismo. El metamorfismo de las rocas del Grupo Villa de Cura es del tipo bórico de alta P/T y es evidente un aumento del grado del mismo, de norte a sur. Pasando de facies de la prehnita-pumpellita, pumpellita-actinolita lawsonita-albita, esquistos azules y transicional esquistos azules - esquistos verdes.

En la figura N° 75 se resume la información anterior además de lo expuesto en este trabajo en lo referente a la información de prospección geoquímica, recalcando que un efectivo planteamiento de esta naturaleza se soportaría con una completa investigación mineralógica y petrológica. Así se tendría en el tiempo y espacio, la ubicación, la asociación o asociaciones y la correlación de la barita y otros minerales de interés minero, como el plomo y el zinc, ya identificados en la zona de estudio.

|                                   |                            |                                           |                                                                                                          |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NORTE<br>DEPOSITACIÓN<br>↓<br>SUR |                            | <b>PARAGÉNESIS METAMÓRFICA</b>            | <b>MINERALES INDICES METAMÓRFICOS EN LA ZONA DE ESTUDIO</b>                                              |
|                                   | <b>UNIDAD DE METATOBAS</b> | Pumpellita-actinolita<br>Lawsonita        | <b>Cuarzo- augita- calcita<br/>BARITA -</b>                                                              |
|                                   | <b>UNIDAD DE METALAVAS</b> | Lawsonita-glaucofano Epidota<br>Lawsonita | <b>Cuarzo – magnetita – apatito - pirita -<br/>glaucofano - BARITA</b>                                   |
|                                   | <b>UNIDAD DE GRANOFELS</b> | Glaucofano, epidota<br>Hornblenda         | <b>Cuarzo – albita - clorita – ilvita -<br/>magnetita- pirita - tremolita- apatito -<br/>calcopirita</b> |

Figura N° 75: Paragénesis sugerida de la zona de estudio, según la litología y facies metamórficas analizadas por Navarro (1983).

## 6.5- Esquema final de la metodología de la técnica espectrometría gamma

Esta parte final representa el objetivo principal planteado en este trabajo, lo que servirá de base (fig. N° 76) para programar próximos proyectos considerando todas las observaciones u objeciones a alguna fase o puntos tratados en el desarrollo y aplicación de esta técnica radimétrica.

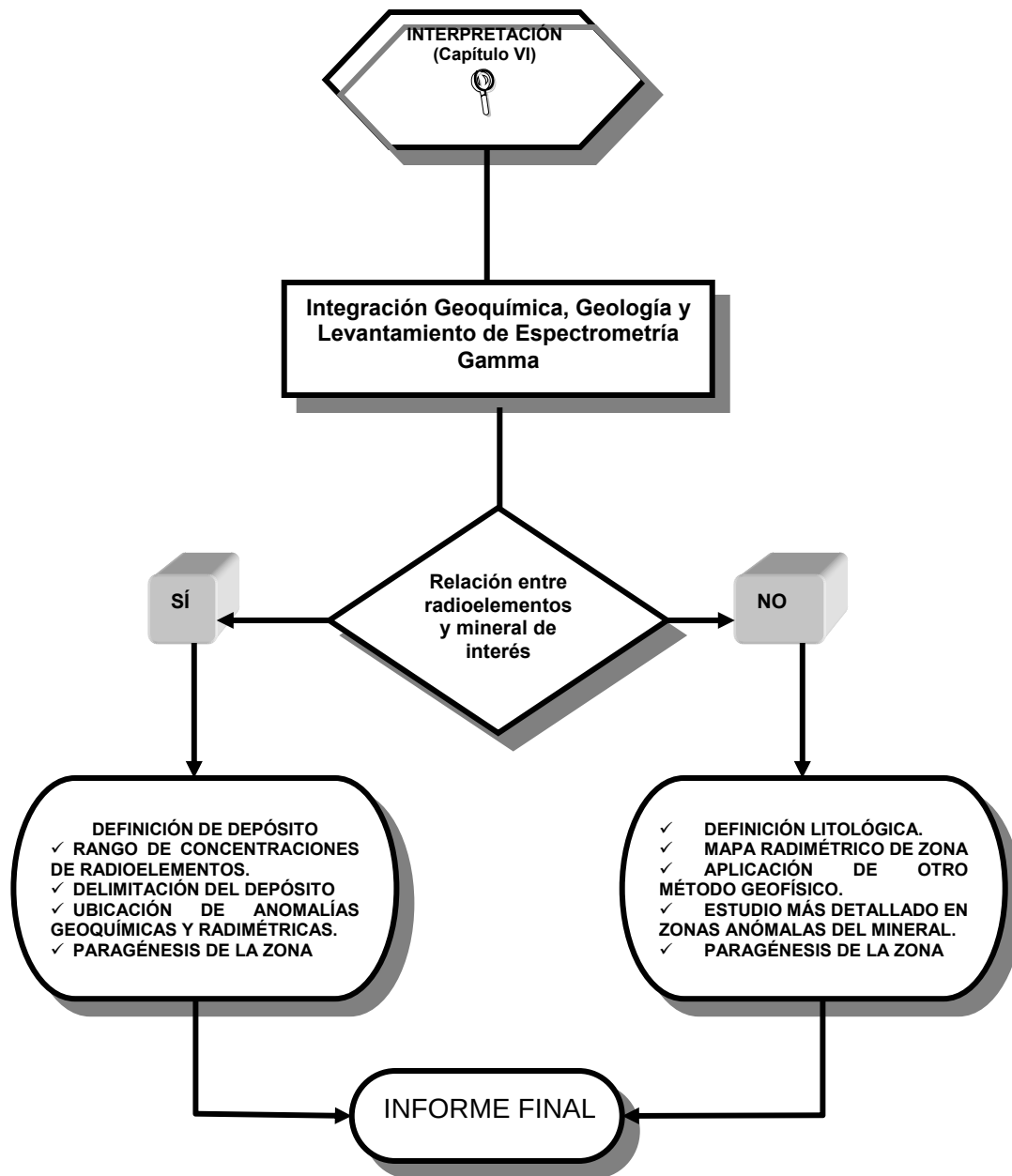


Figura N° 76: Esquema final de los pasos o fases realizados para la aplicación de esta metodología geofísica: espectrometría de radiación gamma.



## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología para la prospección de minerales aplicando la espectrometría de radiación gamma, tomando en cuenta la respuesta radimétrica sobre el mineral no radiactivo. Es posible la evaluación, en una zona, de un mineral anómalo mediante técnicas nucleares, lo cual consiste en correlacionar la información geológico-geoquímica con los afloramientos o con la formación de posibles yacimientos.

Se reconoce la alta productividad de este método radimétrico para ciertas condiciones geológicas.

Se evidenció la ventaja que se tiene al contar con un apoyo instrumental especializado para medir la radiación gamma en la exploración radimétrica, tanto pedestre como autotransportada. Es importante utilizar este tipo de equipo en conjunto con un cintilómetro y determinar con precisión el fondo ya que permite determinar *in situ* la actividad radioactiva de las rocas.

Con el levantamiento autotransportado se cubrió una área considerable de la zona de estudio lo que sirvió para tener un control radioactivo regional. Es decir, de la implementación de la espectrometría de radiación gamma se obtuvo una idea general de la respuesta radimétrica de las unidades litológicas que fueron reconocidas por el levantamiento autotransportado y se obtuvo una valoración cualitativa previa del área de estudio.

El levantamiento autotransportado determinó zonas anómalas del radioelemento potasio (K) en la parte norte de la zona de estudio, atribuido al carácter litológico de la formación presente, ya que no existe anomalía dominante de uranio (U).

Se delimitaron áreas para la realización de trabajos de detalle, mediante otra metodología de Prospección Geofísica a fin de confirmar la continuidad de la mineralización estudiada y así evaluar las perspectivas económicas. El estudio de las áreas delimitadas tiene además como finalidad establecer una correlación entre las mineralizaciones de barita en los sectores Los Corozos y El Valle.

Todo estudio de radioactividad debe ser enlazado con la información geológica-geoquímica de la zona en estudio. Se corroboró que la utilización de la información por prospección geoquímica permite la correlación de algunos minerales con los resultados por técnicas nucleares *in situ*.

Estratigráficamente las zonas anómalas de barita se ubican dentro de la Unidad de Metalavas y la Unidad de Metatobas

De la interpretación de los datos se deduce que se presenta aparentemente una relación entre la presencia o entorno de roca caja de la zona mineralizada de barita y los valores altos del radioelemento potasio (K). Es necesario corroborar este hecho en otros lugares donde existan afloramientos de barita para poder suponer que la medición de la actividad radioactiva del potasio sirve como guía o trazador para determinar este tipo de mineralización.

Se confirmó el carácter lenticular de la mineralización ya establecida en trabajos previos, con una continuidad bien marcada casi este-oeste, lo que se acredita como la dirección más favorable para la exploración de la barita.

Se verifica la influencia del ruido externo en las mediciones radioactivas al presentarse la inconsistencia entre la actividad radioactiva del uranio y torio y las concentraciones de este tipo de minerales en los lugares donde se realizaron los mallados. Esto es importante tenerlo presente en estudios posteriores donde se determina o se hacen mediciones, o equipos que no determinan concentraciones del mineral, porque podría crear la falsa idea de la presencia de ese mineral radioactivo o del mineral paragenético resultando que esta presunción sea falsa.

Con el análisis químico de las muestras de roca en la zona de estudio se pudo definir si existía alguna relación entre los valores altos de radiación gamma en los canales de potasio, uranio y torio, y sus correspondientes concentraciones en las muestras tomadas, resultando constantes los valores de concentración del uranio y torio en los análisis químicos. Mientras la variación de potasio se corrobora con la obtenida por espectrometría gamma, definiendo el carácter menos básico de las rocas volcánicas en la parte norte de la zona de estudio, atribuida el aumento de concentración de

potasio a la mineralogía de la alteración hidrotermal afectada a su vez por la composición de las rocas encajantes.

La zona estudiada tiene bajas probabilidades de hospedar depósitos económicos de minerales radioactivos de interés minero, específicamente la zona ha resultado de poco interés para la exploración de uranio, confirmado por el levantamiento radimétrico pedestre efectuados en los sectores Los Corozos y El Valle, al mismo tiempo en los itinerarios La Palma, Los Paraparos y el itinerario de enlace entre los sectores Los Corozos – El Valle. Se verificó además que las formaciones clasificadas como unidades litológicas de origen volcánico son básicas, lo que resta posibilidades de potencial uranífero a dicha zona de estudio.

Se cuenta con un recurso humano capacitado para la implementación de esta metodología radimétrica en la prospección de minerales.

## RECOMENDACIONES

Ejecutar los estudios detallados de campo en las áreas limitadas con perfiles perpendiculares a los trazados en esta investigación con el fin de estudiar la continuidad o no de depósitos de barita factibles de ser explotados, detallada utilizando otras metodologías geofísicas como la gravimetría y los métodos electromagnéticos.

Revisión geológica y geoquímica de la anomalía de uranio, en la parte noroeste del Sector Los Corozos, atribuida a la presencia de la trogerita.

Realizar un levantamiento geológico detallado en los sectores Los Corozos y El Valle para asociar o correlacionar posibles anomalías geofísicas a estructuras geológicas o litológicas.

Se sugiere que en el trabajo de investigación en la zona delimitada, la prospección y el análisis geoquímico estén orientados al estudio de las distribuciones de los contenidos de óxido de bario ( $\text{BaO}$ ) o barita ( $\text{BaSO}_4$ ) y estroncio ( $\text{Sr}$ ) debido a su alto porcentaje de asociación mineralógica y a que el estroncio es un hijo del isótopo radioactivo rubidio.

Se sugiere emplear estas técnicas radimétricas de manera rutinaria en el trabajo de campo a ser ejecutado por el Instituto, ya que delimita terrenos geológicamente distintos mediante el reconocimiento de sus gradientes radiactivos específicos locales, pudiendo en consecuencia confeccionar también los correspondientes mapas geológicos y metalogénicos.

Se recomienda la utilización en campo de equipos de espectrometría gamma; la prompt gamma y fluorescencia de rayos x, ya que se pueden obtener resultados de inmediato, los cuales disminuirían los costos de análisis en los laboratorios. Además permitirían estudiar los diferentes estratos geológicos con miras de determinar correlaciones entre los estratos geológicos y su contenido de material radioactivo con técnicas nucleares con el objeto de caracterizar yacimientos de interés nacional.

Se sugiere el estudio de la radioactividad ambiental. Levantando mapas de la radiactividad natural, elemento esencial de la vigilancia ambiental y de estudios conexos

realizados en casos de contaminación radiactiva accidental. Esto puede lograrse fácilmente como subproducto de todo levantamiento espectrómetrico con rayos gamma, aéreo o en vehículo terrestre. A su vez revisando, reprocesando (si es posible) e integrando la información radimétrica existente en el país a la base de datos de área de geofísica de INGEOMIN.

**BIBLIOGRAFÍA**  
**Y REFERENCIAS CITADAS**

## **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS**

**Aguerrevere, E. y M. Zuloaga.** (1937) Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela, Bol. Geol. y Min., Caracas. Venezuela. 1 (2): 3-22.

**Andrews, P. y R.K. Collings,** (1990) Barytes in Canada, Industrial Minerals, 268 (Jan): 46-57.

**Aquino, R.** (1983) Geología de una zona ubicada al sur de Tiara y este de San Sebastián, Edo. Aragua. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito. 225 p.

**Aranguren, A.** (1996) Reconocimiento geológico de la Quebrada El Encantado, Parque Nacional El Ávila. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito. 103 p.

**Baldal, F.** (1955) Yacimientos de barita conocidos en el país parte central. Ministerio de Energía y Minas, Dirección de Minas, Informe técnico 2.

**Ball, T., S. Booth, E. Nickless y R. Smith** (1979) Geochemical Prospecting for Barite and Celestite Using a Portable Radioisotope Fluorescence Analyser, Journal of Geochemical Exploration. 11: 277-284.

**Briceño, H.** (1979) Génesis de yacimientos minerales venezolanos de sulfuros masivos volcanogénicos de Santa Isabel, Edo. Guárico, Venezuela. ACTA CIENTÍFICA VENEZOLANA. 30: 83-88.

**Brobst, D.** (1995) Barium Minerals. Industrial Minerals and Rocks, 1: 125-134.

**Calzadilla, M.** (1978) Radimetría. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. Cuba. 131 p.

**Casimirri, A.** (1983) Geoquímica de las rocas metavolcánicas del Grupo Villa de Cura al norte de San Sebastián de los Reyes. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Inédito. 215 p.



Consultoil, S. A. (1982) Estudio de geología superficial para la ubicación de acumulaciones de barita en Venezuela, Consultoil S. A, Informe Interno, 89p.

CORPOCENTRO (1996) Estudio de prospección de áreas con mineralizaciones de barita. Área Qda. El Chino-Río Pao. Edo. Aragua, Informe Interno, 40p.

Correa, J. (1982) Geología de una zona situada al norte de San Sebastián de los Reyes, Estado Aragua. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito. 230 p.

Darnley, A. G. (1973) Airborne gamma-ray spectrometers survey techniques- present and future, in uranium exploration methods (IAEA pag-490/15) 67, IAEA; Vienna.

Dawson. R. K. (1985) Geology of Barium, Strontium, and Fluorine Deposits in Canada, Economic Geology Report 34, Geological Survey of Canada, 136 pp.

Dobrin, M. (1976) Introduction to Geophysical Prospecting. McGraw Hill, New York, 485p.

Fernández y M. Valverde (1978.). Ciencia y Desarrollo, Omega. Madrid. España 23, p. 880,

Flores, E. (1984) Estudio de dispersión primaria y secundaria de los elementos Ba, Pb, Zn, Cu, Na, K Fe, Mn, Ca y Mg en rocas y sedimentos de quebradas con fines de Prospección Geoquímica de Barita en la quebrada El Chino, Estado Aragua. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Inédito.185 p.

FUNDACITE-ARAGUA (1996) Estudio de prospección de áreas con mineralizaciones de barita. Área Qda. El Chino-Río Pao. Edo. Aragua, Informe interno, 40p.

García, V. (1986) Exploración para la ubicación de yacimientos de barita, Sierra de Perijá, Zulía. Boletín de Geología, Caracas. V 28: 79-101.

Geochemical Services, INC. (1991) Average Abundance of the Elements (ppm). 2741 Toledo Street, Suite 211, Torrance, California 90503.

GOLDEN SOFTWARE Inc. (1999). SURFER version 7.00, Surface Mapping System [Program].

González de Juana, C., J. M. Iturralde, y X. Picard (1980) Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas, ediciones FONINVES, Caracas, 1031 p.

González, F. (1982) Introducción a la Gequímica. Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C. 144 p.

González, S. y X Piccard (1972) Sedimentación y aloctonía en el frente de montañas del Guárico, Venezuela. Memoria VI Conferencia Geológica del Caribe, Porlamar, 1972. Editor C Petzalle, Cromotip. p 83-89.

Grasty, R. L. (1976) A Calibration Procedure for an Airborne Gamma Ray Spectrometer. Geol. Survey Canada, Paper 76-16, p. 1-9.

Grasty, R. L. (1979) Gamma Ray Spectrometric Methods in Uranium Exploration-Theory and Operational Procedures. Geol. Survey Canada, Economic Geology Report 31: 147-161.

Grasty, R. L. (1987) The Design, Construction and Application of Airborne Gamma Ray Spectrometer Calibration Pads-Thailand. Geol. Survey Canada, Paper 87-10, 34 p.

Grasty, R., y P. Holman (1974) Optimum Detector Sizes for Airborne Gamma Ray Surveys. In Report of Activides, Part B, Geol. Surv. Can.; Paper 74-1B. p. 72-74.

Grasty, R., J. Carson, B. Charbonneau, y P. Holman (1984) Natural Background Radiation in Canada. Geol. Surv. Can. Bull. 360, 39p.

GRIDSTATPRO Inc. (1999), version. 99.01s, Geostatistical Modeling [Program].

Hansen, D. (1975) Geological Applications Manual for Portable Gamma Ray Spectrometers. Geometrics Company brochure, Toronto. 117 p.

<http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/42/htm/radiacti.htm>

<http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/EXPLORAC/TEXT/02027interpret.html>

<http://www.tabla of radioactive isotope>

Instituto de Geología y Minería, INGEOMIN (2001) Revisión de las anomalías geoquímicas en las quebradas Los Paraparos, Los Corozos y Valle de La Cruz, afluentes del Río Pao. Informe Interno. 20 p.

International Atomic Energy Agency, IAEA (1975) Airborne Gamma Ray Spectrometry Prospection of Nuclear Raw , Materials. Technical Assistance Reporting, N° 1038. IAEA, Vienna, 22 p.

International Atomic Energy Agency, IAEA (1976) Radiometric Reporting Methods and Calibration in Uranium Exploration, Technical Report Series No.174, 1976: STI/DOC/10/174, IAEA Vienna, 57 p.

International Atomic Energy Agency, IAEA (1979) Gamma-Ray Surveys in Uranium Explorationt, Technical Report Series N° 186, IAEA, Vienna, 89 p.

International Atomic Energy Agency, IAEA (1981) Facts about Low Level Radiation. IAEA, Vienna, 19 p.

International Atomic Energy Agency, IAEA (1989) Use of Calibration Facilities for Radiometric Field 8 Equipment, Technical Report Series No.309, 1989: STI/DOC/10/309, IAEA Vienna, 86 p.

International Atomic Energy Agency, IAEA (1999) Nuclear Geophysics and its Applications, Technical Report Series No.393, 1999: STI/DOC/10/309, IAEA Vienna, 200 p.

Jambor, S. (1983) Informe del uranio en Venezuela. Informe interno del M.E.M. 83 p.

Kelley, J. S., I. Lange, y R. Collings (1993) Barite Deposits in the Howard Pass Quadrangle and Possible Relations to Barite Elsewhere in the Northwestern Brooks Range, Alaska, Open File Report 93-215, U. S. Geological Survey 13 p.

Killeen, P. (1979) Gamma Ray Spectrometric Methods in Uranium Exploration Application and Interpretation. Economic Geology Report 31, Geological Survey of Canada.

Lavandero, R., J. Montenegro, L. Nuñez y J. Hernández (1989) Yacimientos Minerales Sólidos. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. Cuba. 196 p.

Lexico Estratigráfico de Venezuela (1970) ministerio de Minas e Hidrocarburo. Bol. Geol.; Publ. Esp. N° 4, Caracas, Venezuela 728 p.

Lovborg, L. (1982) Monitoring of Pads in Various Countries for the Calibration of Portable and Airborne Gamma Ray Spectrometers. Riso- N- 02-82, 35p.

Lovborg, L. (1984) The Calibration of Portable and Airborne Gamma Ray Spectrometers – Theory, Problems and Facilities. Riso-M-2456. Geol. Survey Canada. 207p.

Lovborg, L., R. L. Grasty y P. Kirkegaard (1977) A Guide to the Calibration Constants for Serial Gamma-Ray Survey in Geoexploration; American Nuclear Society Symposium on Aerial techniques for Environmental Monitoring, Las Vegas.199 p.

Lovborg, L. y P. Kirkegaard (1974) Response of 3"x3" NaI(Tl) Detectors to Terrestrial Gamma Radiation, Nuclear Instruments and Methods, North-Holland Publishing Co. 121: 239-251.

Lovborg, L. y P. Kirkegaard (1975) Numerical Evaluation of the Natural Gamma Radiation Field at Aerial Survey Heights. Riso Report 317 p.

Lugo, J. (1982) Geología de una zona situada al norte de San Sebastián de los Reyes, Estado Aragua. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito. 241 p.

Maguregui, J. (1982) Geología de una zona situada al este de Villa de Cura Estado Aragua. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito. 202 p.

Martínez, N. y L. Camposano, (2000) Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas de las formaciones Barco y Mirador, San Pedro del Río, Edo. Táchira. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito. 198 p.

**Navarro, E. (1983)** Geología y petrogénesis de las rocas metavolcánicas del Grupo de Villa de Cura. Geos, U.C.V., Caracas. 28: 170-317.

Navarro, E. (1985) Geoquímica de las lavas piroxénicas del Grupo de Villa de Cura. Mem. VI. Congr. Geol. Venezolano, 3: 1944-1964.

Navarro, E., J. Maguregui, y J. Lugo (1982) Algunos aspectos sobre la geología del Grupo Villa de Cura. ASOVAC, Caracas, Nov. 1982, Resumen.

Navarro E., M. Ostos y F. Yoris (1988) Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte-central de Venezuela durante el Jurásico medio-Paleógeno. Acta Científica Venezolana, 39: 427-436 p.

**Ostos, M. (1990)** Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos. Geos, Caracas. 30: 1-294.

Orihuela, N. (1983) Radioactividad Terrestre. Guía. Geografía General, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. 29 p.

**Park, C. y R. Macdiarmid (1981)** Yacimientos Minerales. Ediciones Omega, S. A. Casanova, 220 p. Barcelona. España.

Piburn, M. D. (1968) Metamorfismo y Estructura del Grupo Villa de Cura, norte de Venezuela. Bol Geol., Caracas - Venezuela. 9 (18): 183-290.

**REDEMI (1976)** Investigaciones sobre la aplicación de los métodos geofísicos en la evaluación de los yacimientos minerales de Cu y Zn. Zona La Providencia y Santa Isabel. Edo. Guárico. Informe Técnico Proyecto N° 85.

Rodríguez, I. (1983) Geoquímica de las rocas metavolcánicas del Grupo Villa de Cura al norte de San Juan de los Morros. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Inédito. 189 p.

Rodríguez, S. (1971) Lentes de Barita en el Grupo Villa de Cura, Bol. Soc., Ven. Geol., Caracas 59-69 p.

Rodríguez, S. (1977) Halos de alteración asociados con sulfuros masivos ubicados en el Complejo Villa de Cura. Memoria V Congreso Geológico Venezolano, Tomo III, p. 1, 083- 1. 101.

Rodríguez, S. (1978) Aspecto Metalogénico del Grupo Villa del Cura, Venezuela Central. Bol. Inf. Asoc. Venez. Geol. Min. y Petrol. 14 (7, 1): 166-189.

Sánchez, P. G. (2001) Introducción a la física de la radioterapia, Unidad de Radiofísica, Hospital Central de Asturias, España. 26 p.

Schlumberger Surencó S. A. (1980) Evaluación de Formaciones en Venezuela. Sección III-b: III-14 – III-15.

Segovia, V. (1974) Naturaleza. Omega. Madrid. España 5, 107 p.

Serrano, M. (1982) Geología de una zona situada al norte de San Juan de Los Morros. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito. 255 p.

Shagam, R. (1960) Geología de Aragua Central, M.E.M. Congreso Geológico Venezolano. Bol. Geol. Publicación Especial N°3, Tomo 11, pp. 574-675.

SPSS Inc. (1999). SPSS version. 10. 0. [Programa].

Talukdar S. y D. Loureiro (1982) Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: metamorfismo y deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas. Geos, Caracas, 27: 15-76.

TN Technologies Kay-Ray/Sensall (1999) Trabajando en forma segura con medidores nucleares. 26 p.

Trujillo, I. (1993) Fundamentos de Espectrometría Gamma en Recursos Minerales. Dirección de Geología, Ministerio de Energía y Minas. Informe Interno. 29 p.

Uhley, R. P. y L. Scharon (1954) Gravity Surveys for Residual Barite Deposits in Missouri. Mining Engineering. 6 (1): 52-36.

UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1988) Exposure from Natural Sources of Radiation. Folleto Informativo 35 p.

Urbani, F. (1976) Ensayo de prospección geoquímica en el Parque Nacional El Ávila, norte de Caracas. U.C.V., Facultad de Ing. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Dpto. de Geología. Caracas. Inédito. 126 p.

Zerpa, L., V. García y A. Franco (1997) Memorias del VIII Congreso Geológico Venezolano., Soc. Venezolana de Geol. Tomo II, 545-553, Noviembre 1997.

## **APÉNDICE A**

### **EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS**

**A-1 MANUAL GR-650**

**A-2 MANUAL GR-256**

**A-3 GPS**



## **APÉNDICE A-1**

### **MANUAL GR-650**

## INSTRUMENTOS PARA LA APLICACIÓN DE LOS METODOS RADIMETRICOS

### INTRODUCCIÓN

En la exploración geofísica minera, es frecuente emplear varios métodos geofísicos para aprovechar al máximo posible las diferentes propiedades físicas de los constituyentes de las masas minerales ocultas. Entre estos están los métodos radiométricos, los cuales no se limita sólo a la búsqueda de menas de metales radiactivos o de minerales asociados a ellos (yacimientos de placeres de titanio o zirconio, berilio, yacimientos de sales potásicas, fosforita, ciertos minerales metálicos paragenéticos del uranio), si no, que pueden aplicarse con ventajas considerables en investigaciones geológico-estructurales.

Las exploraciones de radiactividad, llevadas a cabo en tierra y desde el aire, miden la radiación natural de la tierra. **Los contadores Geiger, de centelleo y espectrómetros de radiación gamma** se usan en la búsqueda de menas de uranio, de metales raros, de potasio y de otros materiales radiactivos.

### 1- CONTADOR GEIGER

Un contador Geiger es un dispositivo empleado para detectar la presencia y la intensidad de una radiación. Está formado por un tubo lleno de gas a baja presión, que actúa como cámara de ionización. Uno de los primeros detectores que se empleó en física nuclear fue la cámara de ionización, que está formada esencialmente por un recipiente cerrado que contiene un gas y dos electrodos con potenciales eléctricos diferentes. Según el tipo de instrumento, los electrodos pueden ser placas paralelas o cilindros coaxiales. Otra posibilidad es que las paredes de la cámara constituyan uno de los electrodos, siendo el otro un alambre o varilla situado en su interior. Las cámaras de ionización adaptadas para detectar las partículas individuales de radiación ionizante se denominan contadores. Su principio de funcionamiento consiste en un circuito eléctrico, el cual mantiene un campo eléctrico intenso entre las paredes del tubo y un alambre fino situado en el centro del mismo. Cuando las partículas cargadas, a elevada velocidad, procedentes de una fuente radiactiva colisionan con los átomos del gas del tubo, los ionizan y generan electrones libres, que fluyen por el alambre central y crean un pulso eléctrico que se amplifica y se cuenta electrónicamente. Además, los pulsos producen un sonido semejante a un chasquido.

Un tipo diferente de detector, el contador de descarga, fue desarrollado a principios del siglo XX por el físico alemán Hans Geiger a partir de un instrumento inventado por él mismo y por el físico británico Ernest Rutherford; este instrumento fue mejorado por Geiger y por el físico

estadounidense de origen alemán Walter Müller en 1928. En la actualidad se conoce como contador Geiger-Müller, o simplemente contador Geiger. A pesar de su pequeño tamaño y fácil manejo, ha sido sustituido en la mayoría de los casos por contadores de estado sólido más rápidos y prácticos, como el contador de centelleo.

## **2- CONTADOR DE CENTELLEO**

El contador de centelleo fue desarrollado alrededor de 1947 por el físico estadounidense de origen alemán Hartmut Paul Kalimann y otros. El contador de centelleo o cintilómetro se basa en los destellos luminosos que producen las partículas ionizadas al atravesar determinados cristales y líquidos orgánicos. se sustenta en la ionización producida por partículas cargadas que se desplazan a gran velocidad en determinados sólidos y líquidos transparentes, conocidos como materiales centelleantes. La ionización produce destellos de luz visible. Los gases argón, criptón y xenón producen luz ultravioleta, por lo que no se emplean en los contadores de centelleo. En los primeros años de la década de 1900 se inventó un dispositivo de centelleo primitivo conocido como espintariscopio, que tuvo una importancia considerable en el desarrollo de la física nuclear. Sin embargo, el espintariscopio exigía contar los centelleos manualmente. La poca fiabilidad de este método hizo que los físicos utilizaran otros detectores, entre ellos el contador de Geiger-Müller. El método de centelleo resurgió en 1947, al colocar el material de centelleo delante de un tubo fotomultiplicador, un tipo de célula fotoeléctrica, los destellos de luz se convertían en pulsos eléctricos que podían amplificarse y registrarse electrónicamente.

Como material de centelleo se emplean diferentes sustancias orgánicas e inorgánicas, como plástico, sulfuro de zinc, yoduro de sodio o antraceno. Algunas sustancias reaccionan mejor que otras a determinados tipos de radiación, por lo que hay instrumentos muy diversos. En numerosos campos de la investigación actual, el contador de centelleo resulta superior a todos los demás dispositivos de detección. Ha sustituido al contador Geiger en la detección de trazadores biológicos y en la prospección de minerales radiactivos. También se emplea en la investigación de partículas elementales.

### **DIFERENCIAS ENTRE CINTILÓMETROS Y CONTADORES GEIGER**

1. A diferencia de los contadores Geiger, los cintilómetros de rayos gamma tienen una “eficiencia detectora” de rayos gamma muy elevada, generalmente hasta un 50% y aún aproximadamente al 100% para algunas frecuencias de rayos gamma de 5, 8 y 12.
2. Los cintilómetros tienen una elevada velocidad de contaje.
3. Los contadores Geiger, tienen buenos resultados en los trabajos de reconocimiento.

4. Los cintilómetros son más sensibles para exploración radimétrica.
5. Los contadores Geiger requieren lecturas de un minuto o más, para que sean exactas, pero la sensibilidad de los cintilómetros reduce el tiempo de lectura a unos cuantos segundos.

#### **4- EL ESPECTRÓMETRO DE RADIACIÓN GAMMA / EL DETECTOR DEL RAYO GAMMA**

El líquido ionizante del cintilómetro, es un químico especial que es capaz de convertir la energía perdida por la radiación en los impulsos pequeños de luz, este líquido es de fósforos, en muchos cintilómetros diferentes, cada uno con las características específicas. Otro de los usados ampliamente, y el mejor para esta aplicación es el talio-activado del ioduro de sodio, NaI. La ionización de la radiación pueden ser en forma de gamma, alfa o beta, partículas visible que impulsos ligeros generados por el fósforo, por ejemplo, son detectados por un tubo del fotomultiplicador (PMT).

Las características ópticas del PMT emparejan las características ópticas de la luz. Por consiguiente, ellos son compatibles. La función del PMT es convertir la luz en los impulsos eléctricos, éstos se procesan entonces con la electrónica. El material tiene un número atómico alto, ( $SG = 3.2$ ). Además tiene la eficacia luminiscente más alta que produce impulsos ligeros grandes o las amplitudes grandes para la energía baja las interacciones del rayo gamma.

El talio (TI) es un material inorgánico, sumamente higroscópico y es relativamente frágil cuando es sometido a golpes mecánicos severos o las variaciones de temperatura grandes. Se fabrica en una forma de cristal, usando un sistema óptico especialmente desarrollado y en recipientes fuertes a prueba de humedad. La característica de los impulsos ligeros es que ellos contienen la información dentro de sus amplitudes, anteriormente las amplitudes de la luz, resultantes de los impulsos eléctricos, es la suma de una moda al azar, donde las amplitudes de cada impulso eléctrico son directamente proporcionales al rayo gamma incidente que se depositó en el cristal.

El detector descubre virtualmente toda la radiación gamma a que es expuesto. En el ambiente del ion terrestre, la energía del rayo gamma va del cero a 3000 kev. Este es el rango de datos que ocurren los isótopos de la radioactividad natural, como el uranio equivalente eU del uranio-238, torio-232 y potasio-40. La probabilidad de un rayo gamma sea absorbido por el cristal depende de la geometría del detector, ésta probabilidad de detectar el rayo gamma es mayor cuando los rayos gamma emiten energía baja. Un análisis del fotón gamma es que el espectro indica que los aumentos de proporción de cuenta van de un extremo alto de energía al extremo

de energía bajo. En general, la proporción de la cuenta contra la curva de energía es exponencial.

Cuando un rayo gamma entra en el detector y pasa para chocar con un electrón dentro del material de cristal, puede impartir una porción de su energía al electrón. Debido a la colisión, el rayo gamma pierde alguna de su energía inicial. Esto produce un rayo gamma con un más bajo nivel de energía. Esto aumenta la probabilidad de ser totalmente absorto por el cristal. Este fenómeno se llama dispersión Compton.

Un espectrómetro determina y mide las características de las componentes de un espectro. Un espectrómetro posee cuatro componentes básicos: un foco productor del haz de radiación o de partículas que se va a investigar; un analizador que separa el haz de acuerdo con las propiedades que se desea analizar; un detector que mide su cantidad y un elemento que registra los resultados en forma de gráfica, diagrama o fotografía. Los espectrómetros son instrumentos que generan, analizan y registran espectros.

Un espectrómetro de radiación gamma es una combinación de un detector de centelleo, que produce pulsos eléctricos debido a los fotones gamma que inciden en el detector, y un analizador de altura de pulsos que es capaz de diferenciar pulsos eléctricos de diferente amplitud y contar el número de pulsos que existen para cada una. Los datos obtenidos en el espectrómetro se expresan usualmente como tasa de conteo en función de la energía. Estos datos espectrales pueden analizarse para determinar que radionucleidos contribuyen al espectro (análisis cualitativo) y cuánta actividad hay de cada componente (análisis cuantitativo).

#### **4- DETECTORES DE TRAZAS**

Los detectores que permiten a los investigadores observar las trazas que deja a su paso una partícula se denominan detectores de trazas. Las cámaras de destellos o de burbujas son detectores de trazas, igual que la cámara de niebla o las emulsiones nucleares. Las emulsiones nucleares se asemejan a emulsiones fotográficas, pero son más gruesas y menos sensibles a la luz. Al atravesar la emulsión, una partícula cargada ioniza los granos de plata a lo largo de su trayectoria. Estos granos adquieren un color negro cuando se revela la emulsión y pueden estudiarse con un microscopio.

## **SISTEMA DE DETECCIÓN AUTOTRANSPORTABLE GR-650**

**Versión 1VO – 1995**  
**Modelo: GR-650**  
**Serial: 1603**

### **MANUAL DE OPERACIÓN**

### **DEL EQUIPO DE ESPECTROMETRÍA DE RADIACIÓN GAMMA**



**EXPLORANIUM-GR650**

## FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO GR650

### 1- INFORMACIÓN GENERAL

A diferencia de equipos convencionales limitados a una o cuatro ventanas, permanentemente localizadas en el espectro, para realizar mediciones de radiactividad gamma de isótopos de U, K y Th, el **GR650** permite seleccionar ocho ventanas con el ancho de canal deseado y ubicarlos en cualquier del espectro, permitiendo así establecer las regiones de interés (**ROI**) y separarlas del resto de los 256 canales.

La serie de GR-650, integra la radiación del rayo gamma que supervisa los sistemas para la medición de la radiación artificial y natural. Los sistemas se diseñan para una fácil instalación en los vehículos, avión o helicópteros.

Los sistemas proporcionan:

- Un tiempo-real que supervisa el operador en el sistema se despliega indicando las fluctuaciones de radiación de fondo normales así como los cambios anormales en la radiación natural o artificial.
- Un GPS basado en el sistema de la navegación, mantiene la información de la posición en la medida de la radiación.
- Un sistema magnetofónico que graba los datos espectrales junto con los datos del GPS de navegación.

El GR-650 es un sistema integrado de monitoreo de radiación, como se indicó anteriormente que puede ser usado para vehículo o instalado en helicópteros / aviones para la vigilancia aerotransportada. En el vehículo el sistema **detecta radiación** y **almacena espectros** en el sistema computarizado, al mismo tiempo le permite al usuario una variedades de visión o exposición de datos: radiactividad vs localización, cartas de registros, la corrida del espectro de rayos gamma y estatus del GPS incluyendo vista de satélites. En el campo los sistemas pueden ser usados para procesar la data, que proporciona una capacidad comprensible de los datos procesados.

El sistema se presenta en varios modelos, a continuación se describe brevemente el que posee la **Unidad de Geofísica del Instituto:**

GR-650 incluye

- ❖ El monitor pantalla grande de CRT
- ❖ 486/33 computador industrial
- ❖ El espectrómetro portátil GR-256
- ❖ Detector GPX-256 - 256 cu ins
- ❖ El Sistema Integrado de Navegación GPS

**a- El espectrómetro portátil GR-256**

El Exploranium GR-256 es un espectrómetro portátil, que se usa para controlar el detector y tiene un rendimiento de los 256/512 datos de espectro de cada canal a la computadora de datos de sistema. La ganancia de la señal del espectrómetro es controlada automáticamente desde el sistema de la computadora.

**b- El detector**

El Exploranium GPX-256 es un sistema del detector de ioduro de sodio de 256 pulgadas cúbicas (4L) es un empaque especial a prueba de tiempo, conveniente para la montura externa en el vehículo. El aislamiento térmico interior protege el detector de las condiciones climáticas.

**c- El sistema de navegación GPS**

El sistema de GPS se integra en la computadora y tiene ocho (8) receptores del canal con 40 segundos "tiempo de on" de cierre. El sistema se configura automáticamente a los satélites disponibles en una área dada. La pequeña antena de ganancia está normalmente colocada en el techo del vehículo.

**d- El sistema de la computadora**

El sistema de la computadora está especialmente diseñado para resistir grandes cargas y la vibración que puede experimentarse en un vehículo. El sistema también es totalmente impermeabilizado para resistir a menudo las condiciones prevalecientes en el funcionamiento del vehículo. El sistema proporciona a una computadora de 486D X 33 Mhz, un micro-procesador de 85 unidad de disco duro de Mb y 1.44 unidad de disco de Mb. El monitor es totalmente de color , de rasgos VGA 14 y excelente CRT.

**e- El Sistema ensamblando**

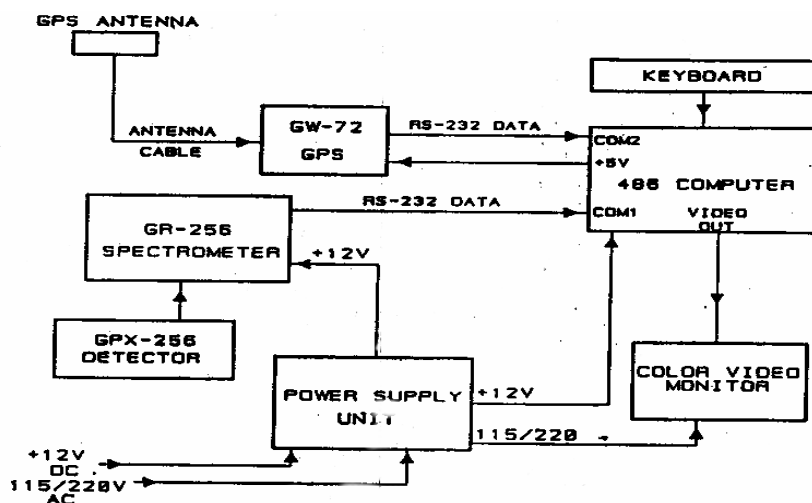
El sistema entero (excepto el detector) está montado en un ensamble especialmente diseñado con el frente intercambiable adelante y atrás. Las tapas protegen el sistema durante el almacenamiento y enviando. La cubierta tiene la montura de protección interior especial y es totalmente hermética para las fases de trabajo por avión. Incorpora un sistema de poder integro de 12V/115/220V para el funcionamiento en vehículo, avión o laboratorio. Todos los componentes se integran en un paquete que puede instalarse fácilmente montado en la capota de un vehículo. Este método compacto permite instalar el sistema en literalmente segundo en la mayoría de los vehículos. El detector está normalmente montado en el techo del vehículo, pero también puede colocarse dentro si la seguridad es la preocupación.

El sistema se proporciona totalmente calibrado para que una vez instalado, esté listo para usar. Después del ON, el sistema verifica la actuación del detector automáticamente para asegurar que el sistema está totalmente funcional. La computadora tiene un color fuerte para proteger y el usuario normalmente supervisa la situación de los datos de la radiación. El usuario puede seleccionar los isótopos específicos para supervisar si se requieren las funciones de la búsqueda especiales. El sistema de navegación GPS, es totalmente automático y cuando entra en funcionamiento, el sistema anota los datos del espectro automáticamente, más la ubicación y tiempo en el disco.



## 1.1- CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE:

El diagrama de bloque del sistema se muestra en el esquema N° 1

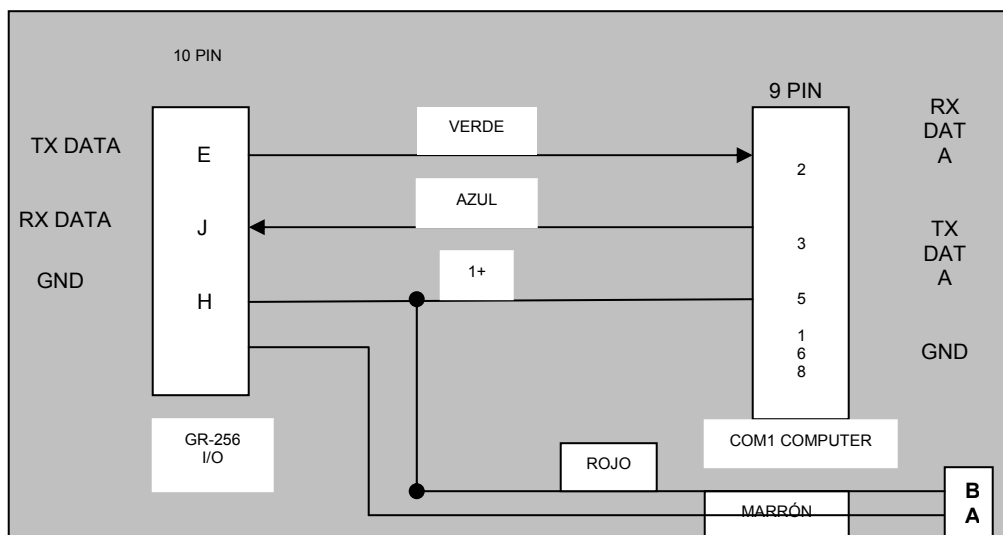


Esquema N° 1: Diagrama de bloque del sistema

## 1.2- SISTEMA CABLEADO PARA EL GR650:

El sistema cableado es como sigue

- **Para el CRT:** AC el poder de entrada a la unidad de poder (bajo). El cable señalado (15 pin) desde la computadora.
- **Para el COMPUTADOR:** el cable video (15 pin). AC entra de la unidad de poder (bajo). COM1 (9 pin) - hacia GR-256 I/O, esquema N° 2. COM2 (9 pin) –A la unidad del GPS.
- **GPS:** El cable señalado (9pin) hacia COM2 del computador. La antena entra a un cable coaxial a el GPS.
- **GR-256:** El cable señalado (6 pin) va a la GPX del detector ensamblado. I/O al conector a la unidad de poder y Com1 del computador.
- **LA UNIDAD DE PODER:** Dos (2) pines conectores largos = DC entrada. AC y DC salida.



Esquema N° 2: Cableado del espectrómetro GR-256 al computador del sistema.

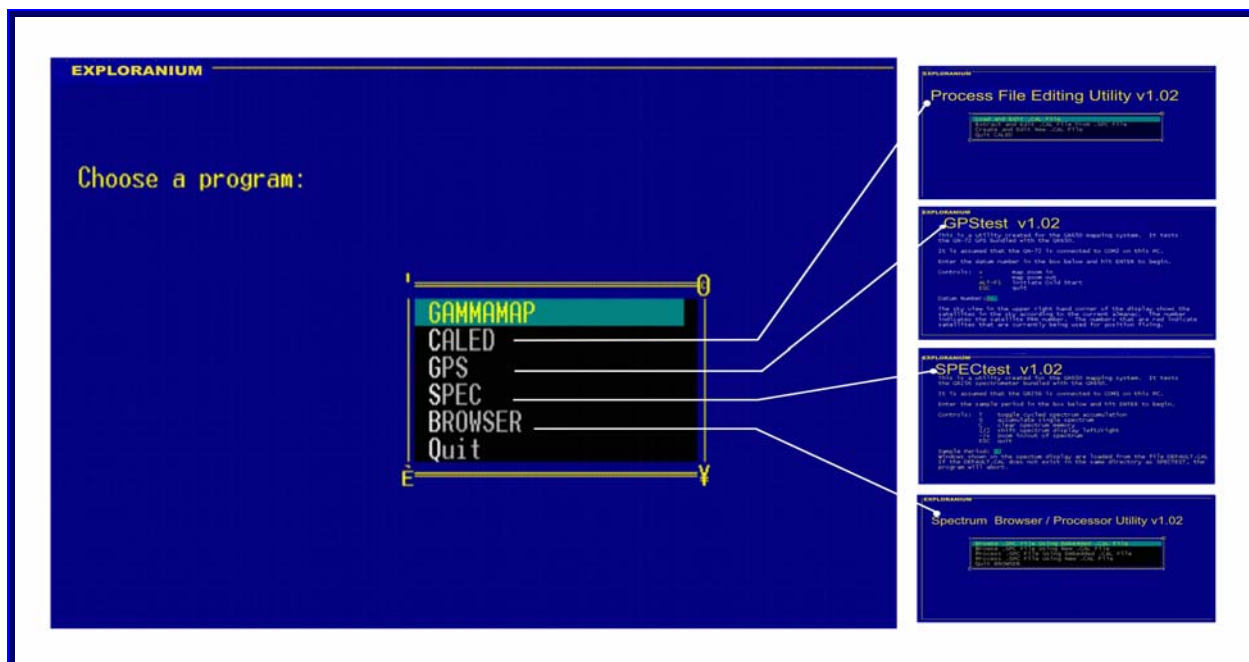
## 2- SISTEMA DE OPERACIÓN:

El equipo en su conjunto tiene dos modos de funcionamiento:

- 2.1- En modo monitor se trabaja solo con el espectrómetro. (Apéndice A-2)
- 2.2- En modo remoto el equipo en su totalidad esta controlado por el computador.

### 2.2- SECUENCIA DE TRABAJO EN MODO REMOTO

- 1) Presionar en el panel frontal el botón de la fuente de energía.
- 2) Activar el computador.
- 3) Activar el monitor habiendo seleccionado los parámetros correspondientes al modo remoto.
- 4) Encender el espectrómetro
  - **Power on** y luego hacer lo siguiente:
  - Pulsar **SHIFT USER 8** escribir 9600 y luego pulsar **STORE**.
  - Pulsar **SHIFT REF CH** escribir 55 (para preestabilizar el espectrómetro) y luego pulsar **STORE**.
  - Pulsar **SHIT REMOTE** se debe ver en la pantalla del espectrómetro dos símbolos señalando el modo remoto.
- 5) Al encender el computador, se entra directamente al directorio de trabajo GR650, C:\GR650> se escribe GR650 **ENTER**, aparece las opciones de menú (Esquema N° 3), se selecciona las opciones de Test para el GPS y el espectrómetro y posteriormente la opción **GAMMAMAP** para iniciar el monitoreo de la zona.



Esquema N° 3: Representación en pantalla de los programas ejecutados por el GR-650

Mientras dure la exploración, los datos se examinan en una proporción seleccionable (normalmente 5 segundos) y el usuario puede seleccionar y ver los datos aumentando en tres maneras y proyectar entre

ellos usando una sola llave. Generalmente el tiempo de grabado de datos no debe ser demás de una (1) hora de cargado, ya que es un micro-procesador de 85 Mb unidad de disco duro.

**3- GAMMAMAP:** Es el menú principal. Luego de preestabilizar el sistema en el canal del Cesio 55, colocando la fuente de Cesio cerca del detector (aproximadamente 6" en la cima). Se presiona **START** por un segundo y aparecerá **STAB** por poco tiempo y comenzará la regresión del tiempo seleccionado en la muestra (10 segundos). Al finalizar aparece **STOP** se aprieta y se remueve la fuente de cesio. Al seleccionar **GAMMAMAP** se verá lo representado en el esquema N° 7. Primeramente se presenta los valores predefinido en la entrada con el sistema y se guarda en un **"VALOR POR DEFECTO (DEFAULT)"** en el disco. Si el usuario está satisfecho con la selección, use la tecla **PgDn** para ir al fondo de la pantalla y entonces dar **ENTER** para terminar en la próxima pantalla.  
(El usuario puede terminar esta pantalla con **ESC** y regresar al menú anterior)

El sistema sale a una nueva pantalla: Pantalla del estudio. Esta pantalla permite al usuario conocer la información principal, y sobre los nombre de los archivos de los datos :

- **TÍTULO DE ARCHIVO DE RENDIMIENTO: TESTA**
- **NÚMERO DE LA LÍNEA: 001**
- **MEMORÁNDUM**
- **NOMBRE DEL ARCHIVO TOTAL: TESTA001.SPC**

Cuando se presiona **ENTER** se sale de la **PANTALLA del ESTUDIO**, el sistema está ahora listo para empezar a adquirir la data, seguidamente aparece:

- **Empiece Cartografiar la sesión**
  - **OK**                      **CANCELACIÓN**
- 

El usuario puede mover entre estas opciones apretando el comando correspondiente. Si presiona cancelación, el sistema se devolverá al menú anterior. El programa automáticamente selecciona **OK**, mientras presiona **ENTER** el programa empezará el estudio.

El sistema chequea el GPS y el espectrómetro **GR-256** que estén funcionando. Una serie de mensajes aparece en la pantalla. Cada sesión es visible para 2 segundos, estos mensajes son:

- **INICIALIZANDIO EL SISTEMA GPS**
- **GPS REGISTRANDO LA PRUEBA**
- **GPS PASADO LA PRUEBA**
- **REALIZANDO CALIBRACIÓN DEL GR-256**

Si el sistema encuentra algún problema con el GPS o con el espectrómetro, aparece en pantalla el error. En caso contrario, se presiona **OK**, y el sistema está llevando acabo la adquisición de los datos. Primeramente el sistema examina el espectrómetro **GR-256** y los datos de **GPS**, ahora examine la

proporción del canal del espectro gamma completo y los datos de Lat./ Long se graba en el disco bajo el nombre del archivo seleccionado.

Se muestra el **despliegue del mapa**. Esta pantalla muestra los despliegues de los datos de la **posición real (AMARILLO)** y el **parámetro de la radiación** seleccionado (**ROJO**). En la **pantalla del parámetro**, el **parámetro de la radiación** se seleccionó como **URANIO** a un nivel del umbral de 5ppm. Así si los datos del canal de **URANIO** exceden a 5ppm en los puntos o lugares de la exploración en la zona de estudio de la situación, de **AMARILLO** cambian a **ROJO**.

Cuando el sistema está corriendo en el modo **ANÁLISIS**, presionando **F<sub>2</sub>** muestra el despliegue del **registrador de mapa**. Este despliegue presenta 4 archivos del mapa de la muestra seleccionado. Los 4 parámetros se seleccionan en el archivo de la **CALIBRACIÓN**, cada "mapa" analógico es ajustado automáticamente y las escalas son presentadas en la parte superior del mapa (Esquema N° 7). Los incrementos de la escala son 5, 10, 50, 1000 500, 1000, 5000, 10000 conteos / segundos,. Cada cierto tiempo el "mapa" analógico cambia su condición actual, incrementa automáticamente a la próxima escala más alta y los datos son ajustados a dicha escala. Los mismos parámetros que se mostró en el **despliegue del mapa** se presenta en las cajas laterales izquierdas.

El **despliegue del espectro** se puede observar cuando el sistema está corriendo en el modo **ANÁLISIS**, presionando **F<sub>3</sub>**. Este despliegue muestra la **corrida del promedio del espectro** (como fue seleccionado en el la **pantalla de parámetro**). Las ventanas seleccionadas en el archivo de la **CALIBRACIÓN** son definidas y resaltadas y el pico actual usado para la **ESTABILIZACIÓN** es marcado. Este despliegue es a menudo útil para ver la funcionamiento de la estabilización o para ver cualquier nuevo pico sobre el espectro. Al espaciar las barras entre una **LOG** y una parcela **LINEAL**, se observa de la siguiente manera:

- + un zoom muestra el despliegue espectral **IN** - máximo = 256 canales
- un zoom muestra el despliegue espectral **OUT** – mínimo = 10 canales
- > mueve el rango del zoom seleccionado a la derecha
- <- mueve el rango del zoom seleccionado a la izquierda

La escala de la parte superior muestra el número del canal como se seleccionó en el **parámetro de pantalla** y la escala de la mano derecha es ajustada automáticamente en conteos / segundos. En la esquina superior está el formato seleccionado en este caso el promedio de la corrida de 5 espectros.

El programa de la calibración es **CALED**, se selecciona presionando **C**, desde el menú principal en el sistema DOS, introduciendo **CALED**. Se puede escoger las siguientes alternativas:

- ❖ **Cargar y editar. En el archivo CAL**
- ❖ **Extraer y editar. En archivos CAL. SPC**
- ❖ **Crear y editar un nuevo. Archivo CAL**
- ❖ **Salir de CALED**

La matriz de la calibración: Éste es una tabla que consta de cuatro secciones. En la parte superior **WINDOW**, se presenta la posición numérica de las **ROIs**, seleccionadas en el espectro de rayos gamma. Se coloca una variable alfa numérica, como los nombres de los radioelementos, ejemplo: K (potasio), U (uranio), etc., están en una matriz de 8\*8. Seguidamente se ubican los límites inferiores y superiores de las ventanas de interés y el fondo (background) es el dato del fondo computado para cada cauce. Para las calibración de los datos se usa, **VENTANA DE CONTEOS** y una matriz los aplica. Donde, **VENTANA DE CONTEOS** = [(conteos bruto) / tiempo de muestreo] - Fondo. Estos datos se computan para cada ventana definida anteriormente.

A continuación se presenta un **BLOQUE DE PARÁMETRO**. Este bloque consta de 3 líneas, se usa para identificar la **pantalla del parámetro** y así por desplegar unidades de medida, cualquier etiqueta conveniente puede usarse para satisfacer la aplicación de los usuarios. Primero el nombre, se usan los nombres asignados aquí para etiquetar el **registrador del mapa**. Luego las unidades, las cuales se asignan para satisfacer los resultados de los datos de la matriz de la calibración. Típicamente para K (potasio) las unidades son %, para U y Th las unidades ppm y para Cuenta del Total normalmente la salida es como cts/seg.

Seguidamente está la **MATRIZ DE PARÁMETRO**. Es una selección que contiene una matriz 8 x 8 usada para "Diferenciación o desprendimiento" de los datos de efectos del interferencia, también como la aplicación de las constantes de sensibilidad. Cada fila corresponde a una ventana y cada columna corresponde a un parámetro. Cada parámetro es definido como un combinación lineal de los valores de las ventanas seleccionadas.

Por último se tiene el **MEMO**, donde se define el campo del archivo que se usa para introducir las notas sobre la matriz. Para terminar se sale de **CALED**, presionado **Esc**. El usuario puede cambiar entre las opciones **OK** o **Cancel**. La matriz de calibración puede ser modificada por el usuario para supervisar las **ROI / CANALES** especiales, según sea requerido.

Exploranium proporciona el sistema con un juego especial de constantes de la calibración en el matriz (usuarios que requieren ayuda adicional pueden pedir los servicios de especialistas de Exploranium para ayudar en este procedimiento difícil, para asegurar que el sistema se calibre correctamente para los requisitos específicos de los usuarios).

Durante la calibración del sistema en la fábrica, las crestas de la estabilización correctas son las medidas para POTASIO (K), URANIO (U) y TORIO (Th) y éstos se listan en la hoja de calibración de sistema proporcionada con el detector. Si el usuario no puede localizar esta hoja de la calibración, puede usar la estabilización que alcanza el máximo y la ventana normal listada debajo.

▪ **LOS CANALES DE PICO DE ESTABILIZACIÓN NORMALES**

K = 108; U = 142; TH = 196

▪ **ROIS NORMAL**

K = 100-120; U = 140-160 y TH = 190-210

**4- ESPECTROMETRO.** Ésta es una utilidad por probar el espectrómetro de GR-256. Esta unidad es controlada por el teclado del panel de fachada, el cual consta de 17 botones eléctricos. Muy poca presión es requerida para oprimir o pulsar cualquiera de los botones y un sonido también como una regeneración táctil confirma la depresión de la tecla. La unidad completa ha sido diseñada hermética al agua. Las ventanas normales son fijas para los isótopos natural, Potasio, Uranio y Torio así como se selecciona isótopos artificiales como el Cesio, Cobalto, el Yodo, el etc. El sistema también computa especialmente las varias proporciones para perfeccionar la sensibilidad por las aplicaciones de la búsqueda (usando experiencia ganada en Cosmos-954, etc.). Los datos de la situación que el GPS produce, se despliega en las coordenadas de UTM, que lo archiva en estructura LAT / LONG. El usuario también puede seleccionar otros parámetros como el isótopo para la estabilización de la ganancia automática, etc.

Se proporcionan los parámetros del sistema normales como los valores por defecto pero los usuarios puede cambiar éstos en la colección de la aplicación. Los espectros van aumentando como que pueden desplegarse un espectro instantáneo. Este rasgo es útil porque permite seleccionar las crestas de interés del espectro. Asegura esta utilidad que el **GR-256** esté fijo en una proporción del baudio de 9600 y se coloca en el modo **REMOTO**. Apretando las teclas siguientes:

- **POWER ON**- Encendido ON el GR-256, el despliegue debe mostrar (-----)
- **SHIFT USER 8**- entonces use la flecha en la tecla codifica para seleccionar 9600 entonces almacena.
- **SHIFT REM** la flecha debe ser visible **REM**

**PANTALLA DE PRUEBA DEL ESPECTRÓMETRO.** El programa se usa por probar el espectrómetro de GR256. Cuando este artículo se selecciona en la pantalla aparece:

SPECtest

Ésta es una utilidad creada para la cartografía del sistema GR650. Prueba que el GR256 este conectado con el GR650.

Se asume que el GR256 está conectado a COM1 del PC.

Entre en el PERIODO DE LA MUESTRA en la caja debajo y presione ENTER para empezar. Los comandos son:

- C- Acumulación del espectro
- [- Aumenta el límite más bajo
- ]- disminuye el límite más bajo.
- Esc - Salida

Periodo de muestreo

#### LA GR256 ERROR PANTALLA

NINGUNA respuesta, del GR256,  
GPS debe ser conectado a COM1  
GR256 debe estar en el modo REMOTO  
GR-256 debe ponerse para 9600 Baudio  
¿Continúe sin GR256? (Y/N/R)

(Y para terminar la prueba, N para dejar el programa, -R para reintentar)

El usuario puede verificar cableado entonces y el estado de GR256.

**5- BROWSER.** Esta sección dá al usuario el acceso a la utilidad BROWSER, el cual permite el reprocesamiento de los datos. Esta opción se selecciona del menú principal, la pantalla siguiente aparece:

**Archivo .SPC que usa el archivo de CAL.** Este selección permite al usuario escoger un archivo de datos (desde los archivos 8.SPC en el directorio especificado), cambia varios parámetros y lo ve de las tres maneras que se ofrecen durante el normal análisis de: el **despliegue del mapa, despliegue de registrador de mapa y despliegue del espectro.**

Antes del análisis se despliega, el usuario se muestra la **pantalla del parámetro** que es idéntico al programa principal de **GAMMAP** pero ciertos parámetros no son cambiables como esto es una repetición de datos ya existentes. Los parámetros **NO** cambiable son:

- **Archivo .CAL:** la selección del menú especifica los **.CAL** archivado, (escoge la segunda opción si el **ARCHIVO.CAL** debe cambiarse).
- La tasa de muestreo: la data fue muestreada a una particular tasa para que reelaborando esto no pueden ser cambiado).
- El número de espectros: en **GAMMAP** un espectro suavizado puede requerirse, pero en el **BROWSER** sólo los espectros individuales se despliegan.
- El programa Estabilizador: sólo aplicable en **GAMMAP**
- El pico de la estabilización
- El umbral de la estabilización

El programa proporciona los despliegues idénticos a los proporcionados por **GAMMAP**, y las mismos órdenes del mando se usan.

**SPC File que Usa el Nuevo Archivo de CAL.** Esta opción es casi idéntica a la anterior y permite revisar a través de un archivo de datos de calibración diferente al otro de calibración con los datos fue grabado originalmente.

**Proceso archivo SPC que usa el archivo cargado CAL File** Esto permite la creación de un archivo **.DAT** en el proceso subsiguiente de un archivo **.SPC**, que usa el archivo **.CAL**, el cual fue incorporado en la creación del archivo inicial de **.SPC**. Note que los archivos **.DAT** creados manda esos archivos puestos entre paréntesis por las posiciones de GPS válidas, ya que el programa interpola las posiciones, pero no extrapola.

**Proceso de archivo. SPC que usa el nuevo archivo de CAL** Esto permite la creación de un archivo **.DAT** para el proceso subsiguiente de un archivo de **.SPC** que usa un nuevos archivos de **.CAL** en lugar del incorporad durante la creación del archivo de **.SPC**. Note que el archivo **.DAT** creado mande esos archivos puestos entre paréntesis por las posiciones de GPS, ya que el programa interpola las posiciones, pero no extrapola.

**Procesamiento de datos-otros.** Esta sección contiene descripciones de una variedad de programas que pueden usarse para llevar variadas funciones en el procesamiento de datos.

**SPEC DUMP** Este programa traza las posiciones (GPS) de todas las líneas del estudio en un bloque de datos dado, en la pantalla CRT y agregan el estudio de números de línea. Este despliegue es muy útil para verificar los fondos del área y los números de línea identifica las líneas de los datos para el proceso subsiguiente. El número de línea se imprime a la salida de cada Línea y el límite de área de estudio se muestra por una caja circundante que despliega el Máximo /Mínimo – Norte /Este. Los archivos de datos y los archivos del programa deben estar en el mismo directorio.

**SPECSTAT.** Este programa despliega que las estadísticas básicas de un grupo de archivos de **.SPC** cubren la pantalla de CRT. Pueden usarse las tarjetas de DOS. Este programa es útil para listar los datos actuales y archivos con bastante información básica para evaluar las líneas del estudio completas, las áreas cubiertas, tamaño de los archivos para el análisis etc.

**SPC2LXF** Este programa convierte los archivos de los datos del formato de **.SPC** acostumbrado por el GR-650 cartografía el Sistema al formato de **.LXF** usado para el procesamiento de los datos en el programa llamado **SurView**. Una pantalla de ayuda puede accederse tecleando el nombre del programa sin los parámetros e instrucciones se contiene en la pantalla de ayuda. El programa de **SurView** es muy útil para trazar perfiles apilados de los datos, sin embargo en los estudios en vehículo, la distancia-recorrido y unidad de tiempo varía substancialmente.

**SPC2TXT** Este programa convierte los archivos de los datos en el **.SPC** acostumbrado por el GR-650 cartografía el Sistema al formato estructura del GR-650 en ETIQUETA delimitada el archivo estándar **TEXT** - designando archivo **.TXT** conveniente para la importación directa a un programa de hoja de cálculo. Los archivos de SPC se convierten en el rótulo delimitando los archivos de texto para cada 256 espectros del espectrómetro de canal con cada 256 espectros de los canales completos separados por un comando de vehículo de retorno / línea de alimentación, esto permite la fácil separación de la hoja de cálculo. Los datos son almacenados en el directorio predefinido a menos que se especifique por otra parte. Una pantalla de ayuda puede accederse tecleando el nombre del programa sin los parámetros.

**SURVIEW.** Este programa de software fue desarrollado por el personal del Geological Survey of Canadá (GSC) y se proporciona con el sistema GR-650 para que el usuario con un sistema de despliegue de perfil apilado. El programa es muy sofisticado e incluye un conjunto completo de instrucciones en un READ.ME archivo de texto..

**SURFER.** Este programa de Software se proporciona con el sistema de GR-650 para proporcionarle la habilidad al usuario de producir los mapas del contorno de los datos de GR-650. El programa se proporciona con la documentación completa.

Pueden usarse las utilidades proporcionadas para trazar los datos y estadísticas del producto de los datos bruscamente en el disco. Los datos se guarda en un formato de **ASCII** que es directamente aceptable a los paquetes de contorneando comunes como el **software Surfer**.



## 6- SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Antes de usar esta utilidad asegure que el GPS esté conectado a la computadora y que la antena esté correctamente conectada (Esquema N° 4). En esta utilidad puede entrarse tecleando "G" del menú principal y se puede entrar desde el MDOS tecleando GPSTEST entonces ENTER.

### 6.1- PRUEBA EN PANTALLA DE GPS:

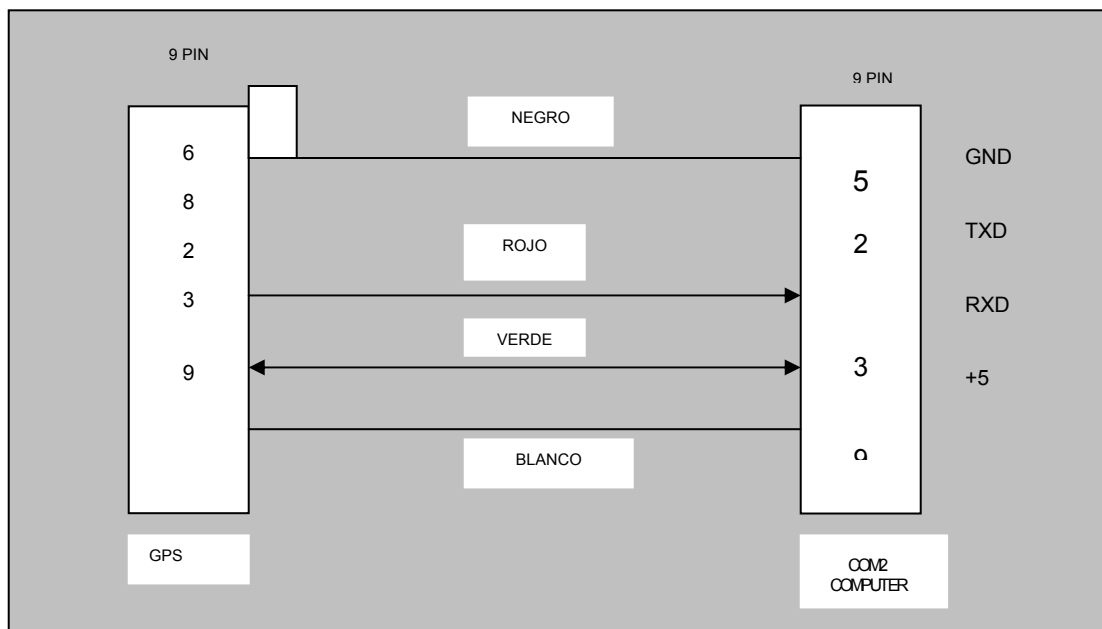
La pantalla siguiente aparece:

#### GPSTEST:

- Esta es una utilidad creada para el mapeo del sistema GR650. Esto prueba el sistema GN-72 del GPS ligado con el GR650.
- Es asumido que el GN-72 esté conectado al COM2 del PC.
- Ingrese el número del datum en la caja y dar ENTER para empezar.
- Los controles:
  - [ = un zoom en el mapa.
  - ] = un zoom fuera del mapa
  - Ctrl-C= iniciada la salida en frío.
  - Esc = salir

#### Las selecciones significan:

- [ = El zoom en el mapa. Cuando la pantalla de mapeo del GPS está corriendo la escala del mapa (la más bajo a la derecha de la caja) puede aumentarse usando estos mandos. Las selecciones son 5,10,50 y 100 Km.



