

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA



ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS
ELEMENTOS Fe, Ti, Zr, Mn, Nb, Ta eY EN
CONCENTRADOS DE MINERALES PESADOS
COLECTADOS EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS
SUAPURE, CUCHIVERO Y GUANIAMO, ESTADO
BOLÍVAR, VENEZUELA.

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela por la **Br. Gladimar
Gonzalez** para optar por Título
de Licenciada en Geoquímica.

Caracas, septiembre del 2018

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA



**ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS
ELEMENTOS Fe, Ti, Zr, Mn, Nb, Ta e Y EN
CONCENTRADOS DE MINERALES PESADOS
COLECTADOS EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS
SUAPURE, CUCHIVERO Y GUANIAO, ESTADO
BOLÍVAR, VENEZUELA.**

Tutores:
Prof.: Marrero Santiago
Prof.: Meléndez Williams

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela por la **Br. Gladimar
Gonzalez** para optar por Título
de Licenciada en Geoquímica.

Caracas, septiembre del 2018

ACTA

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado:

“Estudio de la distribución espacial de los elementos Fe, Ti, Zr, Mn, Nb, Ta e Y en concentrados de minerales pesados colectados en las cuencas de los Ríos Suapure, Cuchivero y Guaniamo, Estado Bolívar, Venezuela”.

Presentado por la Br. Gladimar Gonzalez Briceño, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Geoquímica.

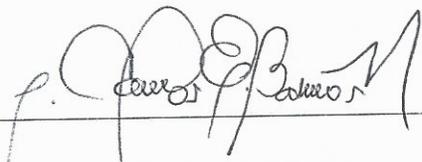


Prof. Marrero Santiago
(Tutor)

Prof. Meléndez Williams
(Tutor)



Prof. Lo Mónaco Salvador
(Jurado)



Prof. Lenin Gonzalez
(Jurado)

DEDICATORIA

A mi mamá y mi hermano por su apoyo incondicional en todo lo que me propongo y por ser esos pilares que me sostiene en los momentos difíciles. Mil gracias. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por dame la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa casa de estudio como lo es la Universidad Central de Venezuela. Por regalarme la fuerza y las ganas de seguir adelante cada vez que se me presento un obstáculo. Por cuidar y proteger a mi familia (mamá y hermano) en todo este tiempo de ausencia en mi casa.

A la Universidad Central de Venezuela y a la Facultad de Ciencias que ha sido más que una casa de estudio, en la que me enseñaron hermosos valores no solo a nivel profesional sino también a nivel personal.

A mis tutores Santiago Marrero y Williams Meléndez por su apoyo incondicional en la elaboración de este trabajo especial de grado. En especial al profesor Santiago que en toda mi carrera ha sido como un padre, dándome sus consejos, regaños y felicitaciones cuando la situación lo ameritó.

A esas personas que la vida me dio el honor de conocer en los años de formación regalándome más que compañeros de clases (Fernanda Casanova, Génesis Chacón, Ronald Cuenca, Karen Duque), tía adoptivas (Yulimar Rodríguez), personas muy especiales con las que no compartí aulas de clase pero que siempre estuvieron presentes (Andrés Hernández, Marcos Jiménez, Oriana Rodríguez e Ilcia Briceño).

A mi mamá (Gladys) mi hermano (Juan Carlos Gonzalez) que ni escribiéndole mil páginas tengo como agradecerle todo lo que ustedes han hecho por mí. Cada letra de este trabajo y cada triunfo que llegue a tener son para ustedes. Ustedes son la fuente de inspiración por la que siempre quiero hacer las cosas lo mejor posible para que estén muy orgullosos de mí. Eternamente agradecida. Los amo.

RESUMEN

Se realizó una depuración de datos generados por INGEOMIN en muestras de concentrados de minerales pesados en las cuencas de los Ríos Suapure, Cuchivero y Guaniamo. La misma se hizo a través de criterios estadísticos y razonamiento geoquímico, el objetivo: desechar datos que pudieran generar dudas en cuanto a la calidad analítica del mismo. Se obtuvieron datos cuantitativos de los elementos Fe, Ti, Zr, Mn, Sn, Y, U, Th, Ce, Nb, Ta y La; y a partir del tratamiento antes se seleccionaron 10 variables para cuenca del Río Suapure (Fe, Ti, Zr, Mn, Y, Th, Ce, U Ta y Nb), 5 para el Río Cuchivero (Fe, Ti, Zr, Th e Y) y 5 para el Río Guaniamo (Fe, Ti, Zr, Ce y Nb). Las variables seleccionadas fueron sometidas a análisis estadístico simple, realizándose medidas de tendencia central, medidas de dispersión, medidas de forma y simetría de la población, histogramas y cajas gráficas. Desde el punto de vista geoquímico se realizó la correlación entre las variables y el análisis de la distribución espacial.

La cuenca del Río Suapure corresponde a una zona anómala para los elementos Fe, Ti, Zr, Mn y Nb. Esta cuenca tiene mayor potencial para la prospección de Ti y Nb por presentar elevados valores de clark de concentración. Adicionalmente la zona aledaña al Caño La Miel es el área más idónea para la prospección de Nb por presentar las mayores concentraciones de este elemento. La cuenca del Río Cuchivero es una anomalía positiva para el Fe y Zr. La correlación existente entre el Fe/Ti, Zr/Y y Zr/Th establece que posiblemente el Fe y el Zr provengan de los minerales ilmenita y zircón. El Río Guaniamo presenta anomalías positivas para Fe y Zr. Las mayores concentraciones de Nb se encuentran en cuenca baja de este río. La ausencia de relación entre el Nb y los otros elementos permite deducir que el Nb posiblemente se debe a la presencia del mineral columbita.

Palabras claves: minerales pesados, anomalía geoquímica, fondo geoquímico.

INDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
Prospección geoquímica.....	4
Dispersión geoquímica.....	4
Fondo geoquímico.....	5
Umbral geoquímico.....	6
Anomalía geoquímica.....	6
Meteorización y tipos.....	7
Sedimentos y tipos.....	9
Minerales pesados.....	10
Usos de los minerales pesados.....	11
Mapas geoquímicos.....	16
Estadística descriptiva.....	17
Medidas de tendencia central.....	8
Medidas de dispersión.....	19
Medidas de forma.....	20
Histograma.....	21
Diagramas de cajas.....	22
3. ANTECEDENTES.....	24
4. MARCO GEOLÓGICO.....	28
Geología regional.....	28
Provincia de Imataca.....	28
Provincia de Pastora.....	29

Provincia de Cuchivero.....	31
Provincia de Roraima.....	34
Geología local.....	35
Cuenca del Río Suapure.....	35
Cuencas de los Río Cuchivero- Guaniamo.....	37
5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	39
Etapa de campo.....	39
Etapa de laboratorio.....	40
Selección de las variables a analizar.....	42
Calculo de valores de fondo local.....	43
Elaboración de mapa geoquímico.....	43
6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN.....	44
Cuenca del Río Suapure.....	44
Cuenca del Río Cuchivero.....	69
Cuenca del Río Guaniamo.....	82
7. CONCLUSIONES.....	96
8. RECOMENDACIONES.....	98
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
10. APÉNDICES.....	105
11. ANEXOS.....	161

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de meteorización: física, química y biológica.....	8
Figura 2. Transporte de sedimentos en sistemas fluviales.....	10
Figura 3. Medidas de tendencia central.....	19
Figura 4. Histograma.....	21
Figura 5. Diagrama de cajas.....	22
Figura 6. Provincias Geológicas del Escudo de Guayana Venezolano.....	29
Figura 7. Unidades litodémicas de la Provincia de Cuchivero.....	33
Figura 8. Ubicación de los puntos de muestreos en las cuencas de los Río Suapure, Cuchivero y Guaniamo.....	41
Figura 9. Histograma y caja gráfica de la concentración de Fe, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	46
Figura 10. Histograma y caja gráfica de concentración de Ti en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	48
Figura 11. Histograma y caja gráfica de concentración de Zr en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	50
Figura 12. Histograma y caja gráfica de la concentración de Men los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	52
Figura 13. Histograma y caja gráfica de concentración de Ce en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	54
Figura 14. Histograma y caja gráfica de concentración de Y en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	56
Figura 15. Histograma y caja gráfica de concentración de Th en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	58
Figura 16. Histograma y caja gráfica de concentración de Ta en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	60
Figura 17. Histograma y caja gráfica de concentración de U	

en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....62

Figura 18. Histograma y caja gráfica de concentración de Nb en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....64

Figura 19. Histograma y caja gráfica de concentración de Fe en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.....71

Figura 20. Histograma y caja gráfica de concentración de Ti en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.....73

Figura 21. Histograma y caja gráfica de concentración de Zr en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.....75

Figura 22. Histograma y caja gráfica de concentración de Th en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.....77

Figura 23. Histograma y caja gráfica de concentración de Y en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.....79

Figura 24. Histograma y caja gráfica de concentración de Fe en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo.....84

Figura 25. Histograma y caja gráfica de concentración de Ti en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo.....86

Figura 26. Histograma y caja gráfica de concentración de Zr en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo.....88

Figura 27. Histograma y caja gráfica de concentración de Ce en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo.....90

Figura 28. Histograma y caja gráfica de concentración de Nb en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo.....92

Figura 29. Fluorescencia de rayos X..... 162

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Jerarquía de los patrones geoquímicos.....	7
Tabla 2. Densidad y dureza de minerales pesados comunes.....	12
Tabla 3. Estabilidad química y mecánica de los minerales pesados.....	13
Tabla 4. Fuentes de algunas asociaciones de minerales pesados.....	15
Tabla 5. Correlación de Pearson para elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	66
Tabla 6. Correlación de Pearson para elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.....	80
Tabla 7. Correlación de Pearson para elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo.....	93

INDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1. Ubicación de las muestras recolectadas en las cuencas de los Río Suapure, Cuchivero y Guaniamo.....	105
Apéndice 2. Depuración de datos.....	112
Apéndice 3. Límite de detección de los elementos químicos analizado....	122
Apéndice 4. Análisis químicos de las muestras de concentrados de minerales pesados recolectados en la cuenca del Río Suapure.....	122
Apéndice 5. Parámetros estadísticos de los elementos químicos analizados en las muestras de concentrado de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.....	126
Apéndice 6. Valores de fondo regional y local para los elementos químicos analizados en las muestras de concentrados de minerales pesados recolectados en la cuenca del Río Suapure.....	127
Apéndice 7. Concentración de Lantano (La) en algunas muestras recolectadas en la cuenca alta del Río Suapure.....	128
Apéndice 8. Análisis químicos de las muestras de concentrados de minerales pesados recolectados en la cuenca del Río Cuchivero.....	128
Apéndice 9. Parámetros estadísticos de los elementos químicos analizados en las muestras de concentrado de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.....	131
Apéndice 10. Valores de fondo regional y local para los elementos químicos analizados en las muestras de concentrados de minerales pesados recolectados en la cuenca del Río Cuchivero.....	132
Apéndice 11. Análisis químicos de las muestras de concentrados de minerales pesados recolectados en la cuenca del Río Guaniamo.....	133