Esquema N° 4: Cableado del GPS

- ] = Para un zoom fuera del mapa o menor.
- Ctrl-C Inicia la salida en frío (borra la memoria de GPS).
- Esc Deje el programa y devuelva al menú antecedido.
- N° DATUM Este programa es usado para prueba del sistema de navegación GPS. El sistema GPS usa las señales de una variedad de arreglos de satélites localizados en la

superficie de la tierra. Hay muchas normas diferentes usadas para esta conversión. En Venezuela se usa el **#153** , entonces se presiona ENTER.

## 6.2- PANTALLA DE DESPLIEGE DEL GPS:

Cuando el despliegue del GPS aparece hay 4 ventanas mostradas que se ven abajo (Esquema N° 5):

### 1. VENTANA I

**PARTE INFERIOR DERECHA:** es un mapa de la posición actual en un punto **XY**. La escala de este mapa puede cambiarse usando “[” y “]” como se mostró anteriormente.

### 2. VENTANA II

**PARTE INFERIOR IZQUIERDA:** es un despliegue de la salida en crudo de los datos del GPS desde la unidad.

### 3. VENTANA III

**PARTE SUPERIOR DERECHA:** es una ventana que muestra las situaciones del satélite (según el dato actual seleccionado), con los satélites en la vista y el usable en los satélites ROJOS y otros en la vista pero inutilizable en BLANCO. La ventaja es que el usuario puede ver si ellos aparecen rectos o alineados.

### 4. VENTANA IV

**PARTE SUPERIOR IZQUIERDA:** es una lista de varios parámetros derivados de los datos del GPS. Éstos son:

**DATE/TIME:** del reloj de GPS (transmitido de la computadora durante un la salida en frío).

**EASTING:** las coordenadas de UTM computaron del GPS la longitud que usa el dato seleccionado, la longitud en los grados, minutos y minutos/1000, derivado del sistema de GPS.



Esquema N° 5: Presentación información del GPS

**NORTHING:** las coordenadas UTM que computaron la latitud de GPS que usa el dato seleccionado, la latitud en los grados, minutos y minutos/1000, derivado del sistema de GPS.

**LA VELOCIDAD:** con que computó los la actualización de los cambios el GPS:

**EI AZIMUT:** el grado de vista de satélites aceptables.

**PDOP:** el grado perpendicular del resumen que usó el GPS diferencial, normalmente 0 en el GR-650.

**HDOP:** el grado horizontal de la preparación del rendimiento computado del GPS como una guía de la actuación del sistema. Para el vehículo los sistemas en este nivel si los normaliza deben ser MÁS BAJO que 6.0 para el funcionamiento correcto. Este parámetro se usa en el estudio para proteger el CRT y cambiar el fondo de color, aconsejar al usuario si finaliza la actuación de GPS que es marginal.

**VDOP:** el rendimiento de la vertical grado de precisión del GPS. Para aplicaciones el GPS diferencial normalmente es 0 en el GR-650.

### 6.3- GPS – SALIDA EN FRÍO

Si el sistema se ha movido más de 300 km desde que fue usado en último lugar los datos del satélite pueden estar en error. En este caso con la exhibición del despliegue anterior, presione **C = SALIDA EN FRÍO**. Esto borrará en la memoria del sistema GIS los datos actuales y empezará una adquisición prolongada dónde el sistema prueba la posición de todo los posibles satélites. Si una salida en frío está en marcha, tiene un mensaje "ningún satélite en la vista" se sobrepondrá encima del despliegue de situación de satélite. Una SALIDA EN FRÍO toma aproximadamente 10 minutos.

### 6.4- NIVELES DEL GPS: BUENO / MARGINAL /MALO

Se selecciona (0-100) el nivel aceptable para **HDOP**. Estos campos están unidos de la siguiente manera:

- ❖ El campo **BUENO** identifica el nivel debajo del HDOP en el cual la posición del GPS se identificará como bueno.
- ❖ El campo **MALO** identifica el nivel sobre el HDOP que en la posición del GPS se identificará como malo.
- ❖ El Valor de **BUENO** siempre es menos que o igual al **MALO**. Si los valores de HDOP son entre la definición de valores **BUENO y MALO**, entonces es un valor marginal. Si duda se selecciona BUENO = 4 y MALO = 6.

### 6.5- LAS PANTALLAS DE ERRORES DEL GPS:

El programa (**GAMMAMAP**) está diseñado para permitirles a los usuarios ejecutar el software con el espectrómetro con o sin el sistema GPS funcionando, lo que permite llevar a cabo una comprobación especial. Para asegurar que estas pruebas especiales no son accidentalmente activadas durante el inicio del programa, el sistema prueba para asegurar que estas unidades estén funcionando correctamente. Sino la pantalla de errores aparece como se detalla debajo: **ERRORES DE GPS:** Si el GPS falla en la pantalla aparece lo siguiente (Esquema N° 6)

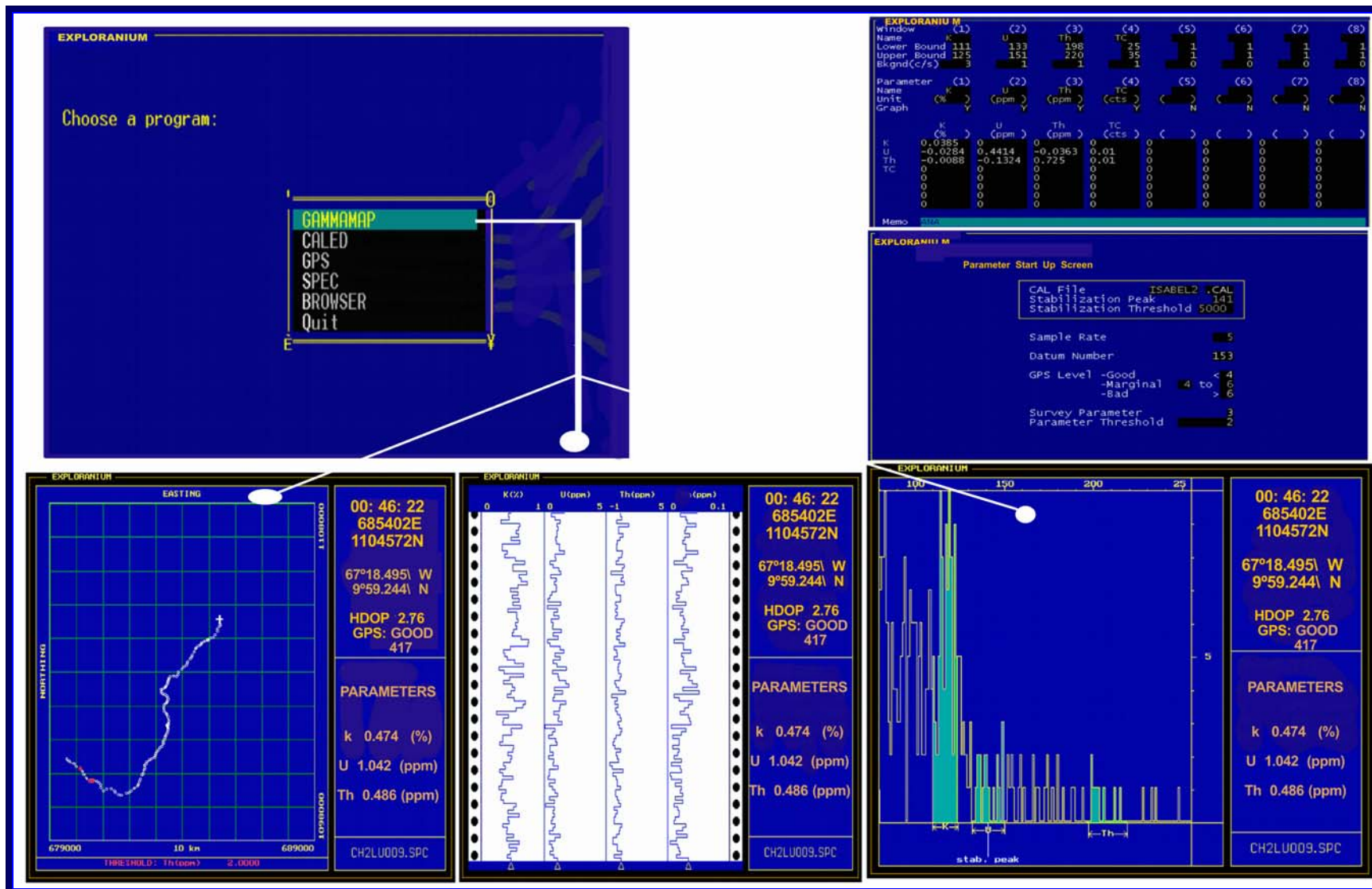
NINGUNA contestación del GPS  
GPS debe conectarse a COM2  
¿Continúe sin GPS? (Y/N/R)  
(Y para reintentar, N para dejar el programa, R para reintentar)

**Esquema N° 6: La Pantalla de errores del GPS.**

## RESUMEN

A continuación se resumen los pasos para ejecutar el programa del **GR650** en la exploración radimétrica, según esquema N° 7:

1. Encender **ON**
2. Correr el programa que controla el sistema, el **GAMMAMAP**
3. Verificar la opción deseada:
  - Opción GPS. Se verifica con un test el estado del GPS
  - Igualmente se hace el test para el espectrómetro
  - Se activa la opción de monitoreo: **GAMMAMAP**
  - En esta opción solicita parámetros de acuerdo a los a utilizar: estabilización, etc.
  - Luego se inicio el monitoreo
4. Se activan la opción de calibración ventanas de interés y las constantes calibración.
5. Los fondos de cada radioelemento, se corrigen en esta Chart o carta de calibración
6. Se procede a verificar la zona radiactiva en U, Th o K, indicado por las características geológicas, geoquímicas o trabajos previos.
7. Luego se trabaja de la siguiente manera:
  - Modo monitor **SHIT REMOTE**
  - El tiempo muerto, para la medición.
8. Archivo en disco duro
9. Al terminar la jornada, se busca la información obtenida, se va BROWSER, se genera el archivo con extensión **SPC**, para graficar en **SURFER** las curvas de contornos. Este archivo **DAT**, muestra los valores de concentración, de actividad de eU, eTh y K; las constantes de calibración o puede utilizar otros.
10. Si se desea utilizar una archivo diferente de calibración se puede hacer en oficina, elaborando el nuevo archivo de calibración y seleccionando en la opción BROWSER en el menú del programa del control del sistema.



Esquema N° 7: Representación en pantalla de los comandos ejecutados por el programa GAMMAP del GR-650.

## 7- MANTENIMIENTO DE EQUIPOS

Se debe tomar en consideración las siguientes recomendaciones para obtener y mantener en buen funcionamiento de los equipos de espectrometría de radiación gamma:

- ✓ Generalmente el tiempo de grabado de datos, en el sistema de detección de radiación gamma **GR650** no debe ser demás de una (1) hora de cargado, ya que es un micro-procesador de 85 Mb unidad de disco duro.

- ✓ Tener pendiente el control de la temperatura, humedad y evitar la exposición a lluvia, ya que afectan los sistemas de la estabilización del espectrómetro cuya respuesta no llega al tubo fotomultiplicador, lo que puede causar variaciones de voltaje que afectan el sistema de respuesta.

- ✓ Para prevenir el funcionamiento incorrecto, Exploranium recomienda que la PRE-ESTABILIZACIÓN se lleve antes de poner el GR-650 en funcionamiento normal. Este procedimiento sólo toma un tiempo muy corto pero asegura que el funcionamiento del sistema es correcto. Una vez que este procedimiento se ha llevado a cabo, la estabilización de ganancia permanecerá precisa durante 2 a 4 horas que se recomienda efectuarse en la salida de la actividad diaria.

- ✓ Vaciar los datos todos los días para evitar falta de disponibilidad de la memoria, lo que conducirá a la no grabación de la data realizada en el día.

- ✓ El GR-650 requiere una entrada de DC al sistema de poder de por lo menos 12.2V para el funcionamiento correcto.

- ✓ Se recomienda verificar el estado del disco, por lo menos una vez al mes

- ✓ La condición de suministro de batería debe verificarse periódicamente con la función de prueba de batería. Tenga el cuidado al poner las células en el recipiente de la batería en la polaridad apropiada. Es importante el chequeo de este recipiente y de los terminales que estén libres de cualquier corrosión.

- ✓ No guarde el instrumento con las células de la batería en el albergue en un tiempo mayor que dos semanas.

- ✓ Se recomienda que la inspección en la electrónica sólo se intente por el personal con extensa experiencia en el campo de la electrónica y un poco de conocimiento de instrumentación nuclear. La alineación y ajuste del sistema son bastante intrincados. En general, el instrumento no debe abrirse a menos que la unidad se haya dañado.

- ✓ Es importante supervisar la estabilidad espectral para asegurar la calidad de los datos ya que puede ocurrir que la temperatura de los cristales cambie o fallas electrónicas que ocurran en el instrumento.

**APÉNDICE A-2**  
**MANUAL GR-256**

## MANUAL DE GR-256

### 1. INTRODUCCIÓN

A diferencia de equipos convencionales limitados a una o cuatro ventanas, permanentemente localizadas en el espectro, para realizar mediciones de radiactividad gamma de isótopos de U, K y Th, el **GR-256** permite seleccionar ocho ventanas con el ancho de canal deseado y ubicarlos en cualquier del espectro, permitiendo así establecer las regiones de interés (**ROI**) y separarlas del resto de los 256 canales.

El **Exploranium GR-256** es un espectrómetro portátil de 256 canales diseñado para registrar y analizar el espectro de rayos gamma. Su arquitectura está basada en un microprocesador y por ello ofrece muchas ventajas nunca antes disponibles en la instrumentación portátil. Los 256 canales están uniformemente distribuidos sobre todo el espectro de rayos gamma, lo que permite el estudio de un completo grupo de fenómenos discretos.

El **GR-256** ha sido diseñado como un instrumento muy versátil para abarcar un amplio rango de aplicaciones tales como: exploraciones radimétricas en tierra para la búsqueda de uranio, exploraciones móviles para la ubicación de yacimientos de hidrocarburos, exploraciones aéreas, análisis de datos de laboratorio, etc. El **GR-256** se suministra normalmente con un detector de 21 pulg3 (0,35 Lt), como se observa en la ilustración 1, pero puede ser igualmente utilizado, mediante interfase directa, con detectores de 112 y 256 pulg3. A través de una interfase especial **Exploranium** se pueden usar con una gran variedad de detectores múltiples, así como también sensores de pozos.



Ilustración 1: Espectrómetro portátil de rayos gamma GR-256 con detector GPS-21, 21 pulg3 (0,35 Lt).



El control de ganancia en el **GR-256** es esencialmente automático, lo que resulta crítico para el análisis preciso de los datos de respuesta a los rayos gamma. Es el primer espectrómetro capaz de almacenar internamente la data correspondiente a las constantes de conversión / corrección, para permitir lecturas directas de conteo / período o ppm eU, eTh y % K.

Los instrumentos de generaciones anteriores estaban limitados a unas cuatro ventanas, con frecuencias permanentemente fijadas en la zona del espectro destinada a registrar los isótopos naturales del uranio, potasio y torio. El **GR-256** permite la selección de ocho ventanas que pueden ser ubicadas escogiendo la sección del espectro con cualquier amplitud de canal. Dichas ventanas se denominan **ROI** (Regiones de Interés) para diferenciarlas de los 256 canales que cubren todo el espectro de rayos gamma.

Adicionalmente, un computador externo puede ser empleado para controlar todas las funciones operativas del instrumento de manera remota ("**Remote Mode**"). Esto puede ser de utilidad en el análisis de datos de laboratorio.

Esta unidad es controlada por el teclado del panel frontal, el cual tiene diecisiete (17) botones eléctricos. Muy poca presión es requerida para oprimir o pulsar cualquiera de estos botones y un sonido también como una regeneración táctil confirma la presión de la tecla.

La unidad completa ha sido diseñada y protegida herméticamente contra el agua. El módulo principal está sellado por aros o anillos y el acceso al compartimiento de la batería utiliza una goma comprimida para protección contra el agua y polvo. La sección interior de la batería está sellada desde la unidad principal electrónica. Así cuando alguna humedad esté presente en el momento de ser cambiadas las baterías, no pueda entrar y averiar los circuitos electrónicos.

Para el cuidado del espectrómetro se suministra una caja transportadora, la cual ofrece cierto nivel de protección contra golpes. También tiene presillas, las cuales son utilizadas por el operador, transportándolo en el hombro y así mantener la unidad ajustada contra el cuerpo. En adicción un tirante sobre las espaldas puede ser también usado. Esta variedad de modalidades de transportación cubre la mayoría de las necesidades del usuario.

La unidad tiene almacenamiento de memoria interior, así una cantidad grande de datos que puede ser guardado por el instrumento para su recuperación más tarde por computadora u otro dispositivo de datos magnetofónico. Esto permite el análisis de los datos con una resolución muy alta, con un funcionamiento mucho más eficaz. Unas 4,000 muestras de datos en los 4 canales de las **ROIs** pueden ser guardadas o de 62 a 256 espectros completos de los canales.

Los datos guardados pueden transferirse a un magnetófono adicional o directamente (vía **RS232**) en una computadora portátil. Exploranium puede proporcionar el software para el traslado y trazando para la computadora PC.

El instrumento también puede conectarse directamente a un despliegue de CRT para el análisis de espectro de tiempo real. Los espectros guardados también sido trazado en un registrador del mapa analógico.

La **ROI** (o espectros) pueden transferirse los datos (en el puerto de **RS232**) directamente a almacenamiento externo o los dispositivos del proceso externos, permitiendo el almacenamiento de los datos ilimitado (un espectros completos pueden transferirse en aproximadamente 0.6 segundos).

Los relojes interiores permiten que el instrumento pueda grabar los datos en un manual o la proporción del ciclo automática. El modo automático permite el funcionamiento de 1 segundo a 999 segundos para cubrir todos los requisitos normales.

La estabilización del espectro es una bondad de este instrumento que permitir el uso optativo de un isótopo radiactivo artificial (típicamente bario o cesio) para controlar la ganancia del sistema automáticamente y proteger de los cambios de ganancia causados por efectos de temperatura o envejecimiento del componente.

El **GR-256** se impulsa por 6 baterías celulares, tipo **D**. Si se usan las baterías alcalinas recomendadas entonces, se tendrá unas 50 horas de vida, dependiendo de las condiciones locales de temperatura y proporción de muestreo del instrumento. También pueden usarse las baterías recargables así como otras fuentes de poder externo.

### **Uso del Espectrómetro**

El uso básico del instrumento es medir los elementos naturalmente radiactivos K, U, Th y la radioactividad total en el campo. El método de medida y el proceso no se describe en estas instrucciones pero puede encontrarse en la literatura geofísica actualmente disponible. Sin embargo, el espectrómetro también puede usarse para otros propósitos por ejemplo el supervisar el medio ambiental, en las aplicaciones industriales, para el análisis del laboratorio, etc. Para estas aplicaciones especiales **Exploranium** ofrece los accesorios necesarios al.

### **LAS INSTRUCCIONES OPERACIONALES**

**1. Operando con baterías :** El instrumento contiene baterías internas de litio que ya vienen instaladas por el fabricante.

Después de quitar la caja protectora del espectrómetro se observa una tapa ovalada en la parte inferior (Ilustración 2), que quitando los 2 tornillos que la fijan, se observa el compartimiento para seis (6) baterías tipo "D", las cuales se colocan en el compartimiento de la batería como se indica. Téngase cuidado con la polaridad de la batería, obsérvese las etiquetas de polaridad dentro de la unidad de las batería. Si las baterías son completamente invertidas, el sistema no funcionará (ver sección de Mantenimiento y Precauciones). Sin embargo si una sola batería se invierte, puede ocurrir un daño serio, como es el goteo químico de las baterías. Una vez que las baterías se han puesto correctamente en el compartimiento y la abertura cerrada, el instrumento está listo para el uso.

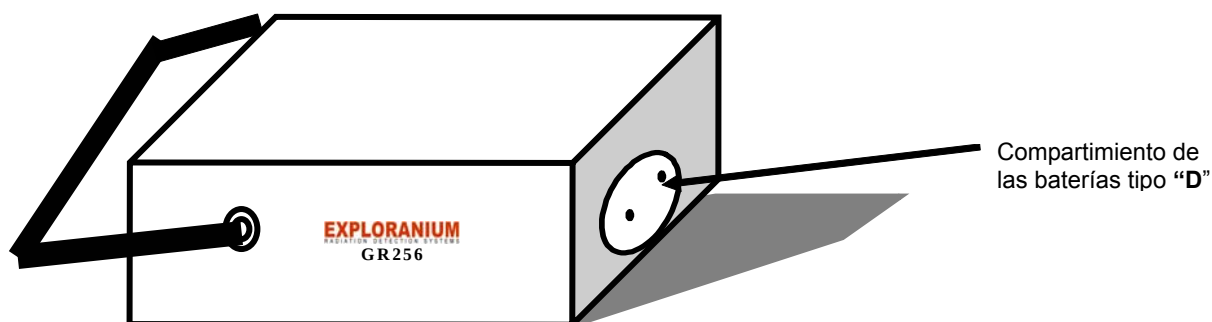


Ilustración 2. Compartimiento de las baterías tipo "D"

## 2. Operación con el [ON/OFF]

Con solo presionar este botón se encenderá el espectrómetro, mostrando en la pantalla lo representado en la Ilustración 3, caso contrario al apagar.

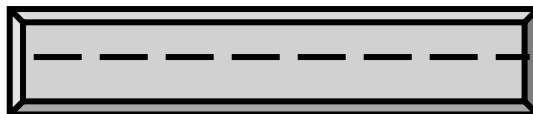


Ilustración 3: Exhibición en la pantalla del espectrómetro al encenderse.

## 3. Batería de soporte

Una batería especial de litio posee el espectrómetro, la cual tiene como función conservar las constantes del instrumento y memoria de los datos después de que el instrumento se ha apagado o cuando están cambiándose las baterías, va acoplada al tablero del CPU del instrumento. La vida de esta batería es de 10 años y se prueba cada vez que el instrumento se

enciende. Una batería defectuosa se indica por el identificador de error como **E1** (ver sección errores).

**4. Descripción de los controles.** En la ilustración 4 se observa el panel de control.

**[ON/OFF].** Tecla para encender y apagar el instrumento

**[START/STOP].** Tecla para comenzar la medición o para terminar cualquiera de las actividades continuas incluyendo la medida.

**[STORE].** Tecla para guardar los parámetros (o datos medidos) incluyendo el tiempo de medición, las constantes calibración, la posición del pico de referencia, las ventanas de energía, (**ROI**), título de la muestra, el número del perfil, la posición del punto medido, espaciado a lo largo del perfil, los resultados de la medición en la memoria.



**Ilustración 4: Panel de control del espectrómetro GR-256.**

**[SHIFT].** Tecla por cambiar a las funciones en la parte -superior del teclado (funciones en rojos)-

**[CLEAR].** Tecla para limpiar la pantalla cuando los datos del teclado están cargados y para borrar los volúmenes de la memoria de los datos.

**[0 - 9].** Teclas para introducir los dígitos.

**[^].** Tecla usada para incrementar el despliegue a través de sus funciones actuales por ejemplo contenido de los espectros en los canales, las ventanas de energía, constantes de la calibración, los resultados de dimensiones.

**[v].** Tecla similar a la anterior ([^] usada para disminuir el despliegue.

Las funciones de las teclas siguientes se inician después de pulsar la tecla **[SHIFT]**. Note que esta tecla es ROJA, y todas las teclas siguientes usan la designación ROJA:

**[+/-]**. Tecla para cambiar el signo a los datos introducidos, también puede servir para producir un guión en el despliegue.

**[TIME]**. Tecla para verificar o seleccionar el tiempo de la medición.

**[ROI]**. (Las regiones de Interés) Tecla para verificar la integración de los canales en las regiones o las ventanas (**presionar 8**)

**[CALIB]** (Las Constantes de la calibración) Tecla para verificar o seleccionar las constantes de la calibración.

**[REFCH]**. (El canal de referencia) Tecla para verificar o seleccionar la posición del pico del radionucleido de referencia.

**[C/C1]** (Conteos/Concentraciones). Tecla para seleccionar el tipo de resultados desplegados, es decir en periodo de conteos/ tiempo o concentraciones.

**[SPECTR]**. (El espectro) Tecla para manipular el espectro.

Las próximas teclas determinan la manera de manipulación y tipo de equipo periférico:

(0)- El despliegue de número de canales y volúmenes en el despliegue, y del espectro completo en el osciloscopio externo.

(1)- Trazado del espectro en un registrador analógico.

(2)- Procesando del espectro guardaron en la memoria activa

(5)- Transferencia de los espectros a una computadora externa en el modo REMOTO (por ejemplo por un comando del computador externo en **RS-232**).

(6)- El enrollando automático de cinta en el magnetófono más allá de un espectro particular grabado.

(7)- Grabación del espectro en un magnetófono.

(8)- Para verificar espectro grabado en un magnetófono para los datos re-examinados y realizando el análisis del error.

(9)- Transferencia de los espectros del magnetófono al espectrómetro.

**[HEADER]**. Chequeo y selección de muestras medidas de encabezamiento (por ejemplo la fecha) para la grabación de resultados de la medición de los datos en la memoria.

**[POS]**. (La posición). Chequeo o selección de la localización del identificador de los parámetros de un punto medido para grabar los datos en la memoria

**[MEMORY]**. Tecla para revocar los datos en la memoria.

Las próximas teclas determinan la manera de manipulación y el tipo de equipo periférico:

(0)- El despliegue de datos guardado en la memoria.

(5)- Transferencia de los espectros a una computadora externa en el modo REMOTO (por ejemplo por un comando del computador externo en **RS-232**).

(6)- El enrollando automático de cinta en el magnetófono más allá de un espectro particular grabado.

(7)- Grabación del espectro en un magnetófono.

(8)- Chequear que el cassette de los datos hayan sido grabados correctamente comparando los datos en la cinta.

(9)- Transferencia de los espectros del magnetófono al espectrómetro.

**[USER]**. Tecla para iniciar otras actividades especiales según los requisitos del usuario. Si el usuario no especifica estos requisitos, un set normalizado se proporcionará.

**[REMOTO]**. Tecla para transferir el mando del espectrómetro a una computadora externa. Nota: Todas las funciones del teclado pueden ser activadas por el mando de la computadora externo. Un despliegue del cristal líquido (LCD) es usado en el espectrómetro, el cual habilita 8 dígitos y 8 identificadores (flechas) serán desplegados. Aparte de los dígitos 0 a 9, los siguientes símbolos son desplegados:

- Punto decimal que también puede usarse como un separador.

- Signo menos que también puede usarse como un guión

**H-** (Alto). Indica la dirección hacia arriba en un perfil, o el tope.

**L-** (Bajo). Indica abajo en un perfil, o el fondo.

**P-** (La posición del pico). Indica la posición del pico del canal de referencia.

**SOL-** (El paso en la línea). Espaciando a lo largo del perfil.

**E-** (El error). Indicación del error (ver Sección7).

### **Significado de identificadores Individuales**

**<BAT>**. (La batería) la indicación del nivel bajo de las baterías; pueden continuarse los mediciones durante aproximadamente 1 hora.

**<CONC>**. (Las concentraciones). Los datos son **MOSTRADOS/GUARDADOS** en las concentraciones calculadas como sigue:

- ✓ **1 ROI** - Cuenta Total (ppm de U equiv)

- ✓ **2 ROI** - Potasio (%)

- ✓ **3 ROI** - Uranio (ppm)

- ✓ **4 ROI** - Torio (ppm)

**<STAB>**. (La estabilización). Indica que el sistema de estabilización del espectro está activo.

**<ACC>**. (Acumulación). La indicación de una medida en el progreso.

**< I/O >**. (Input/Output). Indicación de función de entrada o salida de los datos con un dispositivo externo en marcha.

**<SET>**. (Selección) una condición del instrumento en el cual los datos desplegados pueden ser cambiados desde el teclado.

<RMT>. (Remoto) una condición del instrumento en el cual el control se ha sido transferido a una computadora externa.

<MON>. (Monitor) la condición del instrumento básica en el cual las ordenes del usuario es seguida desde el teclado.

**5. Como iniciar el espectrómetro para su funcionamiento.** Después de que el instrumento se ha encendido, o después de que un procedimiento particular se ha terminado, el instrumento se cambia al modo **[MONITOR]**, es decir esperando la orden del usuario por el teclado. Esta condición se indica por el identificador **<MON>** y normalmente también por 8 guiones en el despliegue del instrumento (Ilustración 3). El botón **[START/STOP]** puede usarse para interrumpir cualquier procedimiento y cambio al modo **[MONITOR]**.

Los parámetros básicos del instrumento se han fijado para que el instrumento esté listo para usar inmediatamente después de que se ha encendido por primera vez, estos parámetros están en la hoja de calibración proporcionada. Los siguientes parámetros por defecto están cargados desde ROM por si la memoria falla:

- a) El periodo de medida **[TIME]** es 240 segundos.
- b) Las ventanas de energía **[ROI]** fijadas según:
  - [ROI]I -#1-Cuenta Total:** Inferior – canal 70→Superior-canal 255
  - Potasio:** Inferior - canal 111→Superior -canal 125
  - Uranio:** Inferior - canal 133→Superior -canal 151
  - Torio:** Inferior - canal 197→Superior -canal 219.
- c) El fondo y las constantes de la calibración **CALIB** por computar la actividad de la Cuenta Total y las concentraciones de K, U y Th de **G.S.C.** las almohadillas de la prueba como sigue:

| Las Constantes de la calibración: |       |
|-----------------------------------|-------|
| Nº DE CONSTANTE                   | VALOR |
| C1:                               | 504   |
| C2:                               | 30    |
| C3:                               | 13    |
| C4:                               | 6     |
| C5:                               | 587   |
| C6:                               | 478   |
| C7:                               | -399  |
| C8:                               | -59   |
| C9:                               | -52   |
| C10:                              | 4213  |
| C11:                              | -2770 |
| C12:                              | 118   |
| C13:                              | -436  |
| C14:                              | 13088 |

- d) La posición del canal de referencia, **REFCH**, es 55, así como el uso del patrón de Cesio es asumido para la *estabilización del espectro*. Este valor da una calibración de energía de 12 keV por canal.
- e) La flecha **<C/C>** no mostrada en pantalla, significa que después de finalizada la medida, la pantalla mostrará los datos individuales de las regiones de interés **[ROI]** en períodos de *conteos / tiempo*.

5.1- Los parámetros del instrumento pueden ser modificados por las funciones: **TIME**, **ROI**, **CALIB**, **REFCH** y **C/C** desde el modo **[MONITOR]**. Los parámetros modificados son retenidos incluso después de que el instrumento ha sido apagado o cuando las baterías estén siendo cambiadas, hasta que el usuario los modifique de nuevo (ver: Mantenimiento y Precauciones). Los parámetros originales de **EXPLORANIUM** se restablecen en el instrumento si el identificador del error, **E1**, (*batería de litio defectuosa*) aparece en pantalla. En este caso los parámetros fijados por el usuario tienen que ser restablecidos cada vez que el instrumento se enciende, hasta que la *batería de litio defectuosa* pueda reemplazarse.

5.2- El periodo de Medida – **[TIME]**. Al presionar **[SHIFT]** → **[TIME]**, la pantalla mostrará el período de medida fijado anteriormente y el identificador **<SET>** informa al usuario que pueden modificarse los datos mostrados en pantalla. Los botones **[0 al 9]** y **[CLEAR]** pueden ser usados para seleccionar el nuevo periodo de medida. El botón **[STORE]** se usa para guardar el periodo de medida, mostrado en la pantalla, en la memoria del instrumento, y el mando es cambiado para modo **[MONITOR]**. El periodo de medida puede ponerse entre 1 y 999 segundos.

El botón **[START/STOP]** puede ser usado para finalizar la función **[TIME]** y el control es cambiado para modo **[MONITOR]**, sin embargo, en este caso el periodo de medida no cambiará.

5.3- Ventanas de Energías **[ROI]\***. Al presionar **[SHIFT]** → **[TIME]**, **1L** aparecerán en el lado izquierdo de la pantalla, el límite inferior de la ventana de la *Cuenta Total* en el lado derecho y el identificador **<SET>** es activado.

Los botones **[0 al 9]** y **[CLEAR]** pueden ser usados para seleccionar un nuevo límite. El botón **[STORE]** se usa para guardar el límite mostrado en la pantalla en la memoria del instrumento, y la pantalla entonces mostrará el límite superior (**1H**) de *Cuenta Total*. Una vez esto es fijado entonces igualmente los límites de las ventanas de energía de **Potasio** (**2L, 2H**), **Uranio** (**3L, 3H**) y **Torio** (**4L, 4H**). Pueden ponerse cuatro ventanas de energía adicionales (**5 / 6 / 7 / 8**) pero

---

\* Para usuarios que desean procesar otros datos de **[ROI]** (por ejemplo la Salud Física), **EXPLORANIUM** puede proporcionar un programa especial por procesarlas en una computadora externa.



esos valores no pueden convertirse en concentraciones por la unidad. Los límites de las ventanas de energía pueden ser designados entre el canal 1 y 255.

5.3.1 Establecimiento de las típicas **[ROI]**. El límite superior de **[ROI]** debe ser más alto que o igual al más bajo límite de **[ROI]**. Si el más bajo límite es 0, entonces se define que la ventana de energía no se usa y los tres trazos aparecen en la pantalla.

A continuación se presenta el resumen del funcionamiento en el proceso de medición con el **GR-256**. Donde todas las funciones del instrumento se controlan por el microprocesador. Antes de iniciar se configura los valores o constantes que se necesita introducirse para su uso adecuado.

Preparar la memoria del espectrómetro **GR-256** para guardar los datos siguiendo la siguiente secuencia:

- ⇒ **[SHIFT] + [HEADER] + [CLEAR] + [CLEAR] + [CLEAR]**: limpia la memoria, se debe esperar 4 segundos y aparecerá el número que sigue: **3460**.
- ⇒ **Introducir el mes / día / el año**, se pulsa **[STORE]**.
- ⇒ **Introducir la distancia de separación** entre estaciones de lecturas según el perfil o itinerario escogido para el estudio, ejemplo cada 50 m. Pulsar **[STORE]**.
- ⇒ **Pulsar [SHIFT] y luego [+/-]**, para cambiar a la siguiente lectura, se aumenta la estación: si aparece **H** en la parte izquierda de la pantalla del espectrómetro aumentara, es decir será la **Nº 100**, si aparece **L** disminuye, es decir será la **Nº 0**.
- ⇒ **Se introduce el número de línea** a utilizar en la memoria del espectrómetro pulsando **[▲]**, ejemplo: **Línea 1000**
- ⇒ **Se pulsa [▲]** para introducir por último el valor de la primera estación del perfil o itinerario, pulsar **[STORE]** y luego para proceder a iniciar el registro de dicha estación **[STAR / STOP]**.

Para recuperar o conocer alguna línea de registro se procede de la siguiente manera:

- ♦ Se enciende el espectrómetro **GR-256**, pulse: **[ON/OFF]**.
- ♦ Se selecciona el tiempo deseado para tabular los datos: pulse **[SHIFT-TIME]**, luego se marca el tiempo a fijar y se guarda en memoria, pulsando: **[START / STOP]**.
- ♦ Luego se pulsa **[SHIFT-MEMORY-+/-]**, aparece la fecha en la cual fue fijada y al pulsar **[REMOTE/▲]** se desplazará hacia la línea más actual según la fecha deseada y se verá como el siguiente ejemplo: **L.100.1050**, donde **L** es la identificación de la línea, **100** el número de ésta y **1050** el número de lectura tomada según el dato fijado.

**Se resumen en los siguientes pasos:**

1. Selección de las ventanas de interés, se procede shift 8, aparece:
2. Se hace la selección de las constantes de calibración. Se procede **shift 9**: aparece en la pantalla los distintos programas internos del espectro. Estas constantes son entregadas por **Exploranium**, de acuerdo a los análisis realizados con sus patrones en laboratorio, las cuales deben ser registradas en el equipo de medición.
3. Selección del tiempo de monitoreo: **SHIFT-TIME**.
4. Selección del canal de referencia, se procede **shift 4**, se introduce **REFCH**, en este caso.

5. Selección de la línea. Se pulsa **SHIFT 1**, número de estación del monitoreo, y la distancia. Se pulsa **shift HEADER**, y se va introduciendo los datos de acuerdo la secuencia del programa.

El resto de combinación es de uso posterior a la recolección de los datos. Con estos valores incorporados al espectrómetro. se procede a inicializar la captura de la actividad en la zona de estudio de la siguiente manera:

- ✓ se pulsa **STAR** y se mantiene unos segundos hasta que ya que empieza a correr el tiempo de medición (tiempo muerto, requerido por el espectrómetro para iniciar su lectura).
- ✓ se observa en la pantalla una secuencia inversa del tiempo seleccionado, hasta cero, que suena alarma indicando final de la medición para el punto en estudio.
- ✓ En este momento se puede tomar la deducción de memorizar los datos de las cuatro primeras ventanas seleccionadas. En este caso las 4 primeras son referentes a los radioelementos naturales, K, U, Th y conteo total. Si se seleccionan de 5 al 8 para poder ver los valores de actividad se pulsa **SHIT.5 o 6 o 8**, y se procede anotar, ya que no son guardados.
- ✓ Cuando se verifica los datos en memoria se pulsa **SHIFT MEMORY 0**, y se verifica el último dato guardado, si se quiere determinar se presiona la tecla **USER**, que va presentando la secuencia guardada de acuerdo a la adquisición.
- ✓ Para seleccionar la rata de transmisión de datos a BAUD, se pulsa **SHIFT USER 8**, y se coloca la alternativa, entre los siguientes valores 300-600-1200-2400-4800-9600 BAUD.
- ✓ Posteriormente se transfiere al PC, por medio del programa el cual produce los resultados del muestreo en las cuatro ventanas de actividad y cuatro de concentraciones.

Existen otras opciones que se pueden emplearse que no fueron ejecutadas en este trabajo.

## 6-. Calibración

Presionando **[SHIFT-CALIB]**:

1- se muestra en el lado izquierdo del despliegue, un valor del fondo para la ventana de energía de actividad total (el conteos/segundos) en el lado izquierdo y el identificador **<SET>** es activo. Por ejemplo 1 - 32767

Las teclas **[0 - 9]** y **[CLEAR]** pueden ser usadas para seleccionar un nuevo valor del fondo. La tecla **[STORE]** es usada para guardar el valor mostrado en el despliegue en la memoria del instrumento, y el despliegue mostrará:

2- junto con el valor del fondo de la ventana de potasio. Entonces:

3- el valor del fondo de la ventana de uranio y

4- con el valor del fondo de la ventana de torio.

El valor del fondo puede seleccionarse en el intervalo 0 a 65.535.

La constante de calibración  $C_5$  es usada para calcular la Cuenta Total.

$$QTOT \text{ (Actividad de la Cuenta total, en ppm el equiv de U)} = 10^5 * C_5 * n_1.$$

Los otros datos mostrados en el despliegue marcado 6 a 14 son las constantes de la calibración  $C_6$  a  $C_{14}$  para computar las concentraciones  $Q_K$ ,  $Q_U$  y  $Q_{Th}$ :

$$[Q_K]. = [C_6 * C_7 * C_8] [n_2]$$

$$[Q_U]. = [C_9 * C_{10} * C_{11}] [n_3]$$

$$[Q_{Th}]. = [C_6 * C_7 * C_8] [n_4]$$

Donde el  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ,  $n_4$  son la **Cuenta Total**, **Potasio**, **Uranio** y **Torio** de las **ROI** (conteos/minutos), con el fondo substraído respectivamente. Las constantes de la calibración pueden escogerse en el intervalo desde -32,767 a 32.767. El cambio de signo se efectúa por la tecla **[SHIFT]** y **[+ / -]**. Las teclas **[v]**, **[^]** muestran las constantes para ser monitoreada sin el cambio y los interruptores **[START/STOP]** para supervisar el sistema.

#### 6.1- La calibración cuantitativa de espectrómetro

El espectrómetro ha sido calibrado cuantitativamente por **Exploranium**, es decir han sido fijados los límites de las **ROI**, el fondo y las constantes de la calibración por computarizar la actividad total, concentraciones de K, U, y Th. Sin embargo, para mantener la precisión del sistema la calibración debe verificarse dos veces por año midiendo a una base de la calibración y si deben cargarse en el espectrómetro las constantes de la calibración nuevas necesarias, por medio de las funciones **ROI** y **CALIB** o por el uso del programa de la **CALIBRACIÓN** en una computadora externa.

La calibración de espectrómetros de cuatro canales actualmente usados, consumen tiempo y es laboriosa. Esto no es necesario en el espectrómetro de 256 canales, sólo los espectros de las estándares o patrones y fondo son medidos, con los cuales las ventanas de energía y las constantes de la calibración son determinadas por la computadora. El programa de **CAL256** se concibió para este propósito.

6.2- Calibración por medio del método de factores:"**Stripping**". Esta calibración se procesa en dos pasos:

a)- Los espectros estándares son transmitidos en turno usando la tecla **USER** (en sus tres (3) funciones) desde la memoria de datos a la memoria activa, a su vez estos espectros se despliegan entonces en el espectrómetro o el osciloscopio externo por medio de función **SPECTR**.

Inspeccionando los espectros en la sección de los picos anticipados, o examinándolos desde el osciloscopio, sus posiciones y los límites de las **ROI** pueden determinarse. La posición del pico

de potasio 1.46 MeV debe estar cerca del canal 122 y la anchura recomendada de la ventana de energía 15 canal (180 keV). La cresta uranio en 1.76 MeV cerca del canal 146 y la anchura recomendado de 19 canales (228 keV). El pico de torio en 2.62 MeV alcanzan el máximo cerca del canal 215 y la anchura recomendada es 25 canales (300 keV). Los límites determinados del **ROI** están entonces cargadas en el espectrómetro por medio de la función **ROI**.

b)- Los espectros estándares son transmitidos por medio de la función **USER - 3** desde la memoria de datos a la memoria activa, y la función **SPECTR**, es usada para determinar las intensidades en las ventanas individuales de energía. Estos valores son entonces empleados de la manera usual de determinar las constantes de la calibración y los factores interferencia (**Stripping**). En la ilustración 5 se tiene la representación esquemática de la interacción de esas ventanas de energía, indicando los factores de diferenciación (**Stripping**) o interferencia, los cuales son usados para remover la interferencia denotada por las flechas.

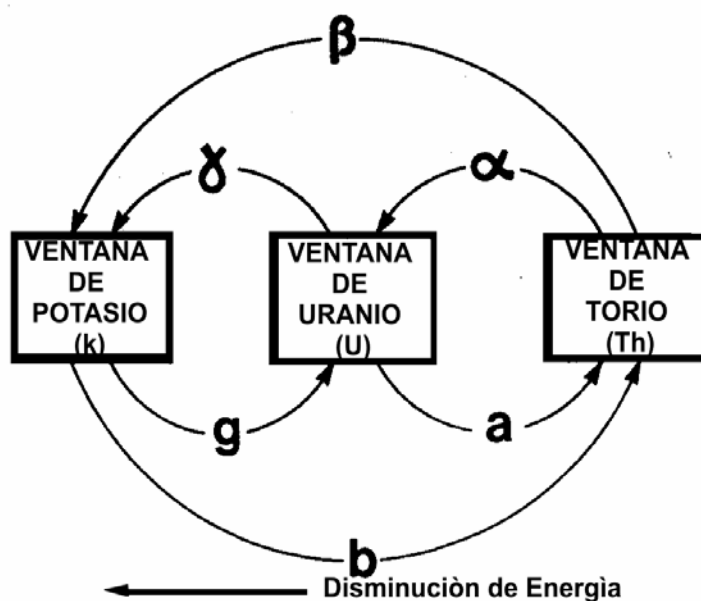


Ilustración 5: Representación esquemática de la interacción de las ventanas de energía, indicando los factores de diferenciación (stripping) o interferencia, los cuales son usados para remover la interferencia denotada por las flechas. Los factores stripping comúnmente usados son  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . Los factores stripping de salida  $a$ ,  $b$  y  $g$  son generalmente pequeños o cero por lo que son después ignorados.

Las constantes de la calibración  $C_1$ , a  $C_4$  calculadas usando las relaciones siguientes:

$$C_1 = B \text{ (TOT)}$$

$$C_2 \sim B \text{ (K)}$$

$$C_3 = B \text{ (U)}$$

$$C_4 = B \text{ (Th)}$$

$$C_5 = 10^5 / K_{\text{TOT}}$$

$$\begin{aligned}
C_6 &= 10^5 / K_3 \\
C_7 &= -10^5 \text{ g} / K_3 \\
C_8 &= -10^5 (b - a \text{ g}) / K_3 \\
C_9 &= 0 \\
C_{10} &= 10^5 / K_2 \\
C_{11} &= -10^5 a / K_2 \\
C_{12} &= 0 \\
C_{13} &= 0 \\
C_{14} &= 10^5 / K_1
\end{aligned}$$

B (TOT), B (K), B (U), B (Th) son los fondos en las regiones de interés **ROI**: 1°, 2°, 3° y 4°, en conteos/minutos.

$$K_{TOT} = [N_{1U} / T - B(TOT)] / Q_U$$

$$\alpha K_1 = [N_{4Th} / T - B(Th)] / Q_{Th}$$

$$\beta K_2 = [N_{3U} / T - B(U)] Q_U$$

$$\gamma K_3 = [N_{2K} / T - B(K)] / Q_K$$

$Q_{Th}$  es la concentración de Th en el Th estándar [ppm]

$Q_U$  es la concentración de U en el U estándar [ppm]

$Q_K$  es la concentración de K en el K estándar [%]

$N_{4Th}$  es el número de conteos grabados en las 4° **ROI** en Th estándar en tiempo (T) [minuto].

$N_{3U}$  es el número de conteos grabados en las 3° **ROI** en U estándar en tiempo (T) [minuto]

$N_{2K}$  es el número de conteos grabados en las 2° **ROI** en K estándar en tiempo (T) [minuto]

$N_{1U}$  es el número de pulsos grabados en las 1° **ROI** en U estándar en tiempo (T) [minuto]

$a = N_{3Th} / N_{4Th}$ , expresa la contribución de Th en la **ROI** de U ( $N_{3Th}$  es el número de impulsos grabados en la 3° **ROI** en Th estándar).

$b = N_{2Th} / N_{4Th}$ , expresa la contribución de Th en la **ROI** de K ( $N_{2Th}$  es el número de impulsos grabados en la 2° **ROI** en Th estándar).

$g = N_{2U} / N_{3U}$ , expresa la contribución de U en la **ROI** de K ( $N_{2U}$  es el número de impulsos grabados en la 2° ventana de energía en el estándar de U).

Nota: 1. El uso de este método requiere los estándares de calibración de un mono-elemento. Sin embargo, esta condición no puede satisfacerse prácticamente y esto produce determinación inexacta de las constantes de la calibración.

2. Este método descuida la contribución de U a la ventana de energía de Th, es decir asume la constante  $C_{13} = 0$ . El resultado es que esto lleva a un aumento sistemático en los valores de las concentraciones de Th. Bajo las concentraciones altas de U este aumento es aproximadamente 3.5%.

## 7.- Significados de los mensajes de errores al operar el equipo

| IDENTIFICADOR | TIPO DE ERROR                                                                                                                                                | QUE PARA HACER                                                                                                               |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E1            | Los datos dañados en memoria de los datos probablemente debido a la batería del litio defectuosa. Seleccionando automáticamente los parámetros predefinidos. | Las mediciones pueden ser hechas continuamente sin usar la data de memoria. Cambie la batería de litio en Exploranium.       |
| E2            | El voltaje de baterías principales ha caído debajo de 5.5V                                                                                                   | No pueden continuarse las mediciones. Cambie las baterías.                                                                   |
| E3            | El Estabilizador del Espectro es incapaz de ajustar la ganancia para la requerida calibración de energía                                                     | Chequee la selección de <b>REF CH</b><br>Ajuste la ganancia de la sonda                                                      |
| E4            | a) Manipulando los datos de los espectros ningún espectro se encuentra en la memoria activa                                                                  | Tome una nueva muestra.                                                                                                      |
|               | b) Defecto del detector o en la conexión del cable durante la medida.                                                                                        | Chequee la conexión del detector. Reparar sonda                                                                              |
| E5            | La memoria de datos guardada para ser defectuosa.                                                                                                            | Medición puede ser may se continuada sin usar la memoria de los datos. Reparación por Exploranium                            |
| E6            | La memoria de los datos no se ha comenzado.                                                                                                                  | Inicie por medio de la función <b>[HEADER]</b>                                                                               |
| E7            | a) Medición hecha da no ha sido continuada.                                                                                                                  | Continué con la medición.                                                                                                    |
|               | b) Intento de guardar la misma medida dos veces.                                                                                                             |                                                                                                                              |
| E8            | a) Intento de grabar la medida con el identificador fuera del rango permitido.                                                                               | Deben hacerse las mediciones en perfiles con puntos numerados de 0 a 9999.                                                   |
|               | b) Intento de grabar la medida cuyo tiempo no está conforme con el tiempo de medición en el momento de iniciar la memoria.                                   | Medida debe llevarse al tiempo seleccionado a priori al registrar. Vea <b>USER - 7</b> para verificar el tiempo de medición. |
| E9            | La memoria de los datos está completa, no adicione medidas.                                                                                                  | Vacíe la memoria de datos con la transmisión a una computadora o magnetófono; seguidamente inicie.                           |
| E10           | Intento de transmitir desde la memoria de los datos en la cual ninguna medida ha sido grabada                                                                | Lleve a cabo la medida y guarde en la memoria de los datos.                                                                  |
| E11           | a) Los datos transmitidos desde el cassette no está de acuerdo con lo grabado en la memoria.                                                                 | Repita la transmisión y el también grabando si es necesario.                                                                 |
| E12           | Incorrecto chequeo de la suma del bloque citado                                                                                                              | Repita la transmisión y el también grabando si es necesario.                                                                 |
| E13           | Dejados afuera los datos en la cinta del cassette aunque transmitidos correctamente.                                                                         | Este error indica el cassette. Cambie el cassette.                                                                           |
| E20           | El voltímetro digital no está operando.                                                                                                                      | Reparación por Exploranium                                                                                                   |
| E21           | La referencia la posición del pico máxima no puede ser determinada debido a la afluencia en el canal.                                                        | Determinar la capacidad de resolución de energía en periodo de medición de 500 s.                                            |

## 8 - MANTENIMIENTO Y PRECAUCIONES EN EL USO DE LOS EQUIPOS

En general, no se recomienda el uso del espectrómetro con otros tipos de unidades de detección que no sean los proporcionados por **Exploranium**.

Bajo las condiciones operacionales normales el espectrómetro no requiere ningún mantenimiento especial. Sólo debe guardarse limpio, sobre todo la sonda de la medición (detector), deben evitarse el calor y los golpes mecánicos que son un peligro para el cristal del detector.

Se recomienda verificar que estén regularmente limpios los contactos en el compartimiento de la batería. El electrolito de las baterías puede dañar los contactos de la batería. Deben quitarse del instrumento cuando el espectrómetro no esté usándose.

Debido a la complejidad del instrumento, la electrónica bajo ningún concepto debe manipularse. Si el instrumento falla o está funcionando inadecuadamente, dirigirse a **Exploranium**. Se requiere un alto criterio para reparar el instrumento.

Para mantener la exactitud del sistema la calibración debe verificarse dos veces por año midiendo a una base de la calibración y deben cargarse las nuevas constantes de la calibración necesarias en el espectrómetro por medio de las funciones **ROI** y **CALIB** o por el uso del programa de la **CALIBRACIÓN** en una computadora.

El instrumento puede guardarse y puede transportarse con temperaturas de -30 a +70 °C y una relativa humedad de 90%. Evitar en los trabajos de campo golpear el detector, someterlo a condiciones de alta humedad, no trabajar en días de lluvias.

**APÉNDICE A-3**

**SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**

**NAVEGADOR GPS**



# SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS

## 1. INTRODUCCIÓN

Sistema de posicionamiento global (**GPS**), es un sistemas de navegación apoyado en 24 satélites, que suministran posiciones en tres dimensiones, velocidad y tiempo, las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo y en todas las condiciones climáticas.

Dirigido por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, el Sistema de Posicionamiento Global Navstar se creó en 1973 para reducir los crecientes problemas en la navegación. Al ser un sistema que supera las limitaciones de la mayoría de los sistemas de navegación existentes, el **GPS** consiguió gran aceptación entre la mayoría de los usuarios. Desde los primeros satélites, se ha probado con éxito en las aplicaciones de navegación habituales. Como puede accederse a sus funciones de forma asequible con equipos pequeños y baratos, el **GPS** ha fomentado muchas aplicaciones nuevas.

En la actualidad hay 24 satélites **GPS** en producción, otros están listos para su lanzamiento y las empresas constructoras han recibido encargos para preparar más y nuevos satélites para el siglo XXI. Al aumentar la seguridad y disminuir el consumo de carburante, el Sistema de Posicionamiento Global será el componente clave de los sistemas aeroespaciales internacionales y se utilizará desde el despegue hasta el aterrizaje. Los conductores lo utilizarán como parte de los sistemas inteligentes en carretera y los pilotos para realizar los aterrizajes en aeropuertos cubiertos por la niebla y otros servicios de emergencia. El sistema ha tenido una buena acogida y se ha generalizado en aplicaciones terrestres, marítimas, aéreas y espaciales.

Los satélites **GPS** se desplazan en órbitas circulares a 17.440 km de altitud, invirtiendo 12 horas en cada una de las órbitas. Éstas tienen una inclinación de 55° para asegurar la cobertura de las regiones polares. La energía la proporcionan células solares, por lo que los satélites se orientan continuamente dirigiendo los paneles solares hacia el sol y las antenas hacia la tierra. Cada satélite cuenta con cuatro relojes atómicos.

## 2. CARACTERÍSTICAS

El Sistema de Posicionamiento Global (**GPS**) está disponible en **dos** formas básicas: **SPS**, iniciales de Standard Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Estándar), y **PPS**, siglas de Precise Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Preciso). El SPS proporciona la posición absoluta de los puntos con una precisión de 100 m. El código PPS permite obtener precisiones superiores a los 20 m; este código es accesible sólo a los militares de Estados Unidos y sus aliados, salvo en situaciones especiales.

Las técnicas de mejora, como el **GPS** diferencial (DGPS), permiten a los usuarios alcanzar hasta 3 m de precisión. Los investigadores fueron los primeros en usar portadoras para calcular posiciones con una precisión de 1 cm. Todos los usuarios tienen a su disponibilidad SPS, DGPS y técnicas portadoras.

## 3. PROYECCIÓN GEOGRÁFICA Y MAPAS

La proyección geográfica es el sistema que permite ubicar la posición de los puntos de la superficie terrestre sobre una superficie plana, en la cual se construye el **MAPA**. Para establecer una correspondencia entre puntos de la superficie real y sus correspondientes sobre una superficie plana de proyección es indispensable elegir una superficie matemática de referencia

para la superficie real de la tierra (elipsoide). Por otra parte elegir una superficie plana de proyección en la cual se proyectarán los puntos de la superficie terrestre (proyección cartográfica).

**Definición de mapa.** Es una solución ideal para reducir los costos cartográficos y de captura de datos el campo. Su flexibilidad y versatilidad le permite incluir en su cartografía algo más que la situación los datos de campo; puede incluir casi cualquier atributo o características. Es la representación gráfica, en una superficie planas y a una escala elegida de los elementos naturales y artificiales, de toda o de una parte de la superficie de la tierra.

Es el sistema **GPS**, el más preciso para capturar datos diseñados para cartografía y Sistemas de Información Geográfica (**SIG**), tanto si se trata de activos urbanos, utilidades, recursos naturales o cartografía científica. Esto se debe a que el **GPS** es el método más eficiente de adquirir, actualizar o validar los datos de campo necesarios en los SIG. El receptor **GPS** básico, archiprobado en el campo, permite la más precisa toma de datos disponible para GIS, con variadas alternativas de precisión: submétrica, decimétrica o centimétrica. Todas esas mediciones deben estar referida en cada zona del mundo a un **DATUM**.

**El datum.** La Tierra es más o menos una esfera, cuya superficie es curva. Sin embargo, los mapas son superficies planas, se está intentando representar una superficie curva en una superficie plana. Para eso primero se tienen que hacer proyecciones, y usar los datums. Un datum corresponde a un modelo matemático que permite realizar este tipo de representaciones. Es decir, el datum es la superficie matemática de coordenadas, a la cual se refieren las coordenadas de los puntos localizados en la superficie física o real de la tierra.

En un datum siempre hay lo que se llama un punto fundamental (el datum), que no es ni más ni menos que un sitio geográfico que se usa como referencia (como punto de partida) para referir el resto de los puntos del plano teniendo en cuenta la proyección que se ha realizado. En Venezuela, para toda la cartografía oficial, se usaba como punto fundamental que se llama La Canoa (está en el meridiano central: 69). Todos los puntos geográficos que se han creado usaron La Canoa como referencia. En la actualidad el nuevo datum es el GR80, referido al el geoide **WGS 84(datum global o mundial)**. Un mismo sitio geográfico, puede estar representado por diferentes valores (poseer diferentes coordenadas geográficas) por el simple hecho de estar usando datums diferentes, ya que el modelo matemático y el punto de referencia que se está usando son diferentes entre si.

### **Características de las coordenadas UTM y descripción de este tipo de coordenadas**

Características de las zonas **UTM**, están representadas por 60 zonas UTM de la Tierra (Ilustración 1) Es importante destacar aquí que a las zonas, también se les llama husos. Cada zona UTM está dividida en 20 bandas (desde la C hasta la X)

- o Las bandas C a M están en el hemisferio sur
- o Las bandas N a X están en el hemisferio norte.

Una regla útil es acordarse de que cualquier banda que esté por encima de N (de norte) está en el hemisferio norte. Las primeras 19 bandas (C a W) están separadas o tienen una altura de 8° cada una. La banda 20 o X tiene una altura de 12°.

Por tanto, los límites este-oeste de una zona UTM está comprendida en una región que está 3° al Oeste y 3° al Este de este meridiano central. Los meridianos centrales están también separados por 6° de longitud. (Ilustración 2). Los límites Norte-Sur de una zona UTM es aquella comprendida entre la latitud 84° N, y la latitud 80° S. El resto de las zonas de la Tierra (las zonas polares) están abarcadas por las coordenadas UPS (Universal Polar Stereographic).

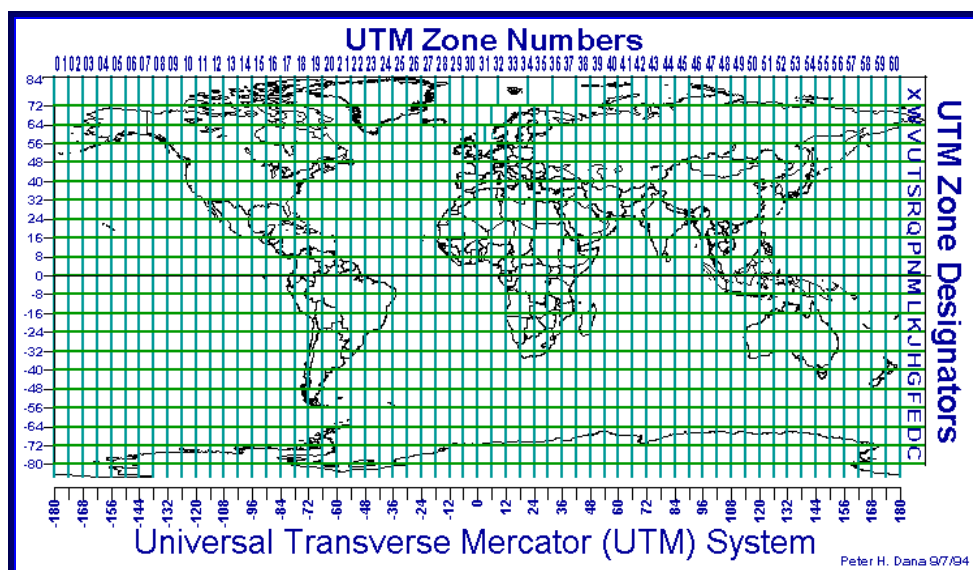


**Ilustración 2: Representación de las coordenadas UTM** (Fuente: Trimble Navigation Limited, traducido por Gutovnik, 1999). **Descripción de las coordenadas utm**

- Por definición, cada zona UTM tiene como bordes o tiene como límites dos meridianos separados  $6^\circ$ .
- Esto crea una relación entre las coordenadas geodésicas angulares tradicionales (longitud y latitud medida en grados) y las rectangulares UTM (medidas en metros) y permite el diseño de fórmulas de conversión entre estos dos tipos de coordenadas.
- La línea central de una zona UTM siempre se hace coincidir con un meridiano del sistema geodésico tradicional, al que se llama MERIDIANO CENTRAL. Este meridiano central define el origen de la zona UTM (ver adelante).
- En realidad, este esquema no está dibujado a escala. La altura de una zona UTM es 20 veces la distancia cubierta por la escala horizontal. Se ha dibujado así por razones de espacio.

Cuando se considera la orientación norte-sur, una línea de una zona UTM coincide con los meridianos de las coordenadas angulares SÓLO en el meridiano central. En el resto de la zona no coinciden las líneas de la zona UTM (el grid) con los meridianos. Estas diferencias se acentúan en los extremos derecho e izquierdo de la zona UTM, y se hacen mayores conforme nos alejamos del meridiano central.

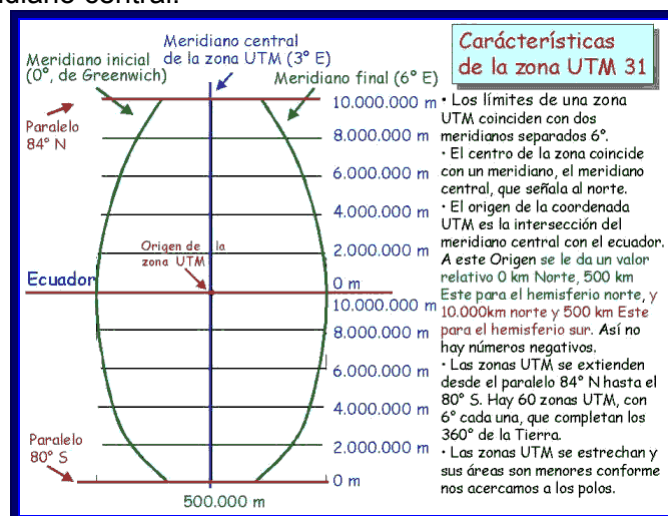


**Ilustración 3: El meridiano central de la zona UTM ( $3^\circ$ E)**

Por esta razón, en una zona UTM, la ÚNICA línea (de grid) que señala al verdadero norte es aquella que coincide con el meridiano central. Las demás líneas de grid en dirección norte-sur se desvían de la dirección del polo norte verdadero. El valor de esta desviación la llaman

**CONVERGENCIA DE CUADRÍCULA.** Los mapas topográficos de cierta calidad suelen incluir esta información referenciándola con el centro del mapa. La declinación en el hemisferio norte es Oeste cuando el valor de *Easting* es inferior a 500.000 metros, y es Este cuando es mayor de 500.000 metros. Puesto que un sistema de coordenadas rectangulares como el sistema UTM no es capaz de representar una superficie curva, existe cierta distorsión. Considerando las 60 zonas UTM por separado, esta distorsión es inferior al 0,04%.

Cuando se considera la orientación este-oeste, sucede un fenómeno parecido. Una línea UTM coincide con una sola línea de latitud: la correspondiente al ecuador. Las líneas de grid de la zona UTM se curvan hacia abajo conforme nos movemos al norte y nos alejamos del meridiano central, Y NO coinciden con las líneas de los paralelos. Esto se debe a que las líneas de latitud son paralelas al ecuador en una superficie curva, pero las líneas horizontales UTM son paralelas al ecuador en una superficie plana. Una zona UTM siempre comprende una región cuya distancia horizontal al Este (*Easting*) es siempre inferior a 1.000.000 metros (*de hecho, la "anchura" máxima de una zona UTM tiene lugar en el ecuador y corresponde aproximadamente a 668 km*). Por eso siempre se usa un valor de *Easting* de no más de 6 dígitos cuando se expresa en metros.

Para cada hemisferio, una zona UTM siempre comprende una región cuya distancia vertical (*Northing*) es inferior a 10.000.000 metros (*realmente algo más de 9.329.000 metros en la latitud 84° N*). Por eso siempre se usa un valor de *Northing* de no más de 7 dígitos cuando se expresa en metros. Por esta razón siempre se usa un dígito más para expresar la distancia al norte (*Northing*) que la distancia al este (*Easting*). Por convenio, se considera EL ORIGEN de una zona UTM al punto donde se cruzan el meridiano central de la zona con el ecuador. A este origen se le define: con un valor de 500 km ESTE, y 0 km norte cuando consideramos el hemisferio norte. Con un valor de 500 km ESTE y 10.000 km norte cuando consideramos el hemisferio sur

Las coordenadas UTM no corresponden a un punto, sino a un cuadrado. Siempre tendemos a pensar que el valor de una coordenada UTM corresponde a un punto determinado o a una situación geográfica discreta. Esto no es verdad. Una coordenada UTM siempre corresponde a un área cuadrada cuyo lado depende del grado de resolución de la coordenada (Ilustración 3). Cualquier punto comprendido dentro de este cuadrado (a esa resolución en particular) tiene el mismo valor de coordenada UTM. El valor de referencia definido por la coordenada UTM no está localizado en el centro del cuadrado, sino en la esquina inferior izquierda de dicho cuadrado.

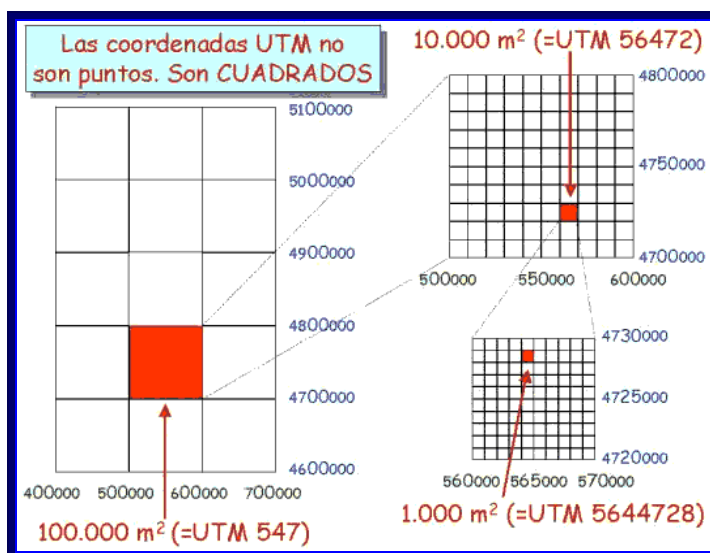


Ilustración 4: Una coordenada UTM siempre corresponde a un área cuadrada

#### 4. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Los satélites **GPS** llevan relojes atómicos de alto grado de precisión. La información horaria se sitúa en los códigos de transmisión mediante los satélites, de forma que un receptor puede determinar en cada momento en cuánto tiempo se transmite la señal. Esta señal contiene datos que el receptor utiliza para calcular la ubicación de los satélites y realizar los ajustes necesarios para precisar las posiciones. El receptor utiliza la diferencia de tiempo entre el momento de la recepción de la señal y el tiempo de transmisión para calcular la distancia al satélite. El receptor tiene en cuenta los retrasos en la propagación de la señal debidos a la ionosfera y a la troposfera. Con tres distancias a tres satélites y conociendo la ubicación del satélite desde donde se envió la señal, el receptor calcula su posición en tres dimensiones.

Sin embargo, para calcular directamente las distancias, el usuario debe tener un reloj atómico sincronizado con el Sistema de Posicionamiento Global. Midiendo desde un satélite adicional se evita que el receptor necesite un reloj atómico. El receptor utiliza cuatro satélites para calcular la latitud, la longitud, la altitud y el tiempo. A continuación se presenta un resumen del funcionamiento en cinco pasos principales.

##### **Paso 1: La Triangulación desde los satélites**

Aunque pueda parecer improbable, la idea general detrás del **GPS** es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia para ubicaciones aquí en la tierra.