Apéndice 12. Parámetros estadísticos de los elementos químicos analizados en las muestras de concentrado de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo.....	135
Apéndice 13. Valores de fondo regional y local para los elementos químicos analizados en las muestras de concentrados de minerales pesados recolectados en la cuenca del Río Guaniamo.....	136
Apéndice 14. Distribución espacial de los elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de las cuencas de los Río Suapure, Cuchivero y Guaniamo.....	137
Mapa 14.1. Ubicación de los puntos de muestreo en las cuencas de los Ríos Suapure, Cuchivero y Guaniamo.....	137
Mapa 14.2. Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Suapure.....	138
Mapa 14.2.1. Distribución espacial de la concentración de Ti en la cuenca del Río Suapure.....	139
Mapa 14.2.2. Distribución espacial de la concentración de Ta en la cuenca del Río Suapure.....	140
Mapa 14.2.3. Distribución espacial de la concentración de Th en la cuenca del Río Suapure.....	141
Mapa 14.2.4. Distribución espacial de la concentración de Ce en la cuenca del Río Suapure.....	142
Mapa 14.2.5. Distribución espacial de la concentración de Mn en la cuenca del Río Suapure.....	143
Mapa 14.2.6. Distribución espacial de la concentración de Zr en la cuenca del Río Suapure.....	144
Mapa 14.2.7. Distribución espacial de la concentración de Fe en la cuenca del Río Suapure.....	145
Mapa 14.2.8. Distribución espacial de la concentración de U en la cuenca del Río Suapure.....	146

Mapa 14.2.9. Distribución espacial de la concentración de Y en la cuenca del Río Suapure.....	147
Mapa 14.2.10. Distribución espacial de la concentración de Nb en la cuenca baja y media del Río Suapure.....	148
Mapa 14.3. Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Cuchivero.....	149
Mapa 14.3.1. Distribución espacial de la concentración de Zr en la cuenca del Río Cuchivero.....	150
Mapa 14.3.2. Distribución espacial de la concentración de Th en la cuenca del Río Cuchivero.....	151
Mapa 14.3.3. Distribución espacial de la concentración de Y en la cuenca del Río Cuchivero.....	152
Mapa 14.3.4. Distribución espacial de la concentración de Fe en la cuenca del Río Cuchivero.....	153
Mapa 14.3.5. Distribución espacial de la concentración de Ti en la cuenca baja y media del Río Cuchivero.....	154
Mapa 14.4. Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Guaniamo.....	155
Mapa 14.4.1. Distribución espacial de la concentración de Ce en la cuenca del Río Guaniamo.....	156
Mapa 14.4.2. Distribución espacial de la concentración de Fe en la cuenca del Río Guaniamo.....	157
Mapa 14.4.3. Distribución espacial de la concentración de Ti en la cuenca del Río Guaniamo.....	158
Mapa 14.4.4. Distribución espacial de la concentración de Zr en la cuenca del Río Guaniamo.....	159
Mapa 14.4.5. Distribución espacial de la concentración de Nb en la cuenca del Río Guaniamo.....	160

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se inscribe al área de la geoquímica conocida como prospección geoquímica. La prospección geoquímica es una herramienta que permite ubicar áreas con potencialidad para la exploración de depósitos minerales y se basa en la medida sistemática de una variable (generalmente química o físico-química) en un sistema natural. Los materiales que comúnmente son muestreados en las labores de búsqueda de depósitos de elementos metálicos y no metálicos de interés económico son las rocas, los suelos, los sedimentos y las aguas. La elección de estos materiales dependerá de la escala del estudio (local o regional) y de las características geoquímicas del elemento que se estudiará, esto es, la afinidad del elemento a moverse en alguno de estos materiales. A través de esta medición sistemática se hace posible obtener una visión de la variación en la concentración de la variable estudiada en un área determinada, es decir, la distribución espacial de la variable en cuestión.

La distribución espacial de los elementos químicos se estudia con la finalidad de descubrir patrones de dispersión geoquímica relacionados con una mineralización (Hawkes y Webb, 1962; Sun et al. 2009). La búsqueda suele estar enfocada en los elementos químicos trazadores, que son elementos relativamente móviles y se encuentran estrechamente asociados con el de interés. Estos elementos se pueden encontrar con mayor facilidad, debido a que su halo de dispersión es más amplio que el del elemento que se busca (Levinson, 1973).

Los sedimentos de corriente representan uno de los materiales de mayor eficacia en estudios de prospección dada su alta movilidad, la cual permite observar patrones de dispersión muy extensos a través del estudio de elementos químicos asociados a ellos. Dentro de los sedimentos de corriente se pueden distinguir dos tipos minerales: los minerales livianos (densidad

inferior a $2,89 \text{ g/cm}^3$) y los minerales pesados (densidad mayor a $2,89 \text{ g/cm}^3$) los cuales difieren tanto en la mecánica a través de la cual son

transportados como en la asociación de elementos en las fases minerales que los constituyen.

El estudio de los minerales pesados permite detectar con gran certeza la naturaleza y el carácter de la fuente que los origina, ya que, este material es representativo de la litología existente en un área determinada según sus características y el comportamiento en el sistema o ambiente geoquímico (Rose et al., 1979). Es por esto que en prospección geoquímica son utilizados para la búsqueda de depósitos minerales, mediante la determinación de concentraciones anómalas de elementos y minerales (Torres 1984).

El Estado Bolívar ha sido tradicionalmente el estado de Venezuela en el cual se ha desarrollado la actividad minera. Esta actividad principalmente ha estado asociada a la explotación de Hierro, Aluminio, Oro, Diamante y Coltan, y dadas las características geológicas del Escudo Guayanés, con un potencial para la ocurrencia de otros tipos de depósitos (Mendoza 2012). Es por esto que la actividad prospectiva cobra importancia dado las grandes probabilidades de encontrar nuevos depósitos en esta región.

Una de las aéreas favorables para la ocurrencia de mineralizaciones que pudieran ser de importancia económica está al Oeste del Estado Bolívar, donde la Provincia Geológica de Cuchivero tiene su mayor desarrollo (Mendoza, 2012).

Algunos estudios realizados en la zona nor-occidental del Estado Bolívar, arrojan anomalías de elementos como Fe, Mn, Nb y Ti y las asocian a minerales de ilmenita (FeTiO_3), hematita (Fe_2O_3) y magnetita (Fe_3O_4). Por otro lado, existen estudios que indican que en el municipio Cedeño, Estado Bolívar, se han localizado áreas caracterizadas por la presencia de varias facies graníticas, como el Granito Rapakivi de El Parguaza, así como

pegmatita, litologías favorables para la búsqueda de ciertos depósitos de los cuales resalta el caso del coltan dado que se tienen reportes de este mineral (INGEOMIN, 2003; Mendoza en Gamero, et al., 2014). Estos importantes estudios de carácter regional, han motivado la realización del presente trabajo, el cual busca a través de un muestreo más detallado en las cuencas de los ríos Suapure, Cuchivero y Guaniamo, establecer posibles áreas anómalas para los siguientes Fe, Ti, Zr, Mn, Nb, Ta, U, Y, Th y Ce que permitan postular áreas de interés para la exploración minera. En función de lo anteriormente descrito, se plantean los siguientes objetivos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Elaborar mapas geoquímicos para los elementos Fe, Ti, Zr, Mn, Nb, Ta, U, Y, Th y Ce determinados en concentrados de minerales pesados colectados en las cuencas de los Ríos Suapure, Cuchivero y Guaniamo, Estado Bolívar, Venezuela.

. Objetivos específicos

- Establecer el fondo geoquímico local para el Fe, Ti, Zr, Mn, Nb, Ta, U, Y, Th y Ce.
- Establecer la posible fuente de los elementos bajo estudio, mediante la correlación existente entre los mismos.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

MARCO TEÓRICO

PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA

La prospección geoquímica se basa en la medida sistemáticas de las propiedades de un material de origen natural (rocas, suelos, sedimentos, agua y vegetación). Donde, la concentración de los elementos químicos, es la propiedad química comúnmente medida. El objetivo de dichas medida es localizar áreas con concentraciones que hicieran pensar la presencia de un cuerpo mineralizado (Hawkes y Webb, 1962). Los métodos de prospección geoquímica se fundamenta en el estudio de la dispersión de los elementos químicos. La **dispersión**, es el proceso responsable de la distribución y redistribución de estos en materiales naturales, causados por agentes físicos y químicos. Los procesos de dispersión según su origen ocurren en dos tipos de ambientes: primarios (endógeno) y secundarios (exógeno) (Levinson, 1973).

Las **dispersiones primarias** están relacionadas con las condiciones características de un ambiente endógeno (altas temperaturas y presiones y, bajo contenido de oxígeno libre). Las cuales difieren de las bajas presiones y temperaturas que prevalecen en la superficie terrestre. Estas se generan al mismo tiempo que una mineralización y afecta simultáneamente a las rocas que la rodean, por ende, yacimiento y dispersión tienen el mismo origen. La dispersión se forma mientras la roca en la que se origina se encuentra en equilibrio y no es expuesta a procesos de alteración como meteorización o metamorfismo. Los sitios de precipitación son las fracturas, fallas y aberturas intergranulares de las rocas por los que los fluidos o soluciones circulan (Hawkes y Webb, 1962). La **dispersión secundaria** se forman cuando las rocas son expuestas a la superficie o cercana a esta (ambiente exógeno);

donde son atacada por los agentes de meteorización para que posteriormente sus componentes sean dispersados de su origen (Hawkes y Webb, 1962).

Los dos tipos de dispersiones se presentan como halos de dispersión. Los cuales comprenden una alteración por zonas, formadas por elementos que de acuerdo a los agentes físicos y químicos, se encuentran asociados en diferentes concentraciones, ayudando a deducir la existencia de algún tipo de depósito mineral (Li et al., 2003). Desde el punto de vista de yacimientos minerales los patrones de dispersión pueden ser singenéticos o epigenéticos. Son **singenéticos** cuando la mineralización se forman al mismo tiempo que la matriz que lo contiene (roca caja), y **epigenéticos** cuando la mineralización se forman posterior a la roca que lo contiene, por la introducción subsecuente del elemento por una fuente externa que además de una mineralización forman una aureolall (Levinson, 1973; Rose et al., 1979).

En los estudios de prospección geoquímica es fundamental definir la concentración “normal” para los elementos bajo estudio en materiales no mineralizados en un área específica. Estos valores son conocidos como **valores de fondo o fondo geoquímicos**, igualmente se debe determinar los valores de umbrales y anomalías (Hartman, 1992). Los geoquímicos de exploración definieron el término “fondo” con el objetivo de diferenciar las concentraciones de un elemento en rocas que guardan relación con una mineralización, de rocas con escasa concentración de los mismos, a través de la determinación de valores anómalos (Reimann y Garret, 2005).

El valor de fondo es la abundancia de un elemento en un material de origen natural (roca, sedimento, suelo, agua, vegetación, entre otros). La concentración de fondo es considerada como el intervalo normal de concentración para cada elemento en un área, ambiente o tipo de material. Esta no es uniforme y por ende puede variar ampliamente de acuerdo a la

naturaleza del material terrestre que lo contiene (Hawkes y Webb, 1962). Para su determinación, se requiere conocer el comportamiento geoquímico de los elementos bajos las condiciones ambientales predominantes (Matshullat et al., 2000). El **umbral geoquímico** es el límite superior o inferior de los valores de fondo, a partir del cual los datos son considerados anómalos. Los valores de umbral al igual que los valores de fondo pueden variar para cada elemento, en cada tipo de roca, y en cada región. Las **anomalías geoquímicas**, son valores inusuales que pueden estar por encima o por debajo del fondo (Levinson, 1973). Estas pueden ser significativas o no (Matshullat et al., 2000). En prospección son significativas si la concentración anómala determinada guarda relación con una mineralización de importancia económica. Las anomalías negativas apenas sirven para la búsqueda de depósitos minerales (Rose et al., 1979).

De acuerdo al área que abarque la anomalía que dará lugar a la formación de depósitos minerales esta puede ser clasificada (tabla 1). Es una **provincia geoquímica** cuando la anomalía es positiva, su composición química difiere significativamente del promedio cortical, y esta a su vez cubre un segmento relativamente grande de la corteza terrestre (tabla 1), aunque en los continentes existen provincias geoquímicas más pequeñas que en las cuencas oceánicas (Hawkes y Webb, 1962). Mientras que un **depósito mineral**, es una ocurrencia mineral (mineralización) de suficiente tamaño y tenor que puede, ser considerada de importancia económica (Evans, 2003). Su formación está condicionada por los fluidos que operan en la roca caja, y de los tipos de depositación que se puedan lograr en un ambiente favorable. Estos fluidos contienen elementos que proviene de la geología por donde circulan (Grande, 2000).

Tabla 1. Jerarquía de los patrones geoquímicos. (Modificado de Xie et al., 2004; Gamero y Reveti, 2011).

Área anómala (Km ²)	Patrones Geoquímicos
<100	Anomalía local
100 – 1000	Anomalía regional
1000 - 10.000	Provincia geoquímica
10.000 - 100.000	Megaprovincia geoquímica
100.000 - 1.000.000	Dominio geoquímico
>1.000.000	Continente geoquímico

Dado que Los sedimentos de corriente representan una de los materiales de mayor eficacia en estudios de prospección por su alta movilidad, la cual permite observar patrones de dispersión muy extensos a través del estudio de elementos químicos asociados a ellos, a continuación se hará una breve reseña teórica del proceso de meteorización, con miras a aclarar el origen de este material y como se incorporan a los sistemas fluviales.

La **meteorización** es el proceso de alteración de las rocas en, o cerca de la superficie terrestre, debido a cambios en las condiciones físico-químicas (temperatura, presión y actividad química) del ambiente; las cuales son diferentes a las que prevalecían durante su formación, lo que conduce la formación de nuevos minerales estables bajo las nuevas condiciones. Existen tres tipos de meteorización, física, química y biológica (figura 1) (Spalletti, 2007 y González, 2009).

La **meteorización física** se refiere a la disgregación de rocas y minerales en fragmentos cada vez más pequeños, por efectos de dilataciones y contracciones producidas por cambios de temperaturas sin modificación de su composición química. Los agentes principales de este tipo de

meteorización son: el agua, la gravedad, el hielo y el viento. Por su parte, la **meteorización química**, es la alteración de los minerales causando la pérdida de algunos elementos y la ganancia de otros. Este es el producto de reacciones químicas entre la roca y los agentes de meteorización (agua, oxígeno y dióxido de carbono) (Iriodo, 2007). Mientras que, la **meteorización biológica**, incluye una combinación de efectos químicos y físicos relacionados con la actividad de organismos vivos (Spalletti, 2007 y González, 2009).

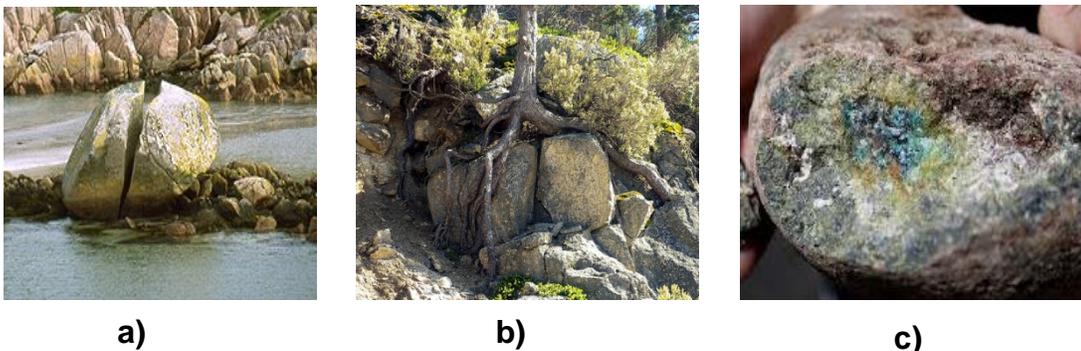


Figura 1. Tipos de meteorización: a) física, b) química y c) biológica. (Tomado de Spalletti, 2007).

A partir de la meteorización y/o de otros procesos naturales como la precipitación química a partir de una solución o segregados por organismos vivos, se originan fragmentos inorgánicos y orgánicos, denominados **sedimentos**, los cuales varían en origen, tamaño, forma y composición de acuerdo a los procesos que intervinieron en su formación. Estos pueden ser transportados en suspensión, saltación o tracción mediante la acción de agentes como el viento y el agua. Posteriormente, son depositados a temperatura ambiente formando capas sobre la superficie terrestre en forma no consolidada (Nichols, 2009).

El punto de partida para la formación de los sedimentos clásticos es el levantamiento y posterior erosión de las rocas preexistentes, ya sea ígnea, metamórfica o sedimentaria. Una vez que el cuerpo rocoso es levantado, el proceso de meteorización altera a la roca química y físicamente, originando partículas y liberando iones en las aguas superficiales (Nichols, 2009). Luego sigue el proceso de remoción de los productos de meteorización, principalmente por el agua. De acuerdo a esto la carga sólida de los ríos se puede clasificar en sedimentos suspendidos y de fondo (figura 2), cuyo alcance y representatividad son diferentes en cada caso (Quevedo, 2009; Parales, 2009).

Los **sedimentos suspendidos**, representan todo aquel material que es transportado en suspensión grandes distancias, debido a la turbulencia del flujo del río (figura 2). En cambio los **sedimentos de fondo** son transportados generalmente por saltación, rodamiento o desplazamiento sobre el lecho del río (figura 2). Este tipo de material suele incorporar minerales pesados y minerales livianos (Gómez, 1991).

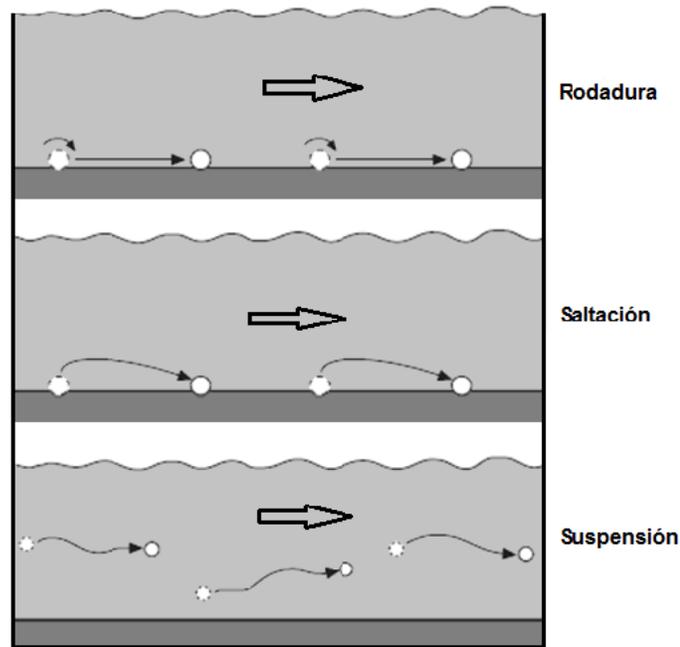


Figura 2. Transporte de sedimentos en sistemas fluviales. (Modificado de Nichols, 2009).

Los **minerales pesados** (tabla 2) son aquellos que poseen una gravedad específica mayor a $2,89 \text{ g/cm}^3$. Esta definición es de carácter operativa y se estableció en función de la densidad del bromoformo (CHBr_3), el cual suele ser usado para separar los minerales pesados de los menos densos (Mitchel, 1975; Mange y Maurer, 1992). Los minerales pesados se pueden clasificar según su origen en autigénicos y alogénicos. Los **alogénicos** son minerales detríticos que representan las acumulaciones derivadas de las rocas fuentes. Los cuales han resistido a la alteración por meteorización y erosión; mientras que los **autigénicos** o minerales secundarios son aquellos que se han formado en el lugar donde se encuentran, producto de reacciones químicas entre los minerales parentales y los agentes de meteorización (Feo, 1956).