Esto se logra mediante una muy, pero muy exacta, medición de nuestra distancia hacia al menos tres satélites, lo que permite "triangular" la posición en cualquier parte de la tierra.

En Resumen: La posición se calcula en base a la medición de las distancias a los satélites

1. Matemáticamente se necesitan cuatro mediciones de distancia a los satélites para determinar la posición exacta
2. En la práctica se resuelve nuestra posición con solo tres mediciones si podemos descartar respuestas ridículas o utilizamos ciertos trucos.
3. Se requiere de todos modos una cuarta medición por razones técnicas que luego veremos.

##### **Paso 2: Midiendo las distancias a los satélites**

La posición se calcula a partir de la medición de la distancia hasta por lo menos tres satélites. Para medir la distancia hacia algo que está flotando en algún lugar en el espacio, se hace midiendo el tiempo que tarda una señal emitida por el satélite en llegar hasta el receptor de **GPS**. En el caso del **GPS** se está midiendo una señal de radio, que se sabe que viaja a la velocidad de la luz, alrededor de 300.000 km por segundo

***Tiempo de retardo (0.06 seg) x Vel. de la luz (300.000 km/seg) = Dist. (18.000 km)***

Así es, básicamente, como funciona el GPS. La señal emitida por el **GPS** y por el satélite es algo llamado "Código Pseudo Aleatorio" (Pseudo Random Code). La palabra "Aleatorio" significa algo generado por el azar. Este Código Pseudo Aleatorio es una parte fundamental del **GPS**. Físicamente solo se trata de una secuencia o código digital muy complicado. O sea una señal que contiene una sucesión muy complicada de pulsos "on" y "off", como se pueden ver ilustración 4:

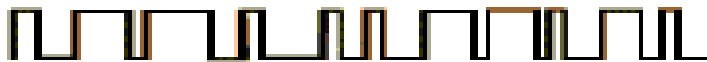


Ilustración 4 Código Pseudo Aleatorio es una parte una señal que contiene una sucesión muy complicada de pulsos "on" y "off".

La señal es tan complicada que casi parece un ruido eléctrico generado por el azar. De allí su denominación de "Pseudo-Aleatorio".

En Resumen: Midiendo la distancia

1. La distancia al satélite se determina midiendo el tiempo que tarda una señal de radio, emitida por el mismo, en alcanzar nuestro receptor de **GPS**.

2. Para efectuar dicha medición se asume que ambos, el receptor **GPS** y el satélite, están generando el mismo Código Pseudo Aleatorio en exactamente el mismo momento.
3. Comparando cuanto retardo existe entre la llegada del Código Pseudo Aleatorio proveniente del satélite y la generación del código de nuestro receptor de **GPS**, se puede determinar cuanto tiempo le llevó a dicha señal llegar hasta el receptor.
4. Multiplicando dicho tiempo de viaje por la velocidad de la luz se obtiene la distancia al satélite.

### **Paso 3: Control perfecto del tiempo**

Por el lado de los satélites, el tiempo es casi perfecto porque llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión.

En los receptores GPS, aquí en la tierra, se debe recordar que ambos, el satélite y el receptor GPS, deben ser capaces de sincronizar sus Códigos Pseudo Aleatorios para que el sistema funcione.

El secreto para obtener un tiempo tan perfecto es efectuar una medición satelital adicional.

Resulta que si tres mediciones perfectas pueden posicionar un punto en un espacio tridimensional, cuatro mediciones imperfectas pueden lograr lo mismo. Esta idea es fundamental para el funcionamiento del sistema **GPS**. En Resumen obtener un Tiempo Perfecto

1. Un tiempo muy preciso es clave para medir la distancia a los satélites
2. Los satélites son exactos porque llevan un reloj atómico a bordo.
3. Los relojes de los receptores **GPS** no necesitan ser tan exactos porque la medición de un rango a un satélite adicional permite corregir los errores de medición.

### **Paso 4: Conocer dónde están los satélites en el espacio**

Están los satélites en sus órbitas y de esa manera se pueden utilizar como puntos de referencia. Todos ellos están flotando a unos 20.000 km de altura en el espacio. La Fuerza Aérea de los EEUU colocó cada satélite de **GPS** en una órbita muy precisa, de acuerdo al Plan Maestro de **GPS**.

En tierra, todos los receptores de **GPS** tienen un almanaque programado en sus computadoras que les informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento.

Ellos utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la exacta altura, posición y velocidad de cada satélite.

Los errores que ellos controlan son los llamados *errores de efemérides*, o sea evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitacionales del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites. Estos errores son generalmente muy sutiles pero si se quiere una gran exactitud se debe tenerlos en cuenta.

*Corrigiendo el mensaje.* Una vez que el Departamento de Defensa ha medido la posición exacta de un satélite, vuelven a enviar dicha información al propio satélite. De esa manera el satélite incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales a los **GPS**.

En Resumen: Posicionamiento de los Satélites

1. Para utilizar los satélites como puntos de referencia debemos conocer exactamente donde están en cada momento.
2. Los satélites de **GPS** se ubican a tal altura que sus órbitas son muy predecibles.
3. El Departamento de Defensa controla y mide variaciones menores en sus órbitas.
4. La información sobre errores es enviada a los satélites para que estos a su vez retransmitan su posición corregida junto con sus señales de tiempo.

### **Los resultados de efemérides de los satélite para la realización de este trabajo de investigación.**

En la tabla siguiente, se listan los satélites cronológicamente en el orden en que ellos culminan (el alcance la elevación más alta) a lo largo del periodo de la predicción. Para cada satélite, una sucesión de detalle de las entradas el levantamiento del satélite y puso como visto de una situación dada. Note que algunos satélites aparecen y desaparecen en el horizonte de la Tierra; otros de repente pestañeo en la vista o desaparece cuando ellos salen o entran en la sombra de la Tierra sobre el observador. Esto se

indica por el término "salida de la Sombra" (el satélite se pone visible) o "entrada de la Sombra" (el satélite se pone invisible) al principio o extremo de la ventana de la apariencia del satélite.

Las columnas son como sigue:

- Tiempo - El tiempo dentro de la zona especificada para la posición del satélite cedida las columnas restantes.
- Az - El acimut del satélite, dado tal ese North=0, East=90, South=180, y West=270.
- El - La elevación del satélite, de 0 al horizonte a 90 al cenit.
- H - el título claro de El satélite, dado como (L)left, (R)right, (U)up, o (D)down.
- El rango - el rango de El satélite del observador en los kilómetros.
- RA/2000 - La Ascensión Correcta del satélite se refirió a equinoccio 2000.0.
- Dec/2000 - La Declinatoria del satélite se refirió a equinoccio 2000.0.
- Hdg - El título del mapa del satélite, se referido al norte celestial.
- Vrt - El ángulo hecho por el norte celestial al cenit a la posición actual del satélite. (La inclinación un starmap esta manera de ver su orientación en el cielo)
- La revista - Una estimación de la magnitud visual del satélite.

Search Period Start: 12:00 Monday, 05 March, 2001

Search Period End: 12:00 Thursday, 04 April, 2001

 Observer's Location: **Aragua** ( 10.1170°N, 65.9830°W)

Local Time: Universal Coordinated Time 4 (GMT - 4:00)

Orbit: 389 x 394 km, 51.6° (Epoch 25 Mar)

| Date   | Mag  | Starts   |      |     | Max. Altitude |      |     | Ends     |      |     |
|--------|------|----------|------|-----|---------------|------|-----|----------|------|-----|
|        |      | Time     | Alt. | Az. | Time          | Alt. | Az. | Time     | Alt. | Az. |
| 25 Mar | 2.0  | 20:13:59 | 10   | SW  | 20:14:55      | 18   | SW  | 20:14:55 | 18   | SW  |
| 26 Mar | 2.4  | 06:06:08 | 10   | N   | 06:08:27      | 18   | NE  | 06:10:46 | 10   | E   |
| 26 Mar | 0.0  | 19:17:39 | 10   | SSW | 19:20:36      | 35   | SE  | 19:22:17 | 20   | ENE |
| 27 Mar | 2.0  | 19:57:32 | 10   | W   | 19:59:56      | 20   | NW  | 20:02:05 | 11   | N   |
| 28 Mar | 0.2  | 05:48:05 | 10   | NNW | 05:51:11      | 53   | NE  | 05:54:18 | 10   | SE  |
| 28 Mar | -0.2 | 19:00:00 | 10   | SW  | 19:03:09      | 67   | NW  | 19:06:17 | 10   | NNE |
| 29 Mar | 2.3  | 04:52:11 | 10   | N   | 04:54:20      | 17   | NE  | 04:56:28 | 10   | E   |
| 30 Mar | -0.3 | 05:31:31 | 20   | WNW | 05:33:24      | 45   | SW  | 05:36:27 | 10   | SSE |
| 31 Mar | 2.1  | 04:38:28 | 18   | ESE | 04:38:28      | 18   | ESE | 04:39:25 | 10   | SE  |

 **Station= El Chino**

Station Longitude= 067 Deg 18 Min 50 Sec W

Geodetic Latitude= 010 Deg 01 Min 03 Sec N

Height above mean sea level= 0540 F

During the period:04.Mar.2001 through 08.Mar.2001

Sunday evening, 04 March 2001 Evening: 11:59 PM 005

Schedules for **El Chino** Morning: 05:12 AM 005

Time(005) Az El H Range RA/2000 D/2000 Hdg Vrt Mag  
 04:23:41AM 212.3 46.0 U 00666 14:08.6 -26d58 041 036 +3.4  
 04:23:56AM 211.1 54.3 U 00598 14:32.4 -20d29 039 033 +3.2  
 04:24:12AM 208.7 64.5 U 00544 14:58.8 -12d23 037 029 +3.0  
 04:24:28AM 201.8 76.3 U 00508 15:27.7 -02d45 036 022 +2.9  
 04:24:44AM 130.7 86.5 L 00496 15:58.8 +07d45 037 310 +3.0  
 04:24:59AM 050.7 76.7 D 00508 16:31.7 +18d14 038 233 +3.1  
 04:25:15AM 043.4 64.9 D 00543 17:05.4 +27d28 042 230 +3.4  
 04:25:31AM 041.0 54.7 D 00597 17:39.0 +34d51 046 232 +3.7  
 04:25:47AM 039.7 46.3 D 00665 18:11.3 +40d28 051 236 +4.0  
 04:26:02AM 038.9 39.4 D 00743 18:41.5 +44d36 056 240 +4.4  
 Soyuz TM 33 =2001 048 =N26955 D/S=0.83

Shadow exit.

04:23:41AM 212.3 46.0 U 00666 14:08.6 -26d58 041 036 +3.4

04:23:56AM 211.1 54.3 U 00598 14:32.4 -20d29 039 033 +3.2  
 04:24:12AM 208.7 64.5 U 00544 14:58.8 -12d23 037 029 +3.0  
 04:24:28AM 201.8 76.3 U 00508 15:27.7 -02d45 036 022 +2.9  
 04:24:44AM 130.7 86.5 L 00496 15:58.8 +07d45 037 310 +3.0  
 04:24:59AM 050.7 76.7 D 00508 16:31.7 +18d14 038 233 +3.1  
 04:25:15AM 043.4 64.9 D 00543 17:05.4 +27d28 042 230 +3.4  
 04:25:31AM 041.0 54.7 D 00597 17:39.0 +34d51 046 232 +3.7  
 04:25:47AM 039.7 46.3 D 00665 18:11.3 +40d28 051 236 +4.0  
 04:26:02AM 038.9 39.4 D 00743 18:41.5 +44d36 056 240 +4.4  
 PgrsM1-7(dckd) =2001 051 =N26983 D/S=0.83

Monday evening, 05 March 2001 Evening: 11:58 PM 005

📡 Schedules for **El Chino**

Morning: 05:11 AM 005

| Time(005)   | Az    | El   | H Range | RA/2000   | D/2000  | Hdg    | Vrt     | Mag      |
|-------------|-------|------|---------|-----------|---------|--------|---------|----------|
| 04:40:34AM  | 225.2 | 41.6 | U       | 00836     | 13:46.2 | -23d46 | 020 050 | +3.3     |
| 04:40:50AM  | 230.3 | 47.4 | U       | 00767     | 13:56.1 | -17d16 | 019 053 | +3.1     |
| 04:41:06AM  | 238.0 | 53.8 | U       | 00710     | 14:06.6 | -09d38 | 018 058 | +2.9     |
| 04:41:22AM  | 250.1 | 60.3 | R       | 00667     | 14:17.8 | -00d52 | 017 068 | +2.8     |
| 04:41:38AM  | 269.3 | 65.5 | R       | 00641     | 14:29.8 | +08d50 | 017 085 | +2.8     |
| 04:41:54AM  | 295.5 | 67.3 | R       | 00634     | 14:43.0 | +18d56 | 017 110 | +2.8     |
| 04:42:10AM  | 320.8 | 64.6 | R       | 00648     | 14:57.3 | +29d01 | 019 135 | +2.9     |
| 04:42:26AM  | 338.1 | 59.0 | R       | 00680     | 15:13.2 | +38d18 | 020 152 | +3.0     |
| 04:42:42AM  | 348.8 | 52.6 | D       | 00729     | 15:30.9 | +46d29 | 023 164 | +3.2     |
| 04:42:58AM  | 355.8 | 46.4 | D       | 00791     | 15:50.9 | +53d25 | 026 173 | +3.5     |
| 04:43:14AM  | 000.4 | 40.9 | D       | 00863     | 16:13.4 | +59d08 | 031 181 | +3.7     |
| Cosmos 1220 |       |      |         | =1980 089 | =N12054 |        |         | D/S=0.66 |

04:50:09AM 001.8 44.6 U 00861 16:26.7 +55d23 175 183 +3.5  
 04:50:26AM 003.2 51.3 U 00787 16:30.2 +48d41 176 185 +3.3  
 04:50:42AM 005.6 59.1 U 00725 16:33.4 +40d47 176 187 +3.1  
 04:50:58AM 010.1 68.0 U 00676 16:36.3 +31d40 176 192 +3.0  
 04:51:14AM 022.4 77.5 U 00645 16:39.0 +21d29 177 204 +2.9  
 04:51:31AM 083.7 84.4 R 00635 16:41.5 +10d35 177 264 +2.9  
 04:51:47AM 148.6 78.1 D 00645 16:44.0 -00d12 177 329 +2.9  
 04:52:03AM 161.7 68.5 D 00675 16:46.4 -10d25 177 342 +3.1  
 04:52:19AM 166.5 59.6 D 00722 16:48.7 -19d35 176 346 +3.2  
 04:52:35AM 168.9 51.7 D 00784 16:51.0 -27d32 176 348 +3.5  
 04:52:52AM 170.4 45.0 D 00858 16:53.3 -34d18 176 348 +3.7  
 Cosmos 1470 Rkt =1983 061 =N14148 D/S=0.66

04:58:25AM 222.4 37.5 R 00918 13:56.8 -28d05 000 049 +3.6  
 04:58:41AM 229.1 41.7 R 00855 13:57.0 -21d26 360 053 +3.4  
 04:58:58AM 237.9 45.8 R 00802 13:56.8 -13d53 359 059 +3.2  
 04:59:14AM 249.1 49.4 R 00764 13:56.3 -05d30 359 068 +3.1  
 04:59:30AM 262.9 51.8 R 00742 13:55.4 +03d33 358 078 +3.0  
 04:59:46AM 278.1 52.4 R 00738 13:54.1 +12d52 357 090 +3.0  
 05:00:02AM 292.9 50.9 R 00751 13:52.3 +22d09 357 102 +3.0  
 05:00:18AM 305.6 47.9 R 00782 13:50.0 +30d53 356 111 +3.1  
 05:00:34AM 315.6 44.0 R 00827 13:47.0 +38d51 355 118 +3.3  
 05:00:50AM 323.3 39.8 R 00886 13:43.4 +45d55 354 122 +3.5  
 05:01:06AM 329.3 35.7 R 00954 13:38.9 +52d04 353 125 +3.7  
 Cosmos 1674 =1985 069 =N15944 D/S=0.57

Tuesday evening, 06 March 2001 Evening: 11:58 PM 005

📡 Schedules for **El Chino**

Morning: 05:11 AM 005

| Time(005)  | Az    | El   | H Range | RA/2000 | D/2000  | Hdg    | Vrt     | Mag  |
|------------|-------|------|---------|---------|---------|--------|---------|------|
| 04:32:19AM | 334.6 | 43.4 | U       | 00875   | 14:07.6 | +50d00 | 167 139 | +3.5 |
| 04:32:36AM | 329.6 | 49.2 | U       | 00806   | 14:16.0 | +43d21 | 169 137 | +3.3 |
| 04:32:52AM | 322.1 | 55.7 | U       | 00747   | 14:23.5 | +35d35 | 170 132 | +3.1 |
| 04:33:08AM | 310.1 | 62.2 | L       | 00704   | 14:30.2 | +26d44 | 172 123 | +3.0 |
| 04:33:24AM | 290.3 | 67.4 | L       | 00677   | 14:36.2 | +16d59 | 172 105 | +2.9 |
| 04:33:40AM | 262.4 | 69.1 | L       | 00670   | 14:41.7 | +06d40 | 173 080 | +2.9 |
| 04:33:57AM | 236.5 | 66.2 | L       | 00683   | 14:46.6 | -03d27 | 173 055 | +2.9 |
| 04:34:13AM | 219.1 | 60.5 | L       | 00714   | 14:51.1 | -13d01 | 174 040 | +3.1 |
| 04:34:29AM | 208.6 | 53.9 | D       | 00762   | 14:55.2 | -21d38 | 174 031 | +3.2 |



04:34:45AM 201.9 47.6 D 00824 14:59.1 -29d10 174 025 +3.4  
 04:35:01AM 197.5 41.9 D 00896 15:02.6 -35d38 173 021 +3.7  
 Okean 2 =1990 018 =N20510 D/S=0.62

Thursday evening, 08 March 2001 Evening: 11:59 PM 005

🌐 Schedules for **El Chino**

Morning: 05:10 AM 005

Time(005) Az El H Range RA/2000 D/2000 Hdg Vrt Mag  
 03:58:21AM 195.6 71.3 U 00761 15:17.6 -07d59 013 016 +3.0  
 03:58:38AM 198.4 80.4 U 00735 15:25.8 +00d55 012 018 +2.9  
 03:58:54AM 279.0 89.0 R 00726 15:34.0 +10d11 013 102 +2.9  
 03:59:11AM 006.4 80.4 D 00735 15:42.9 +19d33 013 187 +3.0  
 03:59:27AM 009.4 71.3 D 00762 15:52.3 +28d25 014 191 +3.1  
 03:59:44AM 010.4 63.0 D 00805 16:02.4 +36d30 015 193 +3.2  
 04:00:00AM 011.0 55.5 D 00861 16:13.4 +43d40 017 195 +3.4  
 04:00:17AM 011.3 49.0 D 00928 16:25.4 +49d52 019 197 +3.6  
 Cosmos 332 Rkt USS=1970 028 =N04370 D/S=0.55

04:30:01AM 012.0 41.9 U 00823 17:14.1 +56d24 200 202 +3.8  
 04:30:17AM 012.2 48.8 U 00743 16:59.4 +49d56 197 199 +3.5  
 04:30:33AM 012.5 57.0 U 00675 16:46.3 +42d01 195 197 +3.2  
 04:30:49AM 013.1 66.8 U 00622 16:34.4 +32d32 193 195 +3.0  
 04:31:05AM 014.9 78.0 U 00587 16:23.6 +21d39 192 196 +2.9  
 04:31:21AM 107.2 89.2 R 00575 16:13.7 +09d47 192 283 +2.8  
 04:31:37AM 188.2 77.9 D 00587 16:04.0 -01d57 191 008 +2.8  
 04:31:53AM 189.6 66.7 D 00621 15:55.7 -12d56 191 010 +2.9  
 04:32:09AM 190.2 56.9 D 00674 15:47.4 -22d31 192 011 +3.1  
 04:32:25AM 190.5 48.7 D 00742 15:39.5 -30d36 193 012 +3.3  
 04:32:41AM 190.7 41.8 D 00821 15:32.0 -37d17 194 013 +3.5  
 Cosmos 1939 =1988 032 =N19045 D/S=0.74

04:54:19AM 357.4 41.2 U 00798 16:18.5 +58d47 171 175 +3.6  
 04:54:34AM 358.1 48.0 U 00719 16:25.6 +52d00 172 177 +3.3  
 04:54:50AM 359.2 56.2 U 00651 16:31.8 +43d47 173 179 +3.1  
 04:55:06AM 001.5 66.0 U 00597 16:37.4 +33d58 174 182 +2.9  
 04:55:22AM 008.0 77.2 U 00563 16:42.4 +22d40 175 189 +2.8  
 04:55:38AM 083.5 87.0 R 00550 16:47.0 +10d21 175 263 +2.8  
 04:55:54AM 161.1 77.5 D 00562 16:51.4 -01d52 175 341 +2.9  
 04:56:10AM 167.9 66.2 D 00596 16:55.4 -13d14 175 348 +3.0  
 04:56:26AM 170.2 56.3 D 00648 16:59.3 -23d08 174 349 +3.3  
 04:56:42AM 171.3 48.0 D 00716 17:03.4 -31d26 174 350 +3.5  
 04:56:58AM 172.0 41.2 D 00794 17:06.9 -38d18 174 350 +3.8  
 Meteor 1-1 USS=1969 029 =N03835 D/S=0.76

## Paso 5: Corrigiendo Errores

En el mundo real hay muchas cosas que le pueden suceder a una señal de **GPS** para transformarla en algo menos que matemáticamente perfecta.

Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema un buen receptor de **GPS** debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles.

*Un Rudo Viaje a través de la atmósfera*

Se ha estado afirmando que se puede calcular la distancia a un satélite multiplicando el tiempo de viaje de su señal por la velocidad de la luz. Pero la velocidad de la luz sólo es constante en el vacío. Una señal de **GPS** pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.

*Un Rudo Viaje sobre la tierra*

Los problemas para la señal de **GPS** no terminan cuando llega a la tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por el receptor **GPS**.

Este error es similar al de las señales fantasma que se pueden ver en la recepción de televisión. Los buenos receptores GPS utilizan sofisticados sistemas de rechazo para minimizar este problema.

### Problemas en el satélite

Aún siendo los satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores en el sistema. Los relojes atómicos que utilizan son muy, pero muy, precisos, pero no son perfectos. Pueden ocurrir minúsculas discrepancias que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales. Y, aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco pueden ser controlados a cada segundo. De esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo.

### Algunos ángulos son mejores que otros

La geometría básica por sí misma puede magnificar estos errores mediante un principio denominado "Dilación Geométrica de la Precisión", o DGDP

Suena complicado pero el principio es simple. En la realidad suele haber más satélites disponibles que los que el receptor **GPS** necesita para fijar una posición, de manera que el receptor toma algunos e ignora al resto. Si el receptor toma satélites que están ampliamente separados, las circunferencias interceptan a ángulos prácticamente rectos y ello minimiza el margen de error.

Los buenos receptores son capaces de determinar cuáles son los satélites que dan el menor error por Dilución Geométrica de la Precisión (GPD).

### ¡Errores Intencionales!

El gobierno de EEUU que pudo gastar 12.000 Millones de dólares para desarrollar el sistema de navegación más exacto del mundo, está degradando intencionalmente su exactitud. Dicha política se denomina "Disponibilidad Selectiva" y pretende asegurar que ninguna fuerza hostil o grupo terrorista pueda utilizar el **GPS** para fabricar armas certeras. Básicamente, el Departamento de Defensa introduce cierto "ruido" en los datos del reloj satelital, lo que a su vez se traduce en errores en los cálculos de posición.

En Resumen: Corrección de Errores

1. La ionosfera y la troposfera causan demoras en la señal de **GPS** que se traducen en errores de posicionamiento.
2. Algunos errores se pueden corregir mediante modelación y correcciones matemáticas.
3. La configuración de los satélites en el cielo puede magnificar otros errores
4. El **GPS** Diferencial puede eliminar casi todos los errores

**Resumen de las fuentes de error del sistema GPS Errores típicos, en Metros (Por cada satélite)**

| Fuentes de Error               | GPS Standard | GPS Diferencial |
|--------------------------------|--------------|-----------------|
| Reloj del Satélite             | 1.5          | 0               |
| Errores Orbitales              | 2.5          | 0               |
| Ionosfera                      | 5.0          | 0.4             |
| Troposfera                     | 0.5          | 0.2             |
| Ruido en el Receptor           | 0.3          | 0.3             |
| Señal Fantasma                 | 0.6          | 0.6             |
| Disponibilidad Selectiva       | 30           | 0               |
| Exactitud Promedio de Posición |              |                 |
| Horizontal                     | 50           | 1.3             |
| Vertical                       | 78           | 2.0             |
| 3-D                            | 93           | 2.8             |

## 5. MODELO DEL ELIPSOIDE Y EL GEOIDE WGS 84

Primero: para la antena del **GPS**, situada en el punto P sobre el terreno, (Ilustración 5), se tiene dos alturas distintas:

- ✓ La **altura elipsoidal**, que es la de la antena sobre el elipsoide de referencia y que se representa por **h**,

- ✓ y la **altura ortométrica**, que es la de la antena sobre el geoide de referencia y que se representa por  $H$ .

Además, a la magnitud  $P_E P_G$  se le llama **altura del geoide**, se representa por  $N$ , y en las condiciones del supuesto no se puede conocer sus valores.

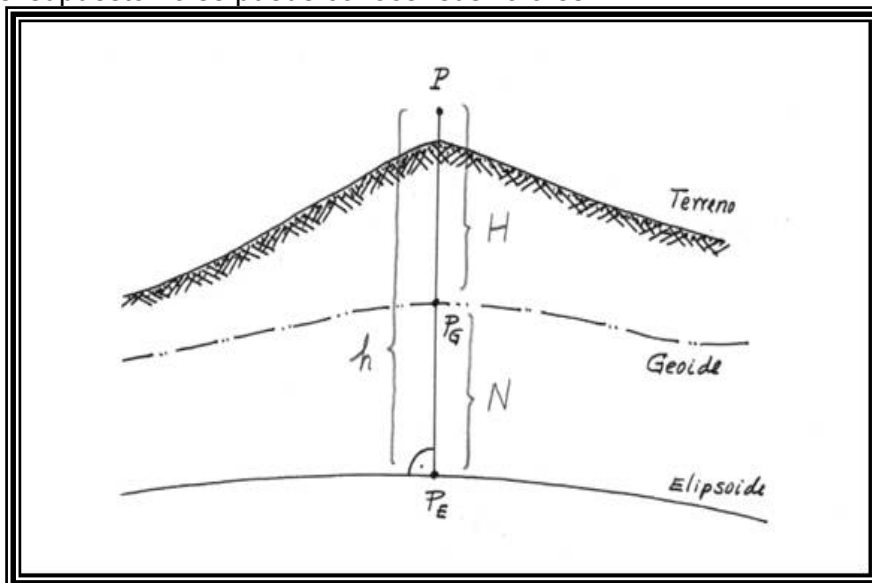


Ilustración 5: Esquema del a altura referida al geoide y el elipsoide.

Segundo: los actuales receptores **GPS** de Garmin llevan definido y tabulado en su memoria, respectivamente, el modelo de elipsoide y el modelo de geoide del **WGS84**, y las alturas que nos proporcionan son sobre éste último.

Partiendo de aquí: si se adapta la Ilustración 5 a lo dicho en los puntos *segundo* y *tercero*, se tiene la Ilustración 6:

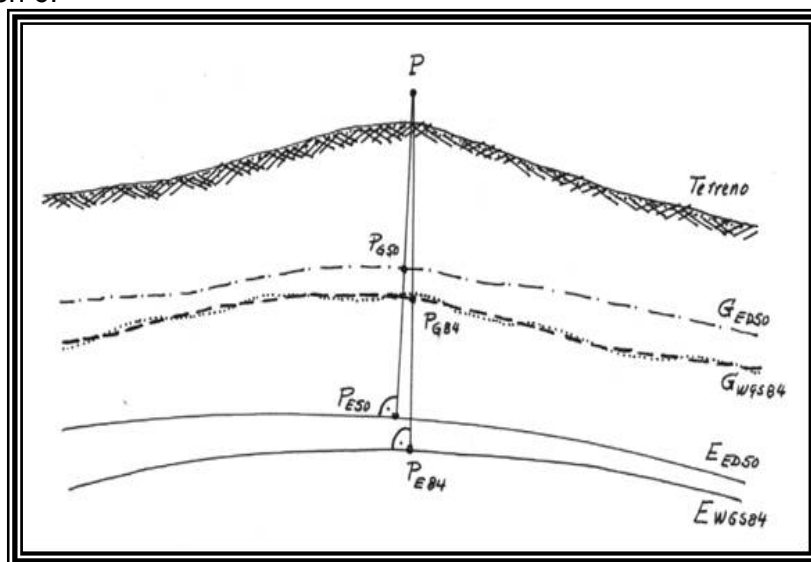


Ilustración 5: Esquema del a altura referida al geoide y el elipsoide WGS84.

y en ella:

- $P$  centro eléctrico de la antena del **GPS**.
- $E_{WGS84}$  elipsoide del **WGS84**.
- $E_{ED50}$  elipsoide del *European datum 1950*.
- $G_{WGS84}$  geoide real del **WGS84**, (*representado por una serie de rayas*), y geoide del **WGS84** tabulado en la memoria del receptor **GPS** Garmin, (*representado por una serie de puntos*).

- **G<sub>ED50</sub>** geoide del “nivel medio de la mar en Alicante”, representado por una serie de puntos y rayas.

Con lo que se ve que se está trabajando con dos alturas ortométricas distintas de un mismo punto: la que da el mapa:  $P_{G50}$ , (*datum* altimétrico de Alicante), y la que da el receptor *GPS*:  $P_{G84}$ , (*datum* altimétrico del **WGS84**).

Además, la cosa, con ser sencilla, no se queda sólo en esto. Se debe también tener en cuenta los errores que en sí misma lleva:

- Los errores de representación y de lectura de alturas sobre el mapa: en la práctica se admite que la separación vertical entre las curvas de nivel representadas en el mapa, es el doble del error máximo en altura del mismo.
- El error que se comete en el receptor **GPS** al calcular la altura sobre el  $G_{WGS84}$  tabulado, (es decir: aproximado), en lugar de hacerlo sobre el  $G_{WGS84}$  real, y
- El propio error en el cálculo de la altura del receptor **GPS**.

#### Conclusión:

- A la hora de trabajar en supuestos como el planteado, deben ser personas prudentes con los valores obtenidos para la altura de cada punto, pues no sólo resultan ser dos y distintos, sino que uno de ellos, el que proporciona el **GPS**, todavía tiene una precisión muy grosera en comparación a la del otro, el que proporciona la lectura del mapa.
- En orden de preferencia, los valores de alturas se obtendrán de:
  1. Reseñas de vértices y puntos geodésicos.
  2. Placas de nivel en el terreno.
  3. Lectura de la hoja del mapa.
  4. Barómetro-altímetro cuidadosamente ajustado.
  5. Receptor **GPS**.

## 6. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

El Sistema de Posicionamiento Global consta de tres divisiones: espacio, control y usuario.

**La división espacio** incluye los satélites y los cohetes Delta que lanzan los satélites desde Cabo Cañaveral, en Florida, Estados Unidos. Formado por 24 satélites (en la actualidad 29).seis planos orbitales, equidistantes 60 grados. todos ellos inclinados 55 con respecto a la eclíptica. cuatro sv en cada plano orbital. El usuario puede disponer de un mínimo de 5 sv en el día y un máximo de 8 (Ilustración 6). Utilizaban el Sistema de Posicionamiento Global para adelantar días o semanas los métodos oficiales de investigación. El **GPS** se usa hoy en aviones y barcos para dirigir la navegación en las aproximaciones a los aeropuertos y puertos. Los sistemas de control de seguimiento envían camionetas y vehículos de emergencia con información óptima sobre las rutas. El método denominado “granja de precisión” utiliza el **GPS** para dirigir y controlar la aplicación de fertilizantes y pesticidas. También se dispone de sistemas de control de seguimiento como elemento de ayuda a la navegación en los vehículos utilizados por excursionistas.

**La división control.** Realizan funciones de seguimiento y monitoreo permanente. La estación principal se ubica en la base aérea de Schriever, en Colorado, EUA. Se encargan de autorregular las orbitas de los satélites y sincronizar las variables temporales. Las estaciones de observación situadas en Falcon AFB, Hawaii, en la isla de Ascensión en el Atlántico, en Diego García en el océano Índico, y en la isla Kwajalein en el Pacífico sur. Las divisiones de control utilizan las medidas recogidas en las estaciones de observación para predecir el comportamiento de las órbitas y relojes de cada satélite. Los datos de predicción se conectan a los satélites para transmitirlos a los usuarios. La división control también se asegura de que las órbitas de los satélites **GPS** permanezcan entre los límites y de que los relojes no se alejen demasiado del comportamiento nominal.

La **división usuario** es un término en principio asociado a los receptores militares. Los **GPS** militares utilizan equipos integrados en armas de fuego, armamento pesado, artillería, helicópteros, buques, submarinos, carros de combate, vehículos de uso múltiple y los equipos individuales para soldados. Además de las actividades básicas de navegación, su aplicación en el campo militar incluye designaciones de destino, apoyo aéreo, municiones “terminales” y puntos de reunión de tropas. La lanzadera espacial está dotada de un Sistema de Posicionamiento Global. Con más de medio millón de receptores de **GPS**, los usuarios civiles tienen una división propia, grande y diversa.

Dos nuevas técnicas para la realización de las medidas geodésicas, la interferometría lejana (VLBI) y el alineado láser con satélite (SLR), han sido usadas para determinar, con una precisión de milímetros, las velocidades con las que los continentes se separan.

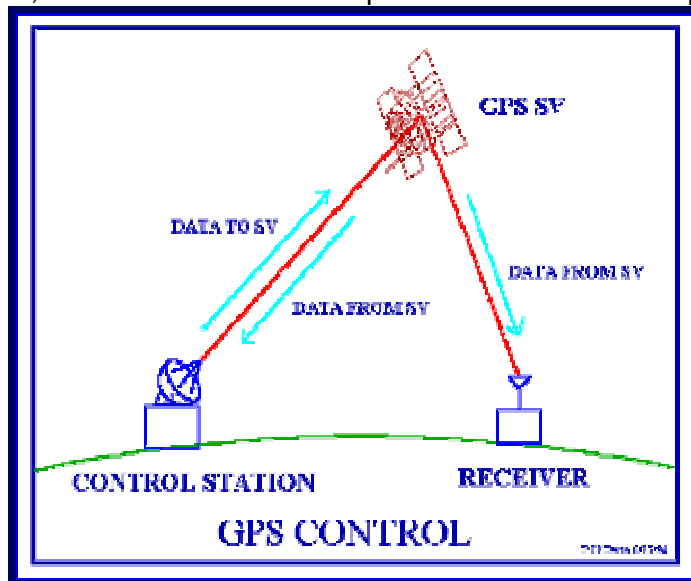


Ilustración 6: Ruta de una señal de GPS

**Señales.** El satélite transmite dos portadoras (L1, L2). La señal L1 es de 1575.42 Mhz y es portadora del mensaje de navegación así como los códigos SPS. La señal L2 (1227.60 Mhz) se utiliza para medir el retardo ionosférico debido a los receptores equipados con PPS.

El código C/A (Adquisición de curso), modula la fase de la portadora L1. Se trata de un ruido Pseudo-aleatorio (PRN) de 1 Mhz. El código C/A se repite cada 1023 bits (un milisegundo). Hay un código C/A para cada Vehículo Espacial (Satélite GPS). Con frecuencia, los satélites GPS son identificados por su código C/A, único identificador de cada código PRN.

El código P (Preciso) modula tanto la portadora L1 como la L2. El código P es un código PRN de 10 Mhz extremadamente largo (cerca de una semana). En el modo de operación Anti-Spoofing (AS) el código P se encripta dentro del código Y, y este código requiere un modulo Anti-Spoofing para cada canal del receptor y solo se usa por usuarios autorizados con claves criptográficas.

El mensaje de navegación también modula la señal L1 que ya esta modulada por el código C/A. Es una señal de 50 Hz con datos que describen las orbitas de los satélites **GPS**, ajustes del reloj y otros parámetros del sistema (Ilustración 7).

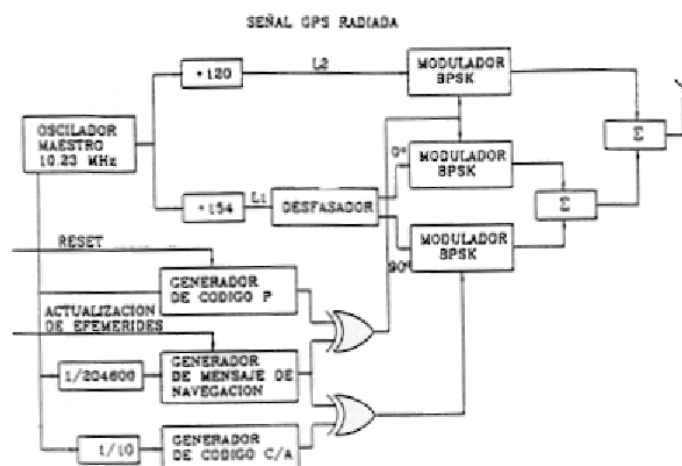


Ilustración 7: El diagrama de bloques del generador de la señal GPS es el siguiente

## 7. MENSAJE DE NAVEGACIÓN (NAV.DATA)

El Departamento de Defensa de los Estados Unidos mediante un proceso llamado Disponibilidad Selectiva (D/S); el Departamento de Defensa introduce 'ruido' en la señal de los satélites, reduciendo la exactitud de su mensaje. Estas distorsiones no preocupan a las fuerzas militares de los EE.UU. y sus aliados, que utilizan receptores P-código especiales que pueden descodificar los efectos de la Disponibilidad Selectiva y proporcionar una exactitud de posicionamiento de alrededor de 15 metros de forma rutinaria.

Cuando las condiciones atmosféricas son favorables, los sistemas funcionan correctamente y la Disponibilidad Selectiva está desconectada, un receptor **GPS** estándar con una vista clara del cielo puede proporcionar posicionamiento con un margen de error de tan solo unos metros. Desafortunadamente el usuario no tiene manera de saber cuándo dichas condiciones pueden producirse, y debe suponer, por prudencia, que la posición dada podría tener un error de hasta 100 metros.

Consiste en trenes de bits a intervalos regulares de tiempo marcando el periodo de transmisión de cada subtrama mientras son enviadas desde el satélite. Una trama de datos consiste en 1500 bits divididos en cinco subtramas de 300 bits. Una trama se transmite cada 30 segundos

Tres subtramas de seis segundos contienen datos de la órbita y del reloj. Las correcciones del reloj se envían en la subtrama primera. Los valores de las órbitas son enviados agrupados en las subtramas dos y tres.

Las subtramas cuatro y cinco se utilizan para transmitir distintas páginas de datos del sistema. Después, un conjunto de 25 tramas (125 subtramas) completan el mensaje de navegación que es enviado sobre un periodo de 12.5 minutos. Cada subtrama contiene bits de paridad para detectar y corregir errores de transmisión

## 8. GPS COMO EQUIPO NAVEGADOR

Los pasos que se realizan con la señal **GPS** recibida para obtener la posición del usuario se divide en los dos apartados siguientes:

**Proceso de adquisición.** Al encender el receptor **GPS** éste puede encontrarse en dos estados distintos:

- *Perdido* (el almanaque tiene una fecha muy antigua). El aparato prueba con distintos satélites hasta que reciba una señal con una SNR aceptable. Cuando logra engancharse con un satélite de modula el mensaje de navegación y consigue así el almanaque y la referencia temporal **GPS**. Esta fase de prueba y error puede durar hasta unas decenas de minutos.

- *Memorizado* (hace poco que hemos usado el aparato **GPS** y el almanaque almacenado sirve para saber la posición de todos los satélites). El aparato se engancha con los cuatro satélites que tiene visibles.

Cuando el receptor ya está enganchado con un satélite se asigna el canal/es a los códigos de los satélites que están visibles y se inicia el proceso de enganche con cada satélite.

### Proceso de seguimiento

Se representa en forma esquemática en la ilustración 8.

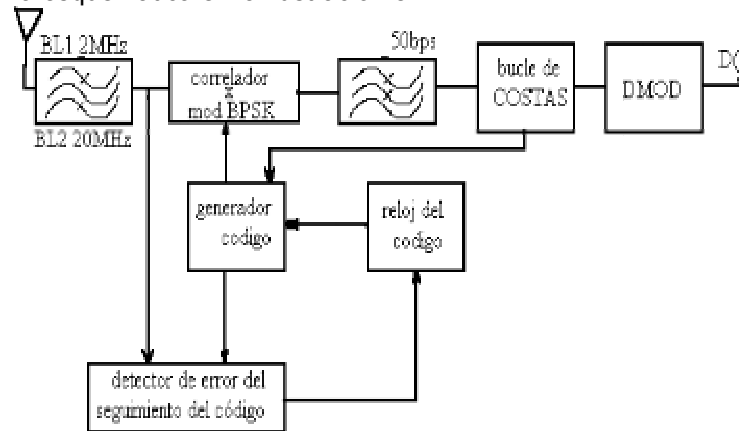


Ilustración 8: Esquema de seguimiento de señal GPS.

### 8.1- Funciones de un receptor GPS

La función principal de un **GPS** es informar sobre la posición que ocupa, por medio de las coordenadas de longitud y latitud, de manera que dicha posición pueda situarse con facilidad en un mapa o plano. Pero hay otras funciones para facilitar la navegación:

- ❖ **Posición:** Indicar la posición del **GPS**. Facilita la localización casi exacta del receptor. Para ello el **GPS** tiene que haber captado las señales emitidas al menos por tres satélites.
- ❖ **Altura:** al captar 4 o más satélites el **GPS** indica la altura sobre el nivel del mar. (sensible a Disponibilidad Selectiva)
- ❖ **TIEMPO:** el **GPS** una vez inicializado, aunque no reciba señales satelitales indica la hora y fecha, si recibe señales indica la hora exacta.
- ❖ **PUNTO DE PASO.**
- ❖ **Punto de referencia:** El waypoint es la posición de un único lugar sobre la superficie de la tierra expresada por sus coordenadas. Un waypoint puede ser un punto de inicio, de destino o un punto de paso intermedio en una ruta. Todos los **GPS** pueden almacenar en memoria varios Waypoints, los cuales se pueden borrar, editar, e identificar mediante caracteres alfa numéricos. Algunos **GPS** permiten agrupar una sucesión de waypoints representando un recorrido, a esto se le llama ruta.
- ❖ **Distancia:** introduciendo las coordenadas de dos puntos, la función distancia del **GPS** informa la separación de ambos y el rumbo en grados que hay que seguir desde el marcado como inicio al de destino. Lo mismo puede realizarse con dos waypoints.
- ❖ **Navegación:** Introduciendo un waypoint como destino y otro como origen, esta función facilita actualizando continuamente los siguientes datos:
- ❖ **-Rumbo de contacto (Bearing):** rumbo expresado en grados que debemos seguir desde la posición actual para llegar al destino.

- ❖ -Rumbo actual (Heading track): Rumbo en grados que llevamos en ese momento. Un **GPS** es una brújula exacta no afectada por campos magnéticos o metales de los vehículos.
- ❖ -Distancia: el **GPS** nos informa la distancia que falta en línea recta para llegar a nuestro punto de destino.
- ❖ -Error transversal (CDI, XTE): El **GPS** nos informa del alejamiento transversal de la trayectoria ideal en línea recta desde el inicio al destino.
- ❖ -Velocidad: (Speed) Velocidad a la que se está desplazando el **GPS**.
- ❖ -Tiempo estimado de llegada (ETA,TTG): Indica el tiempo estimado de llegada al destino en línea recta manteniendo constante la velocidad (por razones obvias solo aplicable a navegación aérea o marítima.)
- ❖ -Tiempo estimado de viaje (ETE): Tiempo estimado de viaje a la velocidad indicada por el **GPS**. SET UP: La función set up se utiliza para programar el **GPS** y controlar la forma que ofrece la información, por ej. si los datos queremos que aparezcan en millas o km, en pies o metros. etc. al igual que el sistema de coordenadas que pueden utilizar los sistema Lat/Lon, UTM, y los diferentes GRID.
- ❖ -Datum (map datum): representa un sistema geométrico de la tierra. La subfunción DATUM permite seleccionar entre los dif. sistemas en que están basados los mapas y cartas marinas.
- ❖ -Norte de Referencia (North Reference): Permite elegir el modelo de norte (magnético, indicado por las brújulas) o verdadero (true) que el **GPS** tomar para indicar las informaciones sobre rumbo actual y de contacto.
- ❖ -Unidades de distancia (Dist. units): Esta subfunción permite seleccionar las unidades de longitud de la información (km, millas y millas marinas)
- ❖ -Unidades de elevación (Elev. units): Esta permite elegir entre metro y pies.
- ❖ -Hora (Time): Selecciona el formato de la hora, se puede elegir entre UT (universal time) y GMT. Algunos modelos también traen la hora local.

## 8.2- Selección de un receptor GPS

La adquisición del equipo correcto para su necesidad particular requiere de un análisis cuidadoso de la forma en que utilizará el receptor, que tipo de información necesita del mismo y que le permitirá su presupuesto :

- ✓ Direccionamiento preciso
- ✓ Mayor precisión y velocidad
- ✓ Receptor en condiciones altamente dinámica
- ✓ **GPS** estándar la mediciones no son muy precisas.

## 8.3- GPS Diferencial (DGPS)

Se llama **GPS** diferencial (DGPS) al sistema modificado, desarrollado por los fabricantes de receptores civiles, que pretende conseguir o aproximarse a la precisión ofrecida por el código militar. Para conseguir este aumento de la precisión es necesario acoplar al receptor **GPS**, mediante una conexión interface especial, otro tipo de receptor. Este receptor complementario (debe ser compatible) capta las señales emitidas por una red de radiobalizas situadas en estaciones costeras.

Un aparato que disponga de la función DGPS, interconectado con un receptor adecuado, puede "burlar" la disponibilidad selectiva impuesta por el Departamento de Defensa de USA, al disponer de otra serie de datos complementarios, ofreciendo de esta manera, una precisión en las coordenadas de posición que oscila entre los cinco y los diez metros. Cada marca de **GPS** facilita los parámetros de compatibilidad entre los receptores con función DGPS y los receptores que captan las señales de las radiobalizas. La utilización del sistema DGPS solo es aplicable en



la navegación marina, siendo especialmente útil en las maniobras de atraque con poca visibilidad.

### 8.3.1- Estructura del DGPS

El fundamento radica en el hecho de que los errores producidos por el sistema GPS afectan por igual (o de forma muy similar) a los receptores situados próximos entre si. Los errores están fuertemente correlacionados en los receptores próximos.

Si se supone que un receptor basándose en otras técnicas conoce muy bien su posición, si este receptor recibe la posición dada por el sistema GPS será capaz de estimar los errores producidos por el sistema GPS. Si este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él estos podrán corregir también los errores producidos por el sistema (Ilustración 9).

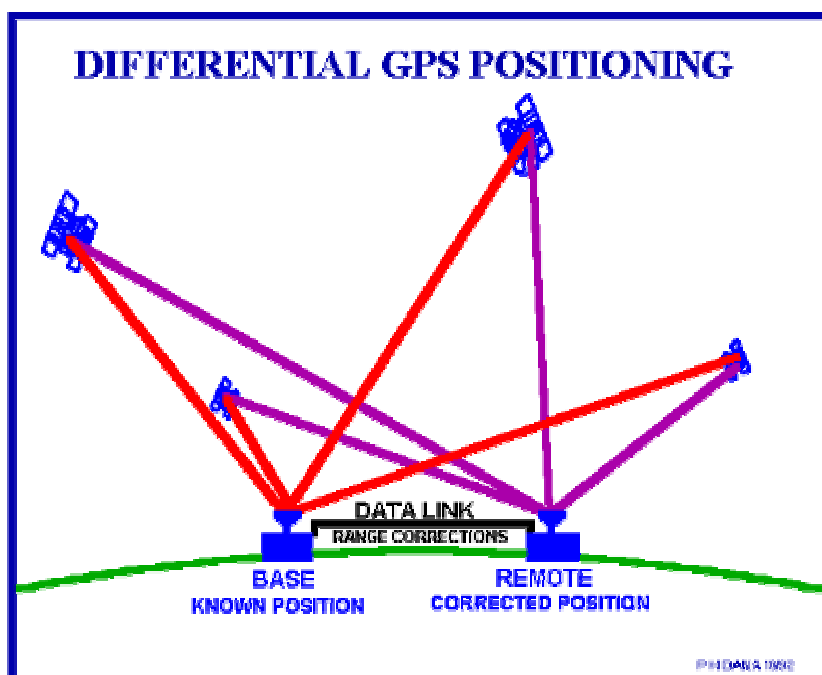


**Ilustración 9: Sistema DGPS**

Con este sistema DGPS se pueden corregir en parte los errores debidos a:

- Disponibilidad selectiva.
- Propagación por la ionosfera - troposfera.
- Errores en la posición del satélite (efemérides).
- Errores producidos por errores en el reloj del satélite.

Una estación monitora que conoce su posición con una precisión muy alta. Esta estación tiene:

- Un receptor GPS.
- Un microprocesador para calcular los errores del sistema GPS y para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores.

Hay un canal de datos unidireccional hacia los receptores, por tanto:

- Necesita un transmisor (estación monitora).
- Los usuarios necesitarán un receptor para recibir estos datos.

En los mensajes que se envían a los receptores próximos se pueden incluir dos tipos de correcciones:

- Una corrección directamente aplicada a la posición. Esto tiene el inconveniente de que tanto el usuario como la estación monitorea deberán emplear los mismos satélites, pues las correcciones se basan en esos mismos satélites.
- Una corrección aplicada a las pseudodistancias de cada uno de los satélites visibles. En este caso el usuario podrá hacer la corrección con los 4 satélites de mejor SNR. Esta corrección es más flexible.

El error producido por la disponibilidad selectiva varía incluso más rápido que la velocidad de transmisión de los datos. Por ello, junto con el mensaje que se envía de correcciones también se envía el tiempo de validez de las correcciones y sus tendencias. Por tanto el receptor deberá hacer algún tipo de interpolación para corregir los errores producidos.

### 8.3.2- Cobertura y precisión del DGPS

Tiene una cobertura de 200 km en torno a la estación terrena. Esta zona es donde los errores están fuertemente correlacionados. Se eliminan los errores del segmento espacial y de control. En cuanto al segmento de los usuarios se eliminan los efectos de la ionosfera y troposfera y el parámetro que más afecta es el ruido del receptor. Se están desarrollando sistemas WADGPS (DGPS de área amplia) que no es otra cosa que un DGPS de gran cobertura. Está formado por varias estaciones monitoras DGPS cuyas áreas de cobertura están superpuestas.

La técnica de **GPS** diferencial consigue precisión puede mejorarse. La técnica en general de **GPS** permite controlar y usar los recursos naturales con mayor eficiencia que antes.

Para calcular una posición precisa, todos los receptores **GPS** deben recibir información de por lo menos cuatro satélites. Los nuevos sistemas topográficos **GPS** cinemáticos (Ilustración 10) serán aún más automáticos. Hay dos grupos: uno que puede seguir simultáneamente 4 o más satélites y otro que conmutan secuencialmente entre los satélites. Y dentro de cada categoría existe una variedad de subespecies:

1. receptores de seguimiento en secuencia.
2. Una desventaja de los receptores de consumo de alimentación limitado con un solo canal, reside en la precisión degradada, la limitación del interfaz y la inhabilidad para medir la velocidad con precisión.
3. receptores con un solo canal
4. receptores multiplexores rápidos con un solo canal
5. receptores de seguimiento en secuencia con dos canales: son costosos
6. receptores continuos puede controlar 4 o más satélites dando instantáneamente los valores de posición y velocidad. Eliminan el problema de GDOP. Mediciones de tiempo más preciso lo que a su vez se traduce en un mejor posicionamiento.

La respuesta al problema de la inexactitud del GPS viene dada con el DGPS. El DGPS fue ideado como sistema sencillo para corregir los errores simplemente midiéndolos. Con la excepción de errores por trayectoria múltiple y los fallos técnicos de receptores individuales, los factores que afectan a la exactitud del posicionamiento GPS serán comunes en toda una zona que puede cubrir miles de kilómetros cuadrados.

En la práctica el proceso es más complicado, puesto que la estación de referencia estará escuchando las señales de todos los satélites que puede ver por encima del horizonte. Comparará el tiempo que toma cada señal en llegar hasta él con el tiempo que sabe que la señal debería haber tomado.



**Ilustración 10:** Aparecen el GPS diferencial de la marca Reliance; el ordenador PenMap con el programa Reliance de campo; los colectores Workabout y Husky; y el sensor Z-1 2. Detrás aparece la mochila del Reliance con el Receptor SCA-12 y la antena de campo.

Lo que se proporciona al receptor móvil es precisamente esta diferencia de tiempo - de ahí viene el nombre de GPS Diferencial. Si el receptor móvil tiene menos canales, o si está en un lugar enmascarado por colinas u otros objetos, es posible que no escuche tantos satélites como la estación de referencia. Esto significa que tendrá que seleccionar la información que necesita del paquete suministrado y emparejarla con los satélites que está escuchando.

**Difusión.** La única forma en que un receptor **GPS** móvil puede recibir correcciones es mediante algún tipo de radioenlace. La naturaleza de este enlace variará según el servicio DGPS usado, y puede incluir radiofaros terrestres o satélites de comunicaciones.

Las correcciones en sí suelen transmitirse en un formato llamado protocolo RTCM SC-104. Éste es un estándar internacionalmente acordado que permite a cualquier receptor **GPS** móvil con la 'caja' adecuada instalada recibir, comprender y aplicar las correcciones.

Existen sistemas que consiguen su alta precisión mediante un procesamiento diferencial (DGPS). En posicionamiento autónomo, la precisión del **GPS** es de 100 m. con la disponibilidad selectiva (DS) impuesta. Como quiera que en topografía y cartografía se requiere una precisión mucho más alta, se han desarrollado técnicas diferenciales para corregir los errores causados por la DS o por la interferencia atmosférica. El DGPS es el proceso por el cual los datos registrados en el campo son procesados empleando datos obtenidos en un receptor de referencia situado sobre un punto conocido. Esta estación de referencia (ER) compara su posición conocida con la posición **GPS** que se obtiene en cada instante y genera correcciones a las soluciones **GPS**. Estas correcciones se pueden aplicar a los datos obtenidos en el campo, en un radio de hasta aproximadamente 500 km. Estas correcciones **DGPS** se pueden aplicar en el campo, en tiempo real, transmitiendo las correcciones diferenciales de la ER a través de un radio enlace; o bien las correcciones diferenciales se pueden aplicar en postprocesado mediante el software una vez terminado el trabajo de campo.

**DGPS; tiempo real y postprocesado** La elección de un modo u otro de trabajo depende de la precisión que se desee obtener y de las consideraciones presupuestarias. Ambos métodos tienen sus propias ventajas. El DGPS en tiempo real es necesario para la navegación de

precisión y asignación de coordenadas a los motivos geográficos. La ventaja sobresaliente es que se obtienen resultados inmediatos, en el campo. El DGPS en postprocesado es la elección más común para mejorar la precisión del **GPS**, por ser más económica, porque se puede usar siempre que se disponga de una estación de referencia y, simplemente, por ser más preciso. Por lo tanto, es más útil en aquellas aplicaciones que tratan de utilidades o inventarios urbanos, donde muchas de las características que se recogen están muy próximas.

#### **LA PRECISION GPS, DIRECTAMENTE A SU SIG O A SU APLICACIÓN CARTOGRÁFICA, EN CUATRO SIMPLES PASOS:**

- 1º. **Planifique** su proyecto, definiendo o modificando sus características o atributos empleando el intuitivo Editor de Características. Usando su propia librería, puede utilizar la misma terminología que emplea en su SIG o aplicación cartográfica. También puede comprobar la visibilidad de la constelación **GPS** para determinar el mejor momento para realizar el trabajo de campo.
- 2º. **El trabajo de campo** es fácil y rápido después de planificar la toma de datos. Simplemente elija en el campo, los objetos, líneas o áreas que quiera incluir y seleccione las descripciones correctas de su lista predefinida. O use un distanciómetro láser para posicionamiento puntual DGPS.
- 3º. **El procesado** de los datos es tan fácil como su planificación. Simplemente descargue los datos de la ERU y del colector de datos y presiones "Process", los datos son corregidos diferencialmente con rapidez, quedando listos para exportar.
- 4º. **La exportación** de los datos a un SIG le permite ver, editar, imprimir y publicar todas las posiciones, características y datos de los sensores externos del mismo modo que usaría otra información en su SIG o aplicación cartográfica.

#### **Navegación para Todos**

Para comprender las ventajas que aporta la tecnología **GPS** Diferencial a la agricultura moderna, merece la pena dedicar algún tiempo a explicar cómo funciona el **GPS**.

La idea original del Departamento de Defensa estadounidense fue establecer una constelación de satélites en órbita unos 23.000 km. por encima de la superficie de la Tierra. Éstos transmiten señales que pueden utilizarse para la navegación de buques de guerra, misiles y otros recursos del Departamento.

Sin embargo, rápidamente se hizo evidente que las señales de posicionamiento transmitidas por los satélites **GPS** podían ser recibidas por cualquiera, condujera un carro de combate, un superpetrolero o una cosechadora. El Gobierno de los Estados Unidos ha aceptado esta realidad y no tiene inconvenientes en que se utilice el servicio de forma gratuita. Lo único que se necesita para aprovechar esta tecnología que cuesta muchos billones de dólares es un receptor **GPS** que, hoy en día, puede comprarse por £100 o menos.

El receptor **GPS** contiene un diminuto ordenador que funciona escuchando las señales únicas transmitidas por cada uno de los satélites. El precio del receptor depende en gran medida del número de canales que contiene. Puesto que cada canal se utiliza para escuchar a un satélite individual, cuantos más canales posee, más señales de posicionamiento puede recibir y mejor será su rendimiento.

El receptor **GPS** sabe instantáneamente a cuál de los 24 satélites en órbita está escuchando, pero lo que es más importante, su reloj interno sabe cuándo se transmitió la señal de ese satélite. También sabe dónde debe estar ese satélite en su órbita, de manera que, al medir el tiempo que tarda la señal en viajar desde el satélite hasta el receptor **GPS**, puede calcular la distancia que hay entre los dos. Si el receptor **GPS** puede escuchar tres o más señales, su

pequeño turbo cerebro puede calcular instantáneamente la trigonometría necesaria para medir la distancia desde cada satélite, y calcular su posición. El proceso es esencialmente igual que usar una brújula para medir derrotas desde la torre de una iglesia y una colina para fijar la posición en un mapa bi-dimensional. Sin embargo, puesto que los satélites se desplazan en tres dimensiones, es necesario medir una tercera derrota para proporcionar la medición final que fijará la posición del receptor en la superficie de la tierra, o en el caso de un avión, por encima de ella.

Si el receptor **GPS** puede escuchar a un cuarto satélite, puede realizar unos cálculos matemáticos aún más útiles, para sincronizar su reloj interno con la hora universal usada por los relojes atómicos muy precisos a bordo de los satélites. Puesto que todas las mediciones del receptor se basan en el tiempo necesario para que la señal del satélite llegue a él, esta sincronización es esencial. No obstante, los cálculos matemáticos implicados son algo complejos para el no-experto, y es mejor no adentrarnos en ellos aquí. Para los propósitos de esta publicación, probablemente lo más sencillo es simplemente aceptar que todo esto ocurre, y seguir adelante.

### **Precisión con un receptor GPS**

Si un receptor **GPS** se utilizara en un vacío perfecto, el tiempo que tardan las señales de radio del satélite en llegar hasta él correspondería exactamente a la velocidad de la luz - 300.000 km. por segundo. Desgraciadamente, debido a que las señales deben atravesar la atmósfera de la tierra, están sujetas a diversos factores que las pueden ralentizar. Las señales se transmiten en la banda L, de alta frecuencia, que es altamente resistente a la interferencia, pero las partículas cargadas de la ionosfera y el vapor de agua de la troposfera pueden jugar un papel impredecible. Más cerca de la tierra, las señales pueden rebotar en otros objetos o accidentes geográficos causando errores locales por el efecto de trayectoria múltiple. Aunque la señal que llega a la antena de la unidad **GPS** directamente será la más exacta, los ecos de la misma señal recibidos desde edificios, montañas u otros objetos afectarán a su precisión de la misma forma en que causan el efecto familiar de sombra que a veces se ve en la televisión.

Otras potenciales fuentes de error pueden existir también; éstas pueden deberse a que el mismo satélite no está exactamente donde debe estar en su órbita, causando los que se conoce como errores de efemérides. El receptor **GPS** puede también ser algo menos que perfecto, y causar errores internos propios. Los errores más importantes, sin embargo, son causados por una distorsión intencionada llamada Disponibilidad Selectiva.

En condiciones normales, un receptor **GPS** portátil es capaz de resolver posiciones con un máximo de precisión de unos 10-15 metros en el rango horizontal, y unos 15-20 metros en el rango vertical (altura). Esta precisión, sin embargo puede verse alterada por varios parámetros, fundamentalmente:

- El número de satélites con los que está conectado (mientras mayor sea el número, mejor)
- La geometría de los satélites (como regla general, mientras más dispersos estén, mejor, aunque esto no es muy preciso decirlo de esta forma)

En la realidad, y con los modernos equipos de 12 canales, se obtiene una sobredeterminación del posicionamiento que mejora mucho la precisión. Esto ocurre porque en los antiguos equipos monocanales, sólo se usaba la información de los 4 mejores satélites en la determinación. Hoy día se usa al mismo tiempo la información recibida por todos los satélites que el equipo recepciona. Hay programas, como Visual **GPS** que te permite evaluar la precisión de tu equipo. Tras mucha experimentación, se puede decir que actualmente se puede conseguir una precisión real de unos 3 metros en más del 98% del tiempo. Con el DGPS se puede mejorar

aún más la precisión, llegándose a alcanzar precisiones que oscilan entre 100 a 50 centímetros. Con el DGPS, se pueden llegar a obtener precisiones en el posicionamiento de menos de 2 metros en el 87% del tiempo, o incluso inferior a 3 metros en el 98% del tiempo.

La precisión en el posicionamiento de un **GSP** puede también mejorarse notablemente haciendo un promediado de posicionamiento (averaging positioning). Esta es una función implementada en algunos receptores (como el Garmin12, 12XL, III, III plus y otros), y en otros no (etrex por ahora..). Este promediado consiste en dejar quieto el receptor en un punto mientras éste computa y promedia una posición prácticamente cada segundo. Mientras mayor tiempo sea la duración de este promediado, mayor será la precisión obtenida.

### **La función de mapa móvil**

Se estará trabajando en el modo **MAPA MOVIL** cuando se vea en la pantalla del ordenador un mapa, y en él, y a tiempo real, la figura de un coche o un barco, o una flecha o lo que sea, que indica la posición real en la que se está en todo momento. Además de saber por donde se va, puede verse un registro (track) de por donde se ha ido, etc. El programa del ordenador es capaz de dibujar el barquito, el carro o lo que sea en la posición del mapa en la que se encuentra, porque el **GPS** esta enviando la información a través de lo que se llama las sentencias (frases) tipo NMEA. Lo que NMEA ha hecho es hacer estandar la forma en la que la información del sitio en la que se está, dirección a la que se va, waypoint de destino, satélites, intensidad de las señales, etc. se envían a los ordenadores, de forma que los programadores saben a que abstenerse cuando quieren hacer un programa de **MAPA MOVIL** con el código correcto.

## **Glosario de términos GPS.**

**Anchura de banda** - la gama de frecuencias en una señal.

**Array.** Un array es un conjunto de elementos. La antena que llevan los satélites son varias antenas helicoidales. B

**Ayuda Doppler** - la estrategia de procesamiento de una señal que emplea un efecto doppler medido para ayudar al receptor a seguir suavemente la señal GPS. Permite una medición de velocidad y posición más precisa.

**Banda de frecuencia** - una serie de frecuencias particular.

**Banda L** - el grupo de radio frecuencias que se extiende desde 390 MHz a 1550 MHz. Las frecuencias portadoras del GPS (1227.6 MHz y 1575.42 MHz) están en la banda L.

**Banda S.** Es un rango de frecuencias que se asigna para unos determinados sistemas.

**BPSK (Binary Phase Shift Keying).** Es un esquema de modulación en fase. C

**Canal** - un canal de un receptor GPS consta de los circuitos necesarios para enlazar la señal de un sólo satélite GPS.

**Canal multiplexor** - un canal de un receptor GPS que puede utilizarse en secuencias a través de varias señales de satélites.

**Canal multiplexor rápido** - un único canal que muestrea rápidamente varias distancias de satélites. "Rápido" significa que el tiempo de conmutación es lo suficientemente rápido (de 2 a 5 milisegundos) como para recuperar el mensaje de datos.

**Chip (fragmento)** - tiempo de transición para los bits individuales en la secuencia pseudoaleatoria. También, un circuito integrado.

**Código C/A** - el código GPS estándar (Curso/Adquisición); una secuencia de 1023 modulaciones bifase, binarias, pseudoaleatorias en la portadora GPS a una tasa chip de 1023 MHz. También se conoce como "código civil".

**Código P** - el código Protegido o Preciso. Se trata de una secuencia muy larga de modulaciones bifase, binarias, pseudoaleatorias en la portadora GPS a una frecuencia chip de 10.23 MHz que se repite alrededor de cada 267 días. Cada segmento semanal de este código es único para un satélite y se reconfigura cada semana.

**Código pseudoaleatorio** - una señal con propiedades similares a las del ruido pseudoaleatorio. Es un patrón muy complicado pero repetido de unos (1) y ceros (0).

**Constelación de satélites** - distribución en el espacio de un conjunto de satélites.

**2D** . Navegación en 2 dimensiones (latitud y longitud)

**3D.** Navegación en 3 dimensiones (latitud, longitud y altura) A

**Desmodulación.** Es la técnica inversa de la modulación. A partir de la señal recibida por el receptor la desmodulación obtiene la información contenida en la señal. E

**Desajuste del reloj** - diferencia entre la hora indicada p,, el reloj y la hora universal verdadera.

**Dilución de precisión** -el factor multiplicativo que modifica los errores de distancia. Es causado únicamente por la geometría entre el usuario y el conjunto de satélites. Conocida como DOP o GDOP,

**Dilución de precisión geométrica (GDOP)** - ver Dilución de precisión

**Efecto Doppler** - cambio aparente en la frecuencia de una señal causado por el movimiento relativo de transmisor y receptor.

**Efemérides** - Las predicciones de la posición actual de los satélites que se transmiten al usuario en el mensaje de datos.

**Error por trayectoria múltiple** - errores causados por la interferencia de una señal que ha llegado a la antena del receptor por dos o más caminos diferentes. Generalmente es causado por uno de los caminos que rebota o se refleja.

**Espectro de expansión** - un sistema en el que la señal transmitida se expande sobre una banda de frecuencia más amplia que la anchura de banda mínima necesaria para transmitir la información que se envía. Para el GPS, esto se realiza modulando la portadora con un código pseudoaleatorio.

**Espectro de frecuencia** - la distribución de las amplitudes de la señal como función de la frecuencia.

**Fijo para cualquier lugar** - la capacidad de un receptor para iniciar los cálculos de posición sin que se le de una posición aproximada ni una hora aproximada.

**Frecuencia de portadora** - la frecuencia de la salida fundamental no modulada de un transmisor de radio.

**Interfaz del usuario** - la forma en que un receptor facilita información a la persona que pantallas la utiliza. Los controles y

**Interrupción en el ciclo** - una discontinuidad en la fase medida del impulso de la portadora resultante de una pérdida temporal del enlace en el cielo de seguimiento de la portadora en un receptor GPS.

**LNA (Low Noise Amplifier).** Es un amplificador de bajo nivel de ruido para no degradar la calidad de la señal. N

**Ionosfera** - la franja de partículas electrónicamente cargadas entre 80 y 120 millas sobre la superficie de la Tierra.

**Mensaje de datos** - un mensaje incluido en la señal GPS que informa la posición del satélite, las correcciones del reloj y la condición. También se incluye información bruta sobre los demás satélites de la constelación.

**NAVSTAR-GPS (Navigation System and Ranging - Global Position System).** Es el sistema de posicionamiento global que estamos estudiando a lo largo de estas páginas. P

**Palabra de transferencia** - la palabra del mensaje GPS que contiene información de sincronización para la transferencia del seguimiento del código C/A al P.