Dentro de los minerales pesados existe un grupo denominado resistatos. Los resistatos son aquellos minerales de la roca fuente que permanecen relativamente inalterados al proceso de meteorización sin sufrir cambios químicos y tienden a acumularse en forma de material granular. El cuarzo (SiO_2), circón (ZrSiO_4), magnetita (Fe_3O_4), ilmenita (FeTiO_3), rutilo (TiO_2) son los resistatos más comunes (Quevedo, 2009). Estos minerales son llamados resistatos y son de gran importancia en prospección ya que la asociación de ellos en una muestra de sedimentos dado, puede permitir hacer inferencias bien fundamentadas del tipo de rocas existentes aguas arriba, basados justamente en la estabilidad de esas fases minerales. Pettijohn (1975) define la estabilidad de un mineral como la resistencia a la alteración. Esta puede dividirse en: estabilidad mecánica (resistencia a la abrasión) y química (resistencia a los procesos de descomposición y disolución) (tabla 3).

Usos de los minerales pesados en las ciencias de la tierra

Los minerales pesados pueden ser descritos, interpretados y utilizados en varias disciplinas, por lo que tienen muchas aplicaciones entre las que se destacan:

- Delineación de las provincias geológicas sedimentarias.
- Análisis de paleocorrientes, utilizados para trazar la ruta de transporte de los sedimentos.
- Construir mapas de dispersión de los sedimentos.
- Identificación de regímenes hidráulicos particulares y procesos de concentración.
- Elucidar procesos diagenéticos.
- Determinar proveniencia.

Tabla 2. Densidad y dureza de minerales pesados comunes. (Modificado Kein y Hurbult en Fermín, 2013).

Mineral	Formula química	Densidad(g/cm³)	Dureza
Turmalina	$\text{Na(Fe, Mg, Al, Li)}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$	3,0 - 3,25	5,7 - 7,5
Apatito	$\text{Ca}(\text{PO}_4)_3(\text{F, Cl, OH})$	3,15 - 3,20	5
Espodumena	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	3,15 - 3,20	3,15 - 3,20
Andalucita	Al_2SiO_5	3,16 - 3,20	7,5
Hornblenda	$\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{Al, Fe, Ti})_3\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg, Fe})_4(\text{O, OH})_2$	3,2	5 - 6
Sillimanita	Al_2SiO_5	3,23	6 - 7
Diópsido	$\text{Ca}(\text{Mg, Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$	3,2 - 3,3	5,5 - 6,5
Olivino	$(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$	3,27 - 4,37	6,5 - 7
Epidota	$\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})_2$	3,35 - 3,45	6,5
Esfena	CaTiSiO_5	3,4 - 3,55	5 - 5,5
Topacio	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F, OH})_2$	3,4 - 3,6	8
Diamante	C	3,5	10
Granate	$(\text{Mg, Fe, Mn, Ca})_3(\text{Al, Fe, Cr})_2(\text{SiO}_4)_3$	3,5 - 4,3	6 - 7,5
Estaurolita	$\text{FeAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	3,65 - 3,75	7 - 7,5
Anatasa	TiO_2	3,9	5,5 - 6
Rutilo	TiO_2	4,18 - 4,25	6 - 6,5
Cromita	FeCr_2O_4	5,85	5,5
Ilmenita	FeTiO_3	4,7	5,5 - 6
Circón	ZrSiO_4	5,0 - 5,3	5 - 5,5
Monacita	$(\text{Ce, La, Y, Th})\text{PO}_4$	5,0 - 5,3	5 - 5,5
Magnetita	Fe_3O_4	5,18	6
Hematita	Fe_2O_3	5,26	5 - 6
Casiterita	SnO_2	6,8 - 7,1	6 - 7
Oro	Au	15,0 - 19,3	2,5 - 3

Tabla 3. Estabilidad química y mecánica de los minerales pesados.
(Modificado de Pettijon en Mange y Maurer, 1992; Morton y Hallsworth, 1999).

Aumenta la estabilidad	Estabilidad química	Estabilidad mecánica
↑	Rutilo	Turmalina
	Circón	Corindón
	Turmalina	Espinela
	Anatasa	Titanita
	Apatito	Topacio
	Granate (pobre en hierro)	Granate
	Estauroлита	Epidoto
	Ilmenita	Apatito
	Magnetita	Circón
	Epidoto	Anfíbol cálcico
	Cianita	Rutilo
	Granate (rico en hierro)	Piroxeno
	Sillimanita	Augita
	Esfena	Cianita
	Zoisita	Olivino
	Hornblenda	Andalucita
	Actinolita	Diópsido
	Augita	Monacita
	Diópsido	
	Hiperstena	
Andalucita		
Olivino		

Por medio de los minerales pesados se puede detectar con gran certeza la naturaleza y carácter de la fuente que los origina, producto de que este material es representativo de la litología existente en un área determinada (Rodríguez en Quevedo, 2009). Es por esto que en prospección geoquímica son utilizados para la búsqueda de depósitos minerales. Mediante la determinación de concentraciones anómalas de elementos y minerales. Lo

cual depende de las características y comportamiento del sistema o ambiente geoquímico. Es utilizado para la detección de posibles yacimientos de minerales resistentes con importancia económica, como es el caso de los yacimientos de titanio provenientes de minerales como rutilo e ilmenita. Además de detectar de forma indirecta aquellos de gran importancia económica, como el diamante, a través de la búsqueda de minerales asociados (Torres citado en Quevedo, 2009).

Los minerales pesados son una herramienta muy útil en el caso de interpretar la litología de la roca fuente, debido a que usualmente están agrupados en asociaciones minerales específicas. Su morfología da información respecto a su historia de transporte. Estas asociaciones permiten en muchos casos inferir ciertas características respecto a la fuente (tabla 4), por ejemplo, bajo y alto grado de metamorfismo, tipo de roca y asociaciones autógenas, lo que permite inferir la litología de origen (Feo, 1956).

Muchas asociaciones de minerales pesados solo contienen minerales ultraestables (tabla 4). La ausencia de minerales inestables según Carver (1971) puede deberse a:

- Litología del área: que no posea concentraciones representativas de minerales pesados, como las rocas carbonáticas, sedimentos policíclicos maduros, y terrenos metamórficos de bajo grado.
- Pérdida pre-soterramiento: debido a la meteorización química intensa en regiones que presenten relieves bajos, baja tasa de sedimentación, pedogénesis avanzada, y terrenos húmedos corrosivos.
- Disolución post-soterramiento: podría originar la pérdida diagenéticas de minerales inestables.

Tabla 4. Fuentes de algunas asociaciones de minerales pesados.

(Modificado de Feo, 1956; Carver, 1971).

Asociación de minerales	Fuente
Cristales euhedrales de apatito, augita, biotita, hornblenda y circón.	Cenizas volcánicas
Cromita, augita, diópsido, epidoto, hornblenda, hiperstena, ilmenita, magnetita, olivino, clorita, granate y serpentina.	R.Ígnea máfica
Apatito, biotita, ilmenita, brookita, circón, hornblenda, monacita, moscovita, rutilo, titanita, esfena y turmalina.	R.Ígnea félsica
Apatito, biotita, casiterita, granate, monacita, moscovita, fluorita, topacio, turmalina, wolframita y dumortierita.	Pegmatita granítica
Diamante, picroilmenita, magnetita, piropo, Cr-diópsido, Cr-espinela, circón, flogopita, forsterita, enstatita, circón.	Kimberlitas
Fragmentos redondeados de barita, leucoxeno, minerales de hierro, rutilo, circón y turmalina.	R.Sedimentaria
Granos de rutilo bien redondeados, turmalina, circón.	Sedimentos retrabajados
Hematita, leucoxeno, limonita, turmalina, circón; cristales euhedrales de anatasa, brookita, pirita, rutilo y esfena.	Asociaciones autigénicos
Biotita, clorita, granate esparita, turmalina (especialmente pequeños, euhedrales, cristales marrones con inclusiones de grafito).	R.Metamórfica de bajo grado.
Actinolita, andalucita, apatito, almandino, diópsido, epidoto, clinozoisita, glaucofano, hornblenda, biotita, ilmenita, cianita, magnetita, sillimanita, esfena, estaurolita, turmalina, tremolita, circón.	R.Metamórfica de grado alto.
Andalucita, condrodita, corindón, granate, estaurolita, flogopita, topacio, vesuvianita, wollastonita, zoisita.	R. P. Metamorfismo de contacto
Andalucita, cianita, cloritoide, epidota, estaurolita, glaucofana, granate, sillimanita, titanita, zoisita, clinozoisita.	R. P. Metamorfismo Dinamothermal

R = Roca. **P**= Producto.

MAPAS GEOQUÍMICOS

Los mapas geoquímicos representan gráficamente la concentración de los elementos químicos distribuidos en un área determinada, permite una mejor interpretación de los datos obtenidos mediante su correlación con la litología presente. Estos revelan en los puntos de muestreo el comportamiento espacial de las variables presentes en el sistema natural bajo estudio, es decir, la geoquímica es la que debe dirigir en el mapeo y no cualquier otra información como geológica o geográfica, aunque esta información se debe estar presente al momento de hacer interpretaciones para determinar si alguna de las características geológicas está determinando la distribución (Reimann et al., 2008).

La representación de los patrones de dispersión de las variables en los mapas geoquímicos, depende de las opciones metodológicas utilizadas para generarlos (Spadoni et al., 2004). Se han desarrollado diversas técnicas para mostrar las propiedades geoquímicas de un sistema natural y su representatividad en el espacio, pero ninguna de estas tienen en cuenta los procesos de erosión que ocurren en las cuencas, que son los responsables de la dispersión de los elementos químicos. Entre las técnicas más utilizadas están los mapas de símbolos de puntos, áreales y de isoconcentración (Fernández y Hidalgo, 2008).

En los **mapas de símbolos de puntos** como su nombre lo indica la representación se realiza por medio de puntos, los cuales son ubicados en el lugar de muestreo. Los valores de las variables se agrupan en intervalos, y el tamaño de los puntos que los representan varía de acuerdo al valor de este. Este tipo de mapas son los más confiables en geoquímica por representar los datos el punto de muestreo. Tiene como desventaja que los valores de las variables en el intervalo puede afectar la exactitud del mapa, al ocultar pequeñas pero significativas variaciones en las variables (Spadoni et al., 2004).

Los **mapas áreales** son más confiables para la visualización a nivel regional, porque los valores de las variables se asignan a las celdas de una cuadrícula; donde varios puntos de muestreos pueden ubicarse dentro de una celda; cuando esto ocurre el valor de esta será el promedio entre los valores, y en el caso de que no exista un punto de muestreo dentro de la celda, el valor de la misma se calcula por interpolador estadístico. La forma y dimensión de las celdas no está relacionadas con las características físicas, morfológicas y geológicas del área de estudio (Spadoni et al., 2004).

El **mapa de isoconcentración** consiste en líneas de contorno, que representan la distribución espacial del valor numérico de las variables. Las líneas pueden estar rellenas de colores, donde el tono se degrada a medida que disminuye los intervalos de valores de la variable o pueden estar representados por una gama de colores diferentes; donde cada color indica los intervalos de valores de la variable o puede ser representado por curvas de igual valor (Spadoni et al., 2004).

Los mapas geoquímicos pueden ser utilizados para la determinación de riesgos ambientales y a la población por la presencia de elementos con concentraciones por encima de los límites permitidos, prospección de yacimientos minerales, entre otros (Taisser, 2008).

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Para la realización del presente trabajo se hizo uso de la herramienta estadística, el conjunto de datos recopilados inicialmente de la bibliografía fue depurado a partir de esta herramienta, igualmente la estadística permitió la discusión de la distribución, el fondo y las anomalías de cada elemento en las cuencas hidrográficas estudiadas. A continuación una breve resúmeteórico con miras a aclarar los conceptos básicos empleados en esta investigación.

La estadística descriptiva se encarga de la recolectar, clasificar, representar y resumir datos con el objetivo de facilitar su interpretación. En este sentido, investiga métodos, procedimientos y establece reglas para que el manejo de los datos sea más eficiente y la información entregada resulte confiable, y se exprese correctamente en un lenguaje que permita la comprensión de todo público (Llinas y Rojas, 2006). Los métodos estadísticos descriptivos implican el cálculo de medidas numéricas (medias, desviaciones estándar y coeficientes de correlación) y de naturaleza gráfica (histogramas, diagramas de cajas y gráficas de dispersión) (Devore, 2001).

Las **medidas de tendencia central** (figura 3) permiten apreciar cual es el comportamiento medio de cada variable. Las más utilizadas son: Media, Mediana y Moda (Sánchez, 2016).

La **media aritmética o promedio** (\bar{X}) indica cual es el valor medio de cada variable, es decir, es el valor alrededor del cual se agrupan los demás valores de la variable. Su cálculo se realiza con la suma de todos los valores de los datos $\sum_{i=1}^n X_i$, dividida entre el número de datos que componen la muestra (n) (Posada, 2016).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

La **mediana (Me)** es el valor que ocupa el lugar central, de tal forma que aquel valor deja el 50 % de las observaciones por debajo de él y el otro 50 % por encima de él. Cuando el total de datos (n) es impar, la posición de la mediana estará determinada por la fórmula: $i = X \frac{n+1}{2}$. Mientras que si el total de datos (n) es par, la posición de la mediana estaría determinada por: $i = X \frac{n}{2} + X \frac{n}{2} + 1$. Mientras que la **moda (Mo)** corresponde a el valor que más se repite, es decir, el atributo o el valor de mayor frecuencia (Posada, 2016).

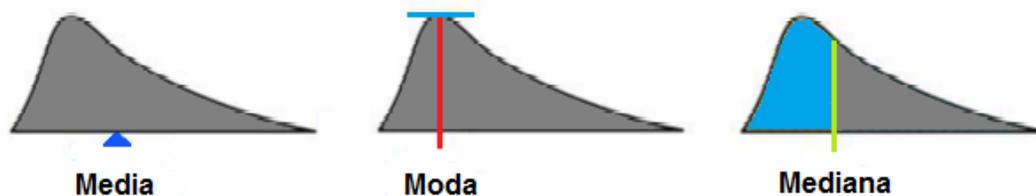


Figura 3. Medidas de tendencia central. (Tomado de Condori, 2016).

Las **medidas de dispersión** permiten analizar la variabilidad de la distribución. La dispersión mide que tan alejados están un conjunto de valores respecto a su media aritmética. Así, cuanto menos disperso sea el conjunto, más cerca del valor medio se encontrarán sus valores. Las más utilizadas son: desviación estándar, coeficiente de variación y rango intercuartílico (Alegre y Cladera, 2000).

La **desviación estándar** es el estadístico de dispersión que habitualmente se utiliza en geoquímica. Matemáticamente se calcula como la raíz cuadrada de la varianza, y se denota por (s) cuando se estima para la muestra y por (σ) si se calcula para la población (Posada, 2016).

$$s = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2\right) / n}$$

El **coeficiente de variación** se define como el cociente entre la desviación estándar y el valor absoluto de la media aritmética:

$$\% Cv = \frac{s}{\bar{X}} * 100$$

Se utiliza cuando se quiere comparar el grado de dispersión de dos distribuciones que no vienen dadas en las mismas unidades o que las medias no son iguales (Alegre y Cladera, 2000).

El **rango intercuartílico** (RIC) es una medida de dispersión que evita que los valores extremos influyan en el conjunto de datos. Se calcula mediante la diferencia entre el cuartil tres (Q3) y el cuartil uno (Q1). Es decir, el rango intercuartílico corresponde al rango del 50% ubicado en el centro de los datos (Triola, 2000).

$$RIC = Q_3 - Q_1$$

Por su parte las **medidas de forma** permiten observar la manera en que los datos se distribuyen, es decir, la forma que tiene la curva que representa la serie de datos muestrales (Alegre y Cladera, 2002). Son usadas para identificar valores particulares de un conjunto de datos. Para ello toman como referencia la media aritmética y la desviación estándar de la población o la muestra. Se mide en dos aspectos: sesgo o asimetría y apuntamiento o curtosis (Posada, 2016).

El **coeficiente de asimetría o sesgo** permite mostrar la inclinación de los datos, para su descripción se comparan la media aritmética, la mediana y la moda. Si estas medidas son exactamente iguales, se considera que la distribución de los datos es insesgada o simétrica (sesgo cero). Si la media aritmética es superior a la mediana, la distribución de los datos estará sesgada a la derecha (sesgo positivo) y si ocurre lo contrario los datos tendrán sesgo a la izquierda (sesgo negativo) (Pierdant y Rodríguez, 2006; Spiegel, 2013). Mientras que el **coeficiente de apuntamiento o curtosis** permite analizar la concentración de los datos alrededor de los valores medios de la muestra (Mendenhall, 1995).

De acuerdo al apuntamiento existen tres tipos de distribuciones: es platicúrtica (curtosis < 0) cuando el grado de concentración alrededor de los

valores centrales de la variable es reducido, mostrando una forma aplanada dado que las frecuencias bajas están alrededor de la media (Suárez y Tapia, 2012); leptocúrtica (curtosis > 0) cuando las frecuencias altas se encuentran alrededor de la media, lo que le proporciona a la distribución de los datos una forma puntiaguda (Posada, 2016) y; las distribuciones mesocrática (curtosis = 0) presentan moderado grado de concentración alrededor de los valores centrales, característicos de distribuciones simétricas o normales (Alzate, 2004; Posada, 2016).

En la estadísticas los gráficos se utilizan para obtener una mejor comprensión del comportamiento de las variables, ya que estos permiten describir rápidamente las características del grupo de muestras bajo estudio (Posada, 2016). Los gráficos comúnmente usados son: histogramas, gráficos de papel probabilístico normal y cajas graficas o diagramas de cajas. Los **histogramas** permiten visualizar una aproximación a la distribución a la que se ajustan los datos. Estos se conforman por un conjunto de rectángulos distribuidos en un plano cartesiano. Sobre el eje horizontal (figura 4) se distribuyen los intervalos de la variable y sobre el eje vertical se ubican las frecuencias. La base de los rectángulos está determinada por la amplitud del intervalo, y la altura de cada rectángulo corresponde a la frecuencia que presenta cada intervalo (Martínez, 2007; Posada, 2016; Sánchez, 2016).

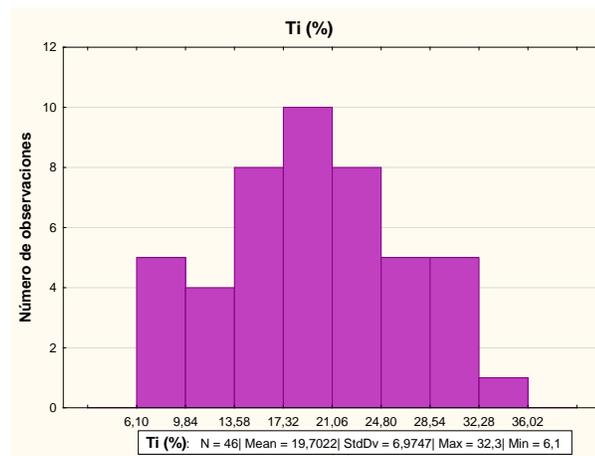


Figura 4. Histograma. (Elaboración propia).

En cambio, los **diagramas de cajas** aportan información conjunta de medidas de posición y de dispersión. Estas son representaciones gráficas, por lo general rectangular que muestran la mediana, el rango intercuartílico (RIC), los valores atípicos y los casos extremos de la variable. Son especialmente útiles cuando se trata de comparar distintas variables o el comportamiento sobre una misma variable de distintos grupos (Alegre y Cladera, 2002). En prospección geoquímica este tipo de gráficos es de gran utilidad para la determinación de anomalías porque proporciona información acerca de los posibles valores anómalos (Hernández, 2009).

Los diagramas de cajas tienen las siguientes características (figura 5): El eje vertical corresponde a los valores de la variable; en el interior del rectángulo (con una línea) se señala la mediana de la variable, los bordes superior e inferior del rectángulo coinciden con el tercer y primer cuartil; la amplitud de ese intervalo define el rango intercuartílico, el 50 % de las observaciones centrales se encuentran dentro del rectángulo, el otro 50 % de las observaciones estarán 25 % por encima y el otro 25 % por debajo.