**Periodo.** Es el tiempo que tarda el satélite en dar una vuelta completa a la tierra.

**Polarización.** Es una característica de la señal que se transmite.



**Portadora.** Es una señal cuyas características (frecuencia, fase...) varían según la información que se quiere transmitir (señal moduladora). Según cual de las características de la portadora cambie la modulación recibe un nombre u otro (frecuencia - FM, amplitud - AM).

**Posicionamiento diferencial** - medición precisa de las posiciones relativas de dos receptores que siguen las mismas señales GPS.

**Posicionamiento estático** - determinación de la posición cuando se supone que la antena del receptor se encuentra estacionaria en la Tierra. Esto permite el empleo de diversas técnicas de promedio que mejoran la precisión según factores superiores a 1.000.

**Pseudodistancia** - medición de distancias basada en la correlación de un código transmitido desde un satélite y el código de referencia del receptor local, cuyos errores de sincronización entre el reloj del transmisor y el reloj del receptor no se han corregido.

**Pseudolite** - un receptor GPS diferencial con base en la Tierra que transmite una señal como la de un satélite GPS real y que se puede usar para medir distancias. La porción de datos de la señal contiene las correcciones diferenciales que otros receptores pueden usar para corregir los errores GPS.

**Receptor con canales múltiples** - un receptor GPS que puede seguir simultáneamente más de una señal de satélite.

**Refracción ionosférica** - el cambio en la velocidad de propagación de una señal a medida que pasa a través de la ionosfera.

**Secuencialmente.** En esta técnica primero recibimos la señal procedente de un satélite y luego la del resto (uno detrás de otro)

**Segmento de control** - red mundial de estaciones GPS monitoras y de control que aseguran la precisión de las posiciones de los satélites y los relojes.

**Segmento de espacio** - parte de todo el sistema GPS que incluye los satélites y los vehículos de lanzamiento.

**Segmento del usuario** - la parte de todo el sistema GPS que incluye los receptores de las señales GPS,

**Seguimiento con ayuda de portadora** - una estrategia de procesamiento de la señal que emplea la señal portadora de GPS para conseguir un enlace exacto con el código pseudoaleatorio. Más precisa que la solución estándar.

**Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS)** - la precisión normal del posicionamiento civil obtenida con la utilización del código C/A de frecuencia simple.

**Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS)** - el posicionamiento dinámico más preciso posible con el GPS, basado en el código P de frecuencia doble.

**SNR.** Es la relación señal a ruido. Es una medida de la calidad con la que llega la señal al receptor T

**TRANSIT.** Es el primer sistema de navegación por satélite. Fué desarrollado por la marina de los EE.UU. y puede considerarse como el antecesor del NAVSTAR-GPS

## **APÉNDICE B**

### **PRINCIPALES CONCEPTOS DE ESTADÍSTICA Y GEOESTADÍSTICA**

## **Estadística**

### **INTRODUCCIÓN**

Estadística, rama de las matemáticas que se ocupa de reunir, organizar y analizar datos numéricos y que ayuda a resolver problemas como el diseño de experimentos y la toma de decisiones.

En la actualidad, la estadística se ha convertido en un método efectivo para describir con exactitud los valores de datos económicos, políticos, sociales, psicológicos, biológicos o físicos, y últimamente para el análisis de datos en la exploración petrolera y minera, sirviendo como herramienta para relacionar y analizar dichos datos. El trabajo del experto estadístico no consiste ya sólo en reunir y tabular los datos, sino sobre todo en el proceso de “interpretación” de esa información. El desarrollo de la teoría de la probabilidad, la cual se ocupa de medir o determinar cuantitativamente la posibilidad de que ocurra un determinado suceso, ha aumentado el alcance de las aplicaciones de la estadística. La probabilidad está basada en el estudio de la combinatoria y es fundamento necesario de la estadística.

La probabilidad es útil para comprobar la fiabilidad de las inferencias estadísticas y para predecir el tipo y la cantidad de datos necesarios en un determinado estudio estadístico.

### **MÉTODOS ESTADÍSTICOS**

La materia prima de la estadística consiste en conjuntos de números obtenidos al contar o medir elementos. Al recopilar datos estadísticos se ha de tener especial cuidado para garantizar que la información sea completa y correcta.

Para establecer una ley física, biológica o social, el estadístico debe comenzar con un conjunto de datos y modificarlo basándose en la experiencia.

### **POBLACIÓN**

Se llama población al conjunto de todos los elementos cuyo conocimiento interesa. Cada uno de esos elementos es una muestra. Cada muestra puede ser descrita

mediante uno o varios caracteres. Un carácter puede ser cuantitativo si es medible numéricamente o cualitativo si no admite medición numérica.

Los distintos valores que puede tomar un carácter cuantitativo configuran una variable estadística. Una variable estadística es discreta, si admite valores aislados. Una variable estadística es continua si admite todos los valores de un intervalo.

## ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La estadística descriptiva analiza, estudia y describe a la totalidad de individuos de una población. Su finalidad es obtener información, analizarla, elaborarla y simplificarla lo necesario para que pueda ser interpretada cómoda y rápidamente y, por tanto, pueda utilizarse eficazmente para el fin que se desee. El proceso que sigue la estadística descriptiva para el estudio de una cierta población consta de los siguientes pasos:

- Selección de caracteres dignos de ser estudiados. Mediante encuesta o medición, obtención del valor de cada individuo en los caracteres seleccionados.
- Elaboración de tablas: recopilaciones numéricas bien estructuradas y fáciles de interpretar de las que se vale el estadístico para sintetizar los datos obtenidos con el fin de hacer un uso sencillo de ellos o bien para darlos a conocer de forma comprensible. de frecuencias, mediante la adecuada clasificación de los individuos dentro de cada carácter.
- Representación gráfica: representaciones gráficas de los resultados que se muestran en una tabla estadística. Pueden ser de formas muy diversas, pero con cada tipo de gráfica se cumple un propósito.) de los resultados
- Obtención de parámetros estadísticos, números que sintetizan los aspectos más relevantes de una distribución estadística.

**Parámetro estadístico**, número que se obtiene a partir de los datos de una distribución estadística y que sirve para sintetizar alguna característica relevante de la misma. Conociendo los valores de algunos parámetros, aunque se desconozcan los datos de la distribución, se adquiere una idea suficientemente clara de ella.

Los parámetros estadísticos correspondientes a distribuciones con una variable se pueden clasificar del siguiente modo: medidas de centralización, medidas de dispersión y medidas de posición.

**Las medidas de centralización** son parámetros estadísticos alrededor de los cuales se distribuyen los datos de la distribución y se toman como el centro de la misma. También se llaman medidas de tendencia central, pues entorno a ellas se disponen los elementos de las distribuciones. Las más importantes son la media, la mediana y la moda.

- Media número calculado mediante ciertas operaciones a partir de los elementos de un conjunto de números,  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , y que sirve para representar a éste. Hay distintos tipos de medias: media aritmética, media geométrica y media armónica. La media aritmética es el resultado de sumar todos los elementos del conjunto y dividir por el número de ellos:

$$\text{media aritmética} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

La media geométrica es el resultado de multiplicar todos los elementos y extraer la raíz  $n$ -ésima del producto:

$$\text{media geométrica} = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}$$

La media armónica es el inverso de la media aritmética de los inversos de los números que intervienen:

$$\text{media armónica} = \frac{1}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}} = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}}$$

En estadística, la media es una medida de centralización. Se llama media de una distribución estadística a la media aritmética de los valores de los distintos individuos que la componen.

- Moda (matemáticas), en estadística, el valor que aparece con más frecuencia en un conjunto dado de números.

- Mediana, en estadística, una de las medidas de centralización. Colocando todos los valores en orden creciente, la mediana es aquél que ocupa la posición central.

**Las medidas de dispersión** son parámetros estadísticos que indican cuánto se alejan del centro los valores de la distribución. Las más importantes son la desviación típica y la varianza.

- Desviación típica, en estadística, una de las medidas de dispersión. Representa el alejamiento de una serie de números de su valor medio. Se calcula a partir de todas las desviaciones individuales con respecto a la media. Si en una distribución estadística hay  $n$  valores, representados por  $x_i$ , y su media es  $\bar{x}$ , entonces las desviaciones son  $x_i - \bar{x}$ , y la desviación típica viene dada por la fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

La desviación típica también se puede calcular mediante esta otra fórmula, equivalente a la anterior:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2}$$

**Las medidas de posición** sirven para indicar la proporción de individuos de la distribución que hay antes y después de un determinado valor. Las más importantes son los cuartiles y los percentiles o centiles.

- Cuartiles, medidas de posición que, junto con la mediana, sirven para separar la población en cuatro porciones, cada una de ellas con la cuarta parte de los individuos. El cuartil inferior,  $Q_1$ , es un valor por debajo del cual queda el 25% de la población. Es, por tanto, el percentil 25:  $Q_1 = p_{25}$ . El cuartil superior,  $Q_3$ , es un valor por debajo del cual queda el 75% de la población. Es, por tanto, el percentil 75:  $Q_3 = p_{75}$ . La mediana sería el segundo cuartil, pero no se le suele dar este

nombre. La diferencia entre los cuartiles superior e inferior es el recorrido intercuartílico.

- Percentiles. Se llama percentil a (o centil a) a un número que supera al a% de los valores. Por ejemplo, si la nota de un alumno es superior a la del 87% de sus compañeros y, por tanto, es superada por el 13% de ellos, decimos que el alumno ocupa el percentil 87, y se designa mediante  $p_{87}$ . Es claro que los cuartiles son los percentiles 25 y 75 y la mediana es el percentil 50:  $Q1 = p_{25}$  ;  $Me = p_{50}$  ;  $Q3 = p_{75}$ .

Ciertos parámetros estadísticos indican si la distribución es más o menos asimétrica (coeficiente de asimetría) y más o menos picuda o aplastada (coeficiente de aplastamiento).

Existen también parámetros estadísticos correspondientes a *distribuciones bidimensionales* (con dos variables), que sirven para indicar la relación entre las variables: la covarianza, el coeficiente de correlación y el coeficiente de regresión.

- Covarianza, parámetro que se obtiene a partir de los datos de una distribución bidimensional. Si los datos de la distribución son  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , la covarianza se obtiene mediante la fórmula:

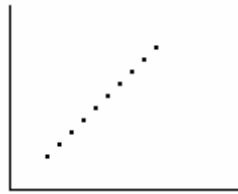
$$\sigma_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} = \frac{\sum x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y}$$

Ambas expresiones son equivalentes, pero la segunda es más cómoda de aplicar cuando las medias  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  son expresiones decimales. La covarianza mide, en cierto modo, el grado de relación entre las dos variables (cómo varía la una respecto de la otra), pero tiene el inconveniente de que su valor depende de las unidades en que se expresen las variables. Para evitar esto se recurre a otro parámetro, el coeficiente de correlación.

- Correlación, en estadística, relación entre las dos variables de una distribución bidimensional. Se mide mediante el coeficiente de correlación,  $r$ . Si los datos de la distribución son  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , el coeficiente de correlación se obtiene mediante la fórmula:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

en donde  $\sigma_{xy}$  es la covarianza, y  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  son las desviaciones típicas de las dos variables. El valor del coeficiente de correlación oscila entre  $-1$  y  $1$  ( $-1 \leq r \leq 1$ ). En cada caso concreto, el valor de  $r$  indica el tipo de relación entre las variables  $x$  e  $y$ . Cuando  $|r|$  es próximo a  $1$ , la correlación es fuerte, lo que significa que las variaciones de una de las variables repercuten fuertemente en la otra. Mientras que si  $|r|$  es próximo a  $0$ , la correlación es muy débil y las variables están muy poco relacionadas. Entre las dos variables que determinan una distribución bidimensional puede existir una relación más o menos estrecha que se llama correlación, y se puede medir mediante el coeficiente de correlación,  $r$ , que es un número, asociado a los valores de las dos variables. El coeficiente de correlación puede valer entre  $-1$  y  $1$ . Cuando  $r = 1$  existe una relación funcional entre las dos variables de modo que el valor de cada variable se puede obtener a partir de la otra. Los puntos de la nube están todos situados sobre una recta de pendiente positiva.

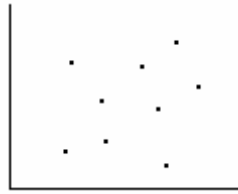


Cuando  $r$  es positivo y grande (próximo a  $1$ ) se dice que hay una correlación fuerte y positiva. Los valores de cada variable tienden a aumentar cuando aumentan los de la otra. Los puntos de la nube se sitúan próximos a una recta de pendiente positiva.



Cuando  $r$  es próximo a cero (por ejemplo,  $r = -0,12$  o  $r = 0,08$ ) se dice que la correlación es muy débil (prácticamente no hay correlación). La nube de puntos es amorfa.





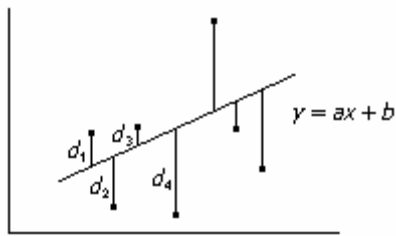
Es lo que ocurriría si lanzáramos simultáneamente dos dados y anotáramos sus resultados: puntuación del dado rojo,  $x_i$ ; puntuación del dado verde,  $y_i$ . No existe ninguna relación entre las puntuaciones de los dados en las diversas tiradas. Cuando  $r$  es próximo a  $-1$  (por ejemplo,  $r = -0,93$ ) se dice que hay una correlación fuerte y negativa. Los valores de cada variable tienden a disminuir cuando aumentan los de la otra. Los puntos de la nube están próximos a una recta de pendiente negativa.



Cuando  $r = -1$  todos los puntos de la nube están sobre una recta de pendiente negativa. Existe una relación funcional entre las dos variables.



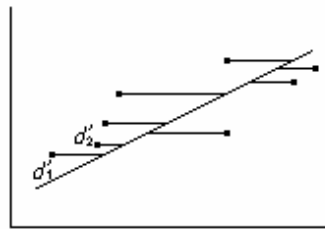
- **Rectas de regresión.** Se llama recta de regresión a una recta que marca la tendencia de la nube de puntos. Si la correlación es fuerte (tanto positiva como negativa) y, por tanto, los puntos de la nube están próximos a una recta, ésta es la recta de regresión. Matemáticamente hay dos rectas de regresión, la recta de regresión de  $Y$  sobre  $X$  y la de  $X$  sobre  $Y$ . La recta de regresión de  $Y$  sobre  $X$  es aquella  $y = ax + b$  para la cual la suma de los cuadrados de las desviaciones en el sentido de las ordenadas de cada punto a ella es mínima.



Al obligar a que  $\sum d_i^2 = \sum (y_i - ax_i - b)^2$  sea mínima, se obtiene la ecuación

$$y = \bar{y} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} (x - \bar{x})$$

La recta de regresión de  $X$  sobre  $Y$  es aquella para la cual la suma de los cuadrados de las desviaciones en el sentido de las abscisas de cada punto a ella es mínima.



Su ecuación es

$$x = \bar{x} + \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{xy}} (y - \bar{y})$$

que también se puede poner así:

$$x = \bar{x} + \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y^2} (y - \bar{y})$$

Las rectas de regresión tienen las siguientes peculiaridades: Ambas pasan por el punto  $(\bar{x}, \bar{y})$  llamado centro de gravedad de la distribución.

$$b_{yx} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2} ; b_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y^2}$$

Los valores se llaman coeficientes de regresión de  $Y$  sobre  $X$  y de  $X$  sobre  $Y$ , respectivamente. Las pendientes de las rectas de regresión son  $b_{yx}$  y  $1/b_{yx}$ . • Cuando la correlación es fuerte, las dos rectas de regresión son muy próximas (son la misma si  $r = \pm 1$ ). Si la correlación es débil, las dos rectas de regresión forman un ángulo grande. • Cuando  $|r|$  es próximo a 1 la recta de regresión sirve para realizar estimaciones fiables de una de las variables para nuevos valores de la otra variable.

## ESTADÍSTICA INFERENCIAL

La estadística descriptiva trabaja con todos los individuos de la población. La estadística inferencia, sin embargo, trabaja con muestras, subconjuntos formados por algunos individuos de la población. A partir del estudio de la muestra se pretende inferir aspectos relevantes de toda la población. Cómo se selecciona la muestra, cómo se realiza la inferencia (Inferencia, en estadística, proceso por el cual se deducen (infieren) propiedades o características de una población a partir de una muestra significativa. Uno de los aspectos principales de la inferencia es la estimación de parámetros estadísticos. Por ejemplo, para averiguar la media,  $\mu$ , de las estaturas de todos los soldados de un reemplazo, se extrae una muestra y se obtiene su media,  $\bar{x}$ . La media de la muestra (media muestral),  $\bar{x}$ , es un estimador de la media poblacional,  $\mu$ . Si el proceso de muestreo está bien realizado (es decir, la muestra tiene el tamaño adecuado y ha sido seleccionada aleatoriamente), entonces el valor de  $\mu$ , desconocido, puede ser inferido a partir de  $\bar{x}$ .

Si se quiere mejorar el nivel de confianza, se deberá aumentar el tamaño de la muestra. Recíprocamente, si se quiere aumentar la precisión en la estimación disminuyendo el tamaño del intervalo, entonces hay que aumentar el tamaño de la muestra o bien consentir un nivel de confianza menor. Finalmente, si se quiere mejorar tanto la precisión como el nivel de confianza, hay que tomar una muestra suficientemente grande. El grado de confianza es un aspecto fundamental de la estadística inferencial, para cuyo estudio se requiere un alto nivel de conocimientos de estadística, probabilidad y matemáticas.

## **APÉNDICE C**

### **REGLAS DE SEGURIDAD PARA TRABAJAR CON MEDIDORES NUCLEARES Y ELEMENTOS RADIATIVOS**

# **MEDIDAS DE SEGURIDAD Y SALUD AL TRABAJAR**

## **CON EQUIPOS NUCLEARES**

### **Introducción**

Este complemento esta orientado a dar una pequeña síntesis sobre lo concerniente a la seguridad al manipular y trabajar con las técnicas nucleares. Está basado en NUPLEGIBR-0133 que fue el resultado de un trabajo conjunto de la Oficina Gubernamental de Relaciones Públicas y de la Oficina de Materiales de Seguridad Nuclear y Salvaguardo y de la Comisión Regulatoria Nuclear (**NRC**) de los Estados Unidos de América.

Esta guía general contiene pautas en el manejo apropiado y el uso correcto de los medidores nucleares fijos y portátiles. También provee una detallada información sobre la radiación para personas que usan y trabajan alrededor de estos equipos. Su propósito es dar la mayor información en el uso de los medidores sin el propósito de alarmar, por lo que involucra la palabra **“RADIOACTIVIDAD”**. Por lo tanto, se puede sentirse inseguro ante la posibilidad del peligro de radiación además de sentirse incómodo trabajando cerca ó usando estos medidores que contienen fuentes de energía radiactivas.

### **1- La Radiación**

#### **1.1- Radiación en el entorno**

Para poder entender sobre medidores nucleares, se debe comprender primero algunos de los factores básicos sobre radiación, su origen y posiblemente sus efectos. Simplemente, la radiación es una forma de energía. La radiación proviene de átomos, y se encuentra alrededor de los seres humanos constantemente.

La mayoría de las personas asocian la palabra "radiación" con signos de peligro y de enfermedades, tales como, el cáncer, etc. Pero la radiación no es necesariamente dañina. Por ejemplo, un pedazo de leña prendida da energía radiante (radiación) en

forma de luz y calor. Cuando uno se expone demasiado tiempo al sol puede producirse quemaduras que se considerarían quemaduras leves de radiación. Pero los mayores peligros sobre radiación son aquellos asociados con lo que se conoce como "Radiación ionizada".

Todos los días el ser humano está expuesto a radiación de iones. La radiación de origen natural viene de la tierra, de las rocas, de los alimentos que se comen, de las casas en que se habita, de los rayos cósmicos y de mismo cuerpo. Aunque no se puede controlar la radiación de origen natural, la cantidad que se recibe es tan leve que representa muy poco peligro a nuestra salud.

También el ser humano está expuesto a muchas fuentes de energía de radiación ionizada creadas por el mismo hombre durante actividades cotidianas.

Esto incluye, mirando televisión, fumando, tomas de rayos X por doctores y odontólogos ó por el uso de algunos tipos de relojes luminosos. Otras actividades también aumentan la exposición a la radiación por ejemplo, el vuelo de los aviones expone al pasajero a un incremento de los rayos cósmicos. Pero se puede disminuir la cantidad de radiación de estas fuentes simplemente limitando estas actividades.

La cantidad de radiación ionizada que normalmente se recibe de diferentes fuentes de energía naturales ó hechas por el hombre es medido en milirem la unidad tradicional que mide la cantidad de radiación que el cuerpo humano absorbe.

## 1.2- Como se produce la Radiación ionizada

La mayoría de radiación ionizada se produce cuando la estructura de un átomo; electrón, protón y neutrón se descompone. Esto ocurre cuando una forma de radiación ionizada choca con un átomo normal o cuando un átomo inestable (llamado radioisótopo) se descompone o se rompe por sí mismo. Los radioisótopos emiten energía repetidamente en forma de radiación ionizada por un período de tiempo hasta que todos los átomos se estabilicen.

El modo en que un átomo emite radiación puede ser comparado con una bombilla de luz de una cámara fotográfica. Cuando la foto es tomada, la bombilla al descargar,

emite una energía en forma de destello de luz. Luego la bombilla cambia de forma. la cual no puede volverse a usar y tampoco tiene la capacidad de volver a descargar luz. La descarga de radiación ionizada es similar, a excepción que no hay un destello de luz visible. Un átomo descompuesto emite energía como la de radiación y luego cambia su forma a una nueva.

### 1.3- Principales tipos de radiación ionizada:

Radiación Alfa, Radiación Beta, Radiación Gamma, Radiación Cósmica, Radiación Neutrón, Rayos X.

### 1.4- Uso Seguro de la Radiación

Todo tipo de radiación ionizada puede ser dañino. La exposición de largo plazo de pequeñas fuentes de energía de constante radiación ó exposición a corto plazo de grandes cantidades de radiación pueden causar daños a la estructura celular y a el tejido humano. Estos riesgos pueden ser minimizados y controlados siempre y cuando las fuentes de energía radiactiva sean usadas de una manera segura para los propósitos designados. En la siguiente sección se hablará sobre estos propósitos; el uso de la radiación en medidores nucleares.

## **2-. Medidores Nucleares**

Hoy en día, muchas industrias usan equipos de medida tal como los medidores nucleares que contienen fuentes de energía radiactiva. Estos medidores nucleares proporcionan un método económicamente bajo pero de muy alta calidad y precisión para medir el grosor, la densidad o diferentes componentes de una gran variedad de materias primas y superficies. Hay dos tipos de medidores nucleares; fijos y portátiles.

### 2.1- Medidores Fijos

Los medidores fijos se usan mayormente en fábricas como manera de control del sistema de producción y asegurar el control de calidad. En muchos sistemas, los productos no pueden ser controlados eficazmente por métodos tradicionales que requieren contacto directo ó porque otro tipo de medida no destructiva es utilizada. En

estas situaciones, un medidor nuclear puede ser insertado en el sistema para proveer medidas precisas de grosor, de nivel y de densidad.

Estos medidores fijos consisten de una fuente de energía radiactiva que se encuentra dentro de un recipiente y colocado apropiadamente en el sistema. Cuando el obturador del recipiente de la fuente de energía se abre, un rayo de radiación invisible es dirigida a la materia prima en proceso.

Un detector colocado al lado opuesto de la fuente de energía mide la radiación que pasa por la materia prima. Una lectura en el medidor ó en una computadora conectada a un terminal registra la información requerida por ejemplo, el grosor de un producto al pasar entre la fuente de energía y el detector o el nivel de un líquido en un tanque al ser llenado. La travesía de la radiación no causa ningún cambio detectable de la materia prima y la materia prima en sí no se vuelve radiactiva.

Medidores fijos son comúnmente usados en toda clase de sistemas, desde molinos hasta cervecerías. En una fábrica de papel un medidor fijo puede medir el grosor de un pedazo de papel al salir de la prensa. En una cervecería un medidor fijo se cerciora que cada botella contenga la cantidad exacta de cerveza. Cualquiera la aplicación que se desea, estos medidores aseguran el control de calidad en el sistema.

## 2.2- Medidores Portátiles

Medidores portátiles son usados en industrias tales como la agricultura, la construcción. y en la ingeniería civil para medir cosas tales como la humedad de la tierra, y la densidad del asfalto en una carretera. Hay dos métodos básicos para medir materia prima con medidores portátiles, dispersión reflejada y transmisión directa. La transmisión directa es considerada la más precisa de las dos ya que ofrece menor margen de error al medir la composición y compensa el áspero de la superficie.

## 2.3- La Fuerza de la Fuente de Energía

Todos los medidores nucleares usan una fuente de energía radiactiva el cual es colocado en una doble cápsula. Esta cápsula puede ser tan pequeña como el borrador de un lápiz o tan grande como el rollo dentro de las toallas de papel. Esta cápsula es



insertada dentro del encaje de la fuente de energía el cual protege la radiación emitida por la fuente de energía.

Cada medidor nuclear usa uno ó dos pequeñas fuentes de energía que contienen materiales radiactivos tales como; Americio-241, Cesio-137, Americio-241/Berilio, Krypton-85, Radio-226, o Cobalto-60. La fuerza de la fuente de energía es medida en términos de cuánta energía radiactiva emite. Aunque físicamente estas fuentes de energía son muy pequeñas, a menudo son extremadamente poderosas y altamente radiactivas. Pero lo que puede ser dañino para la salud es la cantidad de radiación que uno absorbe y no la fuerza de la fuente de energía o la cantidad de radiación que emite. El escudo protector de la fuente de energía evita que se reciba una excesiva radiación. Igualmente por medio de las técnicas apropiadas de su manejo. La siguiente sección detalla las diferentes maneras en que se puede disminuir los posibles peligros asociados con los medidores nucleares.

### 3- Seguridad con los Medidores Nucleares

Los medidores nucleares son instrumentos que pueden ser peligrosos si no se toman precauciones al usarlos tal como sería el uso de una sierra eléctrica o una antorcha para soldar. Debido a que la potencia dañina de la radiación no es tan visible como los peligros de un cuchillo filudo o de una llama se tiende a descuidar las precauciones necesarias. De aplicarse debidamente unas simples reglas se puede garantizar que trabajar o estar en contacto con los medidores nucleares no ofrece ningún peligro ni a su salud ni a su seguridad.

#### 3.1- Principales Protecciones contra la Radiación

Hay tres factores importantes para protegerse de los efectos de la radiación; tiempo, distancia y un escudo protector.

**Tiempo:** La persona que permanezca el menor tiempo posible en una área de radiación recibirá menos efectos de radiación.

**Distancia:** La intensidad de radiación y sus efectos disminuyen dramáticamente al alejarse de la fuente de energía radiactiva. Por ejemplo, alejándose dos veces de la

fuentes de energía radiactiva, la exposición será de un cuarto de la cantidad de radiación. Alejándose tres veces la exposición será de un noveno y así sucesivamente.

**Escudo Protector:** Al colocar el material protector entre una persona y la fuente de energía se reduce los niveles y la cantidad de radiación que atravesaría a la persona expuesta. En los medidores nucleares la protección proviene del encaje de la fuente de energía.

### 3.2- Vigilando su Dosis de Radiación

La cantidad de radiación que se absorbe puede reducirse siguiendo un control M tiempo, de la distancia y M escudo protector. También se puede medir la dosis de radiación con un medidor especial.

Los trabajadores que usan medidores portátiles ó los que usualmente están en contacto con medidores fijos, pueden vigilar la cantidad de radiación que reciben usando un medidor personal llamado dosímetro. Debido a la pequeña cantidad de radiación que los trabajadores normalmente reciben, estos dispositivos no son usualmente requeridos pero están disponibles para el uso personal. Los tres tipos de dosímetros más usados son; dosímetro de lectura directa (DLD) e insignias filmicas o dosímetros termoluminiscente (DTL).

El dosímetro de lectura directa (DLD), permite el chequeo periódico de la cantidad de radiación que se recibe en cualquier momento. Una fibra de cuarzo dentro M dosímetro mide la radiación mientras avanza una escala y así proporcionando una indicación a la radiación expuesta. Una insignia filmica contiene un filme que se oscurece por la radiación. Una (1) a dosis de radiación puede ser determinada por el oscurecimiento del filme desarrollado.

Dosímetros termoluminiscentes (DTL), contienen un chip pequeño de materia que absorbe una energía de radiación en una forma medible. Es requerido el uso de la insignia filmica ó el DTL, si es indicado en la licencia/autorización o si necesita maniobrar la fuente de energía al darle servicio de mantenimiento al medidor. Estos dispositivos proveen un record permanente de su exposición a la radiación por un

periodo de tiempo, No se debe dejar ningún dosímetro cerca de los medidores, ya que continuará absorbiendo radiación haciendo imposible la lectura clara de la cantidad de radiación recibida.

### 3.3- Debajo del Límite

Se tiene la responsabilidad de minimizar la cantidad de radiación absorbida y si es requerido por la licencia/autorización, vigilar la dosis de radiación pero, existen en cada país un ente o Agencia que juega un rol importante en cerciorar su seguridad. Primero, la Agencia regula el uso de dispositivos nucleares para asegurar que la exposición de radiación es innecesaria. Segundo, la Agencia frecuentemente inspecciona a las personas con la licencia/autorización para asegurar que cumplan con los reglamentos. Tercero, la Agencia pone límites a la cantidad de radiación que uno puede ser expuesto. En Venezuela el ente encargado es el Ministerio de Energía y Minas (M.E.M.), delegado en la Dirección de Asuntos Nucleares, donde actualmente se trabaja sobre la implementación directa de leyes avocadas a la regulación de las radiaciones nucleares, lo que involucra la creación de un organismo central que tenga a carga esta misión.

Aunque una cierta cantidad de radiación siempre estará presente cuando dispositivos nucleares son usados. personas que trabajan con ó alrededor de medidores nucleares son limitados a no mas de 5 rem (5000 milirems) de radiación al año.

La exposición de radiación en una persona común es de 5 rems al año. El promedio de exposición de radiación en una persona que usa un medidor es alrededor de 30 milirems al año, el cual es muy aceptable dentro de los niveles de seguridad fijados por la Agencia.

### 3.4- Registro, Autorización, Inspección y Examen

El uso de los medidores que se utiliza ó se está expuesto, deben de cumplir con los reglamentos de la Agencia. Todos los medidores deben de ser registrados y aprobados por la Agencia antes de ser utilizados. Una vez que el medidor este aprobado, la Agencia suministrará una licencia ó autorización a la compañía.

Aunque la cápsula de la fuente de energía siga intacta una pequeña cantidad de radiación puede penetrar el encaje del medidor y éste puede ser detectada por una inspección de radiación. Este nivel bajo de radiación no posee ningún riesgo a su salud. La Agencia cumplirá con una inspección cada dos años para cerciorarse que los exámenes de fuga sean realizados a tiempo y para asegurarse de otras condiciones acerca de la licencia ó autorización y, que los reglamentos de la Agencia sean llevados a cabo.

Para estar completamente seguro del uso / manejo de los medidores nucleares, al igual que cualquier otro tipo de equipo, **se debe de seguir las reglas de operación o de funcionamiento**. La próxima sección proveerá guías en el uso apropiado y del mantenimiento de los medidores nucleares.

#### 4- Uso Apropiado de los Medidores Nucleares

No hay mucha diferencia entre el trabajo con medidores nucleares y el trabajo con otros tipos de equipo industrial. Ciertos procedimientos y reglas de seguridad deben ser seguidas y adheridas para asegurar su uso / manejo. Siempre se debe seguir las instrucciones del uso / manejo dadas por el fabricante, pero si las instrucciones del fabricante son diferentes al de la Agencia, cumpla con los reglamentos de la Agencia.

#### 5- Procedimientos de Emergencia

Una compañía u organización que trabaje en esta área, debe tener una serie de procedimientos y un plan de acción en caso de una emergencia o en el evento que un medidor se dañe. Si no se está seguro sobre que hacer si hay un mal funcionamiento, un accidente o si algún daño ocurra tome las precauciones siguientes:

- ❖ Cese de trabajar inmediatamente.
- ❖ Si el medidor esta parcialmente dañado ó destruido mantenga alejado a la gente por lo menos unos 20 pies (6 metros) de distancia hasta que la fuente de energía es reemplazada ó protegida ó hasta que los niveles de radiación sean conocidas.
- ❖ Realice exámenes de fuga después de cualquier accidente que haya resultado en daño a la fuente de energía.

- ❖ En caso de un accidente ó incendio, no se debe usar el medidor hasta que cualquier peligro ó daño a la fuente de energía sea asesorada.
- ❖ Informe al Organismo o Agencia dentro de las 24 horas de cualquier robo, accidente ó incidente relacionado con un medidor,

Medidores nucleares no representan mayores peligros a su salud si se toman las precauciones básicas y se usa el sentido común. Se puede sentir cómodo y seguro en el área de trabajo si los procedimientos apropiados, las guías de protección de radiación y la ayuda entre unos a otros son seguidos por todos.

**APENDICE D**

**SINOPSIS DEL MINERAL ANÓMALO:**

**BARITA**

**Barite:** BaSO<sub>4</sub>

**Elementos:**

Ba, O, S

**Composición:** Peso molecular: 233.39 gr

Bario: 58.84%, Ba 65.70%, BaO

Sulfuro: 13.74%, S 34.30%, SO<sub>3</sub>

Oxígeno: 27.42 %, 0

100.00 %      100.00 % = TOTAL OXIDO



**CRISTALOGRAFÍA**

**Relación axial:** a:b:c = 1.6289:1:1.3122

**Dimensión celdas:** a = 8.878, b = 5.45, c = 7.152, Z = 4; V = 346.05 Den(Calc)= 4.48

**Sistema Cristalográfico:** Ortorrómbica - Dipiramidal H-M Symbol (2/m 2/m 2/m)

Space Group: Pbnm

**Difracción X Ray:** By Intensity(I/I<sub>0</sub>): 3.442(1) 3.101(0.97) 2.12(0.8)

**Propiedades físicas**

**Clivaje:** [010] Perfect, [210] Perfect, [010] Imperfect

**Series:**

Forma series con Celestina (Celestine (SrSO<sub>4</sub>))

**Asociados:**

- Fluorita
- Calcita
- Cerusita
- Cuarzo
- Vanadinite
- Escalerita
- Calcopirita
- Pirita
- Malachite
- Dolomita

**Impurezas comunes:**

Sr, Ca, Pb

**Ambiente:** Mineral ganga en vetas, en rocas sedimentarias

**Generalidades**

El nombre mineralógico de la barita es sulfato de bario (BaSO<sub>4</sub>) y es derivado de la palabra griega (barus) que significa pesado. Desde el punto de vista comercial, el mineral es conocido como espato pesado o barita.

La primera noticia sobre los compuestos de bario, aparece a principio de siglo XVII con la observación de la luz peculiar de color rojizo obtenida al calcinar espato pesado o baritina.

A fines de siglo XVIII, Scheele químico de origen sueco observó la precipitación del sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ) por adición de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) a soluciones de sales de bario. Hacia la misma época, Withering, químico de origen inglés, descubrió en Escocia el carbonato de bario ( $\text{BaCO}_3$ ) y de ahí el nombre de Witherita que se le dió a este mineral

La importancia de los compuestos de bario se debe a las numerosas industrias en que se utilizan, más que al volumen de la producción.

Los compuestos de bario muestran estrechas relaciones con los compuestos de los otros metales alcalinotérreos, calcio y estroncio.

A medida que aumenta el peso atómico desde el calcio al bario, aumentan el peso específico del metal y las solubilidades de los hidróxidos, mientras que las de los haluros, nitratos y sulfatos disminuyen. La diferencia en solubilidades entre el carbonato y el sulfato es la base para un uso considerable del carbonato de bario en la industria de la cerámica y del petróleo.

Las principales materias primas de las cuales pueden obtenerse los compuestos de bario son la baritina (sulfato) y la Witherita (carbonato).

La witherita obtenida industrialmente en Inglaterra, tuvo mucha importancia durante la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, con el descubrimiento de la baritina, la producción en gran escala de este mineral disminuyó debido a que la misma se encuentra en grandes cantidades en muchas partes del mundo. Además la baritina está muchas veces asociada a la caliza; fluorita, plomo y zinc, entre otros.

La baritina y la witherita conocidas también con el nombre de barita y espato pesado son minerales pesados, inertes y estables. La barita se emplea en la fabricación de la mayor parte de los productos químicos de bario. El principal producto es el blanco fijo o sulfato de bario precipitado; empleados en pinturas y mezclado con  $\text{TiO}_2$ , proporciona



una pintura blanca de notable opacidad. El carbonato de bario precipitado se emplea en cerámica, en la fabricación de cristal óptico y esmaltes.

Las principales fuentes de producción son Estados Unidos, China, Italia, India, Comunidad de Estados Independientes (C.E.I.) y Marruecos.

La barita es un mineral común, que aparece generalmente como ganga en los filones hidrotermales, asociados especialmente a las menas de plata, plomo, cobre, carbonato, manganeso y antimonio. También se encuentran en los filones de caliza con calcita o como masas residuales en arcillas que cubren la caliza. Su fórmula química es  $\text{BaSO}_4$ , con contenido de 50% de bario y 41,2% de sulfato. Más del 80% de la barita producida se emplea en perforación de pozos de petróleo o gas, como **"barro pesado"** para soporte de las barras taladradoras y para evitar la explosión del gas.

### Usos y especificaciones técnicas

El principal uso de la barita, es como aditivo compensador en los lodos de perforación. La misma tiene un 96% de participación en la actividad petrolera en el mundo. Las especificaciones de la barita están en concordancia con sus diferentes usos. Por ejemplo, la utilidad en los lodos de perforación perfectamente puede ser barita pesada con materiales químicos con una gravedad específica de 4,2 gr/ cm<sup>3</sup>.

Los lodos de perforación tienen cinco (5) funciones primordiales:

1. Trasladar los detritos de sondeo a la superficie
2. Regular la formación de presión.
3. Mantener una perforación estable.
4. Proteger a las zonas de producción.
5. Mantener en buen estado y lubricada la barrena y saca barrena del taladro.

La principal función de la barita, es la de actuar como agente compensador en la formación de altas presiones para prevenir estallidos de los pozos. Cuando se está perforando un pozo, el taladro pasa a través de varias formaciones terrestres y cada una con diferentes características; a mayor profundidad del pozo se requiere mayor cantidad de barita y de lodo de perforación.

Mundialmente, el uso de la barita como material de relleno es de 2%. Este mineral posee una alta gravedad específica, baja absorción de petróleo, fácil humectabilidad para los hidrocarburos, y buenas cualidades como material arenoso; la barita cruda es sustituida por barita blanqueada cuando no está presente un factor de brillo.

En la industria química se utiliza barita de alta pureza con un máximo de 1% de óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sulfato de estroncio ( $\text{SrSO}_4$ ) y un mínimo de 94% de sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ).

El peróxido de bario es manufacturado a partir del óxido de bario. El hidróxido de bario previene la eflorescencia en la cerámica; es usado en aceites lubricantes y para recuperar el azúcar de la melaza a través del proceso de sacaroto de bario. El titanato de bario se usa en equipos electrónicos en miniaturas y en los de comunicaciones.

En las pinturas de automóviles, la barita es usada como blanco de cargas para las primeras capas, asimismo, contribuye al pulimento en las últimas capas de pinturas, cuando las primeras capas son aplicadas por procesos de electro deposición, el objeto es sumergido dentro de un tanque que contiene agua y tapa poros. El método elimina una de las primeras capas y reduce la cantidad de barita utilizada.

También la barita es usada como material modificador de la viscosidad en plásticos y productos de caucho. Los procesadores de poliuretano en espuma utilizan barita en las manufacturas de productos como esterillas y lameros (espaldares). La barita es usada en la fabricación de llantas, las mismas son elaboradas principalmente de caucho, óxido de zinc y de pequeña cantidad de barita.

La industria de papel utiliza barita blanca y densa como base para las capas sensibilizadas en impresos fotográficos. En la industria tipográfica, es usada en los tintes.

En la fabricación de vidrios, la barita se añade a la espumateo aislante que se forma en la superficie, ahorrándose así combustible y a la vez actúa como oxidante y descolorador, permitiendo un mejor tratamiento del vidrio. También se usa en lastres

para barcos; es decir, como agregado de concreto armado para evitar las radiaciones y en las tuberías de los edificios en construcción.

Por otra parte, la barita es la materia prima en la elaboración química del bario. Este se combina químicamente con carbonato, cloruro, óxido, hidróxido, nitrato, peróxido y sulfato. El más importante uso químico del bario es como carbonato precipitado de bario. El mismo es la materia prima para la producción de muchos compuestos.

### **Demanda Nacional.**

La demanda de barita en Venezuela está básicamente dirigida a la industria petrolera y del gas, las cuales consumen aproximadamente el 85% de las importaciones, el resto es utilizado en la fabricación de vidrios, pinturas, productos químicos y otros usos finales.

Hasta los momentos, Venezuela depende totalmente de las importaciones. Las mismas han experimentado descensos y aumentos durante el período 1989-1995 (tabla a).

En efecto en 1990, las importaciones fueron de 81 mil tonelada métricas (T.M), tres (3) toneladas menos que al año anterior. Sin embargo, en 1991, las importaciones crecieron en 5%, al pasar las mismas de 81 mil T.M, en 1990 a 123 mil T.M en 1991. Esto fue debido al crecimiento de la actividad petrolera como consecuencia de la crisis del Golfo Pérsico. En 1995, el volumen de importación descendió a 97 mil TM debido a la desaceleración del sector petrolero. Los principales países oferentes de Venezuela son: Marruecos, Noruega, Estados Unidos, Países Bajos, Brasil, China-Formosa y Perú.

| <b>AÑO</b> | <b>VOLUMEN (MILES DE T.M)</b> | <b>VALOR (MILES DE BS)</b> |
|------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1989       | 84                            | 263.160                    |
| 1990       | 81                            | 313.238                    |
| 1991       | 123                           | 589.1'70                   |
| 1992       | 123                           | 738.049                    |
| 1993       | 123                           | 676.769                    |
| 1994       | 148                           | 1.235.499                  |
| 1995       | 97                            | 5.195.481                  |

Tabla a: Venezuela: volumen y valor de las importaciones de Barita. Fuente: O. C. E. I.: Anuario Del Comercio Exterior de Venezuela, 1989 - 1995.

**APÉNDICE E**

**GLOSARIO**

## GLOSARIO

**Actividad radiactiva:** También denominada velocidad de desintegración de una muestra radiactiva, es el número de núcleos atómicos de una cantidad determinada de esta muestra que se desintegran en un segundo. En principio, se adoptó como unidad la actividad de 1 gramo de radio, equivalente a  $3,7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo y que recibió el nombre de curio (Ci). **La unidad actual es el becquerel (Bq)**, que equivale a un núcleo desintegrado por segundo.

**Compton, Efecto:** Difusión de fotones debida a las interacciones entre la radiación electromagnética y la materia. Este efecto fue descubierto por el físico estadounidense Arthur Holly Compton en 1922. El efecto conlleva una disminución de energía (aumento de la longitud de onda) y un ensanchamiento de la radiación (que corresponde a la distribución de los ángulos de salida).

**Curio:** Es la cantidad de radioactividad asociada con el inventario de materiales o la cantidad desechada, que es la unidad de Actividad y que representa a  $3.7 \times 10^{10}$  transformaciones nucleares por segundo.

**Dosímetro:** Un dispositivo personal que mide y vigila la cantidad de radiación absorbida.

**Dosis:** La radiación absorbida por el cuerpo humano.

**El decaimiento radiactivo:** El decaimiento natural en la radioactividad (de un radioisótopo) con el tiempo. (También vea la Media vida).

**El radioisótopo:** La forma radiactiva (o isótopo) de un elemento. Los isótopos de un elemento son distinguidos por su número de masa nuclear; así Fe-55 y Fe-59 son dos isótopos de hierro (Fe) que también es radiactivo. Fe-56 es el isótopo estable principal de hierro. Cd - 109 son un radioisótopo de Cadmio (Cd).

**Electronvoltio:** Unidad de energía utilizada en Física para medir la energía de iones y partículas subatómicas acelerados en los aceleradores de partículas. Un electronvoltio

es la energía adquirida por un electrón al atravesar una diferencia de potencial de 1 voltio; equivale a  $1,60207 \times 10^{-19}$  julios. Generalmente suelen expresarse las energías en millones de electronvoltios (megaelectronvoltios o MeV) o miles de millones de electronvoltios (gigaelectronvoltios o GeV).

**Espectrómetro:** Espectroscopio graduado que determina y mide las características de las componentes de un espectro. Un espectrómetro posee cuatro componentes básicos: un foco productor del haz de radiación o de partículas que se va a investigar; un analizador que separa el haz de acuerdo con las propiedades que se desea analizar; un detector que mide su cantidad y un elemento que registra los resultados en forma de gráfica, diagrama o fotografía.

**Fotoeléctrico, Efecto:** Formación y liberación de partículas eléctricamente cargadas que se produce en la materia cuando es irradiada con luz u otra radiación electromagnética. El término *efecto fotoeléctrico* designa varios tipos de interacciones similares. En el efecto fotoeléctrico externo se liberan electrones en la superficie de un conductor metálico al absorber energía de la luz que incide sobre dicha superficie.

**Fuente de Energía Sellada:** un elemento radiactivo que esta encajado en una cápsula protectora y se usa en equipos tales como medidores nucleares fijos o portátiles.

**Isómeros:** Cualquier isótopo de un átomo, de clase nuclear.

**Isótopo:** Nucleido de un elemento particular que contiene el mismo número de protones pero diferente número de neutrones.

**La Calibración de energía:** El procedimiento de Calibración de Energía realiza de una a dos calibración de un punto dado en el espectro (corrigiendo para la ganancia y desplazamiento), para asegurar su correspondencia exacta y así mantenerlo entre los valores de energía medidos por el espectrómetro.

**La media vida:** El periodo de tiempo encima de que la radioactividad de una fuente se deteriora por un factor de 2. Desde que el decaimiento es exponencial, la actividad

nunca se cae a cero. Después de una media vida será  $1/2$  su valor original. Después de dos media vida, será  $1/4$ , y así sucesivamente.

**La región de interés (ROI):** Una ventana en el espectro de energía asociado con una cresta del espectro elemento-relacionada. El dato de cuenta de radiografía se integra encima del ROI para obtener la intensidad moderada para el ROI.

**La resolución:** Una medida de la habilidad del sistema de detector de radiografía para descubrir e identificar dos crestas estrechamente espaciadas en el espectro de energía.

**Milisievert:** La unidad que suele emplearse para medir la dosis de radiación equivalente en los seres humanos. La dosis de radiación equivalente mide la cantidad de radiación absorbida por el organismo, corregida según la naturaleza de la radiación puesto que los diferentes tipos de radiación son más o menos nocivos.

**Oxigenófilo:** La capacidad que tiene un elemento de combinarse o formar compuestos con el oxígeno, es decir de formar óxidos.

**Positrón:** Es una partícula como el electrón en todos los aspectos excepto en que tiene una carga de  $+e$ , es el gemelo antimateria del electrón.

**Radiación:** Proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio; el término también se emplea para las propias ondas o partículas.

**Radiación alfa:** Es una de los principales tipos de radiación ionizada. Son partículas atómicas que son emitidas por elementos naturales y por materias hecha por el hombre. Radiación Alfa tiene muy poca penetración externa pero, puede ser dañino si se consume ó se aspira los elementos radiactivos.

**Radiación beta:** Es una de los principales tipos de radiación ionizada. Son electrones que se mueven rápidamente con muy poca penetración. Radiación beta se encuentra frecuentemente en centros médicos ó de investigación.

**Radiación cósmica:** Son partículas atómicas con mucha energía que se originan del sol y de las estrellas y penetran la atmósfera terrestre.

**Radiación de origen natural:** Radiación que ocurre naturalmente y a la cual estamos expuesto diariamente.

**Radiación electromagnética:** La radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación; sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de materia. Esta radiación abarca una gran variedad de energías. La radiación electromagnética con energía **Rayos gamma**, es radiación electromagnética de altas energías asociada a la radiactividad. Los cambios en la configuración del núcleo de un átomo producen espectros de rayos gamma.

**Radiación gamma:** Es radiación electromagnética de alta frecuencia y energía. Cuando se produce la desintegración alfa ó beta, el núcleo resultante permanece a menudo en un estado de excitado (mayor energía), por lo que se produce una emisión de **rayos gamma** y el núcleo pasa a un estado de menor energía. Radiación gamma es usada mayormente en medidores nucleares fijos y portátiles.

**Radiación hecha por el hombre:** Las sustancias radiactivas ó fuentes de energía creadas por el hombre ejemplo; rayos X.

**Radiación ionizada:** El resultado de una ruptura, ó una descomposición de la estructura del átomo.

**Radiación neutrón:** Son partículas atómicas penetrantes que resultan entre el choque de rayos cósmicos y átomos en la atmósfera; también por alguna fuente especializada de energía hecha por el hombre. Este tipo de radiación es usado a menudo en medidores nucleares portátiles.

**Radiactividad:** Desintegración espontánea de núcleos atómicos mediante la emisión de partículas subatómicas llamadas partículas alfa y partículas beta, y de radiaciones electromagnéticas denominadas rayos X y rayos gamma.

**Radioisótopo:** Un elemento fabricado por el hombre ó que es naturalmente radiactivo.



**Radionucleido:** Núcleo (de un átomo) que posee propiedades de desintegración espontánea (radioactividad). Los nucleidos se distinguen por su número atómico y por su número de masa atómica.

**Rayos X:** Son ondas electromagnéticas que pueden penetrar el cuerpo humano. Este tipo de radiación es usada primordialmente en hospitales y en consultorios dentales, también son usados por algunas centros industriales. La energía (o longitud de onda) de las radiografías es característico del átomo, es decir el elemento que generó las radiografías.

**Rem:** La unidad tradicional para medir las radiaciones ionizantes absorbidas por el cuerpo humano. Un rem es igual a 0.01 sievert.

## **A N E X O S**

**ANEXO I**  
**TABLA DE DATOS RADIMÉTRICOS ADQUIRIDOS**

| DATOS DE LEVANTAMIENTO AUTOTRANSPORTADO. Concentración de potasio (K) % |            |       |           |            |       |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| UTM(E)                                                                  | UTM(N)     | K(%)  | UTM(E)    | UTM(N)     | K(%)  |
| 685232,70                                                               | 1104135,80 | 0,053 | 686101,90 | 1106170,80 | 0,450 |
| 685373,10                                                               | 1104347,40 | 0,014 | 686086,20 | 1106186,40 | 0,342 |
| 685396,20                                                               | 1104431,80 | 0,069 | 686046,50 | 1106213,00 | 0,063 |
| 685390,40                                                               | 1104586,20 | 0,090 | 686042,20 | 1106237,90 | 0,363 |
| 685696,10                                                               | 1104934,60 | 0,137 | 686036,50 | 1106258,90 | 0,435 |
| 685722,00                                                               | 1104913,40 | 0,270 | 686039,10 | 1106296,50 | 0,471 |
| 685723,40                                                               | 1104909,80 | 0,366 | 686029,50 | 1106317,00 | 0,459 |
| 685724,80                                                               | 1104906,10 | 0,099 | 686019,90 | 1106337,50 | 0,683 |
| 685727,40                                                               | 1104898,80 | 0,117 | 686010,10 | 1106358,40 | 0,822 |
| 685730,10                                                               | 1104903,90 | 0,158 | 686000,50 | 1106378,90 | 0,863 |
| 685728,10                                                               | 1104932,90 | 0,040 | 685990,90 | 1106399,40 | 1,214 |
| 685742,10                                                               | 1104979,40 | 0,005 | 685981,20 | 1106420,10 | 1,570 |
| 685775,70                                                               | 1105036,50 | 0,037 | 685971,50 | 1106440,80 | 1,935 |
| 685790,40                                                               | 1105060,60 | 0,030 | 685961,80 | 1106461,50 | 1,438 |
| 685784,90                                                               | 1105177,50 | 0,027 | 685945,50 | 1106505,40 | 0,765 |
| 685781,10                                                               | 1105184,50 | 0,113 | 685943,30 | 1106532,00 | 0,761 |
| 685777,20                                                               | 1105191,50 | 0,068 | 685941,10 | 1106558,60 | 0,971 |
| 685765,60                                                               | 1105212,40 | 0,106 | 685949,80 | 1106590,40 | 0,750 |
| 685761,60                                                               | 1105219,50 | 0,133 | 685932,90 | 1106614,90 | 0,913 |
| 685749,90                                                               | 1105219,90 | 0,187 | 685876,90 | 1106630,80 | 0,289 |
| 685769,10                                                               | 1105256,50 | 0,070 | 685849,10 | 1106638,60 | 0,415 |
| 685778,50                                                               | 1105274,80 | 0,032 | 685821,80 | 1106646,40 | 0,352 |
| 685845,10                                                               | 1105402,80 | 0,014 | 685794,20 | 1106654,20 | 0,498 |
| 685941,90                                                               | 1105592,80 | 0,060 | 685755,60 | 1106653,80 | 1,060 |
| 686059,90                                                               | 1105646,00 | 0,132 | 685711,00 | 1106726,50 | 1,204 |
| 686083,60                                                               | 1105637,90 | 0,176 | 685692,40 | 1106749,50 | 0,784 |
| 686107,40                                                               | 1105629,80 | 0,295 | 685664,80 | 1106772,50 | 0,791 |
| 686131,40                                                               | 1105621,50 | 0,235 | 685661,80 | 1106795,60 | 0,852 |
| 686154,90                                                               | 1105613,40 | 0,228 | 685658,70 | 1106818,80 | 0,700 |
| 686247,60                                                               | 1105646,60 | 0,100 | 685655,70 | 1106841,80 | 1,148 |
| 686240,20                                                               | 1105686,90 | 0,310 | 685652,60 | 1106865,00 | 1,871 |
| 686225,30                                                               | 1105766,80 | 0,311 | 685649,60 | 1106888,40 | 1,478 |
| 686184,20                                                               | 1105987,10 | 0,002 | 685646,60 | 1106911,60 | 1,278 |
| 686173,10                                                               | 1106047,10 | 0,163 | 685643,40 | 1106935,20 | 0,733 |
| 686157,10                                                               | 1106102,20 | 0,198 | 685638,70 | 1106957,90 | 0,864 |
| 686111,20                                                               | 1106098,80 | 0,266 | 685629,80 | 1106981,10 | 0,837 |
| 686129,20                                                               | 1106181,00 | 0,405 | 685644,60 | 1107006,80 | 1,740 |
| 686138,10                                                               | 1106222,10 | 0,407 | 685692,30 | 1107115,00 | 0,801 |
| 686120,70                                                               | 1106232,50 | 0,423 | 685683,60 | 1107135,80 | 0,955 |
| 686118,20                                                               | 1106221,40 | 0,258 | 685674,90 | 1107156,50 | 1,734 |
| 686115,60                                                               | 1106205,00 | 0,367 | 685696,50 | 1107233,10 | 0,276 |
| 686113,50                                                               | 1106203,10 | 0,322 | 685602,40 | 1107348,10 | 0,664 |
| 686110,90                                                               | 1106203,40 | 0,369 | 685633,40 | 1107392,00 | 0,532 |
| 686109,70                                                               | 1106197,90 | 0,222 | 685643,60 | 1107429,10 | 0,639 |
| 686108,40                                                               | 1106192,40 | 0,291 | 685708,30 | 1107496,50 | 0,915 |
| 686106,20                                                               | 1106182,50 | 0,538 | 685677,90 | 1107519,60 | 0,917 |
| 686104,70                                                               | 1106173,90 | 0,151 | 685662,80 | 1107531,20 | 0,524 |
| 686103,40                                                               | 1106163,00 | 0,148 | 685647,70 | 1107542,60 | 0,199 |
| 686101,00                                                               | 1106166,60 | 0,254 | 685632,60 | 1107554,20 | 0,574 |
| 686098,80                                                               | 1106170,40 | 0,091 | 685604,80 | 1107575,60 | 0,243 |
| 686096,40                                                               | 1106174,00 | 0,383 | 685585,70 | 1107589,60 | 0,427 |
| 685566,50                                                               | 1107603,80 | 0,287 | 684715,60 | 1109106,00 | 0,103 |
| 685547,40                                                               | 1107617,80 | 0,342 | 684701,90 | 1109121,20 | 0,758 |
| 685528,20                                                               | 1107631,90 | 0,704 | 684683,10 | 1109143,90 | 0,916 |
| 685509,00                                                               | 1107646,00 | 0,493 | 684674,80 | 1109148,80 | 0,948 |
| 685489,80                                                               | 1107660,10 | 0,299 | 684673,20 | 1109151,80 | 1,017 |
| 685470,40                                                               | 1107674,40 | 0,089 | 684671,50 | 1109150,80 | 0,938 |
| 685432,20                                                               | 1107702,40 | 0,067 | 684664,30 | 1109153,50 | 1,101 |
| 685413,30                                                               | 1107716,20 | 0,627 | 684663,40 | 1109153,50 | 1,102 |
| 685393,80                                                               | 1107730,60 | 0,172 | 684664,90 | 1109152,10 | 1,030 |
| 685374,60                                                               | 1107744,80 | 0,169 | 684660,20 | 1109154,50 | 0,973 |
| 685356,70                                                               | 1107757,10 | 0,378 | 684655,40 | 1109156,90 | 1,035 |



|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 685335,40 | 1107774,00 | 0,577 | 684666,10 | 1109151,60 | 0,763 |
| 685314,10 | 1107791,10 | 0,284 | 684635,10 | 1109167,10 | 1,339 |
| 685292,90 | 1107808,00 | 0,208 | 684596,20 | 1109179,90 | 0,987 |
| 685257,90 | 1107846,40 | 0,252 | 684578,30 | 1109200,40 | 0,351 |
| 685279,90 | 1107888,80 | 0,566 | 684424,80 | 1109268,40 | 0,202 |
| 685275,80 | 1107916,10 | 0,548 | 684424,60 | 1109268,50 | 0,156 |
| 685271,60 | 1107943,50 | 0,363 | 684424,20 | 1109268,90 | 0,169 |
| 685267,50 | 1107970,60 | 0,110 | 684424,00 | 1109269,00 | 0,096 |
| 685246,40 | 1108006,00 | 0,430 | 684423,80 | 1109269,10 | 0,103 |
| 685271,50 | 1108010,40 | 0,119 | 684423,30 | 1109269,50 | 0,037 |
| 685294,90 | 1108040,90 | 0,207 | 684422,90 | 1109269,80 | 0,006 |
| 685479,40 | 1108281,10 | 0,119 | 684422,60 | 1109270,00 | 0,221 |
| 685491,80 | 1108301,50 | 0,289 | 684422,40 | 1109270,10 | 0,114 |
| 685532,30 | 1108478,50 | 0,049 | 684422,20 | 1109270,20 | 0,194 |
| 685539,10 | 1108499,00 | 0,122 | 684422,10 | 1109270,40 | 0,077 |
| 685575,60 | 1108698,20 | 0,195 | 684421,90 | 1109270,50 | 0,099 |
| 685549,70 | 1108699,50 | 0,297 | 684421,70 | 1109270,60 | 0,147 |
| 685523,60 | 1108700,80 | 0,310 | 684421,30 | 1109270,90 | 0,081 |
| 685496,90 | 1108702,00 | 0,219 | 684421,10 | 1109271,00 | 0,124 |
| 685470,40 | 1108703,20 | 0,148 | 684420,90 | 1109271,10 | 0,242 |
| 685443,90 | 1108704,50 | 0,735 | 684420,60 | 1109271,40 | 0,043 |
| 685417,30 | 1108705,80 | 0,447 | 684420,40 | 1109271,60 | 0,118 |
| 685389,90 | 1108707,00 | 0,152 | 684420,20 | 1109271,80 | 0,130 |
| 685370,20 | 1108713,50 | 0,209 | 684419,90 | 1109272,00 | 0,087 |
| 685332,10 | 1108705,90 | 0,075 | 684419,50 | 1109272,20 | 0,079 |
| 685296,70 | 1108701,60 | 0,374 | 684419,30 | 1109272,40 | 0,176 |
| 685251,20 | 1108691,80 | 0,003 | 684419,20 | 1109272,50 | 0,055 |
| 685168,00 | 1108704,60 | 0,228 | 684419,00 | 1109272,60 | 0,004 |
| 685147,80 | 1108723,00 | 0,309 | 684418,80 | 1109272,80 | 0,049 |
| 685126,70 | 1108739,90 | 0,638 | 684418,60 | 1109272,90 | 0,145 |
| 685108,10 | 1108761,00 | 0,342 | 684418,40 | 1109273,00 | 0,115 |
| 685090,00 | 1108781,60 | 0,611 | 684418,10 | 1109273,20 | 0,140 |
| 685078,40 | 1108812,50 | 0,095 | 684417,90 | 1109273,40 | 0,055 |
| 685045,20 | 1108798,60 | 0,117 | 684417,70 | 1109273,50 | 0,181 |
| 684974,90 | 1108940,40 | 0,051 | 684417,60 | 1109273,60 | 0,188 |
| 684909,40 | 1109031,60 | 0,264 | 684417,40 | 1109273,80 | 0,177 |
| 684897,20 | 1109039,80 | 0,058 | 684417,00 | 1109274,00 | 0,169 |
| 684873,20 | 1109056,00 | 0,072 | 684416,80 | 1109274,10 | 0,127 |
| 684861,20 | 1109064,10 | 0,226 | 684416,60 | 1109274,20 | 0,039 |
| 684836,90 | 1109080,40 | 0,047 | 684416,40 | 1109274,50 | 0,170 |
| 684788,80 | 1109112,80 | 0,040 | 684416,20 | 1109274,60 | 0,023 |
| 684415,90 | 1109274,90 | 0,036 | 684405,10 | 1109282,60 | 0,087 |
| 684415,80 | 1109275,00 | 0,089 | 684404,80 | 1109282,90 | 0,062 |
| 684415,60 | 1109275,10 | 0,086 | 684404,60 | 1109283,00 | 0,159 |
| 684415,40 | 1109275,20 | 0,044 | 684404,40 | 1109283,20 | 0,083 |
| 684415,20 | 1109275,40 | 0,129 | 684404,20 | 1109283,40 | 0,237 |
| 684415,00 | 1109275,50 | 0,058 | 684404,10 | 1109283,50 | 0,017 |
| 684414,80 | 1109275,60 | 0,084 | 684403,90 | 1109283,60 | 0,117 |
| 684414,50 | 1109275,90 | 0,210 | 684403,70 | 1109283,80 | 0,201 |
| 684414,10 | 1109276,10 | 0,302 | 684403,50 | 1109283,90 | 0,187 |
| 684413,90 | 1109276,20 | 0,186 | 684403,30 | 1109284,00 | 0,058 |
| 684413,80 | 1109276,40 | 0,120 | 684402,90 | 1109284,20 | 0,173 |
| 684413,60 | 1109276,50 | 0,105 | 684402,80 | 1109284,40 | 0,132 |
| 684413,20 | 1109276,80 | 0,044 | 684402,40 | 1109284,60 | 0,158 |
| 684413,10 | 1109276,90 | 0,196 | 684402,20 | 1109284,80 | 0,018 |
| 684412,70 | 1109277,10 | 0,193 | 684402,10 | 1109284,90 | 0,114 |
| 684412,50 | 1109277,40 | 0,207 | 684401,90 | 1109285,00 | 0,126 |
| 684412,30 | 1109277,50 | 0,055 | 684401,50 | 1109285,20 | 0,167 |
| 684412,10 | 1109277,60 | 0,163 | 684401,20 | 1109285,50 | 0,218 |
| 684411,90 | 1109277,80 | 0,298 | 684401,00 | 1109285,60 | 0,106 |
| 684411,80 | 1109277,90 | 0,043 | 684400,80 | 1109285,80 | 0,107 |
| 684411,60 | 1109278,00 | 0,179 | 684400,60 | 1109285,90 | 0,280 |
| 684411,40 | 1109278,10 | 0,144 | 684400,20 | 1109286,20 | 0,173 |
| 684411,20 | 1109278,20 | 0,195 | 684400,10 | 1109286,40 | 0,185 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 684411,10 | 1109278,40 | 0,118 | 684399,90 | 1109286,50 | 0,026 |
| 684410,90 | 1109278,50 | 0,083 | 684399,80 | 1109286,60 | 0,122 |
| 684410,70 | 1109278,60 | 0,200 | 684399,60 | 1109286,80 | 0,212 |
| 684410,50 | 1109278,80 | 0,181 | 684399,20 | 1109287,00 | 0,156 |
| 684410,30 | 1109278,90 | 0,117 | 684399,00 | 1109287,10 | 0,226 |
| 684410,20 | 1109279,00 | 0,097 | 684398,80 | 1109287,20 | 0,086 |
| 684410,00 | 1109279,10 | 0,287 | 684398,20 | 1109287,60 | 0,189 |
| 684409,80 | 1109279,20 | 0,060 | 684398,10 | 1109287,80 | 0,075 |
| 684409,60 | 1109279,40 | 0,146 | 684397,90 | 1109287,90 | 0,192 |
| 684409,40 | 1109279,50 | 0,120 | 684397,80 | 1109288,00 | 0,206 |
| 684409,10 | 1109279,80 | 0,145 | 684397,60 | 1109288,10 | 0,135 |
| 684408,90 | 1109279,90 | 0,056 | 684397,40 | 1109288,20 | 0,055 |
| 684408,60 | 1109280,20 | 0,043 | 684397,20 | 1109288,40 | 0,143 |
| 684408,40 | 1109280,40 | 0,125 | 684397,00 | 1109288,50 | 0,152 |
| 684408,20 | 1109280,50 | 0,220 | 684396,80 | 1109288,60 | 0,141 |
| 684408,00 | 1109280,60 | 0,220 | 684396,70 | 1109288,80 | 0,057 |
| 684407,80 | 1109280,80 | 0,109 | 684396,50 | 1109289,00 | 0,184 |
| 684407,60 | 1109280,90 | 0,160 | 684396,30 | 1109289,10 | 0,143 |
| 684407,40 | 1109281,00 | 0,204 | 684396,10 | 1109289,20 | 0,098 |
| 684407,10 | 1109281,20 | 0,160 | 684395,80 | 1109289,50 | 0,102 |
| 684406,90 | 1109281,40 | 0,211 | 684395,60 | 1109289,60 | 0,188 |
| 684406,80 | 1109281,50 | 0,071 | 684395,10 | 1109290,00 | 0,331 |
| 684406,60 | 1109281,60 | 0,168 | 684394,70 | 1109290,20 | 0,197 |
| 684406,40 | 1109281,80 | 0,121 | 684394,50 | 1109290,40 | 0,031 |
| 684406,20 | 1109281,90 | 0,239 | 684394,30 | 1109290,50 | 0,085 |
| 684406,00 | 1109282,00 | 0,099 | 684394,10 | 1109290,60 | 0,052 |
| 684405,80 | 1109282,10 | 0,049 | 684393,90 | 1109290,80 | 0,036 |
| 684405,70 | 1109282,20 | 0,079 | 684393,80 | 1109290,90 | 0,084 |
| 684405,50 | 1109282,40 | 0,026 | 684393,40 | 1109291,10 | 0,190 |
| 684393,10 | 1109291,40 | 0,302 | 684378,50 | 1109302,00 | 0,185 |
| 684392,70 | 1109291,60 | 0,105 | 684378,30 | 1109302,10 | 0,096 |
| 684392,30 | 1109292,00 | 0,117 | 684378,10 | 1109302,20 | 0,284 |
| 684392,00 | 1109292,20 | 0,076 | 684377,80 | 1109302,50 | 0,071 |
| 684391,60 | 1109292,50 | 0,057 | 684377,40 | 1109302,80 | 0,166 |
| 684391,10 | 1109292,90 | 0,092 | 684376,90 | 1109303,00 | 0,086 |
| 684390,90 | 1109293,00 | 0,028 | 684377,10 | 1109303,40 | 0,174 |
| 684390,70 | 1109293,10 | 0,020 | 684377,20 | 1109303,50 | 0,102 |
| 684390,60 | 1109293,20 | 0,006 | 684377,40 | 1109303,60 | 0,007 |
| 684390,20 | 1109293,50 | 0,070 | 684377,80 | 1109304,00 | 0,081 |
| 684389,80 | 1109293,80 | 0,213 | 684377,90 | 1109304,20 | 0,168 |
| 684389,20 | 1109294,10 | 0,164 | 684378,00 | 1109304,40 | 0,016 |
| 684388,80 | 1109294,50 | 0,148 | 684378,30 | 1109304,60 | 0,125 |
| 684388,40 | 1109294,90 | 0,052 | 684379,40 | 1109304,00 | 0,086 |
| 684388,20 | 1109295,00 | 0,111 | 684378,10 | 1109305,60 | 0,085 |
| 684387,80 | 1109295,20 | 0,318 | 684376,80 | 1109307,40 | 0,107 |
| 684387,70 | 1109295,40 | 0,017 | 684375,60 | 1109309,00 | 0,049 |
| 684387,30 | 1109295,60 | 0,053 | 684374,30 | 1109310,60 | 0,037 |
| 684387,10 | 1109295,80 | 0,156 | 684373,10 | 1109312,20 | 0,110 |
| 684386,90 | 1109295,90 | 0,110 | 684370,50 | 1109315,60 | 0,135 |
| 684386,40 | 1109296,20 | 0,065 | 684368,00 | 1109318,90 | 0,168 |
| 684386,20 | 1109296,40 | 0,112 | 684367,00 | 1109323,60 | 0,013 |
| 684386,10 | 1109296,50 | 0,179 | 684362,20 | 1109316,50 | 0,192 |
| 684385,90 | 1109296,60 | 0,185 | 684363,10 | 1109315,60 | 0,173 |
| 684385,50 | 1109296,90 | 0,073 | 684364,20 | 1109314,20 | 0,143 |
| 684385,10 | 1109297,10 | 0,117 | 684363,50 | 1109314,10 | 0,111 |
| 684384,90 | 1109297,20 | 0,040 | 684375,40 | 1109314,20 | 0,062 |
| 684384,80 | 1109297,40 | 0,093 | 684376,50 | 1109314,20 | 0,194 |
| 684384,60 | 1109297,60 | 0,074 | 684377,60 | 1109314,20 | 0,233 |
| 684384,40 | 1109297,80 | 0,182 | 684378,80 | 1109314,20 | 0,062 |
| 684384,20 | 1109297,90 | 0,139 | 684379,90 | 1109314,20 | 0,106 |
| 684384,10 | 1109298,00 | 0,150 | 684380,90 | 1109314,20 | 0,002 |
| 684383,30 | 1109298,50 | 0,145 | 684382,10 | 1109314,20 | 0,071 |
| 684383,00 | 1109298,80 | 0,050 | 684383,20 | 1109314,20 | 0,117 |
| 684382,80 | 1109298,90 | 0,204 | 684384,30 | 1109314,20 | 0,151 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 684382,60 | 1109299,00 | 0,176 | 684387,00 | 1109315,40 | 0,091 |
| 684382,40 | 1109299,10 | 0,123 | 684385,50 | 1109312,10 | 0,056 |
| 684382,20 | 1109299,20 | 0,093 | 684383,70 | 1109312,50 | 0,264 |
| 684382,10 | 1109299,40 | 0,079 | 684378,20 | 1109313,60 | 0,113 |
| 684381,90 | 1109299,50 | 0,041 | 684375,20 | 1109314,20 | 0,064 |
| 684381,80 | 1109299,60 | 0,108 | 684375,10 | 1109310,40 | 0,191 |
| 684381,60 | 1109299,80 | 0,169 | 684375,30 | 1109317,00 | 0,089 |
| 684381,40 | 1109299,90 | 0,096 | 684375,90 | 1109336,80 | 0,100 |
| 684381,00 | 1109300,10 | 0,129 | 684367,70 | 1109335,60 | 0,054 |
| 684380,80 | 1109300,20 | 0,152 | 684367,00 | 1109329,80 | 0,248 |
| 684380,40 | 1109300,60 | 0,110 | 684366,80 | 1109327,80 | 0,099 |
| 684380,10 | 1109300,90 | 0,192 | 684366,50 | 1109325,80 | 0,210 |
| 684379,90 | 1109301,00 | 0,087 | 684366,20 | 1109323,80 | 0,052 |
| 684379,80 | 1109301,10 | 0,141 | 684366,00 | 1109321,80 | 0,211 |
| 684379,60 | 1109301,20 | 0,125 | 684365,80 | 1109319,80 | 0,133 |
| 684379,40 | 1109301,40 | 0,119 | 684365,50 | 1109317,90 | 0,067 |
| 684379,20 | 1109301,50 | 0,058 | 684365,20 | 1109315,90 | 0,118 |
| 684365,00 | 1109313,90 | 0,181 | 684377,90 | 1109298,50 | 0,175 |
| 684364,80 | 1109311,90 | 0,003 | 684375,80 | 1109301,20 | 0,160 |
| 684364,60 | 1109308,80 | 0,129 | 684374,90 | 1109301,20 | 0,102 |
| 684365,20 | 1109308,80 | 0,098 | 684373,60 | 1109300,10 | 0,028 |
| 684366,50 | 1109308,80 | 0,187 | 684375,00 | 1109303,00 | 0,068 |
| 684367,10 | 1109308,80 | 0,339 | 684381,10 | 1109302,50 | 0,163 |
| 684367,80 | 1109308,80 | 0,212 | 684379,80 | 1109303,80 | 0,108 |
| 684369,60 | 1109308,80 | 0,070 | 684378,30 | 1109305,00 | 0,204 |
| 684370,20 | 1109308,80 | 0,055 | 684376,90 | 1109306,10 | 0,069 |
| 684370,90 | 1109308,80 | 0,126 | 684375,50 | 1109307,40 | 0,084 |
| 684371,90 | 1109307,80 | 0,064 | 684374,10 | 1109308,60 | 0,083 |
| 684373,30 | 1109310,50 | 0,125 | 684371,90 | 1109309,40 | 0,078 |
| 684368,60 | 1109310,50 | 0,040 | 684369,90 | 1109312,40 | 0,075 |
| 684369,90 | 1109310,50 | 0,176 | 684365,70 | 1109312,20 | 0,152 |
| 684371,90 | 1109308,80 | 0,120 | 684372,60 | 1109309,00 | 0,229 |
| 684371,90 | 1109308,80 | 0,235 | 684364,20 | 1109314,50 | 0,281 |
| 684373,30 | 1109307,80 | 0,082 | 684350,00 | 1109323,80 | 0,077 |
| 684369,00 | 1109311,20 | 0,049 | 684351,30 | 1109319,50 | 0,256 |
| 684367,70 | 1109314,20 | 0,091 | 684361,40 | 1109325,90 | 0,027 |
| 684366,70 | 1109314,20 | 0,148 | 684367,80 | 1109334,00 | 0,048 |
| 684367,90 | 1109314,20 | 0,119 | 684375,40 | 1109309,80 | 0,146 |
| 684371,90 | 1109313,80 | 0,119 | 684365,90 | 1109313,90 | 0,145 |
| 684371,90 | 1109312,50 | 0,035 | 684361,00 | 1109316,00 | 0,104 |
| 684371,40 | 1109311,20 | 0,011 | 684357,30 | 1109318,10 | 0,139 |
| 684366,70 | 1109311,50 | 0,004 | 684359,40 | 1109314,50 | 0,210 |
| 684369,40 | 1109308,80 | 0,086 | 684359,80 | 1109314,10 | 0,146 |
| 684368,90 | 1109309,00 | 0,114 | 684364,30 | 1109302,80 | 0,056 |
| 684369,70 | 1109308,60 | 0,086 | 684374,30 | 1109296,20 | 0,162 |
| 684370,40 | 1109308,20 | 0,100 | 684376,00 | 1109302,80 | 0,008 |
| 684371,20 | 1109307,90 | 0,110 | 684385,50 | 1109304,10 | 0,091 |
| 684371,90 | 1109307,50 | 0,107 | 684361,60 | 1109320,10 | 0,141 |
| 684372,80 | 1109307,10 | 0,106 | 684349,70 | 1109328,10 | 0,122 |
| 684373,50 | 1109306,80 | 0,190 | 684337,70 | 1109336,10 | 0,016 |
| 684374,20 | 1109306,40 | 0,005 | 684325,80 | 1109344,00 | 0,062 |
| 684375,00 | 1109306,00 | 0,181 | 684313,90 | 1109352,00 | 0,062 |
| 684375,80 | 1109305,60 | 0,178 | 684278,10 | 1109376,80 | 0,058 |
| 684376,90 | 1109305,00 | 0,187 | 684286,40 | 1109369,90 | 0,031 |
| 684380,20 | 1109301,80 | 0,066 | 684311,50 | 1109349,50 | 0,199 |
| 684374,60 | 1109307,40 | 0,076 | 684319,80 | 1109342,60 | 0,152 |
| 684369,10 | 1109312,90 | 0,073 | 684328,10 | 1109335,90 | 0,156 |
| 684363,60 | 1109318,40 | 0,175 | 684336,40 | 1109329,10 | 0,135 |
| 684345,20 | 1109337,00 | 0,206 | 684344,80 | 1109322,20 | 0,049 |
| 684351,10 | 1109328,40 | 0,074 | 684353,20 | 1109315,50 | 0,085 |
| 684362,80 | 1109321,80 | 0,017 | 684361,50 | 1109308,60 | 0,135 |
| 684369,90 | 1109308,80 | 0,011 | 684369,90 | 1109301,90 | 0,155 |
| 684375,20 | 1109308,80 | 0,043 | 684378,20 | 1109295,00 | 0,172 |
| 684376,20 | 1109309,90 | 0,143 | 684386,60 | 1109288,20 | 0,040 |