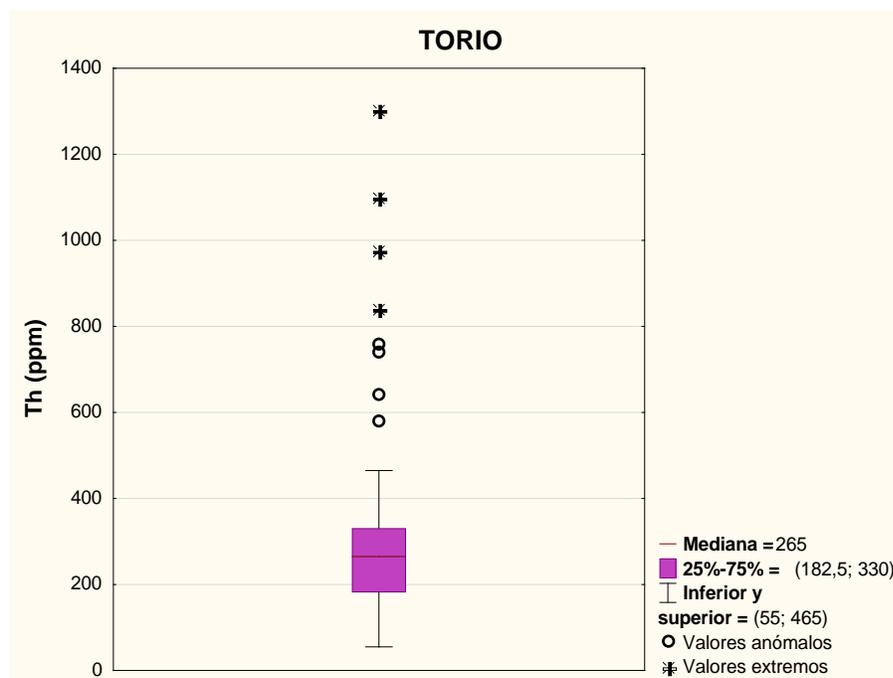


Figura 5. Diagrama de cajas. (Elaboración propia).

Para detectar la existencia de observaciones atípicas desde las cajas se definen, tanto por arriba como por abajo, dos límites formales (que no se representan), ambos basados en la amplitud del rectángulo, es decir en el rango intercuartílico de la distribución. El primer límite se define como: 1,5 veces el RIC y el segundo: 3 veces RIC. En la gráfica se señalan como observaciones atípicas aquellas que superan el límite de 1,5 veces el RIC sin exceder el límite superior de 3 veces RIC. Si la observación supera el límite superior se señalan con otro símbolo, considerándose valores extremas. Los límites a los que se ha hecho referencias no son visibles en las gráficas, por lo que si no existen observaciones que los superen no se visualizará ninguna señal (Alegre y Cladera, 2002).

ANTECEDENTES

Mendoza (1993) caracterizó geoquímicamente los resistatos pesados y minerales asociados recolectados en el Alto Paragua, Estado Bolívar, Venezuela. Para eso dividió el área de estudio en tres cuencas: Paragua, Carún y Antabará. El autor analizó 69 muestras mediante fluorescencia y difracción de rayos X, con el propósito de estudiar la distribución natural de los elementos Ca, Ti, Fe, Mn, Zn, Pb, Sr, Y, Zr y Nb, y localizar provincias metalogénicas de gran expresión superficial. Logrando reportar la presencia de magnetita, hematita, ilmenita, rutilo y circón. Lo cual concluyo que los mayores valores de fondo registrados para la cuenca del Antabará, posiblemente se debe a la presencia de otros depósitos minerales que aportan sustancialmente cantidades adicionales de cada elemento, principalmente calcio y plomo, los cuales están ausentes en la cuenca del Alto Paragua y Carún.

Garban (2001) estudió anomalías de tántalo en el área de El Grillero-El Café, Edo Bolívar-Venezuela. Analizó 103 muestras de sedimentos pesados, 36 de suelo y 17 de rocas, mediante análisis instrumental por activación neutrónica (INAA), espectroscopia de emisión óptica por plasma acoplado por inducción (ICP-OES), y microscopía electrónica de barrido (MEB), entre otros. Determinó que toda el área de estudio es una zona con potencial para la exploración de tántalo, basándose en que el fondo local (300ppm) está por encima del fondo regional (1,5 ppm). Estableció que la zona con mayor potencial para la exploración de tántalo corresponde la parte media de la quebrada El Brinquito. La cual posee anomalías entre 163-1700 ppm; además determinó que las fases minerales portadoras de la anomalía pertenecen a óxidos del grupo columbita-tantalita, y que estos minerales provienen de diques pegmatíticos que se ubican en la zona.

INGEOMIN (2003) realizó una exploración geoquímica y geológica en las cuenca de los Ríos Suapure, Villacoa, Parguaza y Ore, Municipio Cedeño,

Estado Bolívar. Analizaron 94 muestras de sedimentos (44 pesados y 50 de liviano); con el objetivo de identificar y ubicar áreas con minerales de interés económico. Concluyeron que la cuenca de los Río Parguaza y Caño Colorado presentan anomalías de Nb y Zr. La cuenca del Río Suapure es un área de interés económico debido a la presencia anómala de Th, Y, Ta y Sn y minerales monacita y columbita. Estos minerales también fueron detectados en el Caño La Peineta.

Quevedo (2009) realizó un análisis químico y mineralógico de los minerales pesados provenientes de los sedimentos de la cuenca del Río Aro, Estado Bolívar, Venezuela; con la finalidad de determinar en cuales minerales pesados se encuentran presentes los elementos uranio, torio, lantano y cerio en concentraciones notables y como es su distribución dentro de los granos que lo contienen, utilizando microscopia electrónica de barrido acoplada a un espectrómetro de rayos X y difracción de rayos X. Concluyó que las concentraciones elevadas de torio, cerio y lantano provienen del mineral monacita cuya composición es de 30 % Ce_2O_3 , 13 % La_2O_3 , 12 % ThO_2 y 8 % Nd_2O_3 , y que el uranio solo se detectó en intrusiones de uraninita dentro de granos de circón, además infirió como posible fuente de la monacita a rocas graníticas o pegmatitas graníticas.

Pérez et al(2011) realizaron estudios mineralógicos y morfométricos de los minerales pesados del Río Aro con objetivo de determinar la composición mineralógica de los sedimentos aluviales de los Ríos La Piña, Caño del Medio, La Lajita y El Aro en su parte media. El estudio se realizó a partir de 19 muestras, las cuales fueron sometidas a separación granulométrica, magnética y en medios densos. Concluyendo que la fracción granulométrica más representativa en todas las cuencas analizadas es la fracción de $<0,5 >0,1$ mm correspondiente a arenas de grano medio a fino; que el mayor contenido de minerales magnéticos se encuentran asociados a esta fracción siendo ilmenita, circón, apatito, epidoto, diamante, rutilo, leucóxeno,

columbita, torianita y xenotima los principales minerales de interés económico.

Sampol et al (2011) caracterizó mineralógica y morfológicamente los minerales pesados de los sedimentos del río Paragua, estado Bolívar con el objetivo de identificar minerales de interés económico. Las muestras fueron separadas en base a su granulometría y densidad, y analizadas bajo lupa binocular, obteniendo como resultados la presencia de ilmenita, hematita, circón, rutilo, magnetita, limonita, diamante, casiterita, epidota, esfena, granate y turmalina. Además determinando que los contenidos de ilmenita se encuentra en concentraciones ($> 1 \%$) explotables para yacimientos de placeres.

Fermín (2013) estudió las fracciones magnéticas y no magnéticas de los sedimentos pesados transportados por los Ríos que drenan en las Provincias Cuchivero y Roraima en los estados Bolívar y Amazonas; utilizando difracción de rayos X, espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) para determinar Ti, Nb, y Zr y espectrometría de absorción atómica (AAS) para Fe y Mn; obteniendo que la fracción magnética (0,4 A) está constituida por ilmenita, determinando concentraciones promedio de Fe 33,74 % peso/ peso (p/p) y entre 4,25 - 1,73 % p/p para el Mn; la fracción medianamente magnética (0,8 A) está formada por ilmenorutilo, pseudorutilo, hematita y fosfatos de tierras raras (monacita y xenotima) y hastingsita, presentando mayores concentraciones de Ti (40 % p/p); Por último, la fracción no magnética está constituida principalmente por circón, el cual tiende a concentrarse en las fracciones de menor tamaño con concentraciones promedios de 44,19 % p/p. En cuanto al Nb las mayores concentraciones se encuentra en el Río Ore con 6787 ppm asociándolo principalmente a ilmenita, pero no se descarta la presencia columbita-tantalita y tiende a concentrarse en las fracciones medianamente magnéticas.

Gamero et al (2014) caracterizaron geoquímicamente los minerales pesados de la zona nor-occidental del Estado Bolívar, con el fin de ubicar y limitar zonas de interés para la prospección mineral. Lograron definir la zona de estudio en cuatro áreas anómalas. La zona A, ubicada en la cuenca del Río Aro la cual presento anomalías Cr, Y, La, Ce, Nd, Th, U, P₂O₅, Fe₂O₃ y TiO₂, asociadas de acuerdo al análisis mineralógico a ilmenita, magnetita, cromita, hematita e ilmenorutilo. La zona B, ubicada en la parte alta del Río Guaniamo, extendiéndose en dirección N-W hasta la desembocadura del Río Suapure en el Río Orinoco, y alcanza las cuencas de los Ríos Parguaza-Cataniapo; presento anomalías de Zr, Hf, U y altas concentraciones de Nb, TiO₂ y Fe₂O₃, son ilmenita y circón las fases mineralógicas presente en esta área. La Zona BI ubicada en la cuenca del Río Suapure presento anomalías de Zr, Hf, Th, MnO y altas concentraciones de Nb, TiO₂ y Fe₂O₃, donde las fases mineralógicas presentes son ilmenita, hematita, magnetita. La Zona BII ubicada en la parte alta de la cuenca del Río Guaniamo, arrojo anomalías de Y, La, Ce, Nd, Th, U, P₂O₅ y altas concentraciones de Zr, Hf, Nb, TiO₂ y Fe₂O₃, siendo monacita e ilmenita las fases minerales identificadas en esta zona.

MARCO GEOLÓGICO

GEOLIGIA REGIONAL

La zona de estudio pertenece a las provincias metalogénicas que conforman al Escudo de Guayana. Este cubre aproximadamente el 50% de la superficie de Venezuela. Se extiende al Sur del Río Orinoco; al Oeste limita con Colombia por los Ríos Orinoco, Atabapo y Guainía-Negro; al Sur con Brasil en Cocuy-Neblina cabeceras de los Ríos Orinoco-Ventuari y la Gran Sabana con la Sierra Pacaraima; al Este con la Zona en Reclamación con los Ríos Venamo y Cuyuní. Fisiográficamente se divide en cuatro Provincias: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima (figura 6) (Mendoza, 2012).

Provincia de Imataca (3.4 – 2.5 Ga)

La ocupa zonas montañosas con alturas superiores a 400 m.s.n.m. Se extiende en dirección SW-NE, desde las proximidades del Río Caura hasta el Delta del Orinoco y en dirección NW-SE, aflora desde el curso del Río Orinoco hasta la Falla de Gurí por unos 550 km y 80 km, respectivamente. Litológicamente está formada por gneises graníticos y granulitas félsicas (60%-75%), anfibolitas y granulitas máficas y hasta ultramáficas (15%-20 %). Con cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro (BIF), dolomitas, charnockitas, anortositas, granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales menos metamorfizados, y más jóvenes Cinturones de Rocas Verdes Tronjemita Tonalita y Granodiorita (TTG) (Mendoza, 2012).

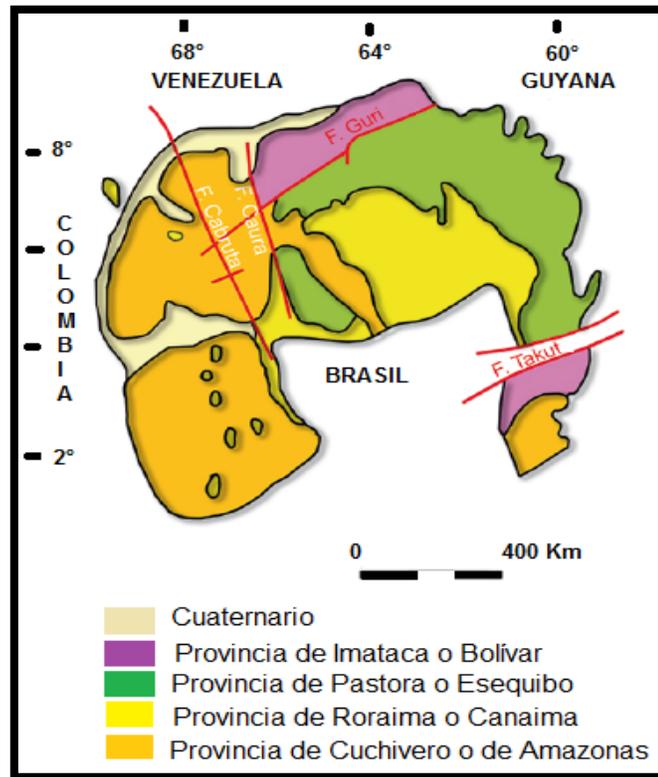


Figura 6. Provincias Geológicas del Escudo de Guayana Venezolano. (Tomado de Mendoza, 2012).

Provincia de Pastora o Provincia del Oro (2.3 – 2.0 Ga)

Se extiende desde la falla de Gurí al Norte hasta las proximidades del Parque Nacional Canaima al Sur (Kilómetro 95 de la carretera El Dorado-Santa Elena), por el Este hasta los límites con la Zona en Reclamación del Esequibo y al Oeste, hasta el Río Caura. Está formada por cinturones de rocas verdes (CRV), delgados, más antiguos, tectonizados (tipo Carichapo); formados en/o cerca de un arco de islas en una zona de convergencia y CRV, más anchos, jóvenes, menos tectonizados y menos metamorfozados (tipo Botanamo o Terreno Botanamo); formados en la cuenca delante del arco de islas y complejos graníticos TTG o granitos sódicos,

como el Complejo Granítico de Supamo. Toda la secuencia esta intrusionada por granitos potásicos o “sensu estricto”, dioritas y rocas gabroides con escasos, y no bien definidos complejos máficos-ultramáficos, ofiolíticos o no (tipo Yuruan-Uroy), e intrusiones de diques anulares como Nuria y sills de diabasas, y rocas asociadas norítico-gabroides con algo de cuarzo. (Mendoza, 2012).

Los CRV más antiguos muestran tendencias estructurales N 10° E - N 20° O, mientras que los CRV más jóvenes casi siempre presentan tendencias en ángulo recto con las anteriores, N 70°- 80°E. Menéndez (citado en Mendoza, 2012) definió que CRV de Guasipati-El Callao (Superterreno El Callao) está formado por el Supergrupo Pastora, y por la Formación Yuruari (Terreno Yuruari por presentar contacto tectónico) suprayacente al Grupo Carichapo (Asociación Carichapo). La Asociación Carichapo está constituido de base a tope por la Anfibolita de Carichapo, y en orden sucesivo ascendente por las Formaciones Florinda (Metalava basáltica-comatiítica de Florida), Cicapra (Terreno Cicapra: formado de metalavas basáltico-comatiítica y meta-lavas basálticas con meta-sedimentos por no ser partesco-magmáticas, y estar adicionadas o yuxtapuestas a unas unidades a otras.) y El Callao (Metalava basáltica-tholeiítica de El Callao). Los nombre encerrado en paréntesis sería su nombre bajo las unidades litodémicas por presenta contacto tectónico, ser alóctonas, porque han sufrido traslados y colisiones tectónicas, presentan metamorfismo en la facies de esquistos verdes y facie de anfibolita parte inferior, y por lo tanto, hasta donde no se identifique el carácter bien definido estratigráfico de sus unidades, se prefiere y recomienda utilizar unidades litodémicas y terrenos para ellas. Se usan unidades litoestratigráficas siempre que sus características estratigráficas primarias sean preservadas o reconocidas.

Provincia de Cuchivero o Amazonas (1,85 – 1.80 Ga)

Tiene su mayor desarrollo hacia la parte occidental del Estado Bolívar al oeste del Río Caura, formadas principalmente por rocas volcánicas riolíticas y asociadas, comagmáticas con granitos calcoalcalinos de la Asociación Cuchivero; metaareniscas, metaconglomerados, metalimolitas, metatobas, entre otros, del Supergrupo pre-Roraima; sills, diques, apófisis, “stocks” de rocas diabásicas-gabronoríticas cuarcíferas de la Asociación Avanaver; el Granito Rapakivi de El Parguaza, y complejos alcalinos como el de La Churuata y rocas asociadas, así como intrusiones de Carbonatitas en Cerro Impacto, lamprófiro y kimberlitas eclogíticas diamantíferas de Guaniamo (Mendoza, 2012).

La sección más completa de la Provincia de Cuchivero está definida por Mendoza (1974) en el área del Río Suapure con el nombre de Supergrupo Cedeño, formada por el Grupo Cuchivero (constituida por la Formación Caicara, Granito de Santa Rosalía, Granito de San Pedro y Granito de Guaniamito), metabasitas y el Grupo Suapure (constituido por el Granito de Pijiguaos (GP) y Granito Rapakivi de El Parguaza (GRP). Actualmente, la Provincia de Cuchivero (figura 10) es definida por el mismo autor siguiendo las unidades litodémicas utilizadas para rocas volcano-plutónicas como: la Superasociación Cedeño, formada por la Asociación Cuchivero (constituida por Volcánicas de Caicara, Granito biotítico de Santa Rosalía, Granito alaskítico de San Pedro) y la Asociación Suapure (formada por el Granito de Pijiguaos, Granito Rapakivi El Parguaza y sus facies: Granito de Guaniamito, Granito del Marieta...).

Asociación Cuchivero

Litológicamente (figura 7) está formada por: Volcánicas de Cicara, la cual se compone de ignimbritas, tobas de cenizas, brechas y cantidades menores de lavas, obsidianas y domos riolíticos, con cantidades muy subordinadas de otras rocas volcánicas de composición dacítica, andesítica y aún basáltica, todas ellas de afinidad calcoalcalinas y de composición química riolíticas; El Granito de San Pedro (GSP) es un granito alaskítico, subvolcánico de grano fino, mientras que El Granito de Santa Rosalía es plutónico, de grano medio a grueso, aproximadamente equigranular, compuesto de biotita, de escasa a ausente hornblenda, y aflora cubriendo más de 40.000 km² desde la Serranía El Mato en El Caura, al este del Pueblo de Santa Rosalía, hasta el Río Suapure al Oeste, y hasta el Río Ventuari al Sur, (Mendoza, 1975; Mendoza, 2012).

Asociación Suapure

Está formada por rocas ígneas ácidas que afloran en dirección E-W desde Los Pijiguaos hasta Puerto Páez, y en sentido N-S desde Los Pijiguaos hasta el Río Ventuari, cubriendo alrededor de 30.000 km² (Mendoza, 1974). Constituido por el Granito Rapakivi de El Parguaza (GRP) y todas sus facies subvolcánicas como: El Granito de Pijiguaos (GP), Los Pórfidos Riodacíticos del Guayapo, La Granodiorita del Sipapo, plutónicas como cuarzo-sienitas y anortositas a rocas muy cercanas al manto, como bauchitas y el Granito de Guaniamito (figura 10) (Mendoza et al., 1977).

El Granito de Pijiguaos es un granito leucocrático (5% máficos) de color rosado salmón, de grano fino, equigranular, aspecto algo recrystalizado, muy rico en cuarzo y microclina, con textura moteada en la que se observan dos o más generaciones de cuarzo, posiblemente correspondientes con las pulsaciones o intrusiones posteriores del GRP. Aflora en la mitad inferior de

los domos de Pijiguaos, en contacto no transicional con el Granito Rapakivi de El Parguaza (Mendoza, 2012).

TECTONISMO	ZONA CUCHIVERO	ZONA GUANIAMITO-SUAPURE	REGIÓN PARGUAZA-AMAZONAS
Facies Molasoides	SUPERGRUPO RORAIMA		
1.350 Ma		S U P E R A S O C I A C I O N	S A O S U P E R A S O C I A C I O N
ANOROGÉNICO			Riodacita Porfídica del Río Guayabo
1.550 Ma			Granodiorita del Sipapo Granito de Pijiguaos Granito de Marieta Granito Rapikivi de El Parguaza Granito de Guaniamito
1.790 Ma	METABASITAS	METABASITAS	BAUCHITAS Y METABASITAS
TECTÓNICO TADÍO A	A S O C H I V E R O	A S O C H I V E R O	C E D E Ñ O
POSTCOLISIÓN			
1.980 Ma	Volcánicos de Caicara	Volcánicos de Caicara	
	SUPERGRUPO PRE-RORAIMA		
	Complejo de Supamo	Complejo de Supamo/ Complejo de Imataca	Complejo de Imataca/ Manto Superior

Figura 7. Unidades litodémicas de la Provincia de Cuchivero. (Modificado de Mendoza, 2012).