|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 684373,10 | 1109307,40 | 0,101 | 684399,00 | 1109278,20 | 0,077 |
| 684377,90 | 1109305,00 | 0,050 | 684396,10 | 1109280,90 | 0,113 |
| 684376,20 | 1109306,10 | 0,185 | 684395,60 | 1109280,10 | 0,016 |
| 684373,90 | 1109302,90 | 0,071 | 684395,20 | 1109279,50 | 0,033 |
| 684375,90 | 1109300,60 | 0,096 | 684393,80 | 1109277,50 | 0,079 |
| 684393,20 | 1109276,90 | 0,123 | 684431,90 | 1109312,80 | 0,087 |
| 684392,80 | 1109276,20 | 0,056 | 684427,90 | 1109319,00 | 0,215 |
| 684392,30 | 1109275,60 | 0,096 | 684423,90 | 1109325,10 | 0,152 |
| 684391,40 | 1109274,20 | 0,051 | 684415,90 | 1109337,40 | 0,068 |
| 684390,90 | 1109273,60 | 0,096 | 684411,90 | 1109343,40 | 0,137 |
| 684390,40 | 1109272,90 | 0,169 | 684399,80 | 1109361,90 | 0,008 |
| 684389,70 | 1109274,20 | 0,136 | 684395,80 | 1109368,00 | 0,064 |
| 684389,60 | 1109279,80 | 0,053 | 684391,90 | 1109374,00 | 0,199 |
| 684388,60 | 1109287,60 | 0,027 | 684387,80 | 1109380,10 | 0,029 |
| 684391,20 | 1109290,40 | 0,187 | 684384,20 | 1109385,50 | 0,090 |
| 684392,20 | 1109292,50 | 0,074 | 684390,70 | 1109375,10 | 0,117 |
| 684390,50 | 1109287,80 | 0,108 | 684397,20 | 1109364,60 | 0,096 |
| 684387,00 | 1109280,50 | 0,122 | 684419,90 | 1109302,20 | 0,068 |
| 684388,60 | 1109292,10 | 0,124 | 684418,80 | 1109304,20 | 0,094 |
| 684390,60 | 1109294,20 | 0,205 | 684417,60 | 1109306,10 | 0,143 |
| 684387,90 | 1109289,90 | 0,164 | 684416,50 | 1109308,10 | 0,061 |
| 684387,80 | 1109320,60 | 0,064 | 684414,10 | 1109311,90 | 0,122 |
| 684387,70 | 1109324,50 | 0,094 | 684413,00 | 1109313,90 | 0,129 |
| 684387,70 | 1109332,10 | 0,107 | 684411,90 | 1109315,80 | 0,085 |
| 684386,90 | 1109347,20 | 0,072 | 684410,70 | 1109317,60 | 0,119 |
| 684382,80 | 1109357,20 | 0,215 | 684408,40 | 1109321,50 | 0,106 |
| 684384,10 | 1109362,80 | 0,131 | 684407,20 | 1109323,50 | 0,131 |
| 684383,10 | 1109366,10 | 0,050 | 684406,10 | 1109325,40 | 0,110 |
| 684382,60 | 1109367,90 | 0,231 | 684404,90 | 1109327,20 | 0,213 |
| 684381,60 | 1109371,20 | 0,048 | 684402,60 | 1109331,10 | 0,145 |
| 684381,10 | 1109372,90 | 0,102 | 684399,10 | 1109336,90 | 0,133 |
| 684379,50 | 1109378,00 | 0,049 | 684396,80 | 1109340,80 | 0,209 |
| 684379,00 | 1109379,80 | 0,016 | 684391,80 | 1109348,40 | 0,242 |
| 684375,90 | 1109388,20 | 0,069 | 684393,20 | 1109347,00 | 0,093 |
| 684379,80 | 1109378,20 | 0,111 | 684394,60 | 1109345,60 | 0,126 |
| 684385,10 | 1109363,20 | 0,143 | 684396,10 | 1109344,20 | 0,008 |
| 684386,50 | 1109361,50 | 0,091 | 684397,50 | 1109342,90 | 0,112 |
| 684392,20 | 1109354,50 | 0,073 | 684398,90 | 1109341,50 | 0,131 |
| 684405,20 | 1109338,60 | 0,170 | 684400,30 | 1109340,10 | 0,131 |
| 684406,60 | 1109336,90 | 0,069 | 684403,10 | 1109337,20 | 0,124 |
| 684408,10 | 1109335,10 | 0,181 | 684404,60 | 1109335,90 | 0,064 |
| 684409,50 | 1109333,40 | 0,211 | 684406,00 | 1109334,50 | 0,052 |
| 684410,90 | 1109331,60 | 0,045 | 684408,80 | 1109331,80 | 0,112 |
| 684412,40 | 1109329,90 | 0,089 | 684410,20 | 1109330,40 | 0,096 |
| 684415,20 | 1109326,20 | 0,158 | 684411,60 | 1109329,00 | 0,073 |
| 684416,70 | 1109324,50 | 0,192 | 684413,10 | 1109327,60 | 0,104 |
| 684418,10 | 1109322,80 | 0,056 | 684414,90 | 1109325,00 | 0,156 |
| 684419,90 | 1109321,10 | 0,054 | 684411,80 | 1109319,90 | 0,060 |
| 684422,40 | 1109315,50 | 0,248 | 684406,80 | 1109321,20 | 0,101 |
| 684424,10 | 1109311,90 | 0,118 | 684411,90 | 1109331,80 | 0,021 |
| 684424,90 | 1109310,00 | 0,142 | 684412,20 | 1109334,80 | 0,074 |
| 684426,10 | 1109306,50 | 0,080 | 684422,20 | 1109323,80 | 0,075 |
| 684426,40 | 1109307,60 | 0,148 | 684423,60 | 1109319,90 | 0,036 |
| 684426,80 | 1109308,80 | 0,161 | 684424,90 | 1109316,00 | 0,120 |
| 684427,10 | 1109309,80 | 0,020 | 684426,20 | 1109312,10 | 0,080 |
| 684427,40 | 1109311,50 | 0,102 | 684427,60 | 1109308,20 | 0,198 |
| 684428,20 | 1109313,40 | 0,029 | 684428,90 | 1109304,40 | 0,083 |
| 684431,60 | 1109296,60 | 0,040 | 684576,00 | 1109242,90 | 1,107 |
| 684432,90 | 1109292,80 | 0,164 | 684597,70 | 1109232,40 | 1,073 |
| 684434,20 | 1109288,90 | 0,095 | 684621,40 | 1109222,50 | 0,753 |
| 684436,90 | 1109281,00 | 0,091 | 684641,00 | 1109215,80 | 0,176 |
| 684444,90 | 1109257,80 | 0,125 | 684676,30 | 1109187,50 | 0,066 |
| 684446,20 | 1109253,90 | 0,048 | 684676,10 | 1109188,60 | 0,511 |
| 684447,60 | 1109250,00 | 0,022 | 684662,10 | 1109211,90 | 0,902 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 684448,90 | 1109246,10 | 0,023 | 684642,20 | 1109235,10 | 0,686 |
| 684450,20 | 1109242,20 | 0,171 | 684607,60 | 1109245,00 | 0,557 |
| 684451,60 | 1109238,40 | 0,072 | 684616,90 | 1109267,80 | 0,243 |
| 684454,20 | 1109230,60 | 0,040 | 684596,40 | 1109284,40 | 0,544 |
| 684455,60 | 1109226,80 | 0,159 | 684638,90 | 1109234,10 | 0,474 |
| 684460,20 | 1109217,40 | 0,190 | 684654,80 | 1109207,10 | 0,035 |
| 684455,90 | 1109223,00 | 0,007 | 684698,80 | 1109191,50 | 0,287 |
| 684451,60 | 1109228,50 | 0,033 | 685011,40 | 1108882,40 | 0,111 |
| 684447,30 | 1109233,90 | 0,043 | 685035,40 | 1108870,40 | 0,439 |
| 684438,70 | 1109245,00 | 0,028 | 685053,30 | 1108865,90 | 0,895 |
| 684434,40 | 1109250,50 | 0,179 | 685071,80 | 1108861,40 | 0,426 |
| 684421,60 | 1109267,00 | 0,059 | 685089,90 | 1108856,90 | 0,629 |
| 684404,40 | 1109289,00 | 0,090 | 685114,80 | 1108866,80 | 0,641 |
| 684400,10 | 1109294,50 | 0,024 | 685123,50 | 1108838,40 | 0,302 |
| 684359,60 | 1109338,10 | 0,106 | 685118,80 | 1108797,50 | 0,204 |
| 684456,20 | 1109316,10 | 0,055 | 685133,60 | 1108778,60 | 0,398 |
| 684483,20 | 1109301,10 | 0,038 | 685162,90 | 1108780,80 | 0,460 |
| 684507,80 | 1109253,40 | 0,294 | 685173,00 | 1108753,80 | 0,294 |
| 684524,00 | 1109203,80 | 0,406 | 685181,30 | 1108720,40 | 0,597 |
| 684529,40 | 1109224,00 | 0,733 | 685203,90 | 1108723,90 | 0,350 |
| 684538,80 | 1109248,60 | 0,360 | 685215,80 | 1108739,60 | 0,450 |
| 684537,10 | 1109265,80 | 0,196 | 685234,20 | 1108754,80 | 0,603 |
| 684514,20 | 1109310,60 | 0,230 | 685265,10 | 1108766,00 | 0,281 |
| 684519,80 | 1109305,50 | 0,336 | 685288,90 | 1108773,10 | 0,201 |
| 684515,80 | 1109311,20 | 0,452 | 685323,90 | 1108771,40 | 0,177 |
| 684519,90 | 1109313,10 | 0,233 | 685355,60 | 1108793,90 | 0,348 |
| 684518,90 | 1109315,20 | 0,418 | 685371,60 | 1108790,90 | 0,613 |
| 684524,30 | 1109303,60 | 0,168 | 685387,80 | 1108787,90 | 0,757 |
| 684519,70 | 1109314,00 | 0,120 | 685404,10 | 1108784,90 | 0,293 |
| 684516,80 | 1109317,80 | 0,309 | 685420,20 | 1108781,90 | 0,230 |
| 684510,60 | 1109320,40 | 0,133 | 685436,10 | 1108779,00 | 0,204 |
| 684524,90 | 1109299,50 | 0,285 | 685452,20 | 1108776,00 | 0,401 |
| 684524,10 | 1109296,40 | 0,312 | 685468,00 | 1108773,00 | 0,539 |
| 684526,60 | 1109297,80 | 0,292 | 685483,80 | 1108770,10 | 0,415 |
| 684528,40 | 1109294,80 | 0,306 | 685499,70 | 1108767,20 | 0,295 |
| 684527,40 | 1109295,90 | 0,357 | 685515,30 | 1108764,20 | 0,061 |
| 684530,10 | 1109293,90 | 0,369 | 685552,00 | 1108721,60 | 0,010 |
| 684528,60 | 1109289,10 | 0,257 | 685547,60 | 1108620,60 | 0,134 |
| 684536,90 | 1109290,50 | 0,398 | 685539,60 | 1108593,50 | 0,271 |
| 684536,70 | 1109289,00 | 0,246 | 685523,40 | 1108578,10 | 0,172 |
| 684530,10 | 1109294,80 | 0,349 | 685521,90 | 1108556,20 | 0,102 |
| 684540,00 | 1109278,80 | 1,001 | 685530,10 | 1108522,50 | 0,036 |
| 684554,90 | 1109255,60 | 1,028 | 685436,30 | 1108425,00 | 0,036 |
| 684564,40 | 1109247,10 | 0,954 | 685455,20 | 1108403,60 | 0,023 |
| 684554,60 | 1109253,20 | 1,215 | 685498,40 | 1108395,80 | 0,294 |
| 685413,90 | 1108202,10 | 0,105 | 686020,50 | 1106389,40 | 0,297 |
| 685399,60 | 1108189,50 | 0,180 | 686047,20 | 1106370,80 | 0,228 |
| 685363,20 | 1108195,40 | 0,674 | 686042,00 | 1106322,90 | 0,152 |
| 685345,10 | 1108173,00 | 0,483 | 686038,40 | 1106296,10 | 0,089 |
| 685326,10 | 1108158,20 | 0,206 | 686063,60 | 1106245,00 | 0,430 |
| 685302,90 | 1108137,90 | 0,155 | 686072,50 | 1106233,80 | 0,408 |
| 685275,30 | 1108117,50 | 0,344 | 686081,50 | 1106222,50 | 0,255 |
| 685246,00 | 1108096,00 | 0,351 | 686090,50 | 1106211,20 | 0,259 |
| 685235,20 | 1108077,40 | 0,362 | 686126,30 | 1106166,50 | 0,219 |
| 685224,40 | 1108059,00 | 0,204 | 686135,20 | 1106155,40 | 0,069 |
| 685213,70 | 1108040,60 | 0,562 | 686144,20 | 1106144,20 | 0,049 |
| 685182,60 | 1108023,20 | 0,418 | 686181,70 | 1106010,50 | 0,040 |
| 685207,30 | 1108008,10 | 0,195 | 686187,60 | 1105967,40 | 0,098 |
| 685252,20 | 1107982,00 | 0,326 | 686199,60 | 1105880,60 | 0,386 |
| 685212,90 | 1107910,00 | 0,257 | 686202,60 | 1105858,50 | 0,124 |
| 685219,20 | 1107867,10 | 0,497 | 686205,60 | 1105836,80 | 0,209 |
| 685256,80 | 1107855,40 | 0,488 | 686211,60 | 1105793,20 | 0,303 |
| 685305,60 | 1107849,60 | 0,266 | 686214,60 | 1105771,20 | 0,397 |
| 685316,80 | 1107828,80 | 0,268 | 686217,60 | 1105749,50 | 0,121 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 685607,20 | 1107474,80 | 0,489 | 686223,70 | 1105705,90 | 0,072 |
| 685635,90 | 1107459,60 | 0,489 | 686177,00 | 1105652,10 | 0,149 |
| 685640,30 | 1107434,60 | 0,987 | 686157,80 | 1105646,20 | 0,406 |
| 685599,60 | 1107416,50 | 0,121 | 686119,30 | 1105634,40 | 0,210 |
| 685585,90 | 1107345,60 | 0,027 | 686100,10 | 1105628,50 | 0,297 |
| 685645,90 | 1107302,50 | 0,564 | 686080,80 | 1105622,50 | 0,222 |
| 685677,20 | 1107273,10 | 1,569 | 686061,60 | 1105616,60 | 0,083 |
| 685657,10 | 1107243,60 | 1,488 | 686042,40 | 1105610,80 | 0,226 |
| 685624,70 | 1107215,10 | 0,562 | 686023,10 | 1105604,80 | 0,151 |
| 685679,90 | 1107153,50 | 1,678 | 685984,60 | 1105592,90 | 0,009 |
| 685652,50 | 1107079,20 | 0,862 | 685934,10 | 1105577,40 | 0,009 |
| 685619,10 | 1107045,80 | 0,556 | 685884,70 | 1105503,10 | 0,109 |
| 685619,60 | 1106997,50 | 0,998 | 685873,40 | 1105483,90 | 0,068 |
| 685660,00 | 1106982,40 | 1,064 | 685825,30 | 1105424,10 | 0,041 |
| 685673,80 | 1106947,90 | 1,370 | 685793,40 | 1105353,50 | 0,071 |
| 685657,30 | 1106917,80 | 0,753 | 685782,80 | 1105330,00 | 0,139 |
| 685622,20 | 1106848,80 | 0,764 | 685772,10 | 1105306,40 | 0,177 |
| 685647,40 | 1106821,80 | 0,533 | 685749,30 | 1105278,50 | 0,004 |
| 685675,50 | 1106790,90 | 0,856 | 685732,50 | 1104909,20 | 0,029 |
| 685774,90 | 1106682,20 | 0,722 | 685734,70 | 1104897,10 | 0,083 |
| 685789,30 | 1106655,50 | 0,182 | 685736,80 | 1104885,20 | 0,099 |
| 685795,60 | 1106608,50 | 0,126 | 685738,90 | 1104873,20 | 0,041 |
| 685823,40 | 1106616,80 | 0,668 | 685736,50 | 1104852,20 | 0,027 |
| 685851,80 | 1106625,20 | 1,290 | 685708,70 | 1104843,10 | 0,180 |
| 685880,60 | 1106633,90 | 0,711 | 685694,80 | 1104838,50 | 0,160 |
| 685917,80 | 1106654,60 | 0,632 | 685680,90 | 1104834,00 | 0,136 |
| 685937,90 | 1106652,60 | 0,783 | 685667,00 | 1104829,40 | 0,008 |
| 685938,60 | 1106552,80 | 1,361 | 685611,50 | 1104811,00 | 0,094 |
| 685948,80 | 1106525,20 | 1,635 | 685572,80 | 1104778,80 | 0,195 |
| 685955,40 | 1106497,10 | 1,361 | 685575,80 | 1104781,50 | 0,183 |
| 685971,70 | 1106470,20 | 1,023 | 685578,70 | 1104781,50 | 0,227 |
| 685988,00 | 1106443,20 | 0,367 | 685580,60 | 1104781,60 | 0,133 |
| 686004,20 | 1106416,40 | 0,421 | 685583,10 | 1104780,20 | 0,077 |
| 685581,40 | 1104779,40 | 0,155 | 685986,40 | 1106402,50 | 0,985 |
| 685568,50 | 1104773,20 | 0,130 | 685966,60 | 1106438,20 | 1,369 |
| 685567,20 | 1104772,60 | 0,178 | 685927,00 | 1106509,80 | 1,302 |
| 685565,30 | 1104771,80 | 0,060 | 685905,30 | 1106538,00 | 0,847 |
| 685563,30 | 1104770,80 | 0,119 | 685892,40 | 1106600,20 | 0,914 |
| 685558,80 | 1104767,50 | 0,066 | 685879,60 | 1106663,80 | 1,270 |
| 685566,10 | 1104782,40 | 0,021 | 685853,20 | 1106663,10 | 0,293 |
| 685576,90 | 1104797,10 | 0,300 | 685826,80 | 1106662,50 | 0,215 |
| 685587,70 | 1104812,00 | 0,159 | 685800,90 | 1106661,90 | 0,532 |
| 685598,50 | 1104826,80 | 0,395 | 685773,10 | 1106646,40 | 1,592 |
| 685634,40 | 1104870,60 | 0,137 | 685713,10 | 1106729,80 | 0,946 |
| 685647,50 | 1104892,40 | 0,070 | 685683,80 | 1106777,10 | 1,314 |
| 685672,30 | 1104881,50 | 0,214 | 685615,40 | 1106851,40 | 1,164 |
| 685694,30 | 1104866,40 | 0,349 | 685629,80 | 1106900,80 | 1,451 |
| 685719,00 | 1104868,40 | 0,075 | 685669,10 | 1106947,50 | 1,202 |
| 685754,30 | 1104883,00 | 0,206 | 685631,20 | 1106980,60 | 1,017 |
| 685751,30 | 1104928,00 | 0,042 | 685634,60 | 1107030,40 | 1,750 |
| 685775,50 | 1105064,60 | 0,214 | 685647,50 | 1107075,60 | 1,709 |
| 685793,90 | 1105133,60 | 0,077 | 685692,10 | 1107159,50 | 1,203 |
| 685785,90 | 1105247,60 | 0,203 | 685655,40 | 1107227,90 | 1,024 |
| 685780,00 | 1105285,20 | 0,104 | 685632,30 | 1107417,40 | 0,395 |
| 685768,10 | 1105360,60 | 0,048 | 685614,30 | 1107456,50 | 1,736 |
| 685762,20 | 1105398,40 | 0,279 | 685626,90 | 1107490,20 | 0,535 |
| 685769,60 | 1105445,50 | 0,104 | 685683,90 | 1107494,60 | 0,450 |
| 685810,80 | 1105435,80 | 0,079 | 685319,60 | 1107839,40 | 0,205 |
| 685808,20 | 1105429,40 | 0,077 | 685281,40 | 1107872,40 | 0,252 |
| 685821,10 | 1105441,20 | 0,261 | 685233,00 | 1107901,90 | 0,248 |
| 685842,70 | 1105456,10 | 0,183 | 685228,10 | 1107945,40 | 0,398 |
| 685866,20 | 1105480,20 | 0,197 | 685223,10 | 1107989,00 | 0,327 |
| 685881,10 | 1105496,80 | 0,082 | 685206,20 | 1108036,40 | 0,601 |
| 685920,80 | 1105557,60 | 0,000 | 685238,20 | 1108067,90 | 0,451 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 685948,00 | 1105569,90 | 0,113 | 685265,50 | 1108098,90 | 0,091 |
| 686002,60 | 1105594,40 | 0,186 | 685315,30 | 1108132,10 | 0,794 |
| 686084,30 | 1105622,50 | 0,451 | 685352,70 | 1108171,60 | 0,172 |
| 686106,60 | 1105630,40 | 0,357 | 685460,30 | 1108314,20 | 0,161 |
| 686128,80 | 1105638,20 | 0,254 | 685511,30 | 1108334,40 | 0,383 |
| 686151,10 | 1105646,10 | 0,389 | 685542,80 | 1108384,80 | 0,077 |
| 686173,20 | 1105653,90 | 0,161 | 685479,80 | 1108402,00 | 0,071 |
| 686193,20 | 1105659,50 | 0,043 | 685465,70 | 1108459,40 | 0,082 |
| 686251,40 | 1105683,50 | 0,103 | 685518,30 | 1108490,00 | 0,004 |
| 686265,50 | 1105710,10 | 0,270 | 685533,10 | 1108533,50 | 0,315 |
| 686204,80 | 1106064,20 | 0,070 | 685546,10 | 1108573,60 | 0,183 |
| 686162,90 | 1106123,90 | 0,092 | 685541,70 | 1108729,90 | 0,210 |
| 686136,90 | 1106157,50 | 0,328 | 685514,60 | 1108734,80 | 0,653 |
| 686112,80 | 1106151,60 | 0,161 | 685459,40 | 1108744,60 | 0,276 |
| 686094,90 | 1106176,60 | 0,040 | 685432,00 | 1108749,50 | 0,441 |
| 686059,40 | 1106226,80 | 0,381 | 685404,00 | 1108754,50 | 0,467 |
| 686041,40 | 1106251,90 | 0,066 | 685375,70 | 1108759,60 | 0,328 |
| 686023,60 | 1106277,00 | 0,235 | 685356,00 | 1108768,00 | 0,236 |
| 686000,10 | 1106298,20 | 0,558 | 685300,70 | 1108767,20 | 0,373 |
| 685999,90 | 1106337,10 | 0,343 | 685256,30 | 1108745,80 | 0,484 |
| 686006,00 | 1106367,10 | 0,758 | 685205,60 | 1108706,90 | 0,246 |
| 685181,90 | 1108740,00 | 0,221 | 685602,10 | 1104779,20 | 0,346 |
| 685157,40 | 1108767,60 | 0,768 | 685592,90 | 1104804,50 | 0,127 |
| 685140,60 | 1108824,10 | 0,317 | 685593,90 | 1104808,60 | 0,201 |
| 685109,00 | 1108852,60 | 0,584 | 685590,90 | 1104798,60 | 0,085 |
| 684683,60 | 1109180,80 | 0,144 | 685594,20 | 1104793,80 | 0,158 |
| 684676,20 | 1109187,80 | 0,982 | 685644,80 | 1104805,90 | 0,146 |
| 684647,20 | 1109218,90 | 0,682 | 691921,20 | 1106571,90 | 0,029 |
| 684606,00 | 1109249,00 | 0,121 | 691872,80 | 1106587,10 | 0,009 |
| 685597,30 | 1104775,60 | 0,222 | 691695,10 | 1106598,60 | 0,294 |
| 685595,60 | 1104785,20 | 0,085 | 691502,20 | 1106462,60 | 0,054 |
| 685592,90 | 1104788,60 | 0,100 | 691440,00 | 1106440,20 | 0,160 |
| 685592,00 | 1104793,40 | 0,060 | 691389,80 | 1106429,00 | 0,067 |
| 685595,60 | 1104795,50 | 0,113 | 687680,60 | 1109575,80 | 0,330 |
| 685592,90 | 1104797,10 | 0,094 | 687700,20 | 1109603,90 | 0,364 |
| 685593,70 | 1104800,10 | 0,156 | 687709,90 | 1109617,90 | 0,303 |
| 685595,60 | 1104799,00 | 0,129 | 687719,70 | 1109631,90 | 0,399 |
| 685593,90 | 1104803,10 | 0,150 | 687738,60 | 1109651,10 | 0,243 |
| 685599,10 | 1104807,40 | 0,087 | 687732,70 | 1109656,20 | 0,220 |
| 685585,60 | 1104798,20 | 0,094 | 687726,90 | 1109661,40 | 0,438 |
| 685572,00 | 1104789,10 | 0,144 | 687721,00 | 1109666,50 | 0,291 |
| 685558,50 | 1104780,00 | 0,104 | 687715,10 | 1109671,60 | 0,428 |
| 685544,90 | 1104770,90 | 0,192 | 687704,40 | 1109676,20 | 0,237 |
| 685531,20 | 1104761,80 | 0,162 | 687706,90 | 1109682,20 | 0,393 |
| 685504,00 | 1104743,40 | 0,142 | 687709,30 | 1109688,20 | 0,359 |
| 685490,60 | 1104734,20 | 0,046 | 687711,80 | 1109694,20 | 0,376 |
| 685411,70 | 1104680,40 | 0,290 | 687716,80 | 1109706,10 | 0,274 |
| 685392,00 | 1104660,80 | 0,129 | 687719,20 | 1109712,10 | 0,363 |
| 685428,90 | 1104523,20 | 0,081 | 687721,70 | 1109718,00 | 0,290 |
| 685404,50 | 1104467,80 | 0,009 | 687724,20 | 1109724,00 | 0,216 |
| 685422,20 | 1104451,20 | 0,007 | 687722,40 | 1109719,60 | 0,257 |
| 685402,80 | 1104395,80 | 0,077 | 687739,00 | 1109748,00 | 0,401 |
| 685347,60 | 1104359,40 | 0,013 | 687730,90 | 1109770,80 | 0,203 |
| 685307,40 | 1104328,80 | 0,021 | 687743,20 | 1109772,80 | 0,258 |
| 685282,40 | 1104296,40 | 0,030 | 687747,10 | 1109784,40 | 0,174 |
| 685270,10 | 1104280,20 | 0,037 | 687750,90 | 1109796,10 | 0,368 |
| 685242,60 | 1104243,00 | 0,151 | 687752,30 | 1109811,90 | 0,424 |
| 685234,80 | 1104205,90 | 0,068 | 687777,00 | 1109824,20 | 0,072 |
| 685592,20 | 1104806,80 | 0,267 | 687797,10 | 1109825,20 | 0,139 |
| 685590,60 | 1104803,10 | 0,207 | 687806,10 | 1109828,20 | 0,123 |
| 685587,40 | 1104801,10 | 0,073 | 687821,80 | 1109824,50 | 0,111 |
| 685588,20 | 1104799,40 | 0,160 | 687828,70 | 1109818,80 | 0,202 |
| 685589,60 | 1104796,50 | 0,113 | 687832,70 | 1109815,50 | 0,330 |
| 685588,60 | 1104793,90 | 0,179 | 687842,90 | 1109819,00 | 1,024 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 685591,20 | 1104791,80 | 0,173 | 687852,90 | 1109831,50 | 0,906 |
| 685591,20 | 1104790,00 | 0,153 | 687867,60 | 1109835,20 | 1,317 |
| 685591,10 | 1104792,20 | 0,284 | 687882,20 | 1109838,90 | 1,348 |
| 685618,20 | 1104778,10 | 0,256 | 687897,00 | 1109842,80 | 1,416 |
| 685617,40 | 1104777,60 | 0,285 | 687926,40 | 1109850,20 | 1,782 |
| 685614,20 | 1104778,50 | 0,247 | 687940,60 | 1109850,50 | 1,313 |
| 685611,10 | 1104779,40 | 0,100 | 687972,60 | 1109870,10 | 1,500 |
| 685607,90 | 1104780,20 | 0,173 | 687988,80 | 1109879,90 | 1,250 |
| 685603,00 | 1104781,20 | 0,291 | 688004,90 | 1109887,20 | 1,343 |
| 688020,90 | 1109901,20 | 0,969 | 688488,90 | 1110272,80 | 0,476 |
| 688040,00 | 1109910,10 | 0,622 | 688489,60 | 1110273,90 | 0,397 |
| 688044,10 | 1109933,50 | 0,602 | 688492,30 | 1110274,90 | 0,663 |
| 688080,70 | 1109972,10 | 0,543 | 688493,20 | 1110273,20 | 0,573 |
| 688100,70 | 1109989,80 | 0,310 | 688490,70 | 1110270,20 | 0,621 |
| 688118,80 | 1110008,80 | 0,370 | 688489,00 | 1110269,10 | 0,475 |
| 688144,80 | 1110021,80 | 0,108 | 688485,80 | 1110269,90 | 0,486 |
| 688179,00 | 1110065,20 | 0,542 | 688488,20 | 1110265,00 | 0,543 |
| 688206,70 | 1110082,40 | 0,509 | 688493,10 | 1110255,10 | 0,668 |
| 688222,10 | 1110076,50 | 1,366 | 688495,60 | 1110250,10 | 0,619 |
| 688243,10 | 1110055,50 | 1,311 | 688498,00 | 1110245,10 | 0,481 |
| 688304,80 | 1110052,60 | 1,597 | 688500,40 | 1110240,20 | 0,510 |
| 688324,60 | 1110059,50 | 1,522 | 688502,90 | 1110235,20 | 0,592 |
| 688349,10 | 1110079,60 | 1,974 | 688505,20 | 1110230,40 | 0,465 |
| 688386,50 | 1110114,90 | 1,027 | 688507,70 | 1110225,40 | 0,320 |
| 688408,20 | 1110125,40 | 0,600 | 688510,10 | 1110220,50 | 0,660 |
| 688424,10 | 1110128,60 | 0,497 | 688512,60 | 1110215,50 | 0,296 |
| 688473,10 | 1110151,20 | 0,292 | 688515,00 | 1110210,60 | 0,632 |
| 688504,90 | 1110191,20 | 0,438 | 688517,40 | 1110205,60 | 0,420 |
| 688511,20 | 1110231,90 | 0,460 | 688519,90 | 1110200,80 | 0,610 |
| 688509,70 | 1110254,80 | 0,476 | 688524,40 | 1110190,40 | 0,443 |
| 688502,90 | 1110265,80 | 0,470 | 688523,20 | 1110194,60 | 0,486 |
| 688484,80 | 1110274,80 | 0,527 | 688522,10 | 1110199,00 | 0,485 |
| 688485,80 | 1110274,80 | 0,606 | 688521,20 | 1110203,50 | 0,618 |
| 688492,30 | 1110274,60 | 0,490 | 688519,60 | 1110206,50 | 0,359 |
| 688486,40 | 1110274,80 | 0,793 | 688517,90 | 1110211,80 | 0,473 |
| 688484,40 | 1110274,60 | 0,537 | 688515,20 | 1110224,20 | 0,525 |
| 688483,10 | 1110273,50 | 0,678 | 688516,70 | 1110223,20 | 0,532 |
| 688483,10 | 1110274,10 | 0,381 | 688512,60 | 1110223,90 | 0,633 |
| 688483,10 | 1110274,80 | 0,499 | 688513,60 | 1110227,60 | 0,474 |
| 688489,90 | 1110273,20 | 0,501 | 688510,90 | 1110231,40 | 0,404 |
| 688496,40 | 1110270,40 | 0,437 | 688511,90 | 1110235,00 | 0,454 |
| 688498,90 | 1110271,50 | 0,507 | 688510,20 | 1110238,60 | 0,624 |
| 688496,70 | 1110268,40 | 0,455 | 688507,50 | 1110242,10 | 0,515 |
| 688493,50 | 1110269,10 | 0,289 | 688508,50 | 1110246,10 | 0,406 |
| 688494,40 | 1110267,90 | 0,571 | 688505,80 | 1110249,80 | 0,537 |
| 688495,20 | 1110266,60 | 0,561 | 688507,30 | 1110253,40 | 0,349 |
| 688496,10 | 1110265,40 | 0,465 | 688503,20 | 1110258,00 | 0,455 |
| 688497,80 | 1110263,00 | 0,503 | 688504,20 | 1110259,10 | 0,613 |
| 688499,20 | 1110260,80 | 0,496 | 688501,60 | 1110266,60 | 0,518 |
| 688498,90 | 1110261,10 | 0,382 | 688503,10 | 1110262,40 | 0,469 |
| 688498,60 | 1110261,50 | 0,532 | 688500,00 | 1110271,80 | 0,475 |
| 688497,90 | 1110262,20 | 0,414 | 688499,20 | 1110274,20 | 0,596 |
| 688497,40 | 1110262,50 | 0,455 | 688503,70 | 1110266,40 | 0,414 |
| 688497,40 | 1110263,10 | 0,573 | 688510,80 | 1110253,20 | 0,567 |
| 688498,00 | 1110263,90 | 0,736 | 688510,80 | 1110255,50 | 0,639 |
| 688496,90 | 1110265,10 | 0,412 | 688511,80 | 1110253,40 | 0,402 |
| 688495,80 | 1110266,40 | 0,522 | 688509,10 | 1110258,20 | 0,569 |
| 688494,00 | 1110267,20 | 0,425 | 688509,10 | 1110260,00 | 0,429 |
| 688494,50 | 1110270,20 | 0,613 | 688510,10 | 1110260,60 | 0,395 |
| 688493,30 | 1110269,10 | 0,474 | 688507,40 | 1110266,40 | 0,456 |
| 688490,60 | 1110271,80 | 0,589 | 688507,10 | 1110269,60 | 0,477 |
| 688507,60 | 1110274,00 | 0,420 | 688509,10 | 1110270,40 | 0,535 |
| 688488,70 | 1110268,40 | 0,340 | 688530,80 | 1110270,50 | 0,369 |
| 688489,20 | 1110274,90 | 0,611 | 688566,40 | 1110267,00 | 0,382 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 688505,80 | 1110254,50 | 0,190 | 688577,40 | 1110252,80 | 0,736 |
| 688506,60 | 1110220,60 | 0,391 | 688590,90 | 1110207,00 | 0,720 |
| 688499,70 | 1110197,40 | 0,457 | 688615,90 | 1110190,00 | 0,577 |
| 688481,80 | 1110175,80 | 0,585 | 688641,10 | 1110173,00 | 0,472 |
| 688452,10 | 1110154,20 | 0,318 | 688666,00 | 1110156,10 | 0,577 |
| 688426,60 | 1110141,20 | 0,844 | 688697,60 | 1110139,80 | 0,548 |
| 688401,80 | 1110134,40 | 1,050 | 688711,00 | 1110122,10 | 0,963 |
| 688363,60 | 1110109,10 | 1,479 | 688724,40 | 1110104,40 | 1,223 |
| 688341,20 | 1110085,90 | 1,455 | 688732,60 | 1110077,10 | 1,402 |
| 688347,20 | 1110066,90 | 1,503 | 688758,30 | 1110078,60 | 0,781 |
| 688357,50 | 1110045,90 | 0,940 | 688785,10 | 1110079,00 | 0,619 |
| 688366,80 | 1109981,90 | 0,548 | 688789,80 | 1110056,60 | 0,728 |
| 688362,30 | 1109965,10 | 0,670 | 688782,70 | 1110043,10 | 0,839 |
| 688367,60 | 1109970,90 | 0,646 | 688780,70 | 1110019,10 | 1,025 |
| 688368,60 | 1109968,60 | 0,671 | 688785,60 | 1109994,20 | 0,698 |
| 688364,90 | 1109974,60 | 0,709 | 688838,40 | 1109981,90 | 0,828 |
| 688367,60 | 1109975,80 | 0,743 | 688882,70 | 1110001,10 | 0,535 |
| 688370,10 | 1109972,80 | 0,853 | 688893,20 | 1109960,60 | 0,442 |
| 688367,60 | 1109974,60 | 0,601 | 688864,60 | 1109930,40 | 0,344 |
| 688367,60 | 1109973,50 | 0,843 | 688841,90 | 1109879,60 | 0,334 |
| 688365,90 | 1109976,50 | 0,861 | 688887,40 | 1109870,90 | 0,161 |
| 688367,60 | 1109974,60 | 0,771 | 688919,60 | 1109876,60 | 0,374 |
| 688366,10 | 1109975,50 | 0,742 | 688981,00 | 1109888,90 | 0,208 |
| 688370,10 | 1109979,20 | 0,705 | 689021,20 | 1109893,40 | 0,371 |
| 688370,10 | 1109976,50 | 0,741 | 689062,20 | 1109863,90 | 0,371 |
| 688371,50 | 1109977,60 | 0,875 | 689107,10 | 1109844,90 | 0,603 |
| 688366,10 | 1109974,60 | 0,913 | 689132,80 | 1109850,60 | 0,272 |
| 688370,10 | 1109972,80 | 0,935 | 689166,80 | 1109858,40 | 0,147 |
| 688371,50 | 1109973,50 | 0,895 | 689198,40 | 1109873,00 | 0,427 |
| 688367,60 | 1109976,50 | 0,817 | 689218,70 | 1109895,80 | 0,632 |
| 688367,60 | 1109978,20 | 0,822 | 689262,10 | 1109912,40 | 0,361 |
| 688366,10 | 1109976,50 | 0,985 | 689295,60 | 1109942,10 | 0,417 |
| 688367,60 | 1109977,60 | 0,800 | 689349,40 | 1109945,60 | 0,726 |
| 688366,10 | 1109968,90 | 0,850 | 689366,70 | 1109920,90 | 0,395 |
| 688370,10 | 1109980,90 | 0,929 | 689358,40 | 1109914,80 | 0,522 |
| 688371,50 | 1109994,10 | 0,914 | 689317,30 | 1109894,80 | 0,595 |
| 688370,30 | 1110008,90 | 1,159 | 689279,30 | 1109871,00 | 0,693 |
| 688368,10 | 1110025,80 | 1,406 | 689231,90 | 1109815,40 | 1,121 |
| 688353,10 | 1110058,10 | 1,473 | 689188,70 | 1109786,20 | 0,349 |
| 688339,00 | 1110069,20 | 1,722 | 689180,40 | 1109754,00 | 0,452 |
| 688358,20 | 1110093,10 | 0,894 | 689225,90 | 1109751,90 | 0,441 |
| 688374,50 | 1110109,20 | 0,895 | 689260,60 | 1109760,20 | 0,379 |
| 688404,40 | 1110123,00 | 0,696 | 689316,50 | 1109751,40 | 0,394 |
| 688416,10 | 1110135,40 | 0,474 | 689362,30 | 1109771,10 | 0,322 |
| 688427,70 | 1110141,60 | 0,519 | 689384,40 | 1109740,00 | 0,168 |
| 688462,10 | 1110155,10 | 0,405 | 689413,50 | 1109735,00 | 0,394 |
| 688490,10 | 1110166,50 | 0,511 | 689465,10 | 1109768,80 | 0,437 |
| 688518,60 | 1110220,60 | 0,400 | 689464,80 | 1109716,80 | 0,504 |
| 688509,10 | 1110272,10 | 0,431 | 689440,60 | 1109685,20 | 0,525 |
| 689404,10 | 1109641,80 | 0,741 | 689928,00 | 1108931,50 | 1,960 |
| 689401,10 | 1109630,60 | 0,702 | 689918,90 | 1108898,40 | 1,795 |
| 689398,10 | 1109619,60 | 0,621 | 689929,10 | 1108877,20 | 1,647 |
| 689376,20 | 1109603,00 | 0,557 | 689934,40 | 1108846,90 | 1,925 |
| 689401,40 | 1109599,20 | 0,589 | 689946,00 | 1108840,90 | 2,044 |
| 689438,70 | 1109599,00 | 0,650 | 690041,40 | 1108839,00 | 1,701 |
| 689466,30 | 1109601,50 | 0,458 | 690062,60 | 1108813,40 | 1,111 |
| 689521,30 | 1109612,90 | 0,584 | 690085,80 | 1108760,50 | 0,435 |
| 689552,20 | 1109631,50 | 0,716 | 690106,10 | 1108815,40 | 0,259 |
| 689587,60 | 1109651,50 | 0,561 | 690131,60 | 1108827,40 | 0,140 |
| 689587,80 | 1109599,90 | 0,764 | 690154,80 | 1108851,80 | 0,224 |
| 689601,60 | 1109583,40 | 0,879 | 690186,10 | 1108825,50 | 0,406 |
| 689610,90 | 1109541,00 | 0,920 | 690208,40 | 1108851,50 | 0,068 |
| 689633,60 | 1109583,90 | 0,609 | 690315,00 | 1108914,90 | 0,087 |
| 689659,80 | 1109605,40 | 1,056 | 690355,20 | 1108932,20 | 0,308 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 689670,70 | 1109573,90 | 0,431 | 690417,50 | 1108921,20 | 0,472 |
| 689662,80 | 1109523,10 | 0,559 | 690419,40 | 1108904,00 | 0,590 |
| 689722,80 | 1109532,40 | 0,149 | 690447,80 | 1108857,20 | 0,425 |
| 689761,70 | 1109557,10 | 0,176 | 690443,90 | 1108819,60 | 0,583 |
| 689808,10 | 1109571,80 | 0,481 | 690426,40 | 1108761,90 | 0,384 |
| 689829,10 | 1109543,50 | 0,374 | 690445,50 | 1108757,80 | 0,333 |
| 689813,10 | 1109516,20 | 0,872 | 690464,60 | 1108753,80 | 0,492 |
| 689813,50 | 1109473,20 | 0,975 | 690483,60 | 1108749,60 | 0,331 |
| 689797,90 | 1109438,80 | 0,886 | 690549,30 | 1108760,40 | 0,141 |
| 689811,50 | 1109412,90 | 0,920 | 690576,80 | 1108740,10 | 0,210 |
| 689816,60 | 1109381,50 | 0,995 | 690603,20 | 1108765,00 | 0,983 |
| 689839,20 | 1109363,40 | 0,890 | 690638,30 | 1108787,50 | 0,748 |
| 689871,60 | 1109340,50 | 0,773 | 690641,80 | 1108842,90 | 0,443 |
| 689915,90 | 1109344,80 | 0,553 | 690665,40 | 1108833,90 | 1,820 |
| 689959,10 | 1109349,40 | 1,147 | 690708,20 | 1108810,00 | 1,577 |
| 689995,10 | 1109350,50 | 1,368 | 690733,80 | 1108795,90 | 0,500 |
| 690030,60 | 1109364,10 | 0,891 | 690741,50 | 1108749,20 | 0,184 |
| 690055,80 | 1109350,40 | 0,205 | 690758,20 | 1108719,20 | 0,520 |
| 690094,70 | 1109348,10 | 0,426 | 690774,00 | 1108679,60 | 1,424 |
| 690103,40 | 1109328,80 | 0,946 | 690793,10 | 1108664,90 | 0,722 |
| 690081,80 | 1109284,20 | 0,777 | 690808,80 | 1108632,80 | 0,955 |
| 690110,10 | 1109256,10 | 0,011 | 690832,90 | 1108648,10 | 0,756 |
| 690046,00 | 1109235,80 | 0,148 | 690856,90 | 1108663,50 | 0,852 |
| 690039,10 | 1109218,60 | 0,239 | 690881,10 | 1108678,90 | 0,515 |
| 690032,30 | 1109201,60 | 2,059 | 690917,40 | 1108729,60 | 0,131 |
| 690025,20 | 1109183,80 | 1,947 | 690950,90 | 1108773,40 | 0,215 |
| 690018,10 | 1109166,00 | 1,689 | 690975,50 | 1108781,20 | 0,016 |
| 690011,10 | 1109148,50 | 1,964 | 690999,10 | 1108689,10 | 0,802 |
| 690003,90 | 1109130,50 | 1,910 | 691019,60 | 1108675,90 | 0,535 |
| 689996,70 | 1109112,60 | 1,154 | 691032,70 | 1108629,60 | 0,464 |
| 689989,70 | 1109095,10 | 1,316 | 691106,30 | 1108719,60 | 0,240 |
| 689982,60 | 1109077,50 | 1,274 | 691139,30 | 1108708,20 | 0,269 |
| 689975,60 | 1109060,00 | 2,027 | 691175,00 | 1108662,60 | 0,836 |
| 689968,60 | 1109042,50 | 1,661 | 691189,40 | 1108646,00 | 0,492 |
| 689961,50 | 1109024,80 | 2,017 | 691230,10 | 1108624,40 | 0,599 |
| 689954,30 | 1109006,80 | 1,606 | 691240,40 | 1108651,00 | 1,096 |
| 689947,20 | 1108989,10 | 1,754 | 691259,90 | 1108672,00 | 1,333 |
| 691233,00 | 1108728,40 | 1,744 | 687780,40 | 1109851,40 | 0,341 |
| 691269,00 | 1108746,40 | 0,866 | 687751,20 | 1109861,50 | 0,266 |
| 691290,40 | 1108728,20 | 0,801 | 687752,00 | 1109864,90 | 0,393 |
| 691320,60 | 1108683,90 | 1,155 | 687752,90 | 1109864,20 | 0,422 |
| 691344,10 | 1108699,50 | 1,167 | 687753,70 | 1109863,50 | 0,327 |
| 691378,70 | 1108710,90 | 1,127 | 687754,10 | 1109862,50 | 0,218 |
| 691420,60 | 1108694,40 | 1,526 | 691276,70 | 1106461,60 | 0,259 |
| 691531,10 | 1108706,50 | 0,820 | 691275,40 | 1106463,10 | 0,267 |
| 691566,40 | 1108733,00 | 1,162 | 691276,20 | 1106465,00 | 0,192 |
| 691594,60 | 1108738,20 | 0,853 | 691272,70 | 1106466,10 | 0,155 |
| 691622,80 | 1108743,50 | 0,752 | 691275,40 | 1106463,50 | 0,074 |
| 691650,60 | 1108748,80 | 0,738 | 691278,00 | 1106468,00 | 0,009 |
| 691684,20 | 1108764,00 | 0,607 | 691277,00 | 1106468,40 | 0,131 |
| 691702,20 | 1108752,10 | 0,424 | 691276,20 | 1106466,90 | 0,221 |
| 691719,60 | 1108737,40 | 0,541 | 691272,90 | 1106469,50 | 0,074 |
| 691743,60 | 1108718,80 | 0,504 | 691270,20 | 1106472,60 | 0,214 |
| 691754,80 | 1108730,80 | 0,462 | 691269,20 | 1106474,10 | 0,129 |
| 691760,40 | 1108747,80 | 1,089 | 691273,60 | 1106472,20 | 0,164 |
| 691822,50 | 1108743,40 | 1,887 | 691275,30 | 1106469,90 | 0,192 |
| 691836,10 | 1108730,90 | 1,425 | 691277,00 | 1106463,10 | 0,154 |
| 691849,60 | 1108718,50 | 1,470 | 691275,60 | 1106466,10 | 0,142 |
| 691863,10 | 1108706,20 | 1,355 | 691279,60 | 1106456,40 | 0,066 |
| 691904,40 | 1108671,90 | 0,412 | 691277,00 | 1106462,00 | 0,248 |
| 691915,90 | 1108655,40 | 0,443 | 691278,00 | 1106465,00 | 0,105 |
| 691954,80 | 1108627,00 | 0,318 | 691275,30 | 1106465,40 | 0,182 |
| 691962,10 | 1108647,60 | 0,333 | 691272,00 | 1106467,10 | 0,086 |
| 691934,90 | 1108706,90 | 0,641 | 691271,10 | 1106468,80 | 0,082 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 691946,70 | 1108700,10 | 0,820 | 691273,60 | 1106466,80 | 0,132 |
| 691970,60 | 1108686,40 | 0,673 | 691275,30 | 1106465,00 | 0,113 |
| 691982,30 | 1108679,60 | 1,081 | 691274,80 | 1106465,50 | 0,248 |
| 691994,30 | 1108672,60 | 0,536 | 691275,70 | 1106464,60 | 0,090 |
| 688496,80 | 1110272,10 | 0,583 | 691275,30 | 1106465,40 | 0,106 |
| 688495,60 | 1110268,00 | 0,511 | 691274,90 | 1106463,60 | 0,023 |
| 688491,30 | 1110274,10 | 0,361 | 691276,90 | 1106462,40 | 0,160 |
| 688502,60 | 1110190,00 | 0,085 | 691275,60 | 1106459,20 | 0,107 |
| 688383,10 | 1110128,20 | 1,059 | 691279,60 | 1106461,20 | 0,075 |
| 688345,40 | 1110086,50 | 0,832 | 691277,00 | 1106463,60 | 0,070 |
| 688301,40 | 1110056,00 | 0,924 | 691275,40 | 1106462,00 | 0,062 |
| 688252,20 | 1110047,40 | 0,546 | 691275,30 | 1106465,00 | 0,224 |
| 688213,20 | 1110088,40 | 0,256 | 691276,30 | 1106462,90 | 0,186 |
| 688188,10 | 1110076,90 | 0,052 | 691273,60 | 1106469,90 | 0,217 |
| 688106,70 | 1110028,50 | 0,305 | 691274,60 | 1106466,80 | 0,206 |
| 688088,00 | 1110011,10 | 0,333 | 691272,00 | 1106468,80 | 0,221 |
| 688058,90 | 1109977,10 | 0,333 | 691273,60 | 1106465,60 | 0,300 |
| 688000,80 | 1109923,90 | 0,909 | 691272,00 | 1106468,80 | 0,077 |
| 687971,80 | 1109897,20 | 1,065 | 691272,60 | 1106466,80 | 0,120 |
| 687942,40 | 1109870,40 | 1,152 | 691273,60 | 1106468,80 | 0,156 |
| 687907,70 | 1109826,90 | 0,975 | 691275,30 | 1106468,80 | 0,111 |
| 687888,10 | 1109829,50 | 0,546 | 691276,20 | 1106465,00 | 0,100 |
| 687869,00 | 1109832,10 | 0,882 | 691271,00 | 1106467,80 | 0,129 |
| 687849,60 | 1109834,80 | 0,314 | 691273,70 | 1106465,00 | 0,217 |
| 687791,90 | 1109847,80 | 0,351 | 691272,80 | 1106465,00 | 0,259 |
| 691276,20 | 1106465,00 | 0,215 | 689598,90 | 1106339,90 | 0,086 |
| 691273,20 | 1106465,50 | 0,092 | 689941,90 | 1106279,10 | 0,052 |
| 691274,10 | 1106464,60 | 0,159 | 690002,10 | 1106267,10 | 0,055 |
| 691272,70 | 1106463,10 | 0,175 | 690006,70 | 1106266,50 | 0,067 |
| 691274,40 | 1106461,20 | 0,032 | 690004,00 | 1106265,40 | 0,090 |
| 691275,40 | 1106462,60 | 0,240 | 689999,20 | 1106270,20 | 0,004 |
| 691275,30 | 1106465,00 | 0,019 | 690005,00 | 1106268,50 | 0,038 |
| 691272,60 | 1106466,80 | 0,110 | 690146,00 | 1106263,80 | 0,013 |
| 691275,30 | 1106465,00 | 0,164 | 690406,50 | 1106421,00 | 0,007 |
| 691275,40 | 1106460,10 | 0,073 | 690484,50 | 1106516,50 | 0,262 |
| 691275,30 | 1106465,00 | 0,152 | 690507,80 | 1106514,90 | 0,131 |
| 691274,30 | 1106466,10 | 0,030 | 690531,20 | 1106511,40 | 0,182 |
| 691277,00 | 1106461,20 | 0,104 | 690543,00 | 1106513,80 | 0,159 |
| 691275,30 | 1106465,00 | 0,192 | 690578,70 | 1106520,50 | 0,344 |
| 691275,40 | 1106462,00 | 0,104 | 690841,50 | 1106490,50 | 0,105 |
| 691273,60 | 1106466,80 | 0,221 | 690862,40 | 1106486,00 | 0,055 |
| 691270,30 | 1106470,50 | 0,273 | 690946,70 | 1106473,10 | 0,036 |
| 691269,30 | 1106468,50 | 0,044 | 691151,20 | 1106374,60 | 0,080 |
| 691272,10 | 1106467,80 | 0,113 | 691231,10 | 1106368,80 | 0,165 |
| 691271,90 | 1106470,50 | 0,208 | 691273,60 | 1106466,80 | 0,222 |
| 691270,90 | 1106471,50 | 0,074 | 691272,00 | 1106465,00 | 0,109 |
| 691274,60 | 1106469,90 | 0,159 | 691271,10 | 1106466,10 | 0,188 |
| 691273,60 | 1106466,80 | 0,123 | 691275,30 | 1106468,20 | 0,209 |
| 691272,00 | 1106468,80 | 0,223 | 691274,30 | 1106468,80 | 0,124 |
| 691273,80 | 1106464,00 | 0,203 | 691277,00 | 1106463,90 | 0,124 |
| 691275,60 | 1106465,80 | 0,288 | 691889,40 | 1106584,50 | 0,058 |
| 691272,60 | 1106468,20 | 0,070 | 691979,90 | 1106561,50 | 0,144 |
| 691277,20 | 1106469,10 | 0,111 | 691976,60 | 1106510,40 | 0,156 |
| 691279,10 | 1106475,80 | 0,030 | 691935,20 | 1106515,40 | 0,025 |
| 691314,20 | 1106428,00 | 0,047 | 691155,40 | 1106375,40 | 0,005 |
| 691351,90 | 1106415,60 | 0,071 | 690691,10 | 1106478,80 | 0,126 |
| 691439,80 | 1106438,20 | 0,123 | 690773,90 | 1106534,20 | 0,141 |
| 691469,40 | 1106451,20 | 0,261 |           |            |       |
| 691525,50 | 1106479,50 | 0,323 |           |            |       |
| 691568,40 | 1106526,00 | 0,057 |           |            |       |
| 691731,90 | 1106599,40 | 0,061 |           |            |       |
| 691757,90 | 1106608,10 | 0,200 |           |            |       |
| 691806,70 | 1106620,60 | 0,200 |           |            |       |
| 691846,00 | 1106603,00 | 0,142 |           |            |       |



| DATOS DE LEVANTAMIENTO AUTOTRANSPORTADO. |            |        | Concentración de uranio (U) ppm |            |        |
|------------------------------------------|------------|--------|---------------------------------|------------|--------|
| UTM(E)                                   | UTM(N)     | U(ppm) | UTM(E)                          | UTM(N)     | U(ppm) |
| 685373,10                                | 1104347,40 | 0,298  | 685945,50                       | 1106505,40 | 0,245  |
| 685404,50                                | 1104552,50 | 0,042  | 685941,10                       | 1106558,60 | 0,386  |
| 685696,10                                | 1104934,60 | 0,298  | 685949,80                       | 1106590,40 | 1,234  |
| 685722,00                                | 1104913,40 | 0,095  | 685932,90                       | 1106614,90 | 0,271  |
| 685723,40                                | 1104909,80 | 0,333  | 685876,90                       | 1106630,80 | 0,042  |
| 685726,10                                | 1104902,40 | 0,448  | 685849,10                       | 1106638,60 | 0,421  |
| 685775,70                                | 1105036,50 | 0,068  | 685794,20                       | 1106654,20 | 0,227  |
| 685788,80                                | 1105170,50 | 0,192  | 685755,60                       | 1106653,80 | 0,104  |
| 685784,90                                | 1105177,50 | 0,209  | 685711,00                       | 1106726,50 | 0,360  |
| 685777,20                                | 1105191,50 | 0,298  | 685692,40                       | 1106749,50 | 0,192  |
| 685773,30                                | 1105198,50 | 0,095  | 685661,80                       | 1106795,60 | 0,104  |
| 685769,10                                | 1105256,50 | 0,157  | 685655,70                       | 1106841,80 | 0,510  |
| 685807,10                                | 1105329,80 | 0,218  | 685652,60                       | 1106865,00 | 0,315  |
| 685835,60                                | 1105384,60 | 0,130  | 685649,60                       | 1106888,40 | 0,836  |
| 685845,10                                | 1105402,80 | 0,130  | 685646,60                       | 1106911,60 | 2,469  |
| 685854,70                                | 1105421,20 | 0,483  | 685643,40                       | 1106935,20 | 1,622  |
| 685861,20                                | 1105425,00 | 0,783  | 685638,70                       | 1106957,90 | 0,757  |
| 685876,00                                | 1105468,50 | 0,262  | 685629,80                       | 1106981,10 | 0,810  |
| 685916,30                                | 1105559,40 | 0,157  | 685633,40                       | 1107392,00 | 0,386  |
| 685927,80                                | 1105561,50 | 0,015  | 685708,30                       | 1107496,50 | 0,713  |
| 686059,90                                | 1105646,00 | 0,051  | 685677,90                       | 1107519,60 | 0,218  |
| 686083,60                                | 1105637,90 | 0,713  | 685662,80                       | 1107531,20 | 0,033  |
| 686107,40                                | 1105629,80 | 0,015  | 685647,70                       | 1107542,60 | 0,130  |
| 686154,90                                | 1105613,40 | 0,104  | 685547,40                       | 1107617,80 | 0,483  |
| 686178,90                                | 1105605,20 | 0,042  | 685509,00                       | 1107646,00 | 0,730  |
| 686247,60                                | 1105646,60 | 1,189  | 685489,80                       | 1107660,10 | 0,130  |
| 686225,30                                | 1105766,80 | 0,536  | 685413,30                       | 1107716,20 | 0,430  |
| 686187,90                                | 1105967,20 | 0,121  | 685393,80                       | 1107730,60 | 0,651  |
| 686176,80                                | 1106027,10 | 0,298  | 685374,60                       | 1107744,80 | 0,033  |
| 686173,10                                | 1106047,10 | 0,280  | 685356,70                       | 1107757,10 | 0,218  |
| 686169,40                                | 1106067,00 | 0,730  | 685335,40                       | 1107774,00 | 0,483  |
| 686172,60                                | 1106094,40 | 0,651  | 685314,10                       | 1107791,10 | 0,130  |
| 686157,10                                | 1106102,20 | 0,227  | 685292,90                       | 1107808,00 | 0,386  |
| 686111,20                                | 1106098,80 | 0,333  | 685256,10                       | 1107815,40 | 0,077  |
| 686129,20                                | 1106181,00 | 0,042  | 685257,90                       | 1107846,40 | 0,810  |
| 686120,70                                | 1106232,50 | 0,024  | 685279,90                       | 1107888,80 | 0,209  |
| 686118,20                                | 1106221,40 | 1,128  | 685275,80                       | 1107916,10 | 0,174  |
| 686115,60                                | 1106205,00 | 0,686  | 685267,50                       | 1107970,60 | 0,015  |
| 686113,50                                | 1106203,10 | 0,360  | 685246,40                       | 1108006,00 | 0,254  |
| 686110,90                                | 1106203,40 | 0,315  | 685294,90                       | 1108040,90 | 0,130  |
| 686109,70                                | 1106197,90 | 1,578  | 685448,90                       | 1108150,00 | 0,386  |
| 686108,40                                | 1106192,40 | 0,068  | 685450,40                       | 1108181,50 | 0,006  |
| 686106,20                                | 1106182,50 | 0,254  | 685532,10                       | 1108436,80 | 0,209  |
| 686101,00                                | 1106166,60 | 0,836  | 685532,30                       | 1108478,50 | 0,307  |
| 686098,80                                | 1106170,40 | 0,651  | 685551,20                       | 1108531,00 | 0,192  |
| 686096,40                                | 1106174,00 | 0,995  | 685571,80                       | 1108659,50 | 0,218  |
| 686101,90                                | 1106170,80 | 0,139  | 685575,60                       | 1108698,20 | 0,183  |
| 686071,90                                | 1106201,40 | 1,092  | 685549,70                       | 1108699,50 | 0,624  |
| 686046,50                                | 1106213,00 | 0,925  | 685523,60                       | 1108700,80 | 1,684  |
| 686042,20                                | 1106237,90 | 0,633  | 685496,90                       | 1108702,00 | 1,701  |
| 686036,50                                | 1106258,90 | 0,616  | 685470,40                       | 1108703,20 | 2,205  |
| 686039,10                                | 1106296,50 | 0,863  | 685443,90                       | 1108704,50 | 2,637  |
| 686029,50                                | 1106317,00 | 2,364  | 685417,30                       | 1108705,80 | 4,094  |
| 686019,90                                | 1106337,50 | 2,258  | 685389,90                       | 1108707,00 | 2,090  |
| 686010,10                                | 1106358,40 | 1,287  | 685370,20                       | 1108713,50 | 1,728  |
| 686000,50                                | 1106378,90 | 0,218  | 685332,10                       | 1108705,90 | 2,787  |
| 685990,90                                | 1106399,40 | 0,686  | 685296,70                       | 1108701,60 | 2,125  |
| 685981,20                                | 1106420,10 | 0,713  | 685251,20                       | 1108691,80 | 3,317  |
| 685961,80                                | 1106461,50 | 0,068  | 685168,00                       | 1108704,60 | 2,999  |
| 685147,80                                | 1108723,00 | 2,487  | 684399,20                       | 1109287,00 | 0,174  |
| 685126,70                                | 1108739,90 | 3,485  | 684399,00                       | 1109287,10 | 0,015  |
| 685108,10                                | 1108761,00 | 2,805  | 684398,80                       | 1109287,20 | 0,571  |