El Granito Rapakivi de El Parguaza (1.6 – 1.35 Ga) ocupa gran superficie desde Los Pijiguaos al Este hasta Puerto Ayacucho, al Oeste, y desde el Río Orinoco al Norte hasta la confluencia del Río Ventuari en el Orinoco, en Amazonas, al sur. Es una roca ígnea plutónica granítica masiva, de colores grises, de grano muy grueso, textura inequigranular wiborgita rapakivi; compuesta por: cuarzo (5 – 20) %, microclino-perfita (25 – 55)%, oligoclasa (15 – 30)% y notorio minerales máficos enriquecidos en óxido ferroso (biotita 3 – 17 %, hornblenda 1 – 24 % ± clinopiroxeno) con cantidades menores de

ilmenita, circón y fayalita. Son rocas metaluminosas a peraluminosas, de afinidad tholeiítica, ricas en Fe, K, Rb, Ni, Th, F, REES, Ga, y muy bien fraccionadas. Este muestra zonamiento inverso (rocas más félsicas hacia dentro del plutón y más máficas en los bordes). (Mendoza, 2012).

Provincia de Roraima (1.2 – 1.0 Ga)

Se extiende en Venezuela en dirección N-S desde los límites del Parque Nacional Canaima hacia el km 95 de la troncal No. 10, cerca de la Piedra de la Virgen, hasta Santa Elena del Uairén y el Tepuy Roraima; y en dirección E-W desde el Río Venamo hasta las proximidades del Río Paragua. La Provincia de Roraima al Sur de las cabeceras del Río Cuyuní alcanza grandes áreas planasaltas, denominada Gran Sabana. La cual está formada por areniscas feldespáticas del Mesoproterozoico con alturas de 1.500 a 950 m.s.n.m., desde Luepa hasta Santa Elena del Uairén, culminado por Tepuys o mesas altas de ortocuarcitas sedimentarias del Grupo Roraima; con innumerables y bellos tepuys como El Roraima, Auyantepuy, Chimantá y hacia Amazonas los tepuys de El Pañuelo, Cuao, Autana, Parú, Duida y Marahuaca entre otros, con alturas que van en Roraima por el orden de hasta los 2.000 m.s.n.m., y en el Marahuaca hasta los 3.400 m.s.n.m. (Mendoza, 2012).

En general, Roraima carece de marcado tectonismo y contiene sinclinales suaves muy abiertos y de muy bajo buzamiento, y con algún fallamiento. En la región de Santa Elena de Uairén Reid subdividió el Grupo Roraima en cuatro formaciones (Briceño et al., y Reid (citado en Mendoza, 2012). La parte basal del grupo o Formación Uairén, yace discordantemente sobre un basamento erosionado de rocas volcánicas ácidas, consiste en conglomerados y areniscas de origen fluvial. Concordantemente por encima, se ubica la Formación Cuquenán que representa entre 50-100 m de lutitas

físiles. Esta unidad está cubierta concordantemente por la Formación Uaimapué que consiste predominantemente en Ftanita, limolita, arcosas y jaspes rojos y verdes. Concordantemente por encima yace la Formación Mautai, formadas principalmente por ortocuarcitas de colores blanco, crema y rosado (González, 1980).

GEOLOGIA LOCAL

Cuenca del Río Suapure

Tiene aproximadamente 8.000 km² y nace en la Serranía de Yutajé entre los Estados Bolívar y Amazonas. Discurre en dirección SE-NE sobre rocas graníticas y volcánicas pertenecientes a la Provincia de Cuchivero, con algunas variaciones producto de las estructuras geológicas presente en el área. Río Blanco, Turiba y Perro de Agua y los caños La Peineta, Los Pijiguaos, Trapichote, La Miel, La Ceiba y quebrada La Guacamaya son sus principales afluentes (Rondón, 2007; Pacheco, 2013).

En esta cuenca El Granito de Pijiguaos aflora a lo largo de las quebradas El Paují, El Caballo y Caña Brava. De acuerdo a imágenes de radar este granito se extiende por las partes bajas de los Ríos Parguaza, Villacoa y Ventuari. Mineralógicamente consiste en feldespato potásico ± perfitita (30 - 35)%, plagioclasa albítica (25 - 30)%, cuarzo (25 - 30)% y como accesorios más frecuentes biotita marrón (1 - 3)% con apatito (0 - 4)% y opacos (1 - 3)%, y como secundarios epidoto y clorita, también contiene xenolitos de cuarzo-latita de la Volcánicas de Caicara o Formación Caicara y metabasitas. Aflora como lajas por debajo del Granito del Parguaza. (González et al., 1980).

El Granito alaskítico de San Pedro (Asociación Cuchivero) aflora entre El Budare y Pijiguaos, 3 km al W del paso de San Pedro en el Río Suapure, es una roca granítica leucocráticas, de aspecto subvolcánico, de edad

proterozoico temprano a medio, de grano fino, masivo a moderadamente foliado, compuesto de cuarzo cataclástico (25 %), feldespato potásico y perita (50 %), plagioclasa sódica (20 %), con cantidades pequeñas de minerales máficos como; biotita, clorita, epidoto y otros constituyentes menores como apatito, titanita y circón. Este granito representa una facies transicional de grano fino del Granito de Santa Rosalía, esta facies se observa generalmente hacia el borde de la masa granítica en contacto con las rocas Volcánicas de Caicara y a veces toma el aspecto de un contacto transicional desde el granito de grano grueso de Santa Rosalía, al granito leucocrático de grano fino de San Pedro y a las volcánicas de Caicara, esta transición se observa en la localidad de la Mariposa, por otra parte en la localidad de Bebederos el granito de San Pedro es claramente intrusivo en las volcánicas félsicas de Caicara y además se encuentran xenolitos de rocas riolíticas dentro del granito (González et al., 1980).

En el límite del Municipio Cedeño con el Estado Bolívar Codesur en 1970 identifiqué por medios de estudios aéreos radiométricos y magnéticos una carbonatita, la cual lleva por nombre de Cerro Impacto. Esta presenta gran interés para Nb, Th, Ce, Ba, P, Zn, Pb y cantidades menores de Mo, Bi, Sn, Ag, Au y Be, con una geometría de unos 3 Km de largo por 1 Km de ancho. La lixiviación meteórica bajo condiciones climáticas tropicales en carbonatitas son las condiciones óptimas para la acumulación de REEs (tierras raras). Las REE se originan por la descalcificación de carbonatos primarios, apatito y perovskita, en presencia de oxígeno e iones de fósforo (P) y flúor (F), a partir de minerales residuales con REEs supergénicos estables bajo condiciones tropicales lluviosas con intensa meteorización. La Carbonatita de Cerro Impacto, sufrió gran meteorización bajo estas condiciones por lo menos unos 20 Ma, es intrusiva en el basamento de rocas de Cuchivero y del tipo Complejo de Supamo y se correlaciona con la Carbonatita de Seis Lagos (Mendoza, 2005).

Cuencas de los Río Cuchivero- Guaniamo

El Río Cuchivero nace en la vertiente noreste de la altiplanicie de Icutú, en la Serranía de Guamapí de la Sierra de Maigualida, drena en aproximadamente 16.000 km², con una longitud de 305 km, mantiene un rumbo predominantemente N-NE hasta su desembocadura aguas abajo de Caicara del Orinoco. En su recorrido recibe por el oeste a su principal afluente, el Río Guaniamo, y por el este, al Sariapo (Mendoza, 2000). En la zona W del Estado Bolívar, tiene lugar las rocas volcánicas del Caicara o Formación Caicara (Ríos, 1972) y los cuerpos intrusivos son: Granito de Guaniamito, Granito de Santa Rosalía y Granito de San Pedro (Mendoza, 1972).

Asimismo las rocas volcánicas de Caicara de edad Mesoproterozoico aflora en los poblados situados al sur de Caicara del Orinoco, en las colinas a los costados del camino Santa Inés - Morichal Negro, la cual está constituida por un conjunto de rocas metavolcánicas predominantemente félsicas, tales como riolitas y riolitas porfídicas con matriz de grano fino a medio, seguidas en orden de abundancias por riodacitas y dacitas porfídicas. La composición mineralógica: es cuarzo (30-60)% y como relleno de espacios intercristalinos feldespatos (25-60) % como: microclino y microclino peritítico, y plagioclasa (albita y andesina). La biotita es el principal constituyente ferromagnesiano (hasta un 5%). Como minerales accesorios se distinguen: epidoto, muscovita, piritita y óxidos de hierro. La unidad está en contacto intrusivo con los granitos de Santa Rosalía, Guaniamito y San Pedro. Los contactos son nítidos y se observa un marcado cizallamiento y efectos de metasomatismo (potásico principalmente) a lo largo de ellos en la secuencia volcánica intrusionada. Se encuentra en contacto de falla con el Granito del Parguaza (Mendoza, 1972).

El Granito de Guaniamito aflora en los cerros El Tigre, Cacarrañao, Las Vainillas y El Chingo, y en el Río Guaniamo y la quebrada La Magdalena, situados al oeste del Río Cuchivero. La unidad está constituida por rocas de composición granítica, ricas en minerales félsicos en gran parte con textura gnéisica, de grano medio a grueso, holocristalinas, porfídicas. Hacia las zonas de contacto con las rocas volcánicas muestran indicios de metasomatismo y deformación mecánica (Ríos, 1972). En las zonas centrales de los afloramientos disminuye el carácter gnéisico. La roca está constituida por cuarzo (10 – 30) %, feldespato (25-65)%, biotita (1-8)% y cantidades menores de muscovita o sericita y como accesorios titanita, epidoto, hornblenda, circón y magnetita (Mendoza, 2005).

El Granito de Santa Rosalía aflora en los valles de los Ríos Cuchivero y Guaniamo, y soporta las mayores elevaciones de la región. Es un granito biotítico, de color rosado a gris, de grano fino a grueso. Mineralógicamente está compuesto por: cuarzo (35%), biotita (5 %) (Principal componente máfico) y cantidades menores de hornblenda, epidoto y clorita. Este granito es intrusivo en las rocas volcánicas de Caicara y esta a su vez en el Río Suapure es intrusionado por el Granito del Parguaza; se caracteriza por contenidos relativamente altos de SiO_2 , $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, Rb/Sr y bajos contenidos de Al_2O_3 , MgO , CaO , Sr , K/Rb y es fuente probable de casiterita, columbita y de tantalita (Mendoza, 2005).

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

El presente trabajo se llevó a cabo a partir de los datos geoquímicos obtenidos de concentrados de minerales pesados de las cuencas de los Ríos Suapure, Cuchivero y Guaniamo, Estado Bolívar, Venezuela. El mismo consistió en un análisis estadístico de los datos, para posteriormente realizar un mapa geoquímico de la zona bajo estudio. A continuación se describe el muestreo y el análisis químico que dieron origen a los datos a tratar y se plateará la metodología del presente trabajo.

Etapas de campo

Las muestras de sedimentos fueron tomadas por el investigador Luis Zerpa y su grupo