|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 685090,00 | 1108781,60 | 2,152 | 684398,40 | 1109287,50 | 0,227 |
| 685078,40 | 1108812,50 | 1,234 | 684397,90 | 1109287,90 | 0,545 |
| 685007,60 | 1108871,50 | 0,095 | 684397,80 | 1109288,00 | 0,006 |
| 684909,40 | 1109031,60 | 0,245 | 684396,30 | 1109289,10 | 0,333 |
| 684885,10 | 1109047,90 | 0,095 | 684394,50 | 1109290,40 | 0,448 |
| 684873,20 | 1109056,00 | 0,077 | 684394,10 | 1109290,60 | 0,360 |
| 684836,90 | 1109080,40 | 0,157 | 684393,90 | 1109290,80 | 0,165 |
| 684824,80 | 1109088,50 | 0,298 | 684393,80 | 1109290,90 | 0,377 |
| 684773,60 | 1109146,90 | 0,086 | 684392,70 | 1109291,60 | 0,457 |
| 684738,10 | 1109109,20 | 0,722 | 684392,30 | 1109292,00 | 0,404 |
| 684701,90 | 1109121,20 | 0,722 | 684391,80 | 1109292,40 | 0,130 |
| 684683,10 | 1109143,90 | 1,075 | 684391,60 | 1109292,50 | 0,139 |
| 684674,80 | 1109148,80 | 1,790 | 684391,10 | 1109292,90 | 0,439 |
| 684673,20 | 1109151,80 | 0,333 | 684390,90 | 1109293,00 | 0,104 |
| 684671,50 | 1109150,80 | 1,340 | 684390,70 | 1109293,10 | 0,042 |
| 684664,30 | 1109153,50 | 0,324 | 684390,40 | 1109293,40 | 0,227 |
| 684663,40 | 1109153,50 | 0,978 | 684389,20 | 1109294,10 | 0,474 |
| 684664,90 | 1109152,10 | 1,454 | 684388,90 | 1109294,40 | 0,298 |
| 684660,20 | 1109154,50 | 0,713 | 684387,80 | 1109295,20 | 0,183 |
| 684655,40 | 1109156,90 | 1,419 | 684387,30 | 1109295,60 | 0,713 |
| 684666,10 | 1109151,60 | 1,428 | 684386,90 | 1109295,90 | 0,121 |
| 684635,10 | 1109167,10 | 1,763 | 684386,20 | 1109296,40 | 0,042 |
| 684596,20 | 1109179,90 | 1,498 | 684385,70 | 1109296,80 | 0,104 |
| 684578,30 | 1109200,40 | 0,095 | 684385,50 | 1109296,90 | 0,430 |
| 684424,60 | 1109268,50 | 0,174 | 684385,10 | 1109297,10 | 0,121 |
| 684423,80 | 1109269,10 | 0,368 | 684384,90 | 1109297,20 | 0,236 |
| 684422,40 | 1109270,10 | 0,651 | 684384,60 | 1109297,60 | 0,042 |
| 684421,90 | 1109270,50 | 0,130 | 684384,20 | 1109297,90 | 0,218 |
| 684421,30 | 1109270,90 | 0,033 | 684383,90 | 1109298,10 | 0,095 |
| 684420,60 | 1109271,40 | 0,563 | 684382,40 | 1109299,10 | 0,095 |
| 684419,30 | 1109272,40 | 0,651 | 684382,20 | 1109299,20 | 0,218 |
| 684419,20 | 1109272,50 | 0,218 | 684381,00 | 1109300,10 | 0,360 |
| 684418,80 | 1109272,80 | 0,077 | 684380,10 | 1109300,90 | 0,607 |
| 684417,40 | 1109273,80 | 0,386 | 684379,00 | 1109301,60 | 0,245 |
| 684416,20 | 1109274,60 | 0,095 | 684378,10 | 1109302,20 | 0,130 |
| 684415,60 | 1109275,10 | 0,342 | 684377,90 | 1109302,40 | 0,474 |
| 684414,80 | 1109275,60 | 0,254 | 684377,60 | 1109302,60 | 0,933 |
| 684413,80 | 1109276,40 | 0,104 | 684377,10 | 1109303,40 | 0,042 |
| 684413,20 | 1109276,80 | 0,289 | 684377,40 | 1109303,60 | 0,192 |
| 684412,70 | 1109277,10 | 0,095 | 684377,80 | 1109304,00 | 0,209 |
| 684412,50 | 1109277,40 | 0,130 | 684377,90 | 1109304,20 | 0,130 |
| 684412,30 | 1109277,50 | 0,051 | 684378,20 | 1109304,50 | 0,448 |
| 684411,20 | 1109278,20 | 0,474 | 684376,80 | 1109307,40 | 0,483 |
| 684410,90 | 1109278,50 | 0,130 | 684375,60 | 1109309,00 | 0,474 |
| 684410,70 | 1109278,60 | 0,095 | 684374,30 | 1109310,60 | 0,130 |
| 684410,30 | 1109278,90 | 0,342 | 684373,10 | 1109312,20 | 0,245 |
| 684410,20 | 1109279,00 | 0,042 | 684368,00 | 1109318,90 | 0,006 |
| 684409,40 | 1109279,50 | 0,271 | 684362,20 | 1109316,50 | 0,086 |
| 684409,20 | 1109279,60 | 0,360 | 684363,50 | 1109314,10 | 0,077 |
| 684408,60 | 1109280,20 | 0,395 | 684383,20 | 1109314,20 | 0,121 |
| 684407,80 | 1109280,80 | 0,218 | 684384,30 | 1109314,20 | 0,271 |
| 684406,40 | 1109281,80 | 0,006 | 684383,70 | 1109312,50 | 0,015 |
| 684406,00 | 1109282,00 | 0,360 | 684380,00 | 1109313,20 | 0,307 |
| 684405,50 | 1109282,40 | 0,245 | 684378,20 | 1109313,60 | 0,165 |
| 684405,10 | 1109282,60 | 0,245 | 684375,30 | 1109317,00 | 0,563 |
| 684403,10 | 1109284,10 | 0,280 | 684367,70 | 1109335,60 | 0,448 |
| 684401,00 | 1109285,60 | 0,360 | 684366,20 | 1109323,80 | 0,068 |
| 684399,90 | 1109286,50 | 0,430 | 684366,00 | 1109321,80 | 0,492 |
| 684365,80 | 1109319,80 | 0,245 | 684406,60 | 1109336,90 | 0,095 |
| 684365,20 | 1109315,90 | 0,474 | 684408,10 | 1109335,10 | 0,271 |
| 684364,80 | 1109311,90 | 0,139 | 684409,50 | 1109333,40 | 0,077 |
| 684365,90 | 1109308,80 | 0,165 | 684413,80 | 1109328,10 | 0,280 |
| 684366,50 | 1109308,80 | 0,183 | 684415,20 | 1109326,20 | 0,209 |
| 684367,80 | 1109308,80 | 0,042 | 684423,20 | 1109313,80 | 0,112 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 684369,60 | 1109308,80 | 0,157 | 684424,10 | 1109311,90 | 0,307 |
| 684370,90 | 1109308,80 | 0,015 | 684427,10 | 1109309,80 | 0,686 |
| 684371,90 | 1109308,80 | 0,042 | 684427,40 | 1109311,50 | 0,174 |
| 684371,90 | 1109308,80 | 0,783 | 684415,90 | 1109337,40 | 0,130 |
| 684369,00 | 1109311,20 | 0,307 | 684390,70 | 1109375,10 | 0,051 |
| 684367,90 | 1109314,20 | 0,430 | 684419,90 | 1109302,20 | 0,360 |
| 684371,90 | 1109312,50 | 0,209 | 684417,60 | 1109306,10 | 0,042 |
| 684373,30 | 1109309,40 | 0,130 | 684416,50 | 1109308,10 | 0,315 |
| 684371,40 | 1109311,20 | 0,139 | 684409,50 | 1109319,60 | 0,298 |
| 684365,00 | 1109316,40 | 0,545 | 684407,20 | 1109323,50 | 0,157 |
| 684366,70 | 1109311,50 | 0,042 | 684402,60 | 1109331,10 | 0,298 |
| 684369,70 | 1109308,60 | 0,510 | 684395,60 | 1109342,60 | 0,157 |
| 684374,20 | 1109306,40 | 0,624 | 684393,20 | 1109347,00 | 0,157 |
| 684375,00 | 1109306,00 | 0,209 | 684394,60 | 1109345,60 | 0,536 |
| 684380,20 | 1109301,80 | 0,104 | 684396,10 | 1109344,20 | 0,033 |
| 684374,60 | 1109307,40 | 0,360 | 684406,00 | 1109334,50 | 0,068 |
| 684365,40 | 1109318,10 | 0,095 | 684412,20 | 1109334,80 | 0,104 |
| 684375,20 | 1109308,80 | 0,271 | 684424,90 | 1109316,00 | 0,042 |
| 684373,10 | 1109307,40 | 0,633 | 684426,20 | 1109312,10 | 0,307 |
| 684373,90 | 1109306,50 | 0,165 | 684427,60 | 1109308,20 | 0,457 |
| 684376,90 | 1109302,00 | 0,068 | 684434,20 | 1109288,90 | 0,245 |
| 684377,90 | 1109305,00 | 0,201 | 684447,60 | 1109250,00 | 0,483 |
| 684374,90 | 1109301,20 | 0,236 | 684448,90 | 1109246,10 | 0,315 |
| 684373,60 | 1109300,10 | 0,104 | 684450,20 | 1109242,20 | 0,342 |
| 684381,10 | 1109302,50 | 0,051 | 684451,60 | 1109238,40 | 0,474 |
| 684379,80 | 1109303,80 | 0,033 | 684455,60 | 1109226,80 | 0,104 |
| 684376,90 | 1109306,10 | 0,033 | 684451,60 | 1109228,50 | 0,015 |
| 684371,90 | 1109309,40 | 0,863 | 684438,70 | 1109245,00 | 0,686 |
| 684369,90 | 1109312,40 | 0,006 | 684417,20 | 1109272,50 | 0,351 |
| 684351,60 | 1109322,90 | 0,068 | 684400,10 | 1109294,50 | 0,112 |
| 684375,40 | 1109309,80 | 0,836 | 684373,40 | 1109334,90 | 0,227 |
| 684372,20 | 1109311,10 | 0,563 | 684456,20 | 1109316,10 | 0,218 |
| 684365,90 | 1109313,90 | 0,130 | 684495,50 | 1109277,20 | 0,342 |
| 684361,00 | 1109316,00 | 0,271 | 684524,00 | 1109203,80 | 0,227 |
| 684376,00 | 1109302,80 | 0,510 | 684529,40 | 1109224,00 | 0,112 |
| 684361,60 | 1109320,10 | 0,598 | 684538,80 | 1109248,60 | 0,351 |
| 684325,80 | 1109344,00 | 0,033 | 684537,10 | 1109265,80 | 0,139 |
| 684303,10 | 1109356,20 | 0,183 | 684514,20 | 1109310,60 | 0,307 |
| 684319,80 | 1109342,60 | 0,006 | 684519,80 | 1109305,50 | 0,104 |
| 684336,40 | 1109329,10 | 0,042 | 684519,70 | 1109314,00 | 0,448 |
| 684353,20 | 1109315,50 | 0,095 | 684524,10 | 1109296,40 | 0,271 |
| 684395,60 | 1109280,10 | 0,448 | 684526,60 | 1109297,80 | 0,024 |
| 684391,40 | 1109274,20 | 0,042 | 684528,40 | 1109294,80 | 0,351 |
| 684390,90 | 1109273,60 | 0,209 | 684527,40 | 1109295,90 | 0,015 |
| 684390,40 | 1109272,90 | 0,024 | 684528,60 | 1109289,10 | 0,722 |
| 684389,70 | 1109274,20 | 0,165 | 684536,70 | 1109289,00 | 0,254 |
| 684390,50 | 1109287,80 | 0,033 | 684530,10 | 1109294,80 | 0,368 |
| 684387,90 | 1109289,90 | 0,245 | 684540,00 | 1109278,80 | 0,439 |
| 684387,80 | 1109320,60 | 0,245 | 684554,90 | 1109255,60 | 2,002 |
| 684387,70 | 1109324,50 | 0,112 | 684564,40 | 1109247,10 | 2,169 |
| 684388,60 | 1109331,80 | 0,510 | 684554,60 | 1109253,20 | 1,048 |
| 684384,10 | 1109362,80 | 0,157 | 684576,00 | 1109242,90 | 1,110 |
| 684381,60 | 1109371,20 | 0,633 | 684597,70 | 1109232,40 | 1,066 |
| 684385,10 | 1109363,20 | 0,165 | 684621,40 | 1109222,50 | 0,121 |
| 684393,70 | 1109352,80 | 0,042 | 684672,70 | 1109188,40 | 0,051 |
| 684675,30 | 1109187,50 | 0,342 | 685305,60 | 1107849,60 | 0,271 |
| 684676,20 | 1109191,60 | 0,810 | 685316,80 | 1107828,80 | 0,421 |
| 684673,60 | 1109188,50 | 0,006 | 685635,90 | 1107459,60 | 0,271 |
| 684676,30 | 1109187,50 | 0,104 | 685640,30 | 1107434,60 | 0,280 |
| 684671,90 | 1109190,50 | 0,192 | 685657,10 | 1107243,60 | 0,183 |
| 684677,50 | 1109187,00 | 0,271 | 685624,70 | 1107215,10 | 0,033 |
| 684676,10 | 1109188,60 | 0,951 | 685619,10 | 1107045,80 | 0,695 |
| 684662,10 | 1109211,90 | 0,854 | 685619,60 | 1106997,50 | 1,551 |
| 684642,20 | 1109235,10 | 1,896 | 685660,00 | 1106982,40 | 1,278 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 684616,90 | 1109267,80 | 0,271 | 685657,30 | 1106917,80 | 0,421 |
| 684596,40 | 1109284,40 | 1,260 | 685622,20 | 1106848,80 | 0,695 |
| 684638,90 | 1109234,10 | 0,333 | 685647,40 | 1106821,80 | 0,757 |
| 684654,80 | 1109207,10 | 0,042 | 685675,50 | 1106790,90 | 0,510 |
| 684676,80 | 1109177,10 | 0,227 | 685789,30 | 1106655,50 | 0,518 |
| 684977,10 | 1108981,60 | 0,289 | 685795,60 | 1106608,50 | 0,889 |
| 684986,10 | 1108965,10 | 0,015 | 685823,40 | 1106616,80 | 0,580 |
| 685010,60 | 1108914,60 | 0,518 | 685851,80 | 1106625,20 | 0,969 |
| 685011,40 | 1108882,40 | 1,242 | 685880,60 | 1106633,90 | 0,183 |
| 685035,40 | 1108870,40 | 1,490 | 685917,80 | 1106654,60 | 1,207 |
| 685053,30 | 1108865,90 | 3,008 | 685937,90 | 1106652,60 | 0,165 |
| 685071,80 | 1108861,40 | 2,796 | 685938,60 | 1106552,80 | 0,006 |
| 685089,90 | 1108856,90 | 1,913 | 685948,80 | 1106525,20 | 0,245 |
| 685114,80 | 1108866,80 | 4,173 | 685955,40 | 1106497,10 | 1,746 |
| 685123,50 | 1108838,40 | 2,787 | 685971,70 | 1106470,20 | 1,516 |
| 685118,80 | 1108797,50 | 3,626 | 685988,00 | 1106443,20 | 0,748 |
| 685133,60 | 1108778,60 | 4,624 | 686004,20 | 1106416,40 | 1,101 |
| 685162,90 | 1108780,80 | 3,008 | 686020,50 | 1106389,40 | 0,042 |
| 685173,00 | 1108753,80 | 3,476 | 686047,20 | 1106370,80 | 0,042 |
| 685181,30 | 1108720,40 | 2,408 | 686042,00 | 1106322,90 | 1,039 |
| 685203,90 | 1108723,90 | 1,534 | 686038,40 | 1106296,10 | 0,209 |
| 685215,80 | 1108739,60 | 1,701 | 686063,60 | 1106245,00 | 0,995 |
| 685234,20 | 1108754,80 | 2,328 | 686072,50 | 1106233,80 | 0,898 |
| 685265,10 | 1108766,00 | 2,522 | 686081,50 | 1106222,50 | 0,157 |
| 685288,90 | 1108773,10 | 1,083 | 686090,50 | 1106211,20 | 0,165 |
| 685323,90 | 1108771,40 | 1,242 | 686126,30 | 1106166,50 | 1,366 |
| 685355,60 | 1108793,90 | 1,913 | 686135,20 | 1106155,40 | 0,095 |
| 685371,60 | 1108790,90 | 5,656 | 686144,20 | 1106144,20 | 0,368 |
| 685387,80 | 1108787,90 | 3,829 | 686152,40 | 1106138,20 | 0,024 |
| 685404,10 | 1108784,90 | 2,584 | 686184,60 | 1105988,90 | 0,033 |
| 685420,20 | 1108781,90 | 3,202 | 686187,60 | 1105967,40 | 0,006 |
| 685436,10 | 1108779,00 | 3,043 | 686199,60 | 1105880,60 | 0,404 |
| 685452,20 | 1108776,00 | 0,271 | 686205,60 | 1105836,80 | 0,218 |
| 685468,00 | 1108773,00 | 0,210 | 686214,60 | 1105771,20 | 0,333 |
| 685499,70 | 1108767,20 | 0,015 | 686217,60 | 1105749,50 | 0,748 |
| 685537,60 | 1108742,00 | 0,165 | 686223,70 | 1105705,90 | 0,536 |
| 685576,40 | 1108708,10 | 0,448 | 686177,00 | 1105652,10 | 0,015 |
| 685579,80 | 1108673,40 | 0,006 | 686157,80 | 1105646,20 | 0,006 |
| 685547,60 | 1108620,60 | 0,368 | 686119,30 | 1105634,40 | 0,183 |
| 685523,40 | 1108578,10 | 0,015 | 686100,10 | 1105628,50 | 0,104 |
| 685492,80 | 1108499,40 | 0,307 | 686080,80 | 1105622,50 | 0,298 |
| 685451,20 | 1108455,40 | 0,245 | 686061,60 | 1105616,60 | 0,651 |
| 685399,60 | 1108189,50 | 0,139 | 686042,40 | 1105610,80 | 0,660 |
| 685345,10 | 1108173,00 | 0,006 | 686023,10 | 1105604,80 | 0,748 |
| 685302,90 | 1108137,90 | 0,510 | 685906,10 | 1105517,80 | 0,298 |
| 685275,30 | 1108117,50 | 0,580 | 685884,70 | 1105503,10 | 0,863 |
| 685246,00 | 1108096,00 | 0,686 | 685873,40 | 1105483,90 | 0,713 |
| 685235,20 | 1108077,40 | 0,730 | 685846,70 | 1105471,40 | 0,006 |
| 685182,60 | 1108023,20 | 1,684 | 685836,00 | 1105447,80 | 0,925 |
| 685207,30 | 1108008,10 | 0,245 | 685804,00 | 1105377,00 | 0,068 |
| 685212,90 | 1107910,00 | 0,360 | 685782,80 | 1105330,00 | 0,033 |
| 685219,20 | 1107867,10 | 0,271 | 685774,40 | 1105063,60 | 0,121 |
| 685732,50 | 1104909,20 | 0,298 | 685459,40 | 1108744,60 | 0,942 |
| 685738,90 | 1104873,20 | 0,183 | 685432,00 | 1108749,50 | 3,829 |
| 685750,40 | 1104856,90 | 0,006 | 685404,00 | 1108754,50 | 3,529 |
| 685667,00 | 1104829,40 | 0,218 | 685375,70 | 1108759,60 | 2,187 |
| 685580,60 | 1104781,60 | 0,121 | 685356,00 | 1108768,00 | 1,666 |
| 685558,80 | 1104767,50 | 0,271 | 685300,70 | 1108767,20 | 0,836 |
| 685598,50 | 1104826,80 | 0,015 | 685256,30 | 1108745,80 | 1,401 |
| 685647,50 | 1104892,40 | 0,157 | 685205,60 | 1108706,90 | 3,555 |
| 685672,30 | 1104881,50 | 0,006 | 685181,90 | 1108740,00 | 3,185 |
| 685719,00 | 1104868,40 | 0,289 | 685157,40 | 1108767,60 | 3,767 |
| 685793,90 | 1105133,60 | 0,033 | 685140,60 | 1108824,10 | 1,958 |
| 685774,10 | 1105323,00 | 0,130 | 685109,00 | 1108852,60 | 0,589 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 685768,10 | 1105360,60 | 0,183 | 685080,40 | 1108886,10 | 0,413 |
| 685769,60 | 1105445,50 | 0,907 | 685034,20 | 1108888,60 | 1,242 |
| 685786,10 | 1105441,50 | 0,254 | 684979,20 | 1108968,00 | 0,033 |
| 685798,90 | 1105439,50 | 0,280 | 684695,00 | 1109187,40 | 0,068 |
| 685803,60 | 1105437,90 | 0,563 | 684683,60 | 1109180,80 | 0,006 |
| 685821,10 | 1105441,20 | 2,284 | 684676,20 | 1109187,80 | 0,554 |
| 685842,70 | 1105456,10 | 0,121 | 684647,20 | 1109218,90 | 0,739 |
| 685866,20 | 1105480,20 | 0,165 | 685597,30 | 1104775,60 | 0,360 |
| 685881,10 | 1105496,80 | 0,686 | 685592,90 | 1104788,60 | 0,386 |
| 685920,80 | 1105557,60 | 0,095 | 685592,00 | 1104793,40 | 0,651 |
| 686002,60 | 1105594,40 | 0,280 | 685595,60 | 1104799,00 | 0,068 |
| 686106,60 | 1105630,40 | 0,660 | 685558,50 | 1104780,00 | 0,271 |
| 686128,80 | 1105638,20 | 0,315 | 685544,90 | 1104770,90 | 0,483 |
| 686151,10 | 1105646,10 | 0,333 | 685392,00 | 1104660,80 | 0,068 |
| 686193,20 | 1105659,50 | 0,095 | 685407,90 | 1104574,60 | 0,157 |
| 686251,40 | 1105683,50 | 0,368 | 685307,40 | 1104328,80 | 0,298 |
| 686265,50 | 1105710,10 | 0,448 | 685270,10 | 1104280,20 | 0,006 |
| 686204,80 | 1106064,20 | 0,051 | 685101,20 | 1104100,20 | 0,209 |
| 686162,90 | 1106123,90 | 1,066 | 685588,20 | 1104799,40 | 0,068 |
| 686112,80 | 1106151,60 | 0,192 | 685590,20 | 1104788,60 | 0,033 |
| 686094,90 | 1106176,60 | 0,571 | 685611,10 | 1104779,40 | 0,095 |
| 686059,40 | 1106226,80 | 1,013 | 685593,90 | 1104808,60 | 0,571 |
| 686041,40 | 1106251,90 | 1,136 | 685590,90 | 1104798,60 | 0,095 |
| 686023,60 | 1106277,00 | 1,490 | 691921,20 | 1106571,90 | 0,130 |
| 686000,10 | 1106298,20 | 0,492 | 687680,60 | 1109575,80 | 0,192 |
| 685999,90 | 1106337,10 | 1,595 | 687700,20 | 1109603,90 | 0,474 |
| 686006,00 | 1106367,10 | 1,878 | 687709,90 | 1109617,90 | 0,245 |
| 685986,40 | 1106402,50 | 0,669 | 687719,70 | 1109631,90 | 0,006 |
| 685966,60 | 1106438,20 | 0,933 | 687732,70 | 1109656,20 | 0,104 |
| 685927,00 | 1106509,80 | 0,218 | 687726,90 | 1109661,40 | 0,607 |
| 685905,30 | 1106538,00 | 0,157 | 687721,00 | 1109666,50 | 0,298 |
| 685892,40 | 1106600,20 | 0,227 | 687715,10 | 1109671,60 | 0,042 |
| 685853,20 | 1106663,10 | 0,916 | 687719,20 | 1109712,10 | 0,280 |
| 685826,80 | 1106662,50 | 0,024 | 687721,70 | 1109718,00 | 0,104 |
| 685713,10 | 1106729,80 | 0,192 | 687722,40 | 1109719,60 | 0,307 |
| 685683,80 | 1106777,10 | 0,810 | 687739,00 | 1109748,00 | 0,095 |
| 685615,40 | 1106851,40 | 0,986 | 687730,90 | 1109770,80 | 0,139 |
| 685629,80 | 1106900,80 | 1,013 | 687747,10 | 1109784,40 | 0,104 |
| 685669,10 | 1106947,50 | 1,375 | 687750,90 | 1109796,10 | 0,421 |
| 685634,60 | 1107030,40 | 0,121 | 687842,90 | 1109819,00 | 0,148 |
| 685647,50 | 1107075,60 | 0,774 | 687852,90 | 1109831,50 | 0,624 |
| 685692,10 | 1107159,50 | 0,121 | 687897,00 | 1109842,80 | 0,421 |
| 685632,30 | 1107417,40 | 0,245 | 687926,40 | 1109850,20 | 1,075 |
| 685626,90 | 1107490,20 | 0,722 | 687972,60 | 1109870,10 | 0,068 |
| 685683,90 | 1107494,60 | 0,139 | 687988,80 | 1109879,90 | 0,015 |
| 685206,20 | 1108036,40 | 0,210 | 688004,90 | 1109887,20 | 0,307 |
| 685315,30 | 1108132,10 | 0,218 | 688020,90 | 1109901,20 | 0,130 |
| 685566,10 | 1108645,50 | 0,227 | 688040,00 | 1109910,10 | 0,059 |
| 685514,60 | 1108734,80 | 0,245 | 688080,70 | 1109972,10 | 0,616 |
| 688144,80 | 1110021,80 | 0,448 | 688507,50 | 1110242,10 | 0,713 |
| 688179,00 | 1110065,20 | 0,015 | 688507,30 | 1110253,40 | 0,889 |
| 688206,70 | 1110082,40 | 1,145 | 688501,60 | 1110266,60 | 0,651 |
| 688222,10 | 1110076,50 | 0,430 | 688503,10 | 1110262,40 | 0,421 |
| 688243,10 | 1110055,50 | 0,757 | 688500,00 | 1110271,80 | 0,642 |
| 688304,80 | 1110052,60 | 0,889 | 688499,20 | 1110274,20 | 0,368 |
| 688324,60 | 1110059,50 | 1,101 | 688503,70 | 1110266,40 | 0,651 |
| 688349,10 | 1110079,60 | 0,430 | 688510,80 | 1110253,20 | 0,624 |
| 688386,50 | 1110114,90 | 0,889 | 688510,80 | 1110255,50 | 0,960 |
| 688408,20 | 1110125,40 | 0,192 | 688511,80 | 1110253,40 | 0,051 |
| 688511,20 | 1110231,90 | 0,810 | 688509,10 | 1110258,20 | 0,483 |
| 688509,70 | 1110254,80 | 0,483 | 688510,10 | 1110260,60 | 0,819 |
| 688484,80 | 1110274,80 | 0,554 | 688507,10 | 1110269,60 | 0,836 |
| 688492,30 | 1110274,60 | 0,748 | 688488,70 | 1110268,40 | 0,174 |
| 688484,40 | 1110274,60 | 1,039 | 688489,20 | 1110274,90 | 0,307 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 688483,10 | 1110273,50 | 0,448 | 688505,80 | 1110254,50 | 0,165 |
| 688483,10 | 1110274,10 | 0,430 | 688506,60 | 1110220,60 | 0,651 |
| 688483,10 | 1110274,80 | 0,421 | 688499,70 | 1110197,40 | 0,015 |
| 688489,90 | 1110273,20 | 0,218 | 688426,60 | 1110141,20 | 0,104 |
| 688498,90 | 1110271,50 | 0,421 | 688341,20 | 1110085,90 | 0,148 |
| 688496,70 | 1110268,40 | 0,280 | 688366,80 | 1109981,90 | 0,466 |
| 688493,50 | 1110269,10 | 0,563 | 688367,60 | 1109970,90 | 0,024 |
| 688494,40 | 1110267,90 | 0,280 | 688364,90 | 1109974,60 | 0,510 |
| 688496,10 | 1110265,40 | 0,307 | 688367,60 | 1109975,80 | 1,013 |
| 688499,20 | 1110260,80 | 0,307 | 688370,10 | 1109972,80 | 0,006 |
| 688498,90 | 1110261,10 | 0,165 | 688370,10 | 1109979,20 | 0,104 |
| 688497,90 | 1110262,20 | 0,298 | 688370,10 | 1109976,50 | 0,112 |
| 688497,40 | 1110262,50 | 1,022 | 688366,10 | 1109974,60 | 1,136 |
| 688497,40 | 1110263,10 | 0,307 | 688367,60 | 1109976,50 | 0,157 |
| 688496,90 | 1110265,10 | 0,492 | 688367,60 | 1109978,20 | 0,289 |
| 688495,80 | 1110266,40 | 0,360 | 688366,10 | 1109976,50 | 0,192 |
| 688494,50 | 1110270,20 | 0,165 | 688367,60 | 1109977,60 | 0,315 |
| 688493,30 | 1110269,10 | 0,104 | 688366,10 | 1109968,90 | 0,139 |
| 688490,60 | 1110271,80 | 0,324 | 688370,10 | 1109980,90 | 1,039 |
| 688489,60 | 1110273,90 | 0,386 | 688371,50 | 1109994,10 | 0,457 |
| 688492,30 | 1110274,90 | 0,218 | 688370,30 | 1110008,90 | 0,209 |
| 688493,20 | 1110273,20 | 0,077 | 688368,10 | 1110025,80 | 0,969 |
| 688490,70 | 1110270,20 | 0,978 | 688353,10 | 1110058,10 | 0,307 |
| 688489,00 | 1110269,10 | 0,518 | 688339,00 | 1110069,20 | 1,331 |
| 688485,80 | 1110269,90 | 0,801 | 688358,20 | 1110093,10 | 0,863 |
| 688488,20 | 1110265,00 | 0,333 | 688374,50 | 1110109,20 | 0,925 |
| 688493,10 | 1110255,10 | 0,059 | 688427,70 | 1110141,60 | 0,368 |
| 688495,60 | 1110250,10 | 0,368 | 688462,10 | 1110155,10 | 0,686 |
| 688498,00 | 1110245,10 | 0,722 | 688490,10 | 1110166,50 | 0,307 |
| 688500,40 | 1110240,20 | 1,154 | 688509,10 | 1110270,40 | 0,201 |
| 688505,20 | 1110230,40 | 0,201 | 688530,80 | 1110270,50 | 0,086 |
| 688512,60 | 1110215,50 | 0,783 | 688590,90 | 1110207,00 | 0,783 |
| 688515,00 | 1110210,60 | 0,510 | 688615,90 | 1110190,00 | 1,066 |
| 688519,90 | 1110200,80 | 0,404 | 688666,00 | 1110156,10 | 0,033 |
| 688524,40 | 1110190,40 | 0,554 | 688724,40 | 1110104,40 | 0,704 |
| 688523,20 | 1110194,60 | 0,510 | 688732,60 | 1110077,10 | 0,280 |
| 688522,10 | 1110199,00 | 0,148 | 688758,30 | 1110078,60 | 0,368 |
| 688521,20 | 1110203,50 | 0,695 | 688785,10 | 1110079,00 | 1,013 |
| 688519,60 | 1110206,50 | 1,039 | 688782,70 | 1110043,10 | 0,148 |
| 688517,90 | 1110211,80 | 0,033 | 688780,70 | 1110019,10 | 0,448 |
| 688515,20 | 1110224,20 | 0,174 | 688785,60 | 1109994,20 | 0,104 |
| 688512,60 | 1110223,90 | 0,633 | 688882,70 | 1110001,10 | 1,595 |
| 688513,60 | 1110227,60 | 0,209 | 688893,20 | 1109960,60 | 0,889 |
| 688510,90 | 1110231,40 | 1,304 | 688864,60 | 1109930,40 | 0,748 |
| 688511,90 | 1110235,00 | 1,251 | 688841,90 | 1109879,60 | 0,245 |
| 688510,20 | 1110238,60 | 0,157 | 688887,40 | 1109870,90 | 0,836 |
| 689021,20 | 1109893,40 | 0,571 | 689918,90 | 1108898,40 | 0,342 |
| 689062,20 | 1109863,90 | 0,280 | 689929,10 | 1108877,20 | 0,192 |
| 689107,10 | 1109844,90 | 0,598 | 689934,40 | 1108846,90 | 0,095 |
| 689132,80 | 1109850,60 | 0,298 | 689946,00 | 1108840,90 | 0,722 |
| 689198,40 | 1109873,00 | 0,209 | 690062,60 | 1108813,40 | 0,880 |
| 689262,10 | 1109912,40 | 0,130 | 690186,10 | 1108825,50 | 0,006 |
| 689295,60 | 1109942,10 | 0,051 | 690208,40 | 1108851,50 | 0,298 |
| 689358,40 | 1109914,80 | 0,651 | 690443,90 | 1108819,60 | 0,059 |
| 689317,30 | 1109894,80 | 0,986 | 690426,40 | 1108761,90 | 1,057 |
| 689279,30 | 1109871,00 | 2,240 | 690445,50 | 1108757,80 | 0,466 |
| 689231,90 | 1109815,40 | 0,095 | 690464,60 | 1108753,80 | 0,086 |
| 689188,70 | 1109786,20 | 0,942 | 690483,60 | 1108749,60 | 0,095 |
| 689180,40 | 1109754,00 | 1,101 | 690549,30 | 1108760,40 | 0,245 |
| 689225,90 | 1109751,90 | 0,006 | 690576,80 | 1108740,10 | 0,245 |
| 689384,40 | 1109740,00 | 0,192 | 690603,20 | 1108765,00 | 0,810 |
| 689464,80 | 1109716,80 | 0,783 | 690638,30 | 1108787,50 | 1,154 |
| 689440,60 | 1109685,20 | 0,342 | 690641,80 | 1108842,90 | 0,271 |
| 689404,10 | 1109641,80 | 0,174 | 690665,40 | 1108833,90 | 0,245 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 689401,10 | 1109630,60 | 0,227 | 690708,20 | 1108810,00 | 0,130 |
| 689398,10 | 1109619,60 | 0,165 | 690733,80 | 1108795,90 | 0,377 |
| 689376,20 | 1109603,00 | 0,307 | 690741,50 | 1108749,20 | 0,483 |
| 689401,40 | 1109599,20 | 0,324 | 690774,00 | 1108679,60 | 0,774 |
| 689438,70 | 1109599,00 | 0,492 | 690793,10 | 1108664,90 | 0,474 |
| 689466,30 | 1109601,50 | 1,595 | 690808,80 | 1108632,80 | 0,669 |
| 689521,30 | 1109612,90 | 0,130 | 690832,90 | 1108648,10 | 0,925 |
| 689552,20 | 1109631,50 | 0,501 | 690856,90 | 1108663,50 | 0,518 |
| 689587,80 | 1109599,90 | 0,527 | 690881,10 | 1108678,90 | 0,254 |
| 689601,60 | 1109583,40 | 0,342 | 690917,40 | 1108729,60 | 0,157 |
| 689610,90 | 1109541,00 | 0,095 | 690975,50 | 1108781,20 | 0,386 |
| 689659,80 | 1109605,40 | 0,404 | 690999,10 | 1108689,10 | 1,728 |
| 689670,70 | 1109573,90 | 0,148 | 691032,70 | 1108629,60 | 0,474 |
| 689761,70 | 1109557,10 | 0,024 | 691189,40 | 1108646,00 | 0,607 |
| 689808,10 | 1109571,80 | 0,430 | 691240,40 | 1108651,00 | 0,474 |
| 689829,10 | 1109543,50 | 0,324 | 691259,90 | 1108672,00 | 0,633 |
| 689813,50 | 1109473,20 | 0,112 | 691233,00 | 1108728,40 | 1,075 |
| 689797,90 | 1109438,80 | 0,333 | 691344,10 | 1108699,50 | 0,333 |
| 689811,50 | 1109412,90 | 0,554 | 691378,70 | 1108710,90 | 0,360 |
| 689816,60 | 1109381,50 | 0,748 | 691420,60 | 1108694,40 | 0,571 |
| 689839,20 | 1109363,40 | 2,470 | 691684,20 | 1108764,00 | 0,068 |
| 689871,60 | 1109340,50 | 0,651 | 691743,60 | 1108718,80 | 1,242 |
| 689915,90 | 1109344,80 | 0,933 | 691754,80 | 1108730,80 | 0,148 |
| 689959,10 | 1109349,40 | 0,439 | 691760,40 | 1108747,80 | 1,013 |
| 689995,10 | 1109350,50 | 0,978 | 691836,10 | 1108730,90 | 0,280 |
| 690030,60 | 1109364,10 | 0,518 | 691849,60 | 1108718,50 | 0,192 |
| 690055,80 | 1109350,40 | 0,563 | 691863,10 | 1108706,20 | 0,439 |
| 690094,70 | 1109348,10 | 0,651 | 691934,90 | 1108706,90 | 1,216 |
| 690103,40 | 1109328,80 | 0,024 | 691946,70 | 1108700,10 | 0,324 |
| 690081,80 | 1109284,20 | 0,607 | 691970,60 | 1108686,40 | 0,660 |
| 690039,10 | 1109218,60 | 0,439 | 691982,30 | 1108679,60 | 0,015 |
| 690032,30 | 1109201,60 | 0,598 | 691994,30 | 1108672,60 | 0,165 |
| 690025,20 | 1109183,80 | 0,545 | 688496,80 | 1110272,10 | 0,810 |
| 690018,10 | 1109166,00 | 0,660 | 688495,60 | 1110268,00 | 0,368 |
| 690011,10 | 1109148,50 | 2,584 | 688491,30 | 1110274,10 | 0,315 |
| 690003,90 | 1109130,50 | 0,218 | 688498,10 | 1110216,50 | 0,783 |
| 689996,70 | 1109112,60 | 0,483 | 688502,60 | 1110190,00 | 0,448 |
| 689989,70 | 1109095,10 | 0,254 | 688383,10 | 1110128,20 | 0,209 |
| 689975,60 | 1109060,00 | 1,507 | 688345,40 | 1110086,50 | 0,386 |
| 689968,60 | 1109042,50 | 1,454 | 688252,20 | 1110047,40 | 0,192 |
| 689961,50 | 1109024,80 | 1,128 | 688188,10 | 1110076,90 | 0,360 |
| 689954,30 | 1109006,80 | 0,095 | 688106,70 | 1110028,50 | 0,395 |
| 689928,00 | 1108931,50 | 0,209 | 688088,00 | 1110011,10 | 0,183 |
| 688058,90 | 1109977,10 | 0,121 |           |            |       |
| 687971,80 | 1109897,20 | 0,077 |           |            |       |
| 687942,40 | 1109870,40 | 0,395 |           |            |       |
| 687907,70 | 1109826,90 | 0,748 |           |            |       |
| 687888,10 | 1109829,50 | 0,254 |           |            |       |
| 687869,00 | 1109832,10 | 0,209 |           |            |       |
| 687849,60 | 1109834,80 | 0,413 |           |            |       |
| 691272,90 | 1106469,50 | 0,457 |           |            |       |
| 691270,20 | 1106472,60 | 0,006 |           |            |       |
| 691269,20 | 1106474,10 | 0,298 |           |            |       |
| 691976,60 | 1106510,40 | 0,183 |           |            |       |
| 690773,90 | 1106534,20 | 0,183 |           |            |       |
| 689862,20 | 1106304,40 | 0,095 |           |            |       |
| 690016,50 | 1106264,80 | 0,130 |           |            |       |



| DATOS DE LEVANTAMIENTO AUTOTRANSPORTADO. Concentración de torio (Th) ppm |            |         |           |            |         |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|---------|-----------|------------|---------|
| UTM(E)                                                                   | UTM(N)     | Th(ppm) | UTM(E)    | UTM(N)     | Th(ppm) |
| 685310,60                                                                | 1104298,50 | 0,000   | 685393,80 | 1107730,60 | 0,935   |
| 685405,40                                                                | 1104461,60 | 0,036   | 685256,10 | 1107815,40 | 0,268   |
| 685724,80                                                                | 1104906,10 | 0,145   | 685257,90 | 1107846,40 | 0,065   |
| 685790,40                                                                | 1105060,60 | 0,058   | 685275,80 | 1107916,10 | 0,689   |
| 685788,80                                                                | 1105170,50 | 0,116   | 685271,60 | 1107943,50 | 0,580   |
| 685781,10                                                                | 1105184,50 | 0,566   | 685267,50 | 1107970,60 | 0,131   |
| 685749,90                                                                | 1105219,90 | 0,297   | 685246,40 | 1108006,00 | 0,254   |
| 685778,50                                                                | 1105274,80 | 0,442   | 685271,50 | 1108010,40 | 1,015   |
| 685788,10                                                                | 1105293,10 | 0,022   | 685449,60 | 1108165,80 | 0,305   |
| 685816,50                                                                | 1105347,90 | 0,587   | 685467,30 | 1108260,90 | 0,464   |
| 685826,10                                                                | 1105366,20 | 0,145   | 685479,40 | 1108281,10 | 0,015   |
| 685861,20                                                                | 1105425,00 | 0,210   | 685491,80 | 1108301,50 | 0,290   |
| 685876,00                                                                | 1105468,50 | 0,682   | 685539,10 | 1108499,00 | 0,616   |
| 685927,80                                                                | 1105561,50 | 0,131   | 685551,20 | 1108531,00 | 0,116   |
| 685941,90                                                                | 1105592,80 | 0,312   | 685557,30 | 1108556,50 | 0,145   |
| 686059,90                                                                | 1105646,00 | 0,413   | 685523,60 | 1108700,80 | 0,993   |
| 686107,40                                                                | 1105629,80 | 0,131   | 685496,90 | 1108702,00 | 1,849   |
| 686131,40                                                                | 1105621,50 | 0,319   | 685470,40 | 1108703,20 | 0,522   |
| 686154,90                                                                | 1105613,40 | 0,123   | 685443,90 | 1108704,50 | 1,486   |
| 686173,10                                                                | 1106047,10 | 0,109   | 685417,30 | 1108705,80 | 2,080   |
| 686169,40                                                                | 1106067,00 | 0,500   | 685389,90 | 1108707,00 | 0,674   |
| 686157,10                                                                | 1106102,20 | 0,399   | 685370,20 | 1108713,50 | 0,275   |
| 686138,10                                                                | 1106222,10 | 0,283   | 685332,10 | 1108705,90 | 1,617   |
| 686120,70                                                                | 1106232,50 | 0,558   | 685296,70 | 1108701,60 | 0,957   |
| 686118,20                                                                | 1106221,40 | 1,182   | 685251,20 | 1108691,80 | 1,573   |
| 686110,90                                                                | 1106203,40 | 0,392   | 685168,00 | 1108704,60 | 0,457   |
| 686109,70                                                                | 1106197,90 | 0,145   | 685147,80 | 1108723,00 | 1,356   |
| 686106,20                                                                | 1106182,50 | 0,254   | 685126,70 | 1108739,90 | 2,559   |
| 686104,70                                                                | 1106173,90 | 0,566   | 685108,10 | 1108761,00 | 1,044   |
| 686096,40                                                                | 1106174,00 | 0,479   | 685090,00 | 1108781,60 | 2,240   |
| 686101,90                                                                | 1106170,80 | 0,406   | 685078,40 | 1108812,50 | 0,602   |
| 686086,20                                                                | 1106186,40 | 0,435   | 684974,90 | 1108940,40 | 0,066   |
| 686071,90                                                                | 1106201,40 | 0,899   | 684897,20 | 1109039,80 | 0,457   |
| 686042,20                                                                | 1106237,90 | 0,080   | 684873,20 | 1109056,00 | 0,268   |
| 686036,50                                                                | 1106258,90 | 0,653   | 684861,20 | 1109064,10 | 0,435   |
| 686019,90                                                                | 1106337,50 | 0,232   | 684812,80 | 1109096,60 | 0,442   |
| 686010,10                                                                | 1106358,40 | 0,312   | 684776,70 | 1109120,90 | 0,152   |
| 685971,50                                                                | 1106440,80 | 0,297   | 684773,60 | 1109146,90 | 0,696   |
| 685943,30                                                                | 1106532,00 | 0,283   | 684732,00 | 1109111,40 | 0,283   |
| 685949,80                                                                | 1106590,40 | 0,602   | 684738,10 | 1109109,20 | 0,073   |
| 685794,20                                                                | 1106654,20 | 0,399   | 684715,60 | 1109106,00 | 0,769   |
| 685755,60                                                                | 1106653,80 | 0,123   | 684701,90 | 1109121,20 | 0,073   |
| 685711,00                                                                | 1106726,50 | 1,102   | 684683,10 | 1109143,90 | 1,472   |
| 685692,40                                                                | 1106749,50 | 0,116   | 684674,80 | 1109148,80 | 0,413   |
| 685661,80                                                                | 1106795,60 | 0,123   | 684673,20 | 1109151,80 | 1,247   |
| 685658,70                                                                | 1106818,80 | 0,421   | 684671,50 | 1109150,80 | 1,450   |
| 685652,60                                                                | 1106865,00 | 0,392   | 684664,30 | 1109153,50 | 2,248   |
| 685646,60                                                                | 1106911,60 | 0,500   | 684663,40 | 1109153,50 | 1,051   |
| 685643,40                                                                | 1106935,20 | 0,855   | 684660,20 | 1109154,50 | 1,073   |
| 685638,70                                                                | 1106957,90 | 0,355   | 684655,40 | 1109156,90 | 1,015   |
| 685629,80                                                                | 1106981,10 | 0,065   | 684666,10 | 1109151,60 | 1,443   |
| 685692,30                                                                | 1107115,00 | 0,029   | 684635,10 | 1109167,10 | 0,558   |
| 685683,60                                                                | 1107135,80 | 0,138   | 684596,20 | 1109179,90 | 0,580   |
| 685602,40                                                                | 1107348,10 | 0,051   | 684578,30 | 1109200,40 | 1,124   |
| 685604,80                                                                | 1107575,60 | 0,015   | 684424,80 | 1109268,40 | 0,326   |
| 685547,40                                                                | 1107617,80 | 1,378   | 684424,60 | 1109268,50 | 0,689   |
| 685528,20                                                                | 1107631,90 | 0,348   | 684423,80 | 1109269,10 | 0,102   |
| 685509,00                                                                | 1107646,00 | 0,500   | 684423,50 | 1109269,40 | 0,580   |
| 685451,30                                                                | 1107688,40 | 0,138   | 684423,30 | 1109269,50 | 0,145   |
| 685413,30                                                                | 1107716,20 | 0,239   | 684422,90 | 1109269,80 | 0,007   |
| 684422,80                                                                | 1109269,90 | 0,305   | 684396,10 | 1109289,20 | 1,175   |
| 684421,70                                                                | 1109270,60 | 0,138   | 684395,40 | 1109289,80 | 0,457   |
| 684421,30                                                                | 1109270,90 | 0,986   | 684395,10 | 1109290,00 | 0,029   |
| 684421,10                                                                | 1109271,00 | 0,471   | 684394,70 | 1109290,20 | 0,595   |
| 684420,90                                                                | 1109271,10 | 0,740   | 684394,30 | 1109290,50 | 0,000   |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 684420,20 | 1109271,80 | 0,725 | 684393,90 | 1109290,80 | 0,261 |
| 684419,90 | 1109272,00 | 0,297 | 684393,80 | 1109290,90 | 0,529 |
| 684418,80 | 1109272,80 | 0,268 | 684393,40 | 1109291,10 | 0,566 |
| 684418,60 | 1109272,90 | 0,145 | 684392,90 | 1109291,50 | 0,283 |
| 684418,40 | 1109273,00 | 0,421 | 684392,70 | 1109291,60 | 0,094 |
| 684417,90 | 1109273,40 | 0,276 | 684392,30 | 1109292,00 | 0,384 |
| 684416,60 | 1109274,20 | 0,334 | 684392,20 | 1109292,10 | 0,276 |
| 684416,40 | 1109274,50 | 0,305 | 684392,00 | 1109292,20 | 0,145 |
| 684415,60 | 1109275,10 | 0,247 | 684391,60 | 1109292,50 | 0,406 |
| 684415,20 | 1109275,40 | 0,174 | 684391,20 | 1109292,80 | 0,297 |
| 684414,80 | 1109275,60 | 0,254 | 684391,10 | 1109292,90 | 0,667 |
| 684413,90 | 1109276,20 | 0,051 | 684390,90 | 1109293,00 | 0,123 |
| 684413,80 | 1109276,40 | 0,123 | 684390,60 | 1109293,20 | 0,479 |
| 684413,60 | 1109276,50 | 0,595 | 684390,40 | 1109293,40 | 0,399 |
| 684413,20 | 1109276,80 | 0,537 | 684390,20 | 1109293,50 | 0,580 |
| 684412,30 | 1109277,50 | 0,413 | 684389,80 | 1109293,80 | 0,595 |
| 684412,10 | 1109277,60 | 0,747 | 684389,40 | 1109294,00 | 0,848 |
| 684411,80 | 1109277,90 | 0,290 | 684387,70 | 1109295,40 | 0,885 |
| 684411,60 | 1109278,00 | 0,022 | 684385,90 | 1109296,60 | 0,167 |
| 684411,40 | 1109278,10 | 0,174 | 684385,70 | 1109296,80 | 0,123 |
| 684411,10 | 1109278,40 | 0,160 | 684385,50 | 1109296,90 | 0,239 |
| 684410,30 | 1109278,90 | 0,247 | 684384,90 | 1109297,20 | 0,827 |
| 684409,80 | 1109279,20 | 0,312 | 684384,80 | 1109297,40 | 0,000 |
| 684409,10 | 1109279,80 | 0,145 | 684384,40 | 1109297,80 | 0,595 |
| 684408,90 | 1109279,90 | 1,298 | 684383,00 | 1109298,80 | 0,152 |
| 684408,20 | 1109280,50 | 0,290 | 684382,60 | 1109299,00 | 0,421 |
| 684408,00 | 1109280,60 | 0,319 | 684382,10 | 1109299,40 | 0,160 |
| 684407,10 | 1109281,20 | 0,174 | 684381,90 | 1109299,50 | 0,740 |
| 684406,60 | 1109281,60 | 0,283 | 684381,80 | 1109299,60 | 0,305 |
| 684406,20 | 1109281,90 | 0,167 | 684380,40 | 1109300,60 | 0,297 |
| 684405,80 | 1109282,10 | 0,297 | 684380,30 | 1109300,80 | 0,007 |
| 684405,70 | 1109282,20 | 0,297 | 684380,10 | 1109300,90 | 0,225 |
| 684404,80 | 1109282,90 | 0,305 | 684379,90 | 1109301,00 | 0,022 |
| 684404,20 | 1109283,40 | 0,616 | 684379,80 | 1109301,10 | 0,160 |
| 684403,90 | 1109283,60 | 0,022 | 684379,60 | 1109301,20 | 0,160 |
| 684403,70 | 1109283,80 | 0,442 | 684379,20 | 1109301,50 | 0,486 |
| 684403,30 | 1109284,00 | 0,152 | 684378,50 | 1109302,00 | 0,305 |
| 684403,10 | 1109284,10 | 0,109 | 684378,30 | 1109302,10 | 0,877 |
| 684402,80 | 1109284,40 | 0,580 | 684377,80 | 1109302,50 | 0,022 |
| 684402,40 | 1109284,60 | 0,015 | 684377,60 | 1109302,60 | 0,341 |
| 684402,10 | 1109284,90 | 0,283 | 684377,40 | 1109302,80 | 0,152 |
| 684401,20 | 1109285,50 | 0,160 | 684377,40 | 1109303,60 | 0,116 |
| 684400,80 | 1109285,80 | 0,283 | 684378,00 | 1109304,40 | 0,000 |
| 684400,60 | 1109285,90 | 0,602 | 684379,40 | 1109304,00 | 0,718 |
| 684399,90 | 1109286,50 | 0,239 | 684367,00 | 1109323,60 | 0,341 |
| 684399,80 | 1109286,60 | 0,312 | 684362,20 | 1109316,50 | 0,696 |
| 684399,60 | 1109286,80 | 0,181 | 684363,10 | 1109315,60 | 0,181 |
| 684399,20 | 1109287,00 | 0,689 | 684364,20 | 1109314,20 | 0,457 |
| 684399,00 | 1109287,10 | 0,131 | 684363,50 | 1109314,10 | 0,268 |
| 684398,40 | 1109287,50 | 0,399 | 684375,40 | 1109314,20 | 0,138 |
| 684398,20 | 1109287,60 | 0,348 | 684377,60 | 1109314,20 | 0,464 |
| 684397,90 | 1109287,90 | 0,087 | 684378,80 | 1109314,20 | 0,609 |
| 684397,60 | 1109288,10 | 0,152 | 684379,90 | 1109314,20 | 0,145 |
| 684397,40 | 1109288,20 | 0,580 | 684380,90 | 1109314,20 | 0,022 |
| 684397,20 | 1109288,40 | 0,290 | 684387,00 | 1109315,40 | 0,145 |
| 684396,80 | 1109288,60 | 0,740 | 684383,70 | 1109312,50 | 0,131 |
| 684396,50 | 1109289,00 | 0,283 | 684381,80 | 1109312,90 | 0,022 |
| 684378,20 | 1109313,60 | 0,261 | 684349,70 | 1109328,10 | 0,312 |
| 684375,20 | 1109314,20 | 0,435 | 684337,70 | 1109336,10 | 0,138 |
| 684375,10 | 1109310,40 | 0,007 | 684313,90 | 1109352,00 | 0,167 |
| 684375,90 | 1109336,80 | 0,196 | 684278,10 | 1109376,80 | 0,015 |
| 684376,20 | 1109343,20 | 0,580 | 684286,40 | 1109369,90 | 0,167 |
| 684376,40 | 1109349,90 | 0,022 | 684311,50 | 1109349,50 | 0,145 |
| 684367,00 | 1109329,80 | 0,022 | 684328,10 | 1109335,90 | 0,464 |
| 684366,80 | 1109327,80 | 0,421 | 684344,80 | 1109322,20 | 0,435 |
| 684366,50 | 1109325,80 | 0,769 | 684369,90 | 1109301,90 | 0,718 |
| 684366,00 | 1109321,80 | 0,377 | 684399,00 | 1109278,20 | 0,029 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 684364,80 | 1109311,90 | 0,406 | 684392,80 | 1109276,20 | 0,189 |
| 684364,00 | 1109308,80 | 0,138 | 684390,40 | 1109272,90 | 0,558 |
| 684364,60 | 1109308,80 | 0,007 | 684389,70 | 1109274,20 | 0,261 |
| 684365,20 | 1109308,80 | 0,036 | 684389,60 | 1109279,80 | 0,421 |
| 684365,90 | 1109308,80 | 0,261 | 684388,60 | 1109287,60 | 0,181 |
| 684367,10 | 1109308,80 | 0,000 | 684391,20 | 1109290,40 | 0,160 |
| 684370,20 | 1109308,80 | 0,442 | 684392,20 | 1109292,50 | 0,870 |
| 684370,90 | 1109308,80 | 0,131 | 684387,00 | 1109280,50 | 0,616 |
| 684371,90 | 1109307,80 | 0,297 | 684388,60 | 1109292,10 | 0,138 |
| 684368,60 | 1109310,50 | 0,022 | 684392,20 | 1109291,00 | 0,152 |
| 684369,90 | 1109310,50 | 0,145 | 684387,70 | 1109324,50 | 0,551 |
| 684371,90 | 1109308,80 | 0,210 | 684386,90 | 1109347,20 | 0,740 |
| 684369,90 | 1109309,40 | 0,718 | 684383,10 | 1109366,10 | 0,181 |
| 684367,70 | 1109314,20 | 0,174 | 684381,60 | 1109371,20 | 0,080 |
| 684367,90 | 1109314,20 | 0,239 | 684379,50 | 1109378,00 | 0,602 |
| 684371,90 | 1109313,80 | 0,348 | 684379,00 | 1109379,80 | 0,442 |
| 684371,40 | 1109311,20 | 0,406 | 684375,90 | 1109388,20 | 0,058 |
| 684365,00 | 1109316,40 | 0,087 | 684385,10 | 1109363,20 | 0,261 |
| 684368,90 | 1109309,00 | 0,450 | 684386,50 | 1109361,50 | 0,145 |
| 684370,40 | 1109308,20 | 0,334 | 684405,20 | 1109338,60 | 0,747 |
| 684372,80 | 1109307,10 | 0,145 | 684409,50 | 1109333,40 | 0,268 |
| 684375,80 | 1109305,60 | 0,580 | 684410,90 | 1109331,60 | 0,283 |
| 684376,90 | 1109305,00 | 0,022 | 684413,80 | 1109328,10 | 0,109 |
| 684380,20 | 1109301,80 | 0,123 | 684418,10 | 1109322,80 | 0,022 |
| 684363,60 | 1109318,40 | 0,174 | 684419,90 | 1109321,10 | 0,138 |
| 684351,10 | 1109328,40 | 0,457 | 684422,40 | 1109315,50 | 0,189 |
| 684367,90 | 1109314,50 | 0,442 | 684423,20 | 1109313,80 | 0,551 |
| 684369,90 | 1109308,80 | 0,877 | 684426,40 | 1109307,60 | 0,189 |
| 684376,20 | 1109309,90 | 0,899 | 684427,40 | 1109311,50 | 0,689 |
| 684373,10 | 1109307,40 | 0,080 | 684428,20 | 1109313,40 | 0,145 |
| 684373,90 | 1109306,50 | 0,261 | 684431,90 | 1109312,80 | 0,189 |
| 684377,90 | 1109305,00 | 0,544 | 684427,90 | 1109319,00 | 0,196 |
| 684376,20 | 1109306,10 | 0,138 | 684399,80 | 1109361,90 | 0,276 |
| 684373,20 | 1109303,50 | 0,007 | 684391,90 | 1109374,00 | 0,616 |
| 684375,90 | 1109300,60 | 0,015 | 684387,80 | 1109380,10 | 0,007 |
| 684377,90 | 1109298,50 | 1,008 | 684390,70 | 1109375,10 | 0,413 |
| 684375,80 | 1109301,20 | 0,007 | 684397,20 | 1109364,60 | 0,711 |
| 684374,90 | 1109301,20 | 0,827 | 684418,80 | 1109304,20 | 0,022 |
| 684373,60 | 1109300,10 | 0,123 | 684416,50 | 1109308,10 | 0,392 |
| 684375,00 | 1109303,00 | 0,754 | 684415,30 | 1109310,00 | 0,145 |
| 684381,10 | 1109302,50 | 0,413 | 684414,10 | 1109311,90 | 0,145 |
| 684378,30 | 1109305,00 | 0,486 | 684411,90 | 1109315,80 | 0,029 |
| 684375,50 | 1109307,40 | 0,283 | 684410,70 | 1109317,60 | 0,015 |
| 684374,10 | 1109308,60 | 0,312 | 684408,40 | 1109321,50 | 0,145 |
| 684365,70 | 1109312,20 | 1,175 | 684404,90 | 1109327,20 | 0,203 |
| 684372,60 | 1109309,00 | 0,783 | 684394,40 | 1109344,60 | 0,573 |
| 684350,00 | 1109323,80 | 0,305 | 684398,90 | 1109341,50 | 0,305 |
| 684361,40 | 1109325,90 | 1,486 | 684403,10 | 1109337,20 | 0,776 |
| 684357,30 | 1109318,10 | 0,914 | 684404,60 | 1109335,90 | 0,435 |
| 684372,70 | 1109290,90 | 0,566 | 684413,10 | 1109327,60 | 0,319 |
| 684374,30 | 1109296,20 | 0,138 | 684414,90 | 1109325,00 | 0,326 |
| 684385,50 | 1109304,10 | 0,450 | 684413,60 | 1109324,80 | 0,051 |
| 684411,80 | 1109319,90 | 0,145 | 684596,40 | 1109284,40 | 0,457 |
| 684406,80 | 1109321,20 | 0,609 | 684676,80 | 1109177,10 | 0,399 |
| 684412,20 | 1109334,80 | 0,123 | 684979,30 | 1109005,60 | 0,181 |
| 684427,60 | 1109308,20 | 0,094 | 684977,10 | 1108981,60 | 0,537 |
| 684432,90 | 1109292,80 | 0,297 | 684986,10 | 1108965,10 | 0,131 |
| 684436,90 | 1109281,00 | 0,145 | 685004,70 | 1108947,50 | 0,000 |
| 684446,20 | 1109253,90 | 0,160 | 685010,60 | 1108914,60 | 0,232 |
| 684448,90 | 1109246,10 | 0,392 | 685035,40 | 1108870,40 | 1,580 |
| 684450,20 | 1109242,20 | 0,247 | 685053,30 | 1108865,90 | 3,741 |
| 684455,60 | 1109226,80 | 0,123 | 685071,80 | 1108861,40 | 2,044 |
| 684460,20 | 1109217,40 | 0,036 | 685089,90 | 1108856,90 | 2,117 |
| 684455,90 | 1109223,00 | 0,587 | 685114,80 | 1108866,80 | 3,074 |
| 684451,60 | 1109228,50 | 0,131 | 685123,50 | 1108838,40 | 3,045 |
| 684447,30 | 1109233,90 | 0,290 | 685118,80 | 1108797,50 | 2,262 |
| 684417,20 | 1109272,50 | 0,674 | 685133,60 | 1108778,60 | 2,037 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 684400,10 | 1109294,50 | 0,551 | 685162,90 | 1108780,80 | 2,313 |
| 684359,60 | 1109338,10 | 0,145 | 685173,00 | 1108753,80 | 2,131 |
| 684373,40 | 1109334,90 | 0,399 | 685181,30 | 1108720,40 | 1,791 |
| 684387,20 | 1109331,80 | 0,138 | 685203,90 | 1108723,90 | 2,291 |
| 684495,50 | 1109277,20 | 0,247 | 685215,80 | 1108739,60 | 1,849 |
| 684507,80 | 1109253,40 | 0,718 | 685234,20 | 1108754,80 | 0,797 |
| 684524,00 | 1109203,80 | 0,399 | 685265,10 | 1108766,00 | 0,210 |
| 684529,40 | 1109224,00 | 0,551 | 685288,90 | 1108773,10 | 0,471 |
| 684538,80 | 1109248,60 | 0,674 | 685323,90 | 1108771,40 | 1,030 |
| 684537,10 | 1109265,80 | 0,406 | 685355,60 | 1108793,90 | 0,689 |
| 684514,20 | 1109310,60 | 1,392 | 685371,60 | 1108790,90 | 2,095 |
| 684519,80 | 1109305,50 | 0,123 | 685387,80 | 1108787,90 | 2,102 |
| 684515,80 | 1109311,20 | 0,566 | 685404,10 | 1108784,90 | 1,776 |
| 684519,90 | 1109313,10 | 1,298 | 685420,20 | 1108781,90 | 1,725 |
| 684518,90 | 1109315,20 | 1,298 | 685436,10 | 1108779,00 | 2,595 |
| 684524,30 | 1109303,60 | 0,283 | 685452,20 | 1108776,00 | 1,109 |
| 684519,70 | 1109314,00 | 1,095 | 685468,00 | 1108773,00 | 0,972 |
| 684516,80 | 1109317,80 | 0,276 | 685483,80 | 1108770,10 | 0,892 |
| 684510,60 | 1109320,40 | 0,993 | 685499,70 | 1108767,20 | 0,131 |
| 684524,90 | 1109299,50 | 0,305 | 685515,30 | 1108764,20 | 0,421 |
| 684526,60 | 1109297,80 | 0,558 | 685537,60 | 1108742,00 | 0,261 |
| 684528,40 | 1109294,80 | 0,674 | 685552,00 | 1108721,60 | 0,160 |
| 684527,40 | 1109295,90 | 0,131 | 685547,60 | 1108620,60 | 0,102 |
| 684530,10 | 1109293,90 | 0,587 | 685523,40 | 1108578,10 | 0,131 |
| 684528,60 | 1109289,10 | 0,073 | 685521,90 | 1108556,20 | 0,356 |
| 684536,90 | 1109290,50 | 1,617 | 685436,30 | 1108425,00 | 0,036 |
| 684536,70 | 1109289,00 | 0,254 | 685509,40 | 1108348,50 | 0,609 |
| 684530,10 | 1109294,80 | 0,102 | 685424,90 | 1108257,20 | 0,036 |
| 684540,00 | 1109278,80 | 0,667 | 685413,90 | 1108202,10 | 0,566 |
| 684554,90 | 1109255,60 | 0,681 | 685399,60 | 1108189,50 | 0,406 |
| 684564,40 | 1109247,10 | 1,667 | 685326,10 | 1108158,20 | 1,008 |
| 684554,60 | 1109253,20 | 1,617 | 685275,30 | 1108117,50 | 0,370 |
| 684576,00 | 1109242,90 | 1,755 | 685235,20 | 1108077,40 | 0,500 |
| 684597,70 | 1109232,40 | 1,044 | 685182,60 | 1108023,20 | 0,993 |
| 684621,40 | 1109222,50 | 0,979 | 685252,20 | 1107982,00 | 0,160 |
| 684641,00 | 1109215,80 | 1,726 | 685212,90 | 1107910,00 | 1,102 |
| 684657,80 | 1109186,60 | 0,848 | 685256,80 | 1107855,40 | 0,740 |
| 684672,70 | 1109188,40 | 0,413 | 685640,30 | 1107434,60 | 0,109 |
| 684675,30 | 1109187,50 | 0,247 | 685585,90 | 1107345,60 | 0,319 |
| 684676,20 | 1109191,60 | 0,065 | 685619,10 | 1107045,80 | 0,218 |
| 684672,60 | 1109188,40 | 0,442 | 685619,60 | 1106997,50 | 0,290 |
| 684675,30 | 1109188,60 | 0,573 | 685622,20 | 1106848,80 | 0,218 |
| 684676,30 | 1109187,50 | 0,123 | 685647,40 | 1106821,80 | 0,355 |
| 684671,90 | 1109190,50 | 0,116 | 685774,90 | 1106682,20 | 0,312 |
| 684670,90 | 1109189,50 | 0,435 | 685789,30 | 1106655,50 | 0,232 |
| 684662,10 | 1109211,90 | 0,776 | 685823,40 | 1106616,80 | 0,370 |
| 684607,60 | 1109245,00 | 0,435 | 685851,80 | 1106625,20 | 0,624 |
| 685917,80 | 1106654,60 | 0,747 | 685853,20 | 1106663,10 | 0,914 |
| 685937,90 | 1106652,60 | 0,261 | 685826,80 | 1106662,50 | 0,558 |
| 685971,70 | 1106470,20 | 0,007 | 685800,90 | 1106661,90 | 0,138 |
| 686063,60 | 1106245,00 | 0,479 | 685713,10 | 1106729,80 | 0,116 |
| 686072,50 | 1106233,80 | 0,058 | 685683,80 | 1106777,10 | 0,065 |
| 686090,50 | 1106211,20 | 0,261 | 685615,40 | 1106851,40 | 0,051 |
| 686144,20 | 1106144,20 | 0,102 | 685669,10 | 1106947,50 | 0,305 |
| 686152,40 | 1106138,20 | 0,558 | 685631,20 | 1106980,60 | 0,276 |
| 686190,60 | 1105945,50 | 0,007 | 685626,90 | 1107490,20 | 0,073 |
| 686196,60 | 1105902,10 | 0,167 | 685683,90 | 1107494,60 | 0,406 |
| 686199,60 | 1105880,60 | 0,384 | 685319,60 | 1107839,40 | 0,703 |
| 686202,60 | 1105858,50 | 0,138 | 685233,00 | 1107901,90 | 0,885 |
| 686177,00 | 1105652,10 | 0,131 | 685228,10 | 1107945,40 | 0,703 |
| 686100,10 | 1105628,50 | 0,123 | 685206,20 | 1108036,40 | 0,972 |
| 686003,80 | 1105598,90 | 0,181 | 685238,20 | 1108067,90 | 0,290 |
| 685825,30 | 1105424,10 | 0,297 | 685265,50 | 1108098,90 | 0,283 |
| 685772,10 | 1105306,40 | 0,196 | 685452,70 | 1108202,60 | 0,348 |
| 685749,30 | 1105278,50 | 0,290 | 685511,30 | 1108334,40 | 0,036 |
| 685703,20 | 1104945,60 | 0,015 | 685479,80 | 1108402,00 | 0,022 |
| 685736,80 | 1104885,20 | 0,145 | 685518,30 | 1108490,00 | 0,181 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 685736,50 | 1104852,20 | 0,015 | 685546,10 | 1108573,60 | 0,145 |
| 685694,80 | 1104838,50 | 0,145 | 685566,10 | 1108645,50 | 0,399 |
| 685680,90 | 1104834,00 | 0,732 | 685514,60 | 1108734,80 | 1,254 |
| 685277,00 | 1104285,90 | 0,348 | 685459,40 | 1108744,60 | 2,197 |
| 685243,80 | 1104220,10 | 0,181 | 685432,00 | 1108749,50 | 2,102 |
| 685235,10 | 1104198,20 | 0,196 | 685404,00 | 1108754,50 | 1,841 |
| 685228,60 | 1104175,90 | 0,036 | 685375,70 | 1108759,60 | 1,095 |
| 685082,00 | 1104060,50 | 0,029 | 685356,00 | 1108768,00 | 1,566 |
| 685572,80 | 1104778,80 | 0,160 | 685300,70 | 1108767,20 | 1,349 |
| 685581,40 | 1104779,40 | 0,442 | 685256,30 | 1108745,80 | 1,588 |
| 685598,50 | 1104826,80 | 0,131 | 685205,60 | 1108706,90 | 1,696 |
| 685634,40 | 1104870,60 | 0,174 | 685181,90 | 1108740,00 | 0,870 |
| 685694,30 | 1104866,40 | 0,464 | 685157,40 | 1108767,60 | 3,393 |
| 685719,00 | 1104868,40 | 0,537 | 685140,60 | 1108824,10 | 2,827 |
| 685775,50 | 1105064,60 | 0,450 | 685109,00 | 1108852,60 | 2,226 |
| 685785,90 | 1105247,60 | 0,602 | 685080,40 | 1108886,10 | 0,812 |
| 685762,20 | 1105398,40 | 0,022 | 685014,90 | 1108936,40 | 0,312 |
| 685769,60 | 1105445,50 | 0,486 | 684676,20 | 1109187,80 | 0,515 |
| 685786,10 | 1105441,50 | 0,254 | 684647,20 | 1109218,90 | 0,928 |
| 685798,90 | 1105439,50 | 0,109 | 684606,00 | 1109249,00 | 0,703 |
| 685803,60 | 1105437,90 | 0,943 | 685595,60 | 1104785,20 | 0,029 |
| 685810,80 | 1105435,80 | 1,298 | 685592,90 | 1104797,10 | 0,022 |
| 685821,10 | 1105441,20 | 0,087 | 685591,20 | 1104799,00 | 0,421 |
| 685842,70 | 1105456,10 | 0,979 | 685599,10 | 1104807,40 | 0,022 |
| 685866,20 | 1105480,20 | 0,261 | 685531,20 | 1104761,80 | 0,471 |
| 685901,80 | 1105514,20 | 0,066 | 685477,10 | 1104725,20 | 0,174 |
| 686002,60 | 1105594,40 | 0,109 | 685325,10 | 1104345,80 | 0,044 |
| 686084,30 | 1105622,50 | 0,761 | 685234,80 | 1104205,90 | 0,616 |
| 686128,80 | 1105638,20 | 0,392 | 685590,60 | 1104803,10 | 0,421 |
| 686193,20 | 1105659,50 | 1,124 | 685589,60 | 1104796,50 | 0,428 |
| 686251,40 | 1105683,50 | 0,102 | 685591,20 | 1104790,00 | 0,283 |
| 686204,80 | 1106064,20 | 0,413 | 685617,40 | 1104777,60 | 0,000 |
| 686136,90 | 1106157,50 | 0,566 | 685614,20 | 1104778,50 | 0,167 |
| 686112,80 | 1106151,60 | 0,116 | 685603,00 | 1104781,20 | 0,479 |
| 686041,40 | 1106251,90 | 0,181 | 685594,20 | 1104793,80 | 0,319 |
| 686023,60 | 1106277,00 | 0,152 | 691406,40 | 1106432,80 | 0,029 |
| 686000,10 | 1106298,20 | 0,377 | 691389,80 | 1106429,00 | 0,174 |
| 686006,00 | 1106367,10 | 0,406 | 687680,60 | 1109575,80 | 0,116 |
| 685986,40 | 1106402,50 | 0,363 | 687738,60 | 1109651,10 | 0,015 |
| 685966,60 | 1106438,20 | 0,341 | 687732,70 | 1109656,20 | 0,123 |
| 685892,40 | 1106600,20 | 0,399 | 687726,90 | 1109661,40 | 0,225 |
| 685879,60 | 1106663,80 | 0,029 | 687704,40 | 1109676,20 | 0,783 |
| 687706,90 | 1109682,20 | 0,196 | 688521,20 | 1110203,50 | 0,218 |
| 687709,30 | 1109688,20 | 0,457 | 688517,90 | 1110211,80 | 0,986 |
| 687711,80 | 1109694,20 | 0,421 | 688515,20 | 1110224,20 | 0,689 |
| 687716,80 | 1109706,10 | 0,732 | 688516,70 | 1110223,20 | 0,580 |
| 687719,20 | 1109712,10 | 0,109 | 688512,60 | 1110223,90 | 0,080 |
| 687721,70 | 1109718,00 | 0,123 | 688511,90 | 1110235,00 | 0,029 |
| 687724,20 | 1109724,00 | 0,167 | 688508,50 | 1110246,10 | 0,007 |
| 687730,90 | 1109770,80 | 0,406 | 688505,80 | 1110249,80 | 0,703 |
| 687747,10 | 1109784,40 | 0,123 | 688503,20 | 1110258,00 | 0,000 |
| 687752,30 | 1109811,90 | 0,000 | 688504,20 | 1110259,10 | 1,204 |
| 687797,10 | 1109825,20 | 0,029 | 688501,60 | 1110266,60 | 0,935 |
| 687806,10 | 1109828,20 | 1,001 | 688500,00 | 1110271,80 | 0,508 |
| 687821,80 | 1109824,50 | 0,877 | 688499,20 | 1110274,20 | 0,102 |
| 687828,70 | 1109818,80 | 0,326 | 688510,80 | 1110255,50 | 0,196 |
| 687832,70 | 1109815,50 | 0,145 | 688511,80 | 1110253,40 | 0,413 |
| 687842,90 | 1109819,00 | 0,834 | 688509,10 | 1110260,00 | 0,870 |
| 687882,20 | 1109838,90 | 1,138 | 688510,10 | 1110260,60 | 0,493 |
| 687926,40 | 1109850,20 | 0,044 | 688507,40 | 1110266,40 | 0,718 |
| 687988,80 | 1109879,90 | 0,131 | 688488,70 | 1110268,40 | 0,689 |
| 688040,00 | 1109910,10 | 0,841 | 688505,80 | 1110254,50 | 0,261 |
| 688080,70 | 1109972,10 | 0,653 | 688499,70 | 1110197,40 | 0,131 |
| 688118,80 | 1110008,80 | 0,167 | 688426,60 | 1110141,20 | 0,123 |
| 688179,00 | 1110065,20 | 0,131 | 688363,60 | 1110109,10 | 0,276 |
| 688206,70 | 1110082,40 | 0,609 | 688341,20 | 1110085,90 | 0,834 |
| 688222,10 | 1110076,50 | 0,239 | 688357,50 | 1110045,90 | 0,000 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 688243,10 | 1110055,50 | 0,355 | 688366,80 | 1109981,90 | 0,522 |
| 688349,10 | 1110079,60 | 0,239 | 688362,30 | 1109965,10 | 0,138 |
| 688408,20 | 1110125,40 | 0,116 | 688367,60 | 1109970,90 | 0,558 |
| 688424,10 | 1110128,60 | 0,290 | 688368,60 | 1109968,60 | 0,580 |
| 688504,90 | 1110191,20 | 0,450 | 688367,60 | 1109974,60 | 0,442 |
| 688511,20 | 1110231,90 | 0,065 | 688365,90 | 1109976,50 | 0,283 |
| 688502,90 | 1110265,80 | 0,305 | 688367,60 | 1109974,60 | 0,885 |
| 688484,80 | 1110274,80 | 0,515 | 688370,10 | 1109979,20 | 0,123 |
| 688485,80 | 1110274,80 | 0,174 | 688370,10 | 1109976,50 | 0,551 |
| 688483,10 | 1110274,10 | 0,239 | 688371,50 | 1109977,60 | 0,703 |
| 688496,40 | 1110270,40 | 1,008 | 688366,10 | 1109974,60 | 0,181 |
| 688496,70 | 1110268,40 | 0,109 | 688367,60 | 1109978,20 | 0,537 |
| 688494,40 | 1110267,90 | 0,109 | 688366,10 | 1109976,50 | 0,116 |
| 688495,20 | 1110266,60 | 0,450 | 688367,60 | 1109977,60 | 0,392 |
| 688498,90 | 1110261,10 | 0,261 | 688366,10 | 1109968,90 | 0,406 |
| 688498,60 | 1110261,50 | 0,167 | 688371,50 | 1109994,10 | 0,094 |
| 688497,40 | 1110262,50 | 0,334 | 688368,10 | 1110025,80 | 0,624 |
| 688498,00 | 1110263,90 | 0,152 | 688416,10 | 1110135,40 | 0,428 |
| 688496,90 | 1110265,10 | 0,377 | 688427,70 | 1110141,60 | 0,102 |
| 688494,50 | 1110270,20 | 0,261 | 688509,10 | 1110272,10 | 0,167 |
| 688493,30 | 1110269,10 | 0,123 | 688509,10 | 1110270,40 | 0,544 |
| 688490,60 | 1110271,80 | 0,819 | 688530,80 | 1110270,50 | 0,696 |
| 688488,90 | 1110272,80 | 0,145 | 688566,40 | 1110267,00 | 0,732 |
| 688489,60 | 1110273,90 | 0,957 | 688590,90 | 1110207,00 | 0,210 |
| 688493,20 | 1110273,20 | 0,268 | 688641,10 | 1110173,00 | 0,022 |
| 688489,00 | 1110269,10 | 0,232 | 688711,00 | 1110122,10 | 0,167 |
| 688493,10 | 1110255,10 | 0,841 | 688724,40 | 1110104,40 | 0,645 |
| 688495,60 | 1110250,10 | 0,102 | 688732,60 | 1110077,10 | 0,109 |
| 688498,00 | 1110245,10 | 0,073 | 688758,30 | 1110078,60 | 0,102 |
| 688502,90 | 1110235,20 | 0,587 | 688782,70 | 1110043,10 | 0,834 |
| 688505,20 | 1110230,40 | 0,544 | 688785,60 | 1109994,20 | 0,123 |
| 688507,70 | 1110225,40 | 0,152 | 688838,40 | 1109981,90 | 0,290 |
| 688512,60 | 1110215,50 | 0,210 | 688981,00 | 1109888,90 | 0,000 |
| 688517,40 | 1110205,60 | 0,595 | 689062,20 | 1109863,90 | 0,109 |
| 688519,90 | 1110200,80 | 0,384 | 689132,80 | 1109850,60 | 0,964 |
| 688524,40 | 1110190,40 | 0,515 | 689166,80 | 1109858,40 | 0,442 |
| 688522,10 | 1110199,00 | 0,834 | 689218,70 | 1109895,80 | 1,051 |
| 689295,60 | 1109942,10 | 0,413 | 690443,90 | 1108819,60 | 0,841 |
| 689366,70 | 1109920,90 | 0,435 | 690426,40 | 1108761,90 | 0,616 |
| 689317,30 | 1109894,80 | 0,051 | 690445,50 | 1108757,80 | 0,522 |
| 689279,30 | 1109871,00 | 0,805 | 690464,60 | 1108753,80 | 0,696 |
| 689231,90 | 1109815,40 | 1,124 | 690603,20 | 1108765,00 | 0,065 |
| 689188,70 | 1109786,20 | 0,769 | 690733,80 | 1108795,90 | 0,529 |
| 689225,90 | 1109751,90 | 1,131 | 690758,20 | 1108719,20 | 0,015 |
| 689260,60 | 1109760,20 | 1,189 | 690793,10 | 1108664,90 | 0,950 |
| 689316,50 | 1109751,40 | 0,747 | 690808,80 | 1108632,80 | 0,363 |
| 689362,30 | 1109771,10 | 0,921 | 690856,90 | 1108663,50 | 0,232 |
| 689384,40 | 1109740,00 | 0,116 | 690881,10 | 1108678,90 | 0,254 |
| 689413,50 | 1109735,00 | 0,747 | 690909,60 | 1108679,10 | 0,428 |
| 689465,10 | 1109768,80 | 0,145 | 690999,10 | 1108689,10 | 0,275 |
| 689499,70 | 1109776,00 | 0,058 | 691019,60 | 1108675,90 | 0,711 |
| 689464,80 | 1109716,80 | 0,210 | 691175,00 | 1108662,60 | 0,152 |
| 689440,60 | 1109685,20 | 0,247 | 691189,40 | 1108646,00 | 0,225 |
| 689404,10 | 1109641,80 | 0,689 | 691230,10 | 1108624,40 | 0,145 |
| 689401,10 | 1109630,60 | 1,827 | 691259,90 | 1108672,00 | 0,080 |
| 689398,10 | 1109619,60 | 0,261 | 691233,00 | 1108728,40 | 0,044 |
| 689401,40 | 1109599,20 | 0,819 | 691290,40 | 1108728,20 | 0,138 |
| 689438,70 | 1109599,00 | 0,377 | 691378,70 | 1108710,90 | 1,102 |
| 689552,20 | 1109631,50 | 0,805 | 691566,40 | 1108733,00 | 0,421 |
| 689587,60 | 1109651,50 | 0,725 | 691594,60 | 1108738,20 | 0,312 |
| 689587,80 | 1109599,90 | 0,660 | 691650,60 | 1108748,80 | 0,007 |
| 689601,60 | 1109583,40 | 0,247 | 691702,20 | 1108752,10 | 1,138 |
| 689610,90 | 1109541,00 | 1,124 | 691754,80 | 1108730,80 | 0,834 |
| 689633,60 | 1109583,90 | 0,000 | 691822,50 | 1108743,40 | 0,138 |
| 689659,80 | 1109605,40 | 0,384 | 691836,10 | 1108730,90 | 0,109 |
| 689670,70 | 1109573,90 | 0,834 | 691849,60 | 1108718,50 | 0,116 |
| 689662,80 | 1109523,10 | 0,732 | 691863,10 | 1108706,20 | 0,667 |

|           |            |       |           |            |       |
|-----------|------------|-------|-----------|------------|-------|
| 689722,80 | 1109532,40 | 0,297 | 691904,40 | 1108671,90 | 0,015 |
| 689761,70 | 1109557,10 | 0,558 | 691915,90 | 1108655,40 | 0,015 |
| 689808,10 | 1109571,80 | 0,239 | 691954,80 | 1108627,00 | 0,160 |
| 689829,10 | 1109543,50 | 0,819 | 691962,10 | 1108647,60 | 0,051 |
| 689813,10 | 1109516,20 | 1,298 | 691946,70 | 1108700,10 | 0,819 |
| 689813,50 | 1109473,20 | 1,979 | 691982,30 | 1108679,60 | 0,131 |
| 689797,90 | 1109438,80 | 1,247 | 691994,30 | 1108672,60 | 0,261 |
| 689811,50 | 1109412,90 | 0,515 | 688496,80 | 1110272,10 | 0,065 |
| 689816,60 | 1109381,50 | 1,356 | 688495,60 | 1110268,00 | 0,102 |
| 689839,20 | 1109363,40 | 1,928 | 688491,30 | 1110274,10 | 0,392 |
| 689871,60 | 1109340,50 | 0,935 | 688498,10 | 1110216,50 | 0,210 |
| 689915,90 | 1109344,80 | 0,341 | 688301,40 | 1110056,00 | 0,167 |
| 689959,10 | 1109349,40 | 0,667 | 688252,20 | 1110047,40 | 0,116 |
| 690030,60 | 1109364,10 | 0,232 | 688000,80 | 1109923,90 | 0,276 |
| 690094,70 | 1109348,10 | 0,935 | 687971,80 | 1109897,20 | 0,268 |
| 690103,40 | 1109328,80 | 0,558 | 687888,10 | 1109829,50 | 0,254 |
| 690081,80 | 1109284,20 | 0,225 | 687849,60 | 1109834,80 | 0,812 |
| 690039,10 | 1109218,60 | 0,667 | 687814,80 | 1109840,40 | 0,616 |
| 690025,20 | 1109183,80 | 0,087 | 687780,40 | 1109851,40 | 0,297 |
| 690011,10 | 1109148,50 | 1,776 | 687751,20 | 1109861,50 | 0,319 |
| 689989,70 | 1109095,10 | 0,254 | 687752,00 | 1109864,90 | 0,305 |
| 689954,30 | 1109006,80 | 1,124 | 687752,90 | 1109864,20 | 0,007 |
| 689918,90 | 1108898,40 | 0,247 | 687753,70 | 1109863,50 | 0,044 |
| 689929,10 | 1108877,20 | 0,116 | 691275,40 | 1106463,10 | 0,066 |
| 689946,00 | 1108840,90 | 0,073 | 691277,00 | 1106468,40 | 0,029 |
| 690062,60 | 1108813,40 | 0,631 | 691276,20 | 1106466,90 | 0,036 |
| 690085,80 | 1108760,50 | 0,319 | 691272,90 | 1106469,50 | 0,094 |
| 690131,60 | 1108827,40 | 0,189 | 691273,60 | 1106472,20 | 0,022 |
| 690154,80 | 1108851,80 | 0,138 | 691277,00 | 1106463,10 | 0,029 |
| 690275,90 | 1108868,90 | 0,007 | 691276,90 | 1106462,40 | 0,312 |
| 690323,90 | 1108878,00 | 0,044 | 691274,60 | 1106466,80 | 0,036 |
| 690355,20 | 1108932,20 | 0,029 | 691273,60 | 1106468,80 | 0,189 |
| 691272,70 | 1106463,10 | 0,036 | 690454,10 | 1106475,20 | 0,044 |
| 691272,60 | 1106466,80 | 0,022 | 690884,20 | 1106483,10 | 0,051 |
| 691275,30 | 1106465,00 | 0,189 | 690997,60 | 1106476,90 | 0,319 |
| 691275,30 | 1106465,00 | 0,066 |           |            |       |
| 691275,40 | 1106462,00 | 0,044 |           |            |       |
| 691273,60 | 1106466,80 | 0,203 |           |            |       |
| 691277,00 | 1106463,90 | 0,442 |           |            |       |
| 691412,70 | 1106415,60 | 0,058 |           |            |       |
| 691889,40 | 1106584,50 | 0,290 |           |            |       |
| 691938,60 | 1106568,60 | 0,450 |           |            |       |
| 689731,90 | 1106319,10 | 0,022 |           |            |       |
| 689763,10 | 1106316,00 | 0,044 |           |            |       |
| 689767,90 | 1106313,50 | 0,167 |           |            |       |
| 689842,10 | 1106298,60 | 0,036 |           |            |       |
| 689837,10 | 1106303,20 | 0,319 |           |            |       |
| 689846,20 | 1106317,40 | 0,051 |           |            |       |
| 689880,90 | 1106307,90 | 0,326 |           |            |       |
| 689873,60 | 1106308,50 | 0,174 |           |            |       |
| 689672,70 | 1106329,50 | 0,595 |           |            |       |
| 689591,60 | 1106341,40 | 0,486 |           |            |       |
| 689648,60 | 1106328,00 | 0,029 |           |            |       |
| 689785,40 | 1106315,00 | 0,174 |           |            |       |
| 689774,40 | 1106322,00 | 0,022 |           |            |       |
| 689896,90 | 1106292,10 | 0,711 |           |            |       |
| 689889,20 | 1106293,50 | 0,015 |           |            |       |
| 689876,80 | 1106295,10 | 0,029 |           |            |       |
| 689941,90 | 1106279,10 | 0,036 |           |            |       |
| 689992,90 | 1106268,90 | 0,029 |           |            |       |
| 690002,10 | 1106267,10 | 0,051 |           |            |       |
| 690006,70 | 1106266,50 | 0,036 |           |            |       |
| 690069,50 | 1106255,80 | 0,334 |           |            |       |
| 690070,50 | 1106257,60 | 0,036 |           |            |       |
| 690106,70 | 1106245,80 | 0,181 |           |            |       |
| 690191,00 | 1106307,90 | 0,152 |           |            |       |
| 690237,30 | 1106363,40 | 0,044 |           |            |       |

| LEVANTAMIENTO   |          |         | PEDESTRE |      |        |         |                 |          |           |
|-----------------|----------|---------|----------|------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL          | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS  |      |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                 |          |         | C-Total  | K(%) | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| SECTOR LA PALMA | 687931   | 1109456 | 3547     | 802  | 93     | 39      | 0,9             | 0,3      | 0,8       |
|                 | 687911   | 1109415 | 4238     | 971  | 133    | 37      | 1,1             | 0,8      | 0,8       |
|                 | 687876   | 1109387 | 3998     | 849  | 167    | 41      | 0,9             | 1,3      | 0,9       |
|                 | 687839   | 1109347 | 3627     | 846  | 169    | 42      | 0,9             | 1,3      | 0,9       |
|                 | 687818   | 1109314 | 3488     | 748  | 139    | 39      | 0,8             | 0,9      | 0,8       |
|                 | 687797   | 1109275 | 5327     | 1420 | 116    | 39      | 1,8             | 0,5      | 1         |
|                 | 687798   | 1109275 | 5250     | 1312 | 156    | 48      | 1,6             | 1        | 1,3       |
|                 | 687853   | 1109199 | 4106     | 921  | 157    | 63      | 1               | 1        | 1,7       |
|                 | 687858   | 1109146 | 4338     | 932  | 190    | 58      | 1               | 1,4      | 1,5       |
|                 | 687832   | 1109050 | 2325     | 409  | 84     | 30      | 0,4             | 0,4      | 0,4       |
|                 | 687806   | 1109017 | 2341     | 455  | 92     | 35      | 0,4             | 0,4      | 0,6       |
|                 | 687815   | 1108993 | 2449     | 393  | 107    | 40      | 0,3             | 0,6      | 0,8       |
|                 | 687804   | 1108951 | 2659     | 467  | 104    | 33      | 0,5             | 0,6      | 0,4       |
|                 | 687775   | 1108939 | 2694     | 420  | 138    | 50      | 0,3             | 0,9      | 1,2       |
|                 | 687746   | 1108918 | 2626     | 450  | 115    | 32      | 0,4             | 0,7      | 0,4       |
|                 | 687774   | 1108886 | 2749     | 484  | 95     | 39      | 0,5             | 0,4      | 0,7       |
|                 | 687796   | 1108836 | 4715     | 1106 | 178    | 56      | 1,3             | 1,3      | 1,5       |
|                 | 687825   | 1108811 | 4088     | 982  | 118    | 42      | 1,2             | 0,6      | 1         |
|                 | 687807   | 1108743 | 5062     | 1338 | 148    | 46      | 1,6             | 0,9      | 1,2       |
|                 | 687833   | 1108723 | 5293     | 1358 | 93     | 20      | 1,7             | 0,4      | 0,4       |
|                 | 687846   | 1108687 | 5897     | 1466 | 201    | 61      | 1,8             | 1,4      | 1,8       |
|                 | 687813   | 1108650 | 5695     | 1411 | 184    | 48      | 1,7             | 1,3      | 1,3       |
|                 | 687809   | 1108606 | 5749     | 1593 | 112    | 24      | 2,1             | 0,6      | 0,6       |
|                 | 687810   | 1108560 | 4719     | 1143 | 187    | 50      | 1,3             | 1,4      | 1,4       |
|                 | 687851   | 1108537 | 4398     | 904  | 191    | 71      | 1               | 1,3      | 2,1       |
|                 | 687885   | 1108505 | 3552     | 546  | 188    | 75      | 0,5             | 1,3      | 2,1       |
|                 | 687857   | 1108469 | 3492     | 626  | 163    | 67      | 0,6             | 1        | 1,9       |
|                 | 687842   | 1108420 | 3614     | 647  | 191    | 64      | 0,6             | 1,4      | 1,7       |
|                 | 687827   | 1108385 | 2655     | 462  | 107    | 44      | 0,4             | 0,6      | 1         |
|                 | 687818   | 1108355 | 2089     | 353  | 54     | 30      | 0,3             | 0        | 0,5       |
|                 | 687814   | 1108342 | 1896     | 293  | 77     | 22      | 0,2             | 0,4      | 0         |
|                 | 687809   | 1108246 | 2347     | 419  | 73     | 30      | 0,4             | 0,2      | 0,5       |
|                 | 687813   | 1108200 | 3968     | 964  | 79     | 39      | 1,2             | 0,1      | 0,9       |
|                 | 687830   | 1108156 | 2698     | 567  | 86     | 33      | 0,6             | 0,3      | 0,5       |
|                 | 687827   | 1108112 | 2134     | 319  | 74     | 38      | 0,3             | 0,2      | 0,7       |
|                 | 687790   | 1108083 | 1801     | 241  | 77     | 31      | 0,2             | 0,3      | 0,4       |
|                 | 687776   | 1108038 | 1695     | 214  | 70     | 36      | 0,1             | 0,2      | 0,5       |
|                 | 687754   | 1107994 | 2812     | 615  | 64     | 32      | 0,7             | 0,1      | 0,5       |
|                 | 687742   | 1107957 | 3314     | 749  | 72     | 24      | 0,9             | 0,2      | 0,3       |
|                 | 687765   | 1107912 | 3095     | 609  | 105    | 40      | 0,7             | 0,5      | 0,9       |
|                 | 687758   | 1107872 | 3445     | 741  | 124    | 51      | 0,8             | 0,7      | 1,3       |
|                 | 687742   | 1107830 | 4165     | 1028 | 83     | 22      | 1,3             | 0,3      | 0,3       |
|                 | 687743   | 1107787 | 3945     | 948  | 102    | 26      | 1,1             | 0,6      | 0,4       |
|                 | 687713   | 1107755 | 4015     | 1025 | 104    | 25      | 1,3             | 0,6      | 0,4       |
|                 | 687678   | 1107738 | 2426     | 466  | 81     | 32      | 0,5             | 0,3      | 0,5       |



| LEVANTAMIENTO              |          |         | PEDESTRE |      |        |         |                 |          |           |
|----------------------------|----------|---------|----------|------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL                     | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS  |      |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                            |          |         | C-Total  | K(%) | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| SECTOR<br>LOS<br>PARAPAROS | 685699   | 1106840 | 6207     | 1748 | 117    | 30      | 2,3             | 0,6      | 0,9       |
|                            | 685692   | 1106856 | 6309     | 1769 | 125    | 35      | 2,3             | 0,6      | 1         |
|                            | 685712   | 1106821 | 5629     | 1591 | 94     | 27      | 2,1             | 0,3      | 0,7       |
|                            | 685752   | 1106808 | 7783     | 2348 | 96     | 17      | 3,2             | 0,3      | 0,7       |
|                            | 685798   | 1106816 | 8177     | 2383 | 91     | 19      | 3,2             | 0,2      | 0,7       |
|                            | 685839   | 1106836 | 2990     | 592  | 87     | 37      | 0,6             | 0,3      | 0,8       |
|                            | 685889   | 1106840 | 3892     | 843  | 118    | 48      | 1               | 0,6      | 1,2       |
|                            | 685934   | 1106870 | 7988     | 2328 | 118    | 25      | 3,1             | 0,6      | 0,8       |
|                            | 685957   | 1106904 | 6338     | 1725 | 99     | 26      | 2,3             | 0,4      | 0,6       |
|                            | 685968   | 1106931 | 6486     | 1786 | 88     | 22      | 2,4             | 0,3      | 0,5       |
|                            | 686038   | 1106919 | 4135     | 920  | 138    | 51      | 1,1             | 0,8      | 1,3       |
|                            | 686067   | 1106893 | 3187     | 658  | 81     | 43      | 0,8             | 0,2      | 0,9       |
|                            | 686112   | 1106873 | 4985     | 1328 | 117    | 41      | 1,7             | 0,6      | 1,1       |
|                            | 686147   | 1106863 | 5325     | 1390 | 107    | 43      | 1,8             | 0,4      | 1,2       |
|                            | 686183   | 1106895 | 3065     | 652  | 81     | 33      | 0,7             | 0,4      | 0,5       |
|                            | 686213   | 1106919 | 3500     | 814  | 81     | 30      | 1               | 0,4      | 0,6       |
|                            | 686255   | 1106951 | 4379     | 1107 | 97     | 40      | 1,4             | 0,4      | 1,1       |
|                            | 686294   | 1106957 | 3734     | 890  | 68     | 34      | 1,1             | 0,1      | 0,8       |
|                            | 686341   | 1106961 | 7488     | 2248 | 78     | 18      | 3               | 0,1      | 0,7       |
|                            | 686392   | 1106984 | 4583     | 1164 | 113    | 50      | 1,4             | 0,4      | 1,5       |
|                            | 686429   | 1107003 | 6464     | 1909 | 70     | 22      | 2,6             | 0,1      | 0,6       |
|                            | 686466   | 1107029 | 5459     | 1530 | 69     | 28      | 2               | 0        | 0,7       |
|                            | 686502   | 1107051 | 4444     | 1116 | 99     | 43      | 1,4             | 0,3      | 1,1       |
|                            | 686512   | 1107102 | 3077     | 614  | 113    | 55      | 0,7             | 0,5      | 1,4       |
|                            | 686491   | 1107148 | 6230     | 1785 | 87     | 32      | 2,4             | 0,2      | 0,9       |
|                            | 686558   | 1107173 | 6416     | 1887 | 61     | 27      | 2,5             | 0        | 0,9       |
|                            | 686555   | 1107228 | 9075     | 2796 | 106    | 25      | 3,8             | 0,3      | 1         |
|                            | 686522   | 1107263 | 5364     | 1427 | 107    | 21      | 1,8             | 0,6      | 0,4       |
|                            | 686586   | 1107295 | 6377     | 1792 | 98     | 24      | 2,4             | 0,4      | 0,7       |
|                            | 686566   | 1107328 | 3988     | 1021 | 77     | 30      | 1,3             | 0,2      | 0,7       |
|                            | 686593   | 1107375 | 3138     | 759  | 52     | 28      | 0,9             | 0        | 0,5       |
|                            | 686588   | 1107419 | 5484     | 1558 | 84     | 30      | 2               | 0,2      | 0,9       |
|                            | 686615   | 1107488 | 3581     | 860  | 71     | 38      | 1,1             | 0,1      | 0,9       |
|                            | 686623   | 1107519 | 3662     | 920  | 72     | 51      | 1,1             | 0        | 1,4       |
|                            | 686610   | 1107565 | 2808     | 603  | 77     | 32      | 0,7             | 0,3      | 0,5       |
|                            | 686629   | 1107602 | 3565     | 824  | 71     | 21      | 1               | 0,2      | 0,2       |
|                            | 686645   | 1107633 | 3862     | 918  | 70     | 33      | 1,1             | 0,1      | 0,6       |
|                            | 686660   | 1107666 | 3223     | 768  | 54     | 35      | 0,9             | 0        | 0,7       |
|                            | 686689   | 1107692 | 2843     | 542  | 81     | 32      | 0,6             | 0,3      | 0,5       |
|                            | 686696   | 1107728 | 3012     | 629  | 66     | 36      | 0,7             | 0,1      | 0,7       |
|                            | 686722   | 1107710 | 3335     | 775  | 97     | 38      | 0,9             | 0,4      | 0,8       |
|                            | 686748   | 1107708 | 2896     | 667  | 64     | 24      | 0,8             | 0,1      | 0,3       |
|                            | 686781   | 1107708 | 3520     | 812  | 59     | 35      | 1               | 0        | 0,8       |
|                            | 686810   | 1107713 | 3180     | 743  | 67     | 37      | 0,9             | 0,1      | 0,9       |
|                            | 686831   | 1107714 | 2828     | 595  | 69     | 25      | 0,7             | 0,2      | 0,3       |
|                            | 686866   | 1107698 | 3049     | 689  | 66     | 23      | 0,8             | 0,2      | 0,2       |
|                            | 686897   | 1107702 | 3496     | 855  | 58     | 21      | 1,1             | 0,1      | 0,2       |
|                            | 686919   | 1107659 | 3539     | 887  | 56     | 26      | 1,1             | 0        | 0,4       |
|                            | 686946   | 1107645 | 5727     | 1663 | 76     | 31      | 2,2             | 0,1      | 0,9       |
|                            | 686990   | 1107641 | 5150     | 1479 | 61     | 31      | 2               | 0        | 0,9       |

| LEVANTAMIENTO                                                    |          |         | PEDESTRE |      |        |         |                 |          |           |
|------------------------------------------------------------------|----------|---------|----------|------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL                                                           | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS  |      |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                                                                  |          |         | C-Total  | K(%) | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| SECTOR LOS COROZOS (Qda. Los Corozos) - EL VALLE (Qda. El Valle) | 685622   | 1104716 | 1952     | 339  | 43     | 32      | 0,3             | 0        | 0,5       |
|                                                                  | 685985   | 1104617 | 2201     | 426  | 52     | 26      | 0,5             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 686012   | 1104673 | 1657     | 235  | 55     | 22      | 0,2             | 0,1      | 0         |
|                                                                  | 686043   | 1104718 | 1264     | 286  | 49     | 19      | 0,3             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 686064   | 1104750 | 1793     | 321  | 55     | 21      | 0,3             | 0,1      | 0,1       |
|                                                                  | 686086   | 1104791 | 1467     | 180  | 40     | 19      | 0,1             | 0        | 0         |
|                                                                  | 686110   | 1104828 | 1690     | 269  | 42     | 24      | 0,2             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 686157   | 1104843 | 1771     | 262  | 44     | 15      | 0,2             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 686195   | 1104871 | 4143     | 725  | 227    | 68      | 0,7             | 1,8      | 1,8       |
|                                                                  | 686236   | 1104892 | 2877     | 503  | 139    | 42      | 0,5             | 1        | 0,8       |
|                                                                  | 686283   | 1104910 | 3564     | 656  | 199    | 39      | 0,6             | 1,7      | 0,6       |
|                                                                  | 686333   | 1104922 | 2691     | 485  | 87     | 35      | 0,5             | 0,4      | 0,6       |
|                                                                  | 686374   | 1104946 | 2836     | 633  | 80     | 48      | 0,7             | 0,2      | 1,2       |
|                                                                  | 686417   | 1104971 | 3383     | 813  | 88     | 34      | 1               | 0,3      | 0,7       |
|                                                                  | 686457   | 1104988 | 2317     | 475  | 59     | 19      | 0,5             | 0,1      | 0,1       |
|                                                                  | 686503   | 1104987 | 1991     | 393  | 59     | 23      | 0,4             | 0,1      | 0,1       |
|                                                                  | 686507   | 1104996 | 2135     | 404  | 49     | 21      | 0,4             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 686550   | 1105019 | 1867     | 332  | 53     | 15      | 0,3             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 686547   | 1105021 | 1724     | 287  | 45     | 22      | 0,3             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 686649   | 1105107 | 1868     | 277  | 49     | 22      | 0,2             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 686700   | 1105132 | 1946     | 324  | 49     | 28      | 0,3             | 0        | 0,3       |
|                                                                  | 686741   | 1105150 | 2129     | 430  | 45     | 26      | 0,5             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 686791   | 1105173 | 2236     | 817  | 42     | 20      | 0,5             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 686823   | 1105203 | 2401     | 392  | 106    | 22      | 0,3             | 0,7      | 0         |
|                                                                  | 686870   | 1105214 | 1893     | 304  | 47     | 30      | 0,3             | 0        | 0,5       |
|                                                                  | 686915   | 1105229 | 2048     | 367  | 48     | 19      | 0,4             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 686967   | 1105233 | 1861     | 306  | 39     | 17      | 0,3             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 687011   | 1105234 | 2040     | 403  | 42     | 17      | 0,4             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 687060   | 1105240 | 1998     | 349  | 47     | 26      | 0,3             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 687104   | 1105239 | 2145     | 440  | 39     | 37      | 0,5             | 0        | 0,4       |
|                                                                  | 687153   | 1105228 | 1931     | 331  | 50     | 21      | 0,3             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 687199   | 1105230 | 1833     | 324  | 39     | 21      | 0,3             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 687241   | 1105257 | 3481     | 803  | 70     | 55      | 1               | 0        | 1,5       |
|                                                                  | 687280   | 1105275 | 5901     | 1729 | 82     | 36      | 2,3             | 0,1      | 1,1       |
|                                                                  | 687324   | 1105299 | 3513     | 795  | 121    | 39      | 0,9             | 0,7      | 0,8       |
|                                                                  | 687361   | 1105330 | 3434     | 674  | 143    | 49      | 0,7             | 0,9      | 1,1       |
|                                                                  | 687409   | 1105337 | 3954     | 765  | 167    | 61      | 0,8             | 1,1      | 1,6       |
|                                                                  | 687454   | 1105349 | 2299     | 461  | 57     | 30      | 0,5             | 0        | 0,5       |
|                                                                  | 687498   | 1105372 | 2576     | 457  | 88     | 49      | 0,5             | 0,3      | 1,1       |
|                                                                  | 687545   | 1105383 | 2931     | 587  | 98     | 36      | 0,6             | 0,5      | 0,6       |
|                                                                  | 687589   | 1105400 | 2564     | 511  | 80     | 30      | 0,5             | 0,3      | 0,5       |
|                                                                  | 687623   | 1105411 | 2511     | 451  | 113    | 28      | 0,4             | 0,7      | 0,3       |
|                                                                  | 687678   | 1105419 | 1700     | 257  | 47     | 17      | 0,2             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 687731   | 1105427 | 1586     | 231  | 35     | 22      | 0,2             | 0        | 0         |
|                                                                  | 687775   | 1105440 | 1649     | 257  | 39     | 24      | 0,2             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 687826   | 1105449 | 1571     | 243  | 33     | 22      | 0,2             | 0        | 0         |
|                                                                  | 687866   | 1105470 | 1501     | 195  | 39     | 24      | 0,1             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 687906   | 1105481 | 1651     | 249  | 30     | 24      | 0,2             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 687939   | 1105512 | 1682     | 271  | 35     | 15      | 0,2             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 687977   | 1105535 | 1558     | 235  | 47     | 20      | 0,2             | 0        | 0         |
|                                                                  | 688024   | 1105550 | 1825     | 324  | 45     | 16      | 0,3             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 688067   | 1105567 | 1938     | 348  | 52     | 18      | 0,3             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 688107   | 1105595 | 1959     | 354  | 46     | 16      | 0,4             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 688133   | 1105627 | 1776     | 299  | 60     | 21      | 0,3             | 0,2      | 0         |
|                                                                  | 688160   | 1105666 | 1976     | 356  | 53     | 30      | 0,4             | 0        | 0,5       |
|                                                                  | 688201   | 1105691 | 1814     | 323  | 49     | 15      | 0,3             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 688248   | 1105709 | 1763     | 223  | 63     | 28      | 0,2             | 0,1      | 0,3       |

| LEVANTAMIENTO                                                    |          |         | PEDESTRE |      |        |         |                 |          |           |
|------------------------------------------------------------------|----------|---------|----------|------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL                                                           | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS  |      |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                                                                  |          |         | C-Total  | K(%) | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| SECTOR LOS COROZOS (Qda. Los Corozos) - EL VALLE (Qda. El Valle) | 688283   | 1105736 | 1919     | 302  | 58     | 18      | 0,3             | 0,1      | 0,1       |
|                                                                  | 688328   | 1105756 | 2327     | 375  | 86     | 32      | 0,3             | 0,4      | 0,4       |
|                                                                  | 688372   | 1105760 | 2101     | 315  | 99     | 43      | 0,2             | 0,5      | 0,8       |
|                                                                  | 688413   | 1105785 | 2678     | 414  | 135    | 46      | 0,3             | 0,9      | 0,9       |
|                                                                  | 688460   | 1105801 | 2527     | 431  | 100    | 40      | 0,4             | 0,5      | 0,8       |
|                                                                  | 688495   | 1105840 | 2989     | 523  | 133    | 64      | 0,5             | 0,7      | 1,7       |
|                                                                  | 688533   | 1105860 | 2984     | 539  | 134    | 44      | 0,5             | 0,9      | 1         |
|                                                                  | 688563   | 1105893 | 2931     | 539  | 120    | 39      | 0,5             | 0,8      | 0,7       |
|                                                                  | 688586   | 1105932 | 2457     | 497  | 64     | 26      | 0,5             | 0,2      | 0,2       |
|                                                                  | 688630   | 1105937 | 2270     | 458  | 64     | 28      | 0,5             | 0,1      | 0,4       |
|                                                                  | 688669   | 1105948 | 2144     | 391  | 54     | 28      | 0,4             | 0        | 0,4       |
|                                                                  | 688717   | 1105967 | 2097     | 384  | 53     | 22      | 0,4             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 688764   | 1105962 | 2490     | 505  | 48     | 23      | 0,6             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 688809   | 1105960 | 2536     | 529  | 39     | 24      | 0,6             | 0        | 0,3       |
|                                                                  | 688860   | 1105971 | 2289     | 469  | 41     | 22      | 0,5             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 688901   | 1105975 | 2424     | 510  | 57     | 37      | 0,6             | 0        | 0,8       |
|                                                                  | 688942   | 1105955 | 2508     | 525  | 54     | 27      | 0,6             | 0        | 0,4       |
|                                                                  | 688979   | 1105976 | 2704     | 656  | 49     | 17      | 0,8             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 689014   | 1105994 | 2496     | 537  | 46     | 19      | 0,6             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 689059   | 1105989 | 2324     | 493  | 46     | 25      | 0,6             | 0        | 0,3       |
|                                                                  | 689107   | 1105999 | 2452     | 540  | 40     | 16      | 0,6             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 689159   | 1105994 | 2543     | 563  | 43     | 18      | 0,7             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 689193   | 1105980 | 2534     | 550  | 44     | 21      | 0,6             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 689238   | 1105994 | 2697     | 604  | 53     | 20      | 0,7             | 0        | 0,2       |
|                                                                  | 689280   | 1105974 | 2409     | 486  | 46     | 23      | 0,5             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 689325   | 1105957 | 2122     | 393  | 46     | 23      | 0,4             | 0        | 0,1       |
|                                                                  | 689360   | 1105928 | 2323     | 438  | 59     | 35      | 0,5             | 0        | 0,6       |
|                                                                  | 689405   | 1105914 | 2664     | 603  | 63     | 22      | 0,7             | 0,1      | 0,2       |
|                                                                  | 689451   | 1105899 | 2517     | 530  | 55     | 23      | 0,6             | 0,1      | 0,1       |
|                                                                  | 689497   | 1105890 | 2689     | 639  | 42     | 27      | 0,8             | 0        | 0,5       |
|                                                                  | 689541   | 1105881 | 2629     | 586  | 55     | 35      | 0,7             | 0        | 0,7       |
|                                                                  | 689575   | 1105852 | 4634     | 1278 | 70     | 27      | 1,7             | 0        | 0,6       |
|                                                                  | 689627   | 1105846 | 2862     | 681  | 58     | 23      | 0,8             | 0,1      | 0,2       |
|                                                                  | 689664   | 1105842 | 2762     | 561  | 94     | 23      | 0,6             | 0,6      | 0,1       |
|                                                                  | 689707   | 1105840 | 2998     | 536  | 152    | 32      | 0,5             | 1,2      | 0,4       |
|                                                                  | 689757   | 1105846 | 3598     | 768  | 157    | 39      | 0,8             | 1,2      | 0,7       |
|                                                                  | 689793   | 1105835 | 2970     | 566  | 140    | 24      | 0,5             | 1,1      | 0,2       |
|                                                                  | 689832   | 1105829 | 3429     | 720  | 130    | 35      | 0,8             | 0,9      | 0,6       |
|                                                                  | 689864   | 1105804 | 3153     | 517  | 199    | 41      | 0,4             | 1,7      | 0,7       |

| SECTOR LOS COROZOS |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|--------------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
|                    |          |         | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
| PERFIL             | LONGITUD | LATITUD | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 1         | 686009   | 1104328 | 4902    | 1388   | 468     | 5,2             | 12,5     | 17,5      |
|                    | 685997   | 1104349 | 3406    | 1083   | 383     | 3,4             | 9,6      | 13,9      |
|                    | 685998   | 1104370 | 3908    | 1269   | 475     | 3,9             | 11,1     | 17,5      |
|                    | 685977   | 1104402 | 3206    | 569    | 567     | 3,8             | 4,1      | 10,1      |
|                    | 685973   | 1104413 | 3160    | 565    | 223     | 3,7             | 4,4      | 8,3       |
|                    | 685973   | 1104434 | 4018    | 534    | 211     | 5               | 4        | 8,2       |
|                    | 685958   | 1104462 | 2610    | 479    | 213     | 3               | 3,5      | 7,8       |
|                    | 685898   | 1104496 | 4761    | 476    | 193     | 6,1             | 3,3      | 7,8       |
|                    | 685941   | 1104510 | 5098    | 595    | 198     | 6,5             | 4,7      | 8         |
|                    | 685937   | 1104525 | 5250    | 567    | 215     | 6,7             | 4,2      | 8,7       |
|                    | 685950   | 1104538 | 4587    | 559    | 228     | 5,8             | 4,1      | 9         |
|                    | 685913   | 1104608 | 1621    | 410    | 274     | 1,7             | 2,3      | 10        |
|                    | 685898   | 1104626 | 2572    | 424    | 243     | 3               | 2,6      | 9         |
|                    | 685898   | 1104626 | 2056    | 359    | 223     | 2,4             | 2        | 8,1       |
|                    | 685905   | 1104669 | 6613    | 698    | 290     | 8,5             | 5        | 12,1      |
|                    | 685889   | 1104680 | 3617    | 539    | 273     | 4,4             | 3,6      | 10,4      |
|                    | 685869   | 1104727 | 11229   | 1707   | 565     | 13,9            | 14,8     | 23,1      |
|                    | 685849   | 1104728 | 14372   | 1428   | 500     | 18,7            | 11,3     | 22        |
|                    | 685877   | 1104738 | 5795    | 753    | 359     | 7,3             | 5,3      | 14,4      |
|                    | 685835   | 1104771 | 8012    | 1008   | 381     | 10,1            | 8        | 15,7      |
|                    | 685849   | 1104804 | 6851    | 800    | 410     | 8,7             | 5,3      | 16,7      |
|                    | 685835   | 1104830 | 7005    | 854    | 416     | 8,9             | 5,9      | 16,8      |
|                    | 685830   | 1104851 | 6420    | 783    | 371     | 8,1             | 5,4      | 15        |
|                    | 685825   | 1104871 | 4957    | 713    | 328     | 6,1             | 5,1      | 12,9      |
|                    | 685806   | 1104887 | 6240    | 797    | 363     | 7,8             | 5,7      | 14,5      |
|                    | 685797   | 1104924 | 6486    | 831    | 383     | 8,1             | 6        | 15,4      |
|                    | 685785   | 1104943 | 5308    | 679    | 261     | 6,7             | 5,2      | 10,4      |
|                    | 685784   | 1104958 | 4037    | 465    | 199     | 5,1             | 3,2      | 7,8       |
|                    | 685769   | 1104988 | 3776    | 527    | 249     | 4,6             | 3,7      | 9,6       |
|                    | 685764   | 1105003 | 3667    | 487    | 239     | 4,5             | 3,2      | 9,2       |
|                    | 685750   | 1105034 | 4435    | 518    | 216     | 5,6             | 3,7      | 8,5       |
|                    | 685741   | 1105048 | 4903    | 401    | 206     | 6,4             | 2,2      | 8,4       |
|                    | 685733   | 1105069 | 1858    | 538    | 272     | 1,9             | 3,9      | 9,8       |
|                    | 685737   | 1105090 | 3590    | 493    | 229     | 4,4             | 3,4      | 8,8       |
|                    | 685701   | 1105106 | 4092    | 538    | 187     | 5,1             | 4,2      | 7,3       |
|                    | 685700   | 1105137 | 3404    | 548    | 196     | 4,1             | 4,4      | 7,3       |

| SECTOR LOS COROZOS |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|--------------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL             | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                    |          |         | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 7         | 685899   | 1104312 | 3598    | 1508   | 724     | 3,1             | 12,1     | 26,9      |
|                    | 685895   | 1104329 | 4587    | 1315   | 411     | 4,8             | 12,1     | 15,2      |
|                    | 685893   | 1104353 | 2955    | 652    | 241     | 3,3             | 5,4      | 8,9       |
|                    | 685890   | 1104377 | 8102    | 701    | 258     | 10,6            | 5,1      | 11,3      |
|                    | 685883   | 1104399 | 3806    | 538    | 215     | 4,7             | 4,1      | 8,3       |
|                    | 685879   | 1104421 | 3831    | 493    | 209     | 4,8             | 3,5      | 8,1       |
|                    | 685880   | 1104447 | 6588    | 529    | 206     | 8,7             | 3,6      | 8,9       |
|                    | 685874   | 1104470 | 6495    | 566    | 206     | 8,5             | 4,1      | 8,8       |
|                    | 685863   | 1104501 | 4220    | 531    | 240     | 5,3             | 3,7      | 9,5       |
|                    | 685858   | 1104521 | 3123    | 493    | 224     | 3,8             | 3,5      | 8,5       |
|                    | 685850   | 1104548 | 4091    | 558    | 198     | 5,1             | 4,4      | 7,7       |
|                    | 685843   | 1104562 | 5152    | 553    | 242     | 6,6             | 3,8      | 9,8       |
|                    | 685833   | 1104587 | 8163    | 623    | 239     | 10,8            | 4,2      | 10,6      |
|                    | 685823   | 1104612 | 1528    | 441    | 199     | 1,5             | 3,3      | 6,9       |
|                    | 685808   | 1104643 | 2753    | 444    | 206     | 3,3             | 3,1      | 7,6       |
|                    | 685808   | 1104647 | 4724    | 1154   | 315     | 5,2             | 10,9     | 11,7      |
|                    | 685798   | 1104671 | 7179    | 1504   | 362     | 8,3             | 14,5     | 13,9      |
|                    | 685789   | 1104693 | 6141    | 1705   | 420     | 6,6             | 16,7     | 15,7      |
|                    | 685773   | 1104718 | 6439    | 2355   | 666     | 6,2             | 22,9     | 24,5      |
|                    | 685762   | 1104737 | 7382    | 1702   | 516     | 8,4             | 15,7     | 19,8      |
|                    | 685767   | 1104754 | 5123    | 1719   | 449     | 5,1             | 16,8     | 16,3      |
|                    | 685754   | 1104779 | 8507    | 2174   | 418     | 9,4             | 22,3     | 15,8      |
|                    | 685749   | 1104802 | 7430    | 2065   | 369     | 8               | 21,5     | 13,6      |
|                    | 685758   | 1104821 | 6087    | 1645   | 376     | 6,6             | 16,4     | 13,9      |
|                    | 685758   | 1104821 | 6247    | 2075   | 405     | 6,3             | 21,5     | 14,6      |
|                    | 685758   | 1104821 | 6213    | 2704   | 355     | 5,5             | 29,9     | 11,8      |
|                    | 685725   | 1104896 | 5114    | 2470   | 315     | 4,2             | 27,5     | 10,1      |
|                    | 685708   | 1104934 | 4857    | 3033   | 352     | 3,2             | 34,3     | 10,7      |
|                    | 685713   | 1104951 | 3963    | 2415   | 323     | 2,6             | 26,9     | 10        |
|                    | 685710   | 1104966 | 5098    | 3061   | 362     | 3,5             | 34,5     | 11,2      |
|                    | 685703   | 1104995 | 5946    | 3472   | 320     | 4,2             | 39,9     | 9,4       |
|                    | 685702   | 1105018 | 5838    | 3009   | 298     | 4,6             | 34,3     | 9         |
|                    | 685697   | 1105044 | 5068    | 3238   | 329     | 3,2             | 37       | 9,6       |
|                    | 685693   | 1105070 | 6051    | 1986   | 276     | 6,2             | 21,5     | 9,5       |
|                    | 685678   | 1105082 | 5141    | 1442   | 249     | 5,5             | 15       | 8,9       |
|                    | 685681   | 1105117 | 4031    | 821    | 229     | 4,7             | 7,5      | 8,5       |

| SECTOR LOS COROZOS |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|--------------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL             | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                    |          |         | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 8         | 686107   | 1104302 | 3026    | 430    | 225     | 3               | 2,5      | 9         |
|                    | 686128   | 1104302 | 7205    | 1206   | 478     | 2,6             | 2,3      | 7,6       |
|                    | 686108   | 1104306 | 5078    | 761    | 402     | 2,8             | 1,6      | 10,4      |
|                    | 686098   | 1104325 | 4713    | 845    | 407     | 2,9             | 1,9      | 9,4       |
|                    | 686084   | 1104349 | 6237    | 717    | 339     | 8               | 3,8      | 10,5      |
|                    | 686072   | 1104365 | 3797    | 715    | 433     | 3,7             | 2,1      | 7,5       |
|                    | 686068   | 1104394 | 1424    | 578    | 275     | 2,7             | 2,3      | 9,3       |
|                    | 686066   | 1104421 | 6139    | 1714   | 645     | 3,8             | 2        | 7,9       |
|                    | 686063   | 1104444 | 3929    | 1899   | 535     | 5,4             | 2,6      | 8,5       |
|                    | 686061   | 1104463 | 4928    | 1016   | 501     | 5,7             | 7,5      | 19,3      |
|                    | 686053   | 1104490 | 4187    | 433    | 216     | 3,2             | 18,6     | 19,1      |
|                    | 686050   | 1104512 | 3022    | 363    | 207     | 6,5             | 15       | 24,4      |
|                    | 686046   | 1104533 | 2286    | 401    | 252     | 1,2             | 4,4      | 9,7       |
|                    | 686041   | 1104549 | 2993    | 361    | 199     | 4,4             | 4,5      | 16,5      |
|                    | 686035   | 1104590 | 6144    | 570    | 252     | 7,9             | 4,9      | 13,7      |
|                    | 686030   | 1104591 | 2403    | 378    | 252     | 5,6             | 6,2      | 15,8      |
|                    | 686021   | 1104613 | 2335    | 371    | 278     | 6,2             | 5,1      | 15,7      |
|                    | 685997   | 1104655 | 2538    | 418    | 241     | 3,7             | 2,7      | 8,5       |
|                    | 685984   | 1104676 | 2215    | 374    | 209     | 8,7             | 9,8      | 18,9      |
|                    | 685976   | 1104698 | 2101    | 341    | 229     | 2,5             | 1,7      | 8,4       |
|                    | 685970   | 1104700 | 4208    | 413    | 189,5   | 5,4             | 2,7      | 7,6       |
|                    | 685967   | 1104710 | 1393    | 449    | 179     | 1,3             | 3,6      | 6,1       |
|                    | 685950   | 1104745 | 1249    | 423    | 200     | 1,2             | 3,1      | 7         |
|                    | 685953   | 1104770 | 15304   | 1203   | 335     | 20,4            | 9,6      | 16,2      |
|                    | 685946   | 1104794 | 13584   | 1237   | 339     | 17,9            | 10,3     | 15,6      |
|                    | 685943   | 1104808 | 4887    | 555    | 236     | 6,2             | 3,9      | 9,4       |
|                    | 685925   | 1104834 | 3860    | 468    | 219     | 4,9             | 3,1      | 8,5       |
|                    | 685918   | 1104850 | 4375    | 648    | 292     | 5,4             | 4,7      | 11,3      |
|                    | 685916   | 1104874 | 5846    | 601    | 246     | 7,5             | 4,3      | 10,1      |
|                    | 685902   | 1104904 | 4700    | 830    | 394     | 5,6             | 6,1      | 15,3      |
|                    | 685881   | 1104925 | 5152    | 822    | 354     | 6,3             | 6,3      | 13,9      |
|                    | 685891   | 1104956 | 6575    | 961    | 395     | 8,1             | 7,5      | 15,8      |
|                    | 685888   | 1104980 | 4206    | 660    | 318     | 5,1             | 4,7      | 12,3      |
|                    | 685876   | 1105010 | 4271    | 714    | 349     | 5,1             | 5,1      | 13,4      |
|                    | 685862   | 1105048 | 5506    | 504    | 209     | 7,2             | 3,4      | 8,6       |
|                    | 685843   | 1105075 | 5235    | 671    | 280     | 6,6             | 5        | 11,2      |
|                    | 685839   | 1105102 | 5697    | 761    | 329     | 7,1             | 5,6      | 13,1      |
|                    | 685827   | 1105111 | 3105    | 458    | 260     | 3,8             | 2,8      | 9,9       |
|                    | 685822   | 1105115 | 2806    | 442    | 223     | 3,4             | 2,9      | 8,3       |
|                    | 685819   | 1105128 | 4050    | 511    | 222     | 5,1             | 3,6      | 8,6       |
|                    | 685801   | 1105141 | 3001    | 482    | 222     | 3,6             | 3,4      | 8,3       |

| SECTOR LOS COROZOS |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|--------------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
|                    |          |         | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
| PERFIL             | LONGITUD | LATITUD | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 9         | 685882   | 1104179 | 7945    | 3138   | 732     | 7,4             | 32       | 26,6      |
|                    | 685872   | 1104216 | 6870    | 1926   | 651     | 7,3             | 17,5     | 24,7      |
|                    | 685857   | 1104223 | 6047    | 1449   | 530     | 6,8             | 12,6     | 20,3      |
|                    | 685853   | 1104250 | 5702    | 1617   | 588     | 6               | 14,3     | 22,2      |
|                    | 685858   | 1104270 | 6661    | 1858   | 620     | 7,1             | 16,9     | 23,5      |
|                    | 685847   | 1104289 | 4195    | 1232   | 446     | 4,4             | 10,8     | 16,5      |
|                    | 685837   | 1104307 | 3326    | 516    | 217     | 4               | 3,8      | 8,2       |
|                    | 685827   | 1104334 | 4908    | 501    | 230     | 6,3             | 3,3      | 9,3       |
|                    | 685817   | 1104356 | 4156    | 453    | 221     | 5,3             | 2,8      | 8,8       |
|                    | 685829   | 1104369 | 3945    | 485    | 211     | 5               | 3,4      | 8,2       |
|                    | 685797   | 1104399 | 3153    | 438    | 189     | 3,9             | 3,1      | 7,1       |
|                    | 685784   | 1104419 | 3582    | 343    | 158     | 4,6             | 2,1      | 6,2       |
|                    | 685780   | 1104435 | 3646    | 476    | 236     | 4,5             | 3,1      | 9,1       |
|                    | 685762   | 1104461 | 2861    | 469    | 249     | 3,4             | 3        | 9,3       |
|                    | 685766   | 1104485 | 2183    | 405    | 209     | 2,5             | 2,7      | 7,6       |
|                    | 685750   | 1104515 | 3512    | 437    | 209     | 4,4             | 2,9      | 8         |
|                    | 685742   | 1104534 | 4815    | 444    | 233     | 6,2             | 2,6      | 9,4       |
|                    | 685735   | 1104548 | 3940    | 398    | 218     | 5               | 2,2      | 8,6       |
|                    | 685730   | 1104579 | 6676    | 481    | 203     | 8,9             | 3        | 8,8       |
|                    | 685725   | 1104600 | 5116    | 460    | 215     | 6,7             | 2,9      | 8,8       |
|                    | 685724   | 1104630 | 3277    | 386    | 205     | 4,1             | 2,3      | 7,9       |
|                    | 685721   | 1104646 | 3442    | 295    | 198     | 4,3             | 2,4      | 7,7       |
|                    | 685723   | 1104653 | 4543    | 472    | 246     | 5,8             | 2,8      | 9,8       |
|                    | 685725   | 1104691 | 3910    | 581    | 256     | 4,8             | 4,2      | 9,8       |
|                    | 685718   | 1104717 | 3953    | 594    | 301     | 4,8             | 4        | 11,6      |
|                    | 685715   | 1104740 | 5562    | 788    | 384     | 6,9             | 5,5      | 15,2      |
|                    | 685709   | 1104764 | 4379    | 735    | 351     | 5,2             | 5,3      | 13,6      |
|                    | 685702   | 1104789 | 4262    | 777    | 359     | 5               | 5,8      | 13,7      |
|                    | 685688   | 1104796 | 5245    | 831    | 362     | 6,4             | 6,3      | 14,1      |
|                    | 685681   | 1104830 | 6963    | 787    | 283     | 8,9             | 6,2      | 11,8      |
|                    | 685678   | 1104841 | 3937    | 652    | 296     | 4,7             | 4,8      | 11,3      |
|                    | 685672   | 1104883 | 5086    | 532    | 269     | 6,5             | 3,3      | 10,8      |
|                    | 685650   | 1104902 | 6791    | 674    | 275     | 8,8             | 4,8      | 11,5      |
|                    | 685646   | 1104916 | 5297    | 534    | 241     | 6,8             | 3,6      | 9,8       |
|                    | 685632   | 1104939 | 3723    | 478    | 182     | 4,6             | 3,6      | 7         |
|                    | 685622   | 1104965 | 4590    | 567    | 207     | 5,8             | 4,4      | 8,2       |
|                    | 685618   | 1104986 | 3815    | 527    | 276     | 4,7             | 3,4      | 10,6      |
|                    | 685601   | 1104998 | 1728    | 523    | 235     | 1,7             | 4        | 8,3       |
|                    | 685593   | 1105005 | 1863    | 517    | 232     | 3,4             | 3,8      | 8,6       |
|                    | 685577   | 1105015 | 3258    | 448    | 192     | 4               | 3,2      | 7,3       |
|                    | 685552   | 1105046 | 4995    | 450    | 236     | 6,5             | 2,6      | 9,6       |

| SECTOR LOS COROZOS |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|--------------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL             | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                    |          |         | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 10        | 686277   | 1104274 | 4152    | 680    | 358     | 5               | 4,6      | 13,8      |
|                    | 686261   | 1104290 | 7872    | 806    | 451     | 10,2            | 4,8      | 18,6      |
|                    | 686272   | 1104297 | 5247    | 796    | 301     | 6,4             | 6,3      | 11,8      |
|                    | 686255   | 1104332 | 2903    | 772    | 401     | 3,1             | 5,6      | 15        |
|                    | 686245   | 1104354 | 6829    | 1114   | 551     | 8,3             | 8,1      | 21,8      |
|                    | 686232   | 1104373 | 6820    | 898    | 566     | 8,5             | 5,2      | 22,6      |
|                    | 686208   | 1104397 | 4387    | 527    | 337     | 5,5             | 2,8      | 13,3      |
|                    | 686202   | 1104423 | 2709    | 458    | 258     | 3,2             | 2,9      | 9,7       |
|                    | 686190   | 1104440 | 2439    | 393    | 242     | 2,9             | 2,2      | 9         |
|                    | 686177   | 1104463 | 2157    | 334    | 215     | 2,6             | 1,7      | 7,9       |
|                    | 686162   | 1104485 | 2767    | 357    | 229     | 3,4             | 1,8      | 8,6       |
|                    | 686152   | 1104509 | 3002    | 355    | 214     | 3,8             | 1,9      | 8,2       |
|                    | 686140   | 1104529 | 2745    | 382    | 221     | 3,4             | 2,2      | 8,3       |
|                    | 686132   | 1104554 | 2730    | 320    | 217     | 3,4             | 1,5      | 8,3       |
|                    | 686125   | 1104579 | 2531    | 325    | 197     | 3,1             | 1,7      | 7,4       |
|                    | 686106   | 1104609 | 2647    | 328    | 202     | 3,3             | 1,7      | 7,6       |
|                    | 686112   | 1104615 | 5479    | 504    | 254     | 7,1             | 3        | 10,5      |
|                    | 686107   | 1104626 | 3261    | 338    | 212     | 4,1             | 1,6      | 8,2       |
|                    | 686093   | 1104657 | 3607    | 382    | 210     | 4,6             | 2,1      | 8,3       |
|                    | 686086   | 1104676 | 2751    | 422    | 250     | 3,3             | 2,4      | 9,5       |
|                    | 686078   | 1104695 | 1377    | 405    | 217     | 1,4             | 2,7      | 7,7       |
|                    | 686070   | 1104723 | 4692    | 359    | 169     | 6,2             | 2        | 7         |
|                    | 686060   | 1104749 | 2513    | 317    | 197     | 3,1             | 1,6      | 7,4       |
|                    | 686042   | 1104768 | 1301    | 302    | 173     | 1,4             | 1,8      | 6         |
|                    | 686044   | 1104792 | 1068    | 282    | 189     | 1,1             | 1,5      | 6,6       |
|                    | 686044   | 1104829 | 2405    | 367    | 208     | 2,9             | 2,2      | 7,7       |
|                    | 686031   | 1104848 | 2348    | 358    | 209     | 2,8             | 2,1      | 7,7       |
|                    | 686025   | 1104871 | 4667    | 546    | 226     | 5,9             | 3,9      | 8,9       |
|                    | 686037   | 1104888 | 11321   | 1475   | 557     | 14,3            | 11,9     | 23,2      |
|                    | 686013   | 1104916 | 6219    | 903    | 615     | 7,6             | 4,9      | 24,3      |
|                    | 686002   | 1104936 | 3065    | 533    | 279     | 3,6             | 3,6      | 10,5      |
|                    | 685988   | 1104962 | 3191    | 401    | 247     | 4               | 2,1      | 9,5       |
|                    | 685978   | 1104979 | 3146    | 511    | 254     | 3,8             | 3,5      | 9,6       |
|                    | 685972   | 1104992 | 3248    | 364    | 217     | 4,1             | 1,9      | 8,4       |
|                    | 685959   | 1105012 | 5123    | 407    | 217     | 6,7             | 2,2      | 9         |
|                    | 685950   | 1105039 | 4970    | 446    | 208     | 6,5             | 2,7      | 8,5       |
|                    | 685935   | 1105055 | 4465    | 480    | 265     | 5,7             | 2,8      | 10,5      |
|                    | 685934   | 1105069 | 3248    | 391    | 230     | 4,1             | 2,1      | 8,9       |
|                    | 685922   | 1105098 | 2482    | 374    | 213     | 3               | 2,2      | 7,9       |
|                    | 685917   | 1105122 | 2957    | 380    | 236     | 3,7             | 2        | 8,9       |
|                    | 685912   | 1105147 | 2663    | 362    | 237     | 3,3             | 1,8      | 9         |



| SECTOR EL VALLE |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|-----------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL          | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                 |          |         | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 1      | 690713   | 1105696 | 8652    | 896    | 416     | 11,2            | 6,1      | 17,4      |
|                 | 690728   | 1105744 | 10352   | 954    | 385     | 13,5            | 6,9      | 16,7      |
|                 | 690728   | 1105755 | 6993    | 866    | 411     | 8,8             | 6        | 16,7      |
|                 | 690718   | 1105799 | 5261    | 588    | 277     | 6,7             | 3,9      | 11,2      |
|                 | 690718   | 1105805 | 5305    | 693    | 426     | 6,6             | 4        | 16,8      |
|                 | 690712   | 1105823 | 5614    | 603    | 259     | 7,2             | 4,2      | 10,5      |
|                 | 690711   | 1105824 | 5405    | 611    | 249     | 6,9             | 4,5      | 10        |
|                 | 690713   | 1105908 | 9224    | 860    | 559     | 12              | 4,4      | 23,2      |
|                 | 690702   | 1105922 | 7279    | 1036   | 674     | 9               | 6        | 26,9      |
|                 | 690735   | 1105936 | 6382    | 643    | 256     | 8,3             | 4,6      | 10,6      |
|                 | 690706   | 1105947 | 11526   | 1517   | 688     | 14,5            | 11,3     | 28,3      |
|                 | 690691   | 1105976 | 5184    | 913    | 566     | 6,2             | 5,6      | 22        |
|                 | 690687   | 1105994 | 5407    | 926    | 314     | 6,5             | 7,4      | 14,6      |
|                 | 690689   | 1106020 | 3470    | 473    | 209     | 4,3             | 3,3      | 8         |
|                 | 690677   | 1106039 | 4257    | 470    | 243     | 5,4             | 2,9      | 9,6       |
|                 | 690670   | 1106064 | 7995    | 538    | 216     | 10,7            | 3,4      | 9,7       |
|                 | 690671   | 1106087 | 5535    | 489    | 173     | 7,2             | 3,5      | 7,2       |
|                 | 690681   | 1106109 | 7312    | 482    | 208     | 9,8             | 2,8      | 9,3       |
|                 | 690675   | 1106130 | 3916    | 452    | 244     | 4,9             | 2,7      | 9,6       |
|                 | 690667   | 1106156 | 6691    | 694    | 251     | 8,6             | 5,3      | 10,5      |
|                 | 690657   | 1106181 | 4419    | 481    | 249     | 5,6             | 3        | 9,9       |
|                 | 690652   | 1106213 | 5296    | 571    | 189     | 6,8             | 4,5      | 7,7       |
|                 | 690644   | 1106225 | 4725    | 462    | 223     | 6,1             | 2,9      | 8,9       |
|                 | 690645   | 1106255 | 3940    | 569    | 224     | 4,8             | 4,3      | 8,7       |
|                 | 690647   | 1106277 | 2556    | 715    | 241     | 2,7             | 6,3      | 8,6       |
|                 | 690642   | 1106294 | 3850    | 871    | 265     | 4,3             | 7,8      | 9,8       |
|                 | 690627   | 1106302 | 4639    | 793    | 242     | 5,6             | 6,9      | 9,3       |
|                 | 690636   | 1106345 | 4695    | 845    | 221     | 5,6             | 7,7      | 8,4       |
|                 | 690626   | 1106365 | 3913    | 739    | 244     | 4,6             | 6,3      | 9,2       |
|                 | 690610   | 1106398 | 5570    | 655    | 236     | 7,15            | 9,5      | 9,3       |
|                 | 690615   | 1106411 | 5177    | 611    | 231     | 6,5             | 5,4      | 9,2       |
|                 | 690603   | 1106439 | 5977    | 756    | 231     | 7,5             | 6,3      | 9,4       |
|                 | 690615   | 1106461 | 8075    | 796    | 236     | 10,5            | 6,5      | 10,2      |
|                 | 690618   | 1106465 | 7803    | 688    | 257     | 10,2            | 5        | 11,2      |
|                 | 690602   | 1106507 | 5845    | 710    | 228     | 7,4             | 5,8      | 9,3       |
|                 | 690596   | 1106527 | 3820    | 592    | 236     | 4,6             | 4,6      | 9         |
|                 | 690606   | 1106549 | 4021    | 584    | 277     | 4,9             | 4,1      | 10,8      |
|                 | 690591   | 1106574 | 6610    | 707    | 275     | 8,5             | 5,3      | 11,4      |

| SECTOR EL VALLE |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|-----------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL          | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                 |          |         | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 7      | 690649   | 1105704 | 3630    | 462    | 222     | 4,5             | 3,1      | 8,6       |
|                 | 690648   | 1105747 | 10125   | 1250   | 547     | 12,8            | 9,3      | 22,6      |
|                 | 690640   | 1105774 | 8725    | 1403   | 535     | 10,7            | 11,5     | 21,4      |
|                 | 690644   | 1105791 | 8446    | 1201   | 562     | 10,5            | 8,8      | 22,6      |
|                 | 690638   | 1105809 | 7367    | 1002   | 460     | 9,2             | 7,3      | 18,6      |
|                 | 690637   | 1105822 | 9836    | 1137   | 478     | 12,6            | 8,5      | 19,9      |
|                 | 690639   | 1105870 | 8000    | 1007   | 382     | 10,1            | 8        | 15,7      |
|                 | 690699   | 1105875 | 7814    | 911    | 395     | 10              | 6,6      | 16,3      |
|                 | 690622   | 1105897 | 4538    | 567    | 268     | 5,7             | 3,9      | 10,6      |
|                 | 690636   | 1105923 | 5003    | 884    | 518     | 5,9             | 5,7      | 20,1      |
|                 | 690628   | 1105938 | 4759    | 852    | 556     | 5,6             | 5        | 21,5      |
|                 | 690623   | 1105941 | 3917    | 809    | 509     | 4,5             | 5        | 19,5      |
|                 | 690619   | 1105976 | 6691    | 1352   | 613     | 7,8             | 10,6     | 23,8      |
|                 | 690612   | 1105997 | 11540   | 1141   | 495     | 15              | 8,1      | 21,2      |
|                 | 690603   | 1106024 | 4751    | 631    | 385     | 5,9             | 3,7      | 15,1      |
|                 | 690597   | 1106045 | 3902    | 425    | 237     | 5               | 2,4      | 9,4       |
|                 | 690593   | 1106067 | 4585    | 423    | 218     | 5,9             | 2,4      | 8,8       |
|                 | 690596   | 1106090 | 8284    | 449    | 228     | 11,2            | 2,1      | 10,5      |
|                 | 690610   | 1106115 | 5185    | 467    | 216     | 6,7             | 3        | 8,8       |
|                 | 690588   | 1106137 | 8837    | 476    | 237     | 12              | 2,3      | 11        |
|                 | 690570   | 1106161 | 9124    | 573    | 239     | 12,3            | 3,4      | 11        |
|                 | 690582   | 1106186 | 5101    | 434    | 234     | 6,7             | 2,4      | 9,6       |
|                 | 690572   | 1106205 | 5549    | 453    | 217     | 7,3             | 2,7      | 9,1       |
|                 | 690560   | 1106241 | 5640    | 546    | 249     | 7,3             | 3,6      | 10,2      |
|                 | 690567   | 1106262 | 4214    | 444    | 215     | 5,4             | 2,8      | 8,5       |
|                 | 690558   | 1106268 | 3738    | 449    | 217     | 4,7             | 2,9      | 8,5       |
|                 | 690553   | 1106300 | 3842    | 405    | 213     | 4,9             | 2,4      | 8,3       |
|                 | 690543   | 1106328 | 3603    | 414    | 232     | 4,5             | 2,4      | 9         |
|                 | 690534   | 1106341 | 3927    | 388    | 232     | 5               | 2        | 9,2       |
|                 | 690546   | 1106351 | 3701    | 419    | 227     | 4,7             | 2,4      | 8,9       |
|                 | 690530   | 1106395 | 3920    | 429    | 239     | 5               | 2,4      | 9,4       |
|                 | 690529   | 1106422 | 4608    | 446    | 232     | 5,9             | 2,6      | 9,3       |
|                 | 690522   | 1106438 | 5964    | 459    | 218     | 7,9             | 2,7      | 9,3       |
|                 | 690519   | 1106444 | 5320    | 555    | 214     | 6,8             | 4        | 8,8       |
|                 | 690508   | 1106506 | 4592    | 460    | 211     | 5,9             | 3        | 8,5       |
|                 | 690509   | 1106529 | 3692    | 397    | 221     | 4,7             | 2,2      | 8,7       |

| SECTOR EL VALLE |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|-----------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL          | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                 |          |         | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 9      | 690586   | 1105700 | 9517    | 1319   | 602     | 11,9            | 9,8      | 24,4      |
|                 | 690581   | 1105717 | 7992    | 1066   | 498     | 10              | 7,7      | 20,2      |
|                 | 690577   | 1105747 | 6084    | 805    | 400     | 7,6             | 5,5      | 16        |
|                 | 690569   | 1105785 | 6565    | 636    | 300     | 8,5             | 4,1      | 12,5      |
|                 | 690566   | 1105808 | 6694    | 664    | 346     | 8,7             | 4,1      | 14,2      |
|                 | 690565   | 1105831 | 7264    | 913    | 269     | 9,2             | 7,8      | 11,1      |
|                 | 690566   | 1105835 | 4044    | 510    | 234     | 5,1             | 3,5      | 9,2       |
|                 | 690565   | 1105846 | 3352    | 463    | 246     | 4,1             | 2,9      | 9,4       |
|                 | 690579   | 1105856 | 3258    | 406    | 208     | 4,1             | 2,5      | 8         |
|                 | 690576   | 1105895 | 5387    | 861    | 607     | 6,5             | 4,6      | 23,8      |
|                 | 690568   | 1105906 | 2544    | 910    | 487     | 2,4             | 6,7      | 18,1      |
|                 | 690567   | 1105936 | 2987    | 547    | 306     | 3,5             | 3,6      | 11,5      |
|                 | 690560   | 1105966 | 2963    | 487    | 285     | 3,5             | 3        | 10,8      |
|                 | 690553   | 1105988 | 5831    | 600    | 319     | 7,5             | 3,7      | 12,9      |
|                 | 690552   | 1106011 | 2629    | 598    | 299     | 2,9             | 4,3      | 11        |
|                 | 690543   | 1106038 | 3056    | 443    | 213     | 3,7             | 3        | 8         |
|                 | 690512   | 1106059 | 2546    | 421    | 215     | 3               | 2,8      | 8         |
|                 | 690536   | 1106086 | 2609    | 448    | 209     | 3,1             | 3,2      | 7,7       |
|                 | 690531   | 1106101 | 6878    | 557    | 208     | 9,1             | 3,9      | 9,1       |
|                 | 690526   | 1106123 | 6204    | 609    | 234     | 8               | 4,4      | 9,8       |
|                 | 690532   | 1106156 | 8948    | 581    | 232     | 12              | 3,7      | 10,7      |
|                 | 690524   | 1106169 | 7250    | 623    | 259     | 9,5             | 4,2      | 11,1      |
|                 | 690512   | 1106204 | 4568    | 495    | 249     | 5,8             | 3,1      | 9,9       |
|                 | 690513   | 1106236 | 4579    | 493    | 220     | 5,8             | 3,3      | 8,9       |
|                 | 690512   | 1106240 | 4202    | 510    | 250     | 5,3             | 3,3      | 9,9       |
|                 | 690504   | 1106263 | 4255    | 552    | 249     | 5,3             | 3,9      | 9,7       |
|                 | 690499   | 1106279 | 2546    | 526    | 265     | 2,9             | 3,7      | 9,8       |
|                 | 690506   | 1106312 | 3616    | 471    | 242     | 4,5             | 3        | 9,3       |
|                 | 690498   | 1106330 | 3847    | 480    | 216     | 4,8             | 3,3      | 8,3       |
|                 | 690489   | 1106352 | 4325    | 471    | 216     | 5,5             | 3,1      | 8,5       |
|                 | 690482   | 1106385 | 4976    | 533    | 220     | 6,4             | 3,7      | 8,9       |
|                 | 690472   | 1106403 | 3762    | 513    | 185     | 4,7             | 4        | 7,1       |
|                 | 690465   | 1106438 | 4796    | 509    | 234     | 6,1             | 3,4      | 9,4       |
|                 | 690467   | 1106442 | 2304    | 523    | 202     | 2,6             | 4,2      | 7,2       |
|                 | 690471   | 1106471 | 5854    | 555    | 234     | 7,6             | 3,8      | 9,7       |
|                 | 690479   | 1106495 | 6463    | 576    | 202     | 8,5             | 4,2      | 8,6       |
|                 | 690459   | 1106508 | 7817    | 614    | 231     | 10,3            | 4,3      | 10,2      |
|                 | 690452   | 1106530 | 7219    | 515    | 225     | 9,6             | 3,1      | 9,9       |

| SECTOR EL VALLE |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|-----------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL          | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                 |          |         | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 11     | 690457   | 1105680 | 10353   | 805    | 375     | 13,7            | 5,1      | 16,5      |
|                 | 690461   | 1105708 | 8778    | 894    | 455     | 11,3            | 5,8      | 19        |
|                 | 690462   | 1105717 | 6944    | 625    | 333     | 9,1             | 3,7      | 13,8      |
|                 | 690461   | 1105718 | 6489    | 680    | 358     | 8,3             | 4,3      | 14,6      |
|                 | 690483   | 1105767 | 5853    | 772    | 401     | 7,3             | 5,1      | 16        |
|                 | 690481   | 1105777 | 5450    | 476    | 203     | 7,1             | 3,1      | 8,4       |
|                 | 690485   | 1105811 | 3607    | 442    | 226     | 4,5             | 2,8      | 8,7       |
|                 | 690481   | 1105823 | 4115    | 471    | 248     | 5,2             | 2,9      | 9,8       |
|                 | 690491   | 1105851 | 3229    | 465    | 280     | 3,9             | 2,7      | 10,8      |
|                 | 690484   | 1105877 | 3521    | 437    | 242     | 4,4             | 2,6      | 9,3       |
|                 | 690483   | 1105918 | 2685    | 477    | 267     | 3,1             | 3        | 10        |
|                 | 690478   | 1105929 | 3181    | 432    | 229     | 3,9             | 2,7      | 8,7       |
|                 | 690476   | 1105947 | 2966    | 439    | 251     | 3,6             | 2,6      | 9,5       |
|                 | 690470   | 1105973 | 2603    | 427    | 291     | 3,1             | 2,2      | 11        |
|                 | 690469   | 1105999 | 3055    | 415    | 285     | 3,7             | 2        | 10,9      |
|                 | 690443   | 1106031 | 1754    | 371    | 224     | 1,9             | 2,2      | 8,1       |
|                 | 690448   | 1106051 | 2575    | 387    | 257     | 3,1             | 2        | 9,7       |
|                 | 690444   | 1106074 | 3798    | 439    | 234     | 4,8             | 2,6      | 9,2       |
|                 | 690449   | 1106095 | 3055    | 432    | 251     | 3,7             | 2,5      | 9,6       |
|                 | 690446   | 1106128 | 2355    | 390    | 265     | 2,8             | 2        | 9,9       |
|                 | 690438   | 1106153 | 1975    | 426    | 256     | 2,2             | 2,6      | 9,3       |
|                 | 690442   | 1106193 | 6914    | 509    | 258     | 9,2             | 2,8      | 11,1      |
|                 | 690437   | 1106202 | 4717    | 418    | 231     | 6,1             | 2,3      | 9,4       |
|                 | 690435   | 1106225 | 3419    | 420    | 221     | 4,3             | 2,6      | 8,5       |
|                 | 690433   | 1106241 | 2755    | 400    | 261     | 3,3             | 2,1      | 9,9       |
|                 | 690425   | 1106262 | 2899    | 404    | 268     | 3,5             | 2,1      | 10,2      |
|                 | 690419   | 1106285 | 1917    | 374    | 246     | 2,2             | 2        | 9         |
|                 | 690412   | 1106311 | 2734    | 390    | 254     | 3,3             | 2        | 9,6       |
|                 | 690414   | 1106330 | 4366    | 415    | 259     | 5,6             | 2        | 10,3      |
|                 | 690402   | 1106351 | 4129    | 374    | 232     | 5,3             | 1,8      | 9,2       |
|                 | 690386   | 1106364 | 4634    | 425    | 211     | 6               | 2,5      | 8,6       |
|                 | 690366   | 1106390 | 5106    | 434    | 223     | 6,7             | 2,5      | 9,1       |
|                 | 690355   | 1106411 | 3600    | 355    | 242     | 4,6             | 1,5      | 9,5       |
|                 | 690350   | 1106431 | 4032    | 439    | 1204    | 5,1             | 2,8      | 8,1       |
|                 | 690342   | 1106450 | 4328    | 428    | 229     | 5,6             | 2,5      | 9,1       |
|                 | 690341   | 1106476 | 4048    | 430    | 261     | 5,2             | 2,3      | 10,3      |
|                 | 690335   | 1106517 | 3316    | 461    | 238     | 4,1             | 3        | 9,1       |
|                 | 690329   | 1106530 | 5792    | 524    | 205     | 7,6             | 3,7      | 8,6       |

| SECTOR EL VALLE |          |         |         |        |         |                 |          |           |
|-----------------|----------|---------|---------|--------|---------|-----------------|----------|-----------|
| PERFIL          | LONGITUD | LATITUD | CONTEOS |        |         | CONCENTRACIONES |          |           |
|                 |          |         | K(%)    | U(ppm) | Th(ppm) | C_K(%)          | C_U(ppm) | C_Th(ppm) |
| PERFIL # 13     | 690427   | 1105670 | 7427    | 1497   | 529     | 8,7             | 13       | 20,6      |
|                 | 690410   | 1105695 | 7520    | 1713   | 510     | 8,6             | 15,8     | 19,7      |
|                 | 690416   | 1105717 | 6337    | 1484   | 308     | 7,2             | 14,8     | 11,6      |
|                 | 690404   | 1105737 | 5177    | 583    | 260     | 6,6             | 4        | 10,5      |
|                 | 690404   | 1105763 | 5516    | 618    | 324     | 7               | 3,9      | 13,1      |
|                 | 690398   | 1105790 | 5374    | 508    | 246     | 7               | 3,2      | 10        |
|                 | 690397   | 1105808 | 2947    | 487    | 234     | 3,5             | 3,4      | 8,8       |
|                 | 690387   | 1105827 | 3996    | 528    | 251     | 5               | 3,6      | 9,8       |
|                 | 690389   | 1105854 | 3482    | 621    | 277     | 4,1             | 4,6      | 10,5      |
|                 | 690384   | 1105878 | 3534    | 551    | 225     | 4,3             | 4,2      | 8,5       |
|                 | 690380   | 1105899 | 3298    | 605    | 277     | 3,9             | 4,4      | 10,5      |
|                 | 690378   | 1105918 | 3829    | 610    | 254     | 4,6             | 4,6      | 9,7       |
|                 | 690376   | 1105941 | 3724    | 675    | 263     | 4,4             | 5,4      | 9,9       |
|                 | 690371   | 1105969 | 3053    | 682    | 272     | 3,4             | 5,5      | 10        |
|                 | 690365   | 1105993 | 2780    | 685    | 269     | 3               | 5,6      | 9,8       |
|                 | 690362   | 1106016 | 3183    | 612    | 284     | 3,7             | 4,5      | 10,7      |
|                 | 690358   | 1106034 | 3324    | 667    | 264     | 3,8             | 5,4      | 9,9       |
|                 | 690355   | 1106059 | 3854    | 709    | 264     | 4,5             | 5,8      | 10        |
|                 | 690350   | 1106087 | 4255    | 712    | 230     | 5,1             | 6        | 8,8       |
|                 | 690345   | 1106109 | 2641    | 677    | 251     | 2,8             | 5,7      | 9,1       |
|                 | 690341   | 1106138 | 2907    | 766    | 241     | 3,1             | 6,8      | 8,7       |
|                 | 690337   | 1106159 | 2861    | 830    | 265     | 3               | 7,5      | 9,5       |
|                 | 690326   | 1106187 | 3249    | 880    | 274     | 3,5             | 8        | 10        |
|                 | 690316   | 1106194 | 3993    | 960    | 252     | 4,4             | 9,1      | 9,2       |
|                 | 690301   | 1106217 | 3488    | 981    | 280     | 3,7             | 9,1      | 10,2      |
|                 | 690288   | 1106236 | 4174    | 1017   | 241     | 4,6             | 9,8      | 8,8       |
|                 | 690264   | 1106255 | 4411    | 973    | 242     | 5               | 9,2      | 9         |
|                 | 690255   | 1106278 | 4207    | 1050   | 217     | 4,6             | 10,4     | 7,9       |
|                 | 690238   | 1106293 | 4980    | 1280   | 237     | 5,5             | 13,1     | 8,6       |
|                 | 690225   | 1106308 | 5421    | 1407   | 259     | 6               | 14,4     | 9,4       |
|                 | 690190   | 1106356 | 5872    | 1076   | 236     | 7               | 10,3     | 9,1       |
|                 | 690156   | 1106363 | 4185    | 1700   | 284     | 3,8             | 18,1     | 9,6       |
|                 | 690160   | 1106382 | 3770    | 795    | 196     | 4,3             | 7,5      | 7,1       |
|                 | 690155   | 1106388 | 4490    | 919    | 214     | 5,2             | 8,7      | 8         |
|                 | 690137   | 1106407 | 4240    | 1520   | 237     | 4,1             | 16,2     | 8         |
|                 | 690111   | 1106428 | 5249    | 1780   | 325     | 5,2             | 18,6     | 11,5      |
|                 | 690105   | 1106458 | 5380    | 2332   | 302     | 4,8             | 25,8     | 9,9       |
|                 | 690085   | 1106462 | 5251    | 1337   | 265     | 5,8             | 13,5     | 9,7       |

**ANEXO II**  
**TABLA DE DATOS GEOQUÍMICOS**

| RELACIÓN ELEMENTO DEL MINERAL ANÓMALO Y RADIOELEMENTO EN ROCAS |           |            |       |          |                       |
|----------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------|----------|-----------------------|
| AUTOR                                                          | UTM(E)    | UTM(N)     | K (%) | Ba (ppm) | Muestras              |
| Gutiérrez, O. y Liendo, A. (2002).                             | 685900,00 | 1104697,00 | 0,738 | 58533,0  | BW <sub>a</sub> -1    |
|                                                                | 687611,00 | 1105427,00 | 0,094 | 39290,5  | 2B <sub>Na</sub> -523 |
|                                                                | 687908,00 | 1105513,00 | 0,090 | 60144,0  | B <sub>Na</sub> -527  |
|                                                                | 685906,00 | 1104721,00 | 0,287 | 4833,0   | 7B <sub>Na</sub> -528 |
|                                                                | 685901,00 | 1104644,00 | 0,217 | 358,0    | BS <sub>Na</sub>      |
|                                                                | 685885,00 | 1104696,00 | 0,004 | 89,5     | BS <sub>Na</sub> -2   |
|                                                                | 685907,00 | 1104704,00 | 0,299 | 1790,0   | BO <sub>a</sub>       |
|                                                                | 690723,00 | 1105727,00 | 0,291 | 206476,5 | EV1Q-14               |
|                                                                | 690712,00 | 1105823,00 | 0,488 | 984,5    | EV2P-1S               |
|                                                                | 690565,00 | 1105846,00 | 0,078 | 447,5    | EV2P-9U               |
|                                                                | 690565,00 | 1105831,00 | 0,213 | 268,5    | EV2Q-17               |
|                                                                | 690188,00 | 1105799,00 | 1,050 | 1432,0   | EV2P-1125S            |
|                                                                | 690729,00 | 1105861,00 | 0,381 | 1074,0   | EV2WP-920             |
|                                                                | 690767,00 | 1105843,00 | 0,336 | 171213,5 | EV2WP-921             |
|                                                                | 685932,00 | 1104732,00 | 0,558 | 895,0    | LC1C-1                |
|                                                                | 685930,00 | 1104746,00 | 0,344 | 537,0    | LC1C-3                |
|                                                                | 685964,00 | 1104756,00 | 0,025 | 895,0    | LC1C-12               |
|                                                                | 685744,00 | 1105056,00 | 0,041 | 11635,0  | LCP-#67N              |
|                                                                | 685741,00 | 1105047,00 | 0,021 | 358,0    | LCP-140ON2            |
|                                                                | 685782,00 | 1104951,00 | 0,775 | 1342,5   | LCP-12751             |
|                                                                | 685733,00 | 1105069,00 | 0,021 | 179,0    | LCP-13425N            |
|                                                                | 685889,00 | 1104811,00 | N/D   | 572442,0 | LC2P-10               |
|                                                                | 685977,00 | 1104647,00 | 2,103 | 9218,5   | LC2P-30               |
|                                                                | 686344,00 | 1105881,00 | 0,012 | 89,5     | LC2P-40               |
|                                                                | 686088,00 | 1105537,00 | 0,570 | 4206,5   | LC2P-50               |
|                                                                | 686230,00 | 1106142,00 | 0,226 | 447,5    | LC2P-225N             |
|                                                                | 685886,00 | 1104799,00 | 0,562 | 895,0    | LC2P-250S             |
|                                                                | 685888,00 | 1104798,00 | 0,398 | 447,5    | LC2P-275S             |
|                                                                | 686293,00 | 1105995,00 | 0,016 | 89,5     | LC2P-425N             |
|                                                                | 686170,00 | 1105554,00 | 2,632 | 21211,5  | LC2P-525N             |
|                                                                | 686279,00 | 1105625,00 | 2,325 | 6444,0   | LC2P-550N             |
|                                                                | 686242,00 | 1105598,00 | 0,098 | 447,5    | LC2P-575S             |
|                                                                | 685950,00 | 1104693,00 | 0,521 | 984,5    | LC2P-4100S            |
|                                                                | 687931,00 | 1109456,00 | 0,008 | 626,5    | LPA1QPA               |
|                                                                | 688131,00 | 1109756,00 | 0,135 | 895,0    | LPA1QPA(B)            |
|                                                                | 686809,00 | 1108246,00 | 0,882 | 895,0    | LP-310N1              |
|                                                                | 686759,00 | 1108146,00 | 2,013 | 1163,5   | LP-311N               |
|                                                                | 684876,00 | 1109387,00 | 0,012 | 565103,0 | LR-1QU                |
| Fuente: Instituto Nacional de Geología y Minería, 2001         | 685667,88 | 1104670,26 | 0,250 | N/D      | RLC <sub>1</sub>      |
|                                                                | 685789,66 | 1104625,43 | 0,168 | N/D      | RLC <sub>2</sub>      |
|                                                                | 685799,81 | 1104626,79 | 0,016 | 548523,0 | RLC <sub>28</sub>     |
|                                                                | 685946,96 | 1104675,69 | 0,021 | N/D      | RLC <sub>29</sub>     |
|                                                                | 685683,10 | 1106631,78 | 0,021 | N/D      | RCRP <sub>1</sub>     |
|                                                                | 685830,26 | 1106642,65 | 1,279 | N/D      | RLP <sub>1</sub>      |
|                                                                | 685952,04 | 1106637,22 | 0,964 | 24898,0  | RLP <sub>2</sub>      |
|                                                                | 686068,75 | 1106648,08 | 0,820 | N/D      | RLP <sub>3</sub>      |
|                                                                | 686160,09 | 1106702,42 | 0,410 | N/D      | RLP <sub>4</sub>      |
|                                                                | 686226,06 | 1106789,36 | 0,246 | N/D      | RLP <sub>5</sub>      |
|                                                                | 686281,88 | 1106887,16 | 0,299 | N/D      | RLP <sub>6</sub>      |
|                                                                | 686347,84 | 1106979,53 | 0,164 | N/D      | RLP <sub>7</sub>      |
|                                                                | 686418,88 | 1107077,34 | 0,205 | N/D      | RLP <sub>8</sub>      |
|                                                                | 686464,55 | 1107153,41 | 0,041 | N/D      | RLP <sub>9</sub>      |
|                                                                | 686505,15 | 1107251,21 | 1,968 | N/D      | RLP <sub>10</sub>     |
|                                                                | 686540,67 | 1107359,88 | 1,246 | N/D      | RLP <sub>11</sub>     |





|                                                                          |           |            |       |          |                    |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------|----------|--------------------|
| Fuente: Instituto Nacional de Geología y Minería, 2001                   | 686606,64 | 1107463,12 | 1,271 | N/D      | RLP <sub>12</sub>  |
|                                                                          | 686637,08 | 1107588,10 | 1,599 | N/D      | RLP <sub>13</sub>  |
|                                                                          | 686728,42 | 1107620,70 | 1,656 | N/D      | RLP <sub>14</sub>  |
|                                                                          | 686819,76 | 1107696,77 | 1,451 | N/D      | RLP <sub>14a</sub> |
|                                                                          | 686916,17 | 1107783,70 | 0,836 | N/D      | RLP <sub>14b</sub> |
|                                                                          | 687012,58 | 1107865,21 | 0,955 | N/D      | RLP <sub>15</sub>  |
|                                                                          | 687139,44 | 1107968,45 | 0,779 | N/D      | RLP <sub>16</sub>  |
|                                                                          | 687317,05 | 1108049,95 | 0,779 | N/D      | RLP <sub>17</sub>  |
|                                                                          | 687433,76 | 1108071,69 | 1,050 | N/D      | RLP <sub>18</sub>  |
|                                                                          | 687535,24 | 1108093,42 | 0,033 | N/D      | RLP <sub>19</sub>  |
|                                                                          | 687657,03 | 1108082,55 | 1,804 | N/D      | RLP <sub>20</sub>  |
|                                                                          | 687773,74 | 1108098,85 | 1,353 | N/D      | RLP <sub>21</sub>  |
|                                                                          | 687860,00 | 1108098,85 | 0,984 | N/D      | RLP <sub>22</sub>  |
|                                                                          | 688813,98 | 1108283,60 | 1,976 | N/D      | RLP <sub>22a</sub> |
|                                                                          | 688816,52 | 1108284,95 | 0,713 | N/D      | RLP <sub>25</sub>  |
|                                                                          | 688902,23 | 1108306,95 | 2,312 | N/D      | RLP <sub>26</sub>  |
|                                                                          | 688949,72 | 1108365,10 | 1,599 | N/D      | RLP <sub>27</sub>  |
|                                                                          | 688956,06 | 1108359,67 | 0,107 | N/D      | RTL <sub>2</sub>   |
|                                                                          | 684176,02 | 1109125,80 | 1,271 | N/D      | RTL <sub>3</sub>   |
|                                                                          | 684348,54 | 1109114,93 | 0,209 | N/D      | R <sub>1</sub> LR  |
|                                                                          | 684465,26 | 1109087,77 | 1,189 | N/D      | R <sub>2</sub> LR  |
|                                                                          | 684587,04 | 1109038,86 | 0,779 | N/D      | R <sub>3</sub> LR  |
|                                                                          | 684713,90 | 1108989,96 | 1,476 | N/D      | R <sub>4</sub> LR  |
|                                                                          | 684800,16 | 1108892,16 | 1,230 | N/D      | R <sub>5</sub> LR  |
|                                                                          | 688140,36 | 1109704,48 | 0,533 | N/D      | MR <sub>1</sub> LR |
|                                                                          | 688198,72 | 1109775,12 | 0,492 | N/D      | RPA                |
|                                                                          | 688198,72 | 1109775,12 | 1,041 | N/D      | RPA <sub>4</sub>   |
| Fuente: ZERPA, L. (1997)                                                 | 690752,54 | 1105908,25 | 0,246 | 223750,0 | RV <sub>0</sub>    |
|                                                                          | 690762,54 | 1105898,25 | 0,201 | 107400,0 | RV <sub>1S</sub>   |
|                                                                          | 690757,46 | 1105784,14 | 0,205 | 40275,0  | RV <sub>2S</sub>   |
|                                                                          | 690757,46 | 1105686,34 | 0,574 | 0,0      | RV <sub>3S</sub>   |
|                                                                          | 690752,39 | 1105968,89 | 0,861 | 0,0      | RV <sub>1N</sub>   |
|                                                                          | 690747,32 | 1106044,96 | 1,025 | 0,0      | RV <sub>2N</sub>   |
|                                                                          | 690737,17 | 1106169,93 | 0,984 | 0,0      | RV <sub>3N</sub>   |
|                                                                          | 690924,92 | 1106023,22 | 0,410 | 0,0      | RV <sub>2E</sub>   |
|                                                                          | 690838,65 | 1105985,19 | 0,205 | 232700,0 | RV <sub>1E</sub>   |
|                                                                          | 690655,98 | 1105952,59 | 0,164 | 89500,0  | RV <sub>1W</sub>   |
|                                                                          | 690554,49 | 1105930,85 | 0,164 | 223750,0 | RV <sub>2W</sub>   |
|                                                                          | 690758,17 | 1105943,59 | 0,164 | 205850,0 | RV <sub>3W</sub>   |
| Fuente: CORPORACIÓN DE DESARROLLO DE LA REGIÓN CENTRAL(COPOCENTRO), 1996 | 685850,56 | 1104778,93 | -     | 1440,0   | ABP-37             |
|                                                                          | 685911,45 | 1104811,53 | -     | 130,0    | ABP-40             |
|                                                                          | 685997,71 | 1104800,66 | -     | 630,0    | ABP-52             |
|                                                                          | 686165,17 | 1104773,50 | -     | 400,0    | ABP-53             |
|                                                                          | 686276,80 | 1104768,06 | -     | 500,0    | ABP-62             |
|                                                                          | 686368,14 | 1104708,29 | -     | 380,0    | ABP-70             |
|                                                                          | 686479,78 | 1105849,35 | -     | 230,0    | ABP-4              |
|                                                                          | 686626,93 | 1105854,78 | -     | 1300,0   | ABP-5              |
|                                                                          | 686718,27 | 1105833,05 | -     | 5200,0   | ABP-10             |
|                                                                          | 688494,30 | 1108196,66 | -     | 1000,0   | ABP-74             |
|                                                                          | 688646,53 | 1108207,52 | -     | 1000,0   | ABP-75             |

|                                                                          |           |            |       |        |         |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------|--------|---------|
| Fuente: CORPORACIÓN DE DESARROLLO DE LA REGIÓN CENTRAL(COPOCENTRO), 1996 | 688763,24 | 1108250,99 | -     | 890,0  | ABP-81  |
|                                                                          | 688966,21 | 1108430,30 | -     | 400,0  | ABP-83  |
|                                                                          | 688856,35 | 1108390,56 | -     | 180,0  | ABP-89  |
|                                                                          | 686758,87 | 1107506,59 | -     | 1750,0 | ABP-12  |
|                                                                          | 687017,66 | 1107702,20 | -     | 900,0  | ABP-14  |
|                                                                          | 685175,67 | 1106740,46 | -     | 1880,0 | ABP-19  |
|                                                                          | 685241,63 | 1106653,52 | -     | 450,0  | ABP-25  |
|                                                                          | 685302,52 | 1106588,32 | -     | 350,0  | ABP-30  |
|                                                                          | 685454,76 | 1106528,55 | -     | 500,0  | ABP-31  |
|                                                                          | 689981,09 | 1105680,91 | -     | 3350,0 | ABP-91  |
|                                                                          | 690148,54 | 1105740,68 | -     | 200,0  | ABP-93  |
|                                                                          | 690285,55 | 1105773,28 | -     | 180,0  | ABP-94  |
|                                                                          | 690407,33 | 1105838,48 | -     | 210,0  | ABP-99  |
|                                                                          | 690569,71 | 1105876,52 | -     | 250,0  | ABP-102 |
| Fuente: Flores, E.(1984)                                                 | 686525,45 | 1104708,29 | -     | 200,0  | 19E-O   |
|                                                                          | 686413,81 | 1104708,29 | -     | 200,0  | 18E-O   |
|                                                                          | 686286,95 | 1104713,73 | -     | 190,0  | 17E-O   |
|                                                                          | 686180,39 | 1104713,73 | -     | 300,0  | 16E-O   |
|                                                                          | 686078,90 | 1104746,33 | -     | 1100,0 | 15E-O   |
|                                                                          | 685962,19 | 1104746,33 | -     | 700,0  | 14E-O   |
|                                                                          | 685855,63 | 1104675,69 | -     | 1000,0 | 13E-O   |
|                                                                          | 685728,77 | 1104686,56 | -     | 200,0  | 12E-O   |
|                                                                          | 685591,76 | 1104719,16 | -     | 700,0  | 11E-O   |
|                                                                          | 687043,03 | 1106512,81 | -     | 900,0  | 43E-O   |
|                                                                          | 686977,06 | 1106709,81 | -     | 1000,0 | 42E-O   |
|                                                                          | 686941,54 | 1106676,81 | -     | 700,0  | 41E-O   |
|                                                                          | 686926,32 | 1106506,81 | -     | 950,0  | 40E-O   |
|                                                                          | 686911,10 | 1106376,41 | -     | 1050,0 | 39E-O   |
|                                                                          | 686906,02 | 1106468,78 | -     | 650,0  | 38E-O   |
|                                                                          | 686895,87 | 1106055,82 | -     | 450,0  | 37E-O   |
|                                                                          | 686804,54 | 1106273,17 | -     | 500,0  | 36E-O   |
|                                                                          | 686708,12 | 1106164,50 | -     | 350,0  | 35E-O   |
|                                                                          | 686555,89 | 1105968,89 | -     | 250,0  | 44E-O   |
| Fuente: Rodríguez,I.(1983)                                               | 685609,70 | 1105847,87 | 0,812 | -      | 279-B   |
|                                                                          | 685896,23 | 1106131,89 | 0,824 | -      | 283     |
|                                                                          | 686363,07 | 1105773,28 | 1,021 | -      | 286     |
|                                                                          | 686302,17 | 1105914,55 | 1,021 | -      | 287-A   |
|                                                                          | 684992,99 | 1108087,99 | 0,107 | -      | 303     |
|                                                                          | 684937,17 | 1108837,82 | 1,689 | -      | 304     |
|                                                                          | 684724,05 | 1108897,59 | 0,066 | -      | 308     |
|                                                                          | 690143,47 | 1109354,01 | 0,242 | -      | 381     |
|                                                                          | 690493,60 | 1106805,66 | 0,927 | -      | 382     |
|                                                                          | 685759,22 | 1105305,99 | 0,221 | -      | 276     |
|                                                                          | 685764,29 | 1105561,37 | 0,558 | -      | 279     |
|                                                                          | 685759,22 | 1106365,54 | 0,135 | -      | 284     |
|                                                                          | 684982,84 | 1107789,14 | 0,287 | -      | 295     |
|                                                                          | 685109,70 | 1108247,87 | 0,049 | -      | 297     |
|                                                                          | 685210,31 | 1109387,99 | 0,832 | -      | 298     |
|                                                                          | 684916,87 | 1108984,53 | 1,074 | -      | 299     |
|                                                                          | 685033,58 | 1109390,18 | 0,107 | -      | 300     |
|                                                                          | 684881,35 | 1109109,50 | 0,303 | -      | 301     |
|                                                                          | 688560,27 | 1110092,98 | 0,480 | -      | 376     |
|                                                                          | 689001,73 | 1105148,41 | 0,332 | -      | 397     |

|                             |           |            |              |   |       |
|-----------------------------|-----------|------------|--------------|---|-------|
| Fuente:<br>NAVARRO,E.(1983) | 686606,64 | 1110397,26 | <b>0,090</b> | - | 234   |
|                             | 684556,59 | 1104078,00 | <b>0,857</b> | - | 248   |
| Fuente: NAVARRO,E.(1983)    | 684724,05 | 1104072,56 | <b>0,816</b> | - | 260   |
|                             | 684871,20 | 1104121,47 | <b>0,361</b> | - | 263   |
|                             | 684881,35 | 1104121,47 | <b>0,234</b> | - | 264   |
|                             | 685018,36 | 1104224,70 | <b>0,119</b> | - | 265   |
|                             | 685287,30 | 1104480,08 | <b>0,492</b> | - | 269   |
|                             | 685475,05 | 1104545,29 | <b>0,078</b> | - | 271   |
|                             | 685743,99 | 1105354,89 | <b>1,205</b> | - | 274   |
|                             | 686352,92 | 1105925,42 | <b>0,221</b> | - | 276   |
|                             | 686582,66 | 1106340,88 | <b>0,135</b> | - | 284-B |
|                             | 685180,74 | 1107685,90 | <b>0,287</b> | - | 295   |
|                             | 684998,06 | 1107848,91 | <b>0,049</b> | - | 297   |
|                             | 684967,62 | 1107990,18 | <b>0,832</b> | - | 298   |
|                             | 684911,80 | 1108897,59 | <b>1,074</b> | - | 299   |
|                             | 684805,24 | 1108968,23 | <b>0,107</b> | - | 300   |
|                             | 684774,79 | 1109152,97 | <b>0,303</b> | - | 301   |
|                             | 684399,29 | 1109169,27 | <b>0,123</b> | - | 312   |
|                             | 684079,60 | 1104502,04 | <b>0,057</b> | - | 370   |
|                             | 689001,73 | 1105148,41 | <b>0,332</b> | - | 397   |
|                             | 690574,79 | 1106821,96 | <b>1,497</b> | - | 530   |
|                             | 692142,76 | 1109549,62 | <b>0,258</b> | - | 562   |
|                             | 684008,56 | 1109028,00 | <b>0,111</b> | - | 1200  |

| ELEMENTOS MAYORITARIOS EN ROCAS                        |           |            |                    |       |                                    |
|--------------------------------------------------------|-----------|------------|--------------------|-------|------------------------------------|
| AUTOR                                                  | UTM(E)    | UTM(N)     | Muestras           | K (%) | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) |
| Gutiérrez, O. y Liendo, A. (2002).                     | 685.900   | 1.104.697  | BWa-1              | 0,738 | 1,72                               |
|                                                        | 687.611   | 1.105.427  | 2BNa-523           | 0,094 | 1,96                               |
|                                                        | 687.908   | 1.105.513  | BNa-527            | 0,090 | 2,54                               |
|                                                        | 685.906   | 1.104.721  | 7BNa-528           | 0,287 | 1,35                               |
|                                                        | 685.901   | 1.104.644  | BSNa               | 0,217 | 10,01                              |
|                                                        | 685.885   | 1.104.696  | BSNa-2             | 0,004 | 7,84                               |
|                                                        | 685.907   | 1.104.704  | BOa                | 0,299 | 10,91                              |
|                                                        | 690.723   | 1.105.727  | EV1Q-14            | 0,291 | 7,77                               |
|                                                        | 690.712   | 1.105.823  | EV2P-1S            | 0,488 | 12,72                              |
|                                                        | 690.565   | 1.105.846  | EV2P-9U            | 0,078 | 1,68                               |
|                                                        | 690.565   | 1.105.831  | EV2Q-17            | 0,213 | 9,82                               |
|                                                        | 690.188   | 1.105.799  | EV2P-1125S         | 1,050 | 6,01                               |
|                                                        | 690.729   | 1.105.861  | EV2WP-920          | 0,381 | 9,83                               |
|                                                        | 690.767   | 1.105.843  | EV2WP-921          | 0,336 | 7,66                               |
|                                                        | 685.932   | 1.104.732  | LC1C-1             | 0,558 | 9,30                               |
|                                                        | 685.930   | 1.104.746  | LC1C-3             | 0,344 | 11,47                              |
|                                                        | 685.964   | 1.104.756  | LC1C-12            | 0,025 | 9,50                               |
|                                                        | 685.744   | 1.105.056  | LCP-#67N           | 0,041 | 10,17                              |
|                                                        | 685.741   | 1.105.047  | LCP-140ON2         | 0,021 | 10,93                              |
|                                                        | 685.782   | 1.104.951  | LCP-12751          | 0,775 | 9,02                               |
|                                                        | 685.733   | 1.105.069  | LCP-13425N         | 0,021 | 13,62                              |
|                                                        | 685.889   | 1.104.811  | LC2P-10            | N/D   | 0,08                               |
|                                                        | 685.977   | 1.104.647  | LC2P-30            | 2,103 | 10,92                              |
|                                                        | 686.344   | 1.105.881  | LC2P-40            | 0,012 | 10,00                              |
|                                                        | 686.088   | 1.105.537  | LC2P-50            | 0,570 | 6,17                               |
|                                                        | 686.230   | 1.106.142  | LC2P-225N          | 0,226 | 1,97                               |
|                                                        | 685.886   | 1.104.799  | LC2P-250S          | 0,562 | 9,59                               |
|                                                        | 685.888   | 1.104.798  | LC2P-275S          | 0,398 | 10,43                              |
|                                                        | 686.293   | 1.105.995  | LC2P-425N          | 0,016 | 9,58                               |
|                                                        | 686.170   | 1.105.554  | LC2P-525N          | 2,632 | 10,34                              |
|                                                        | 686.279   | 1.105.625  | LC2P-550N          | 2,325 | 11,43                              |
|                                                        | 686.242   | 1.105.598  | LC2P-575S          | 0,098 | 7,02                               |
|                                                        | 685.950   | 1.104.693  | LC2P-4100S         | 0,521 | 10,90                              |
|                                                        | 687.931   | 1.109.456  | LPA1QPA            | 0,008 | 13,24                              |
|                                                        | 688.131   | 1.109.756  | LPA1QPA(B)         | 0,135 | 10,40                              |
|                                                        | 686.809   | 1.108.246  | LP-310N1           | 0,882 | 9,20                               |
|                                                        | 686.759   | 1.108.146  | LP-311N            | 2,013 | 7,28                               |
|                                                        | 684.876   | 1.109.387  | LR-1QU             | 0,012 | 0,23                               |
| Fuente: Instituto Nacional de Geología y Minería, 2001 | 685667,88 | 1104670,26 | RLC <sub>1</sub>   | 0,250 | 10,00                              |
|                                                        | 685789,66 | 1104625,43 | RLC <sub>2</sub>   | 0,168 | 10,00                              |
|                                                        | 685799,81 | 1104626,79 | RLC <sub>28</sub>  | 0,016 | 0,31                               |
|                                                        | 685946,96 | 1104675,69 | RLC <sub>29</sub>  | 0,021 | 11,13                              |
|                                                        | 685683,10 | 1106631,78 | RCRP <sub>1</sub>  | 0,021 |                                    |
|                                                        | 685683,10 | 1106631,78 | RLP <sub>1</sub>   | 1,279 | 8,00                               |
|                                                        | 685830,26 | 1106642,65 | RLP <sub>2</sub>   | 0,964 | 8,86                               |
|                                                        | 685952,04 | 1106637,22 | RLP <sub>3</sub>   | 0,820 | 10,95                              |
|                                                        | 686068,75 | 1106648,08 | RLP <sub>4</sub>   | 0,410 | 14,50                              |
|                                                        | 686160,09 | 1106702,42 | RLP <sub>5</sub>   | 0,246 | 10,60                              |
|                                                        | 686226,06 | 1106789,36 | RLP <sub>6</sub>   | 0,299 | 13,60                              |
|                                                        | 686281,88 | 1106887,16 | RLP <sub>7</sub>   | 0,164 | 7,63                               |
|                                                        | 686347,84 | 1106979,53 | RLP <sub>8</sub>   | 0,205 | 9,41                               |
|                                                        | 686418,88 | 1107077,34 | RLP <sub>9</sub>   | 0,041 | 10,00                              |
|                                                        | 686464,55 | 1107153,41 | RLP <sub>10</sub>  | 1,968 | 11,50                              |
|                                                        | 686505,15 | 1107251,21 | RLP <sub>11</sub>  | 1,246 | 11,80                              |
|                                                        | 686540,67 | 1107359,88 | RLP <sub>12</sub>  | 1,271 | 10,60                              |
|                                                        | 686606,64 | 1107463,12 | RLP <sub>13</sub>  | 1,599 | 11,30                              |
|                                                        | 686637,08 | 1107588,10 | RLP <sub>14</sub>  | 1,656 | 10,80                              |
|                                                        | 686728,42 | 1107620,70 | RLP <sub>14a</sub> | 1,451 | 9,00                               |
|                                                        | 686819,76 | 1107696,77 | RLP <sub>14b</sub> | 0,836 | 10,80                              |

|                                                        |           |            |                    |       |       |
|--------------------------------------------------------|-----------|------------|--------------------|-------|-------|
| Fuente: Instituto Nacional de Geología y Minería, 2001 | 686916,17 | 1107783,70 | RLP <sub>15</sub>  | 0,955 | 10,80 |
|                                                        | 687012,58 | 1107865,21 | RLP <sub>16</sub>  | 0,779 | 12,41 |
|                                                        | 687139,44 | 1107968,45 | RLP <sub>17</sub>  | 0,779 | 11,60 |
|                                                        | 687317,05 | 1108049,95 | RLP <sub>18</sub>  | 1,050 | 5,70  |
|                                                        | 687433,76 | 1108071,69 | RLP <sub>19</sub>  | 0,033 | 14,33 |
|                                                        | 687535,24 | 1108093,42 | RLP <sub>20</sub>  | 1,804 | 6,14  |
|                                                        | 687657,03 | 1108082,55 | RLP <sub>21</sub>  | 1,353 | 3,90  |
|                                                        | 687773,74 | 1108098,85 | RLP <sub>22</sub>  | 0,984 | 12,30 |
|                                                        | 687860,00 | 1108098,85 | RLP <sub>22a</sub> | 1,976 | 6,70  |
|                                                        | 688813,98 | 1108283,60 | RLP <sub>25</sub>  | 0,713 | 11,90 |
|                                                        | 688816,52 | 1108284,95 | RLP <sub>26</sub>  | 2,312 | 1,44  |
|                                                        | 688902,23 | 1108306,95 | RLP <sub>27</sub>  | 1,599 | 8,50  |
|                                                        | 688949,72 | 1108365,10 | RTL <sub>2</sub>   | 0,107 | 12,52 |
|                                                        | 688956,06 | 1108359,67 | RTL <sub>3</sub>   | 1,271 | 10,30 |
|                                                        | 684176,02 | 1109125,80 | R <sub>1</sub> LR  | 0,209 | 12,20 |
|                                                        | 684348,54 | 1109114,93 | R <sub>2</sub> LR  | 1,189 | 9,40  |
|                                                        | 684465,26 | 1109087,77 | R <sub>3</sub> LR  | 0,779 | 11,60 |
|                                                        | 684587,04 | 1109038,86 | R <sub>4</sub> LR  | 1,476 | 7,60  |
|                                                        | 684713,90 | 1108989,96 | R <sub>5</sub> LR  | 1,230 | 6,51  |
|                                                        | 684800,16 | 1108892,16 | MR <sub>1</sub> LR | 0,533 | 10,00 |
|                                                        | 688140,36 | 1109704,48 | RPA                | 0,492 | 11,80 |
|                                                        | 688198,72 | 1109775,12 | RPA <sub>4</sub>   | 1,041 | 4,60  |
| Fuente: Zerpa, L. (1997)                               | 690752,54 | 1105908,25 | RV <sub>0</sub>    | 0,246 | 7,90  |
|                                                        | 690762,54 | 1105898,25 | RV <sub>1S</sub>   | 0,201 | 6,50  |
|                                                        | 690757,46 | 1105784,14 | RV <sub>2S</sub>   | 0,205 | 2,50  |
|                                                        | 690757,46 | 1105686,34 | RV <sub>3S</sub>   | 0,574 | 2,00  |
|                                                        | 690752,39 | 1105968,89 | RV <sub>1N</sub>   | 0,861 | 2,10  |
|                                                        | 690747,32 | 1106044,96 | RV <sub>2N</sub>   | 1,025 | 5,50  |
|                                                        | 690737,17 | 1106169,93 | RV <sub>3N</sub>   | 0,984 | 5,50  |
|                                                        | 690924,92 | 1106023,22 | RV <sub>2E</sub>   | 0,410 | 2,60  |
|                                                        | 690838,65 | 1105985,19 | RV <sub>1E</sub>   | 0,205 | 5,00  |
|                                                        | 690655,98 | 1105952,59 | RV <sub>1W</sub>   | 0,164 | 6,00  |
|                                                        | 690554,49 | 1105930,85 | RV <sub>2W</sub>   | 0,164 | 6,00  |
|                                                        | 690758,17 | 1105943,59 | RV <sub>3W</sub>   | 0,164 | 6,50  |
|                                                        | 685609,70 | 1105847,87 | 279-B              | 0,812 | 10,81 |
| Fuente: Rodríguez, I. (1983)                           | 685896,23 | 1106131,89 | 283                | 0,824 | 10,50 |
|                                                        | 686363,07 | 1105773,28 | 286                | 1,021 | 12,43 |
|                                                        | 686302,17 | 1105914,55 | 287-A              | 1,021 | 8,51  |
|                                                        | 684992,99 | 1108087,99 | 303                | 0,107 | 13,15 |
|                                                        | 684937,17 | 1108837,82 | 304                | 1,689 | 10,78 |
|                                                        | 684724,05 | 1108897,59 | 308                | 0,066 | 12,14 |
|                                                        | 690143,47 | 1109354,01 | 381                | 0,242 | 11,69 |
|                                                        | 690493,60 | 1106805,66 | 382                | 0,927 | 8,23  |
|                                                        | 685759,22 | 1105305,99 | 276                | 0,221 | 11,35 |
|                                                        | 685764,29 | 1105561,37 | 279                | 0,558 | 10,39 |
|                                                        | 685759,22 | 1106365,54 | 284                | 0,135 | 12,21 |
|                                                        | 684982,84 | 1107789,14 | 295                | 0,287 | 11,91 |
|                                                        | 685109,70 | 1108247,87 | 297                | 0,049 | 14,07 |
|                                                        | 685210,31 | 1109387,99 | 298                | 0,832 | 11,73 |
|                                                        | 684916,87 | 1108984,53 | 299                | 1,074 | 7,31  |
|                                                        | 685033,58 | 1109390,18 | 300                | 0,107 | 13,89 |
|                                                        | 684881,35 | 1109109,50 | 301                | 0,303 | 12,57 |
|                                                        | 688560,27 | 1110092,98 | 376                | 0,480 | 12,14 |
|                                                        | 689001,73 | 1105148,41 | 397                | 0,332 | 11,99 |

|                           |           |            |       |              |       |
|---------------------------|-----------|------------|-------|--------------|-------|
| Fuente: Navarro, E.(1983) | 686606,64 | 1110397,26 | 234   | <b>0,090</b> | 11,25 |
|                           | 684556,59 | 1104078,00 | 248   | <b>0,857</b> | 10,58 |
|                           | 684724,05 | 1104072,56 | 260   | <b>0,816</b> | 5,61  |
|                           | 684871,20 | 1104121,47 | 263   | <b>0,361</b> | 6,11  |
|                           | 684881,35 | 1104121,47 | 264   | <b>0,234</b> | 13,45 |
|                           | 685018,36 | 1104224,70 | 265   | <b>0,119</b> | 11,04 |
|                           | 685287,30 | 1104480,08 | 269   | <b>0,492</b> | 11,46 |
|                           | 685475,05 | 1104545,29 | 271   | <b>0,078</b> | 12,55 |
|                           | 685743,99 | 1105354,89 | 274   | <b>1,205</b> | 13,43 |
|                           | 686352,92 | 1105925,42 | 276   | <b>0,221</b> | 11,35 |
|                           | 686582,66 | 1106340,88 | 284-B | <b>0,135</b> | 12,21 |
|                           | 685180,74 | 1107685,90 | 295   | <b>0,287</b> | 11,91 |
|                           | 684998,06 | 1107848,91 | 297   | <b>0,049</b> | 14,07 |
|                           | 684967,62 | 1107990,18 | 298   | <b>0,832</b> | 11,73 |
|                           | 684911,80 | 1108897,59 | 299   | <b>1,074</b> | 7,31  |
|                           | 684805,24 | 1108968,23 | 300   | <b>0,107</b> | 13,89 |
|                           | 684774,79 | 1109152,97 | 301   | <b>0,303</b> | 12,57 |
|                           | 684399,29 | 1109169,27 | 312   | <b>0,123</b> | 13,95 |
|                           | 684079,60 | 1104502,04 | 370   | <b>0,057</b> | 10,59 |
|                           | 689001,73 | 1105148,41 | 397   | <b>0,332</b> | 11,99 |
|                           | 690574,79 | 1106821,96 | 530   | <b>1,497</b> | 10,84 |
|                           | 692142,76 | 1109549,62 | 562   | <b>0,258</b> | 11,75 |
|                           | 684008,56 | 1109028,00 | 1200  | <b>0,111</b> | 8,90  |

| ELEMENTOS MINORITARIOS EN ROCAS    |           |            |          |          |          |          |          |                    |
|------------------------------------|-----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|
| AUTOR                              | UTM(E)    | UTM(N)     | Sr (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Pb (ppm) | Cr (ppm) | Muestras           |
| Gutiérrez, O. y Liendo, A. (2002). | 685.900   | 1.104.697  | -        | -        | 58       | 26       | -        | BW <sub>a</sub> -1 |
|                                    | 687.611   | 1.105.427  | -        | -        | 149      | 26       | -        | 2BNa-523           |
|                                    | 687.908   | 1.105.513  | -        | -        | 175      | 39       | -        | BNa-527            |
|                                    | 685.906   | 1.104.721  | -        | -        | 156      | 32       | -        | 7BNa-528           |
|                                    | 685.901   | 1.104.644  | -        | -        | 121      | 67       | -        | BSNa               |
|                                    | 685.885   | 1.104.696  | -        | -        | 552      | 67       | -        | BSNa-2             |
|                                    | 685.907   | 1.104.704  | -        | -        | 99       | 94       | -        | BO <sub>a</sub>    |
|                                    | 690.723   | 1.105.727  | -        | -        | 127      | 39       | -        | EV1Q-14            |
|                                    | 690.712   | 1.105.823  | -        | -        | 100      | 66       | -        | EV2P-1S            |
|                                    | 690.565   | 1.105.846  | -        | -        | 65       | 53       | -        | EV2P-9U            |
|                                    | 690.565   | 1.105.831  | -        | -        | 123      | 87       | -        | EV2Q-17            |
|                                    | 690.188   | 1.105.799  | -        | -        | 178      | 46       | -        | EV2P-1125S         |
|                                    | 690.729   | 1.105.861  | -        | -        | 85       | 52       | -        | EV2WP-920          |
|                                    | 690.767   | 1.105.843  | -        | -        | 92       | 46       | -        | EV2WP-921          |
|                                    | 685.932   | 1.104.732  | -        | -        | 122      | 73       | -        | LC1C-1             |
|                                    | 685.930   | 1.104.746  | -        | -        | 124      | 87       | -        | LC1C-3             |
|                                    | 685.964   | 1.104.756  | -        | -        | 103      | 46       | -        | LC1C-12            |
|                                    | 685.744   | 1.105.056  | -        | -        | 97       | 73       | -        | LCP-#67N           |
|                                    | 685.741   | 1.105.047  | -        | -        | 73       | 66       | -        | LCP-140ON2         |
|                                    | 685.782   | 1.104.951  | -        | -        | 93       | 53       | -        | LCP-12751          |
|                                    | 685.733   | 1.105.069  | -        | -        | 122      | 60       | -        | LCP-13425N         |
|                                    | 685.889   | 1.104.811  | -        | -        | 17       | ND       | -        | LC2P-10            |
|                                    | 685.977   | 1.104.647  | -        | -        | 258      | 80       | -        | LC2P-30            |
|                                    | 686.344   | 1.105.881  | -        | -        | 91       | 60       | -        | LC2P-40            |
|                                    | 686.088   | 1.105.537  | -        | -        | 179      | 53       | -        | LC2P-50            |
|                                    | 686.230   | 1.106.142  | -        | -        | 64       | ND       | -        | LC2P-225N          |
|                                    | 685.886   | 1.104.799  | -        | -        | 88       | 53       | -        | LC2P-250S          |
|                                    | 685.888   | 1.104.798  | -        | -        | 94       | 66       | -        | LC2P-275S          |
|                                    | 686.293   | 1.105.995  | -        | -        | 83       | 94       | -        | LC2P-425N          |
|                                    | 686.170   | 1.105.554  | -        | -        | 187      | 66       | -        | LC2P-525N          |
|                                    | 686.279   | 1.105.625  | -        | -        | 307      | 80       | -        | LC2P-550N          |
|                                    | 686.242   | 1.105.598  | -        | -        | 91       | 39       | -        | LC2P-575S          |
|                                    | 685.950   | 1.104.693  | -        | -        | 101      | 66       | -        | LC2P-4100S         |
|                                    | 687.931   | 1.109.456  | -        | -        | 125      | 73       | -        | LPA1QPA            |
|                                    | 688.131   | 1.109.756  | -        | -        | 111      | 94       | -        | LPA1QPA(B)         |
|                                    | 686.809   | 1.108.246  | -        | -        | 117      | 128      | -        | LP-310N1           |
|                                    | 686.759   | 1.108.146  | -        | -        | 28       | 73       | -        | LP-311N            |
|                                    | 684.876   | 1.109.387  | -        | -        | 131      | 6800     | -        | LR-1QU             |
| Fuente: ZERPA, L. (1997)           | 690752,54 | 1105908,25 | 700      | 9        | 65       | -        | 12       | RV <sub>0</sub>    |
|                                    | 690762,54 | 1105898,25 | 500      | 27       | 100      | -        | 10       | RV <sub>1S</sub>   |
|                                    | 690757,46 | 1105784,14 | 850      | 5        | 50       | -        | 640      | RV <sub>2S</sub>   |
|                                    | 690757,46 | 1105686,34 | 90       | 120      | 100      | -        | MAYOR640 | RV <sub>3S</sub>   |
|                                    | 690752,39 | 1105968,89 | 100      | 12       | 65       | -        | 25       | RV <sub>1N</sub>   |
|                                    | 690747,32 | 1106044,96 | 450      | 41       | 80       | -        | 10       | RV <sub>2N</sub>   |
|                                    | 690737,17 | 1106169,93 | 300      | 18       | 80       | -        | 18       | RV <sub>3N</sub>   |
|                                    | 690924,92 | 1106023,22 | 600      | 16       | 85       | -        | 16       | RV <sub>2E</sub>   |
|                                    | 690838,65 | 1105985,19 | 550      | 7        | 70       | -        | 6        | RV <sub>1E</sub>   |
|                                    | 690655,98 | 1105952,59 | 900      | 9        | 80       | -        | 16       | RV <sub>1W</sub>   |
|                                    | 690554,49 | 1105930,85 | 300      | 5        | 65       | -        | 12       | RV <sub>2W</sub>   |
|                                    | 690758,17 | 1105943,59 | 500      | 9        | 70       | -        | 12       | RV <sub>3W</sub>   |

|                                                                          |           |            |   |     |     |    |   |         |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|---|-----|-----|----|---|---------|
| Fuente: CORPORACIÓN DE DESARROLLO DE LA REGIÓN CENTRAL(COPOCENTRO), 1996 | 685850,56 | 1104778,93 | - | 60  | 55  | 40 | - | ABP-37  |
|                                                                          | 685911,45 | 1104811,53 | - | 60  | 55  | 45 | - | ABP-40  |
|                                                                          | 685997,71 | 1104800,66 | - | 115 | 85  | 35 | - | ABP-52  |
|                                                                          | 686165,17 | 1104773,50 | - | 60  | 50  | 25 | - | ABP-53  |
|                                                                          | 686276,80 | 1104768,06 | - | 70  | 75  | 55 | - | ABP-62  |
|                                                                          | 686368,14 | 1104708,29 | - | 100 | 75  | 55 | - | ABP-70  |
|                                                                          | 686479,78 | 1105849,35 | - | 65  | 60  | 45 | - | ABP-4   |
|                                                                          | 686626,93 | 1105854,78 | - | 60  | 75  | 35 | - | ABP-5   |
|                                                                          | 686718,27 | 1105833,05 | - | 95  | 80  | 35 | - | ABP-10  |
|                                                                          | 688494,30 | 1108196,66 | - | 150 | 140 | 45 | - | ABP-74  |
|                                                                          | 688646,53 | 1108207,52 | - | 90  | 90  | 45 | - | ABP-75  |
|                                                                          | 688763,24 | 1108250,99 | - | 105 | 90  | 55 | - | ABP-81  |
|                                                                          | 688966,21 | 1108430,30 | - | 85  | 75  | 55 | - | ABP-83  |
|                                                                          | 688856,35 | 1108390,56 | - | 50  | 60  | 65 | - | ABP-89  |
|                                                                          | 686758,87 | 1107506,59 | - | 100 | 95  | 20 | - | ABP-12  |
|                                                                          | 687017,66 | 1107702,20 | - | 100 | 100 | 25 | - | ABP-14  |
|                                                                          | 685175,67 | 1106740,46 | - | 110 | 130 | 30 | - | ABP-19  |
|                                                                          | 685241,63 | 1106653,52 | - | 80  | 80  | 35 | - | ABP-25  |
|                                                                          | 685302,52 | 1106588,32 | - | 75  | 80  | 35 | - | ABP-30  |
|                                                                          | 685454,76 | 1106528,55 | - | 80  | 85  | 35 | - | ABP-31  |
|                                                                          | 689981,09 | 1105680,91 | - | 45  | 55  | 65 | - | ABP-91  |
|                                                                          | 690148,54 | 1105740,68 | - | 45  | 60  | 45 | - | ABP-93  |
|                                                                          | 690285,55 | 1105773,28 | - | 50  | 65  | 55 | - | ABP-94  |
|                                                                          | 690407,33 | 1105838,48 | - | 175 | 75  | 70 | - | ABP-99  |
|                                                                          | 690569,71 | 1105876,52 | - | 110 | 75  | 60 | - | ABP-102 |
| Fuente: FLORES, E.(1984)                                                 | 686525,45 | 1104708,29 | - | 100 | 100 | -  | - | 19E-O   |
|                                                                          | 686413,81 | 1104708,29 | - | 100 | 100 | -  | - | 18E-O   |
|                                                                          | 686286,95 | 1104713,73 | - | 90  | 90  | -  | - | 17E-O   |
|                                                                          | 686180,39 | 1104713,73 | - | 100 | 100 | -  | - | 16E-O   |
|                                                                          | 686078,90 | 1104746,33 | - | 50  | 150 | -  | - | 15E-O   |
|                                                                          | 685962,19 | 1104746,33 | - | 120 | 120 | -  | - | 14E-O   |
|                                                                          | 685855,63 | 1104675,69 | - | 100 | 100 | -  | - | 13E-O   |
|                                                                          | 685728,77 | 1104686,56 | - | 90  | 90  | -  | - | 12E-O   |
|                                                                          | 685591,76 | 1104719,16 | - | 100 | 100 | -  | - | 11E-O   |
|                                                                          | 687043,03 | 1106512,81 | - | 100 | 100 | -  | - | 43E-O   |
|                                                                          | 686977,06 | 1106709,81 | - | 100 | 100 | -  | - | 42E-O   |
|                                                                          | 686941,54 | 1106676,81 | - | 90  | 90  | -  | - | 41E-O   |
|                                                                          | 686926,32 | 1106506,81 | - | 80  | 80  | -  | - | 40E-O   |
|                                                                          | 686911,10 | 1106376,41 | - | 50  | 125 | -  | - | 39E-O   |
|                                                                          | 686906,02 | 1106468,78 | - | 50  | 125 | -  | - | 38E-O   |
|                                                                          | 686895,87 | 1106055,82 | - | 50  | 150 | -  | - | 37E-O   |
|                                                                          | 686804,54 | 1106273,17 | - | 100 | 100 | -  | - | 36E-O   |
|                                                                          | 686708,12 | 1106164,50 | - | 100 | 100 | -  | - | 35E-O   |
|                                                                          | 686555,89 | 1105968,89 | - | 100 | 100 | -  | - | 44E-O   |



|                           |           |            |     |   |   |   |   |       |
|---------------------------|-----------|------------|-----|---|---|---|---|-------|
| Fuente: NAVARRO,E. (1983) | 686606,64 | 1110397,26 | 75  | - |   |   | - | 234   |
|                           | 684556,59 | 1104078,00 | 0   | - |   |   | - | 248   |
|                           | 684724,05 | 1104072,56 | 140 | - |   |   | - | 260   |
|                           | 684871,20 | 1104121,47 | 246 | - |   |   | - | 263   |
|                           | 684881,35 | 1104121,47 | 190 | - |   |   | - | 264   |
|                           | 685018,36 | 1104224,70 | 190 | - |   |   | - | 265   |
|                           | 685287,30 | 1104480,08 | 66  | - |   |   | - | 269   |
|                           | 685475,05 | 1104545,29 | 17  | - |   |   | - | 271   |
|                           | 685743,99 | 1105354,89 | 84  | - |   |   | - | 274   |
|                           | 686352,92 | 1105925,42 | 16  | - |   |   | - | 276   |
|                           | 686582,66 | 1106340,88 | 190 | - |   |   | - | 284-B |
|                           | 685180,74 | 1107685,90 | 110 | - |   |   | - | 295   |
|                           | 684998,06 | 1107848,91 | 30  | - |   |   | - | 297   |
|                           | 684967,62 | 1107990,18 | 0   | - |   |   | - | 298   |
| Fuente: NAVARRO,E. (1983) | 684911,80 | 1108897,59 | 6   | - |   |   | - | 299   |
|                           | 684805,24 | 1108968,23 | 17  | - | - | - | - | 300   |
|                           | 684774,79 | 1109152,97 | 0   | - | - | - | - | 301   |
|                           | 684399,29 | 1109169,27 | 50  | - | - | - | - | 312   |
|                           | 684079,60 | 1104502,04 | 20  | - | - | - | - | 370   |
|                           | 689001,73 | 1105148,41 | 40  | - | - | - | - | 397   |
|                           | 690574,79 | 1106821,96 | 40  | - | - | - | - | 530   |
|                           | 692142,76 | 1109549,62 | 246 | - | - | - | - | 562   |
|                           | 684008,56 | 1109028,00 | 370 | - | - | - | - | 1200  |
| RODRIGUEZ,I.(1983)        | 688560,27 | 1110092,98 | 100 | - | - | - | - | 376   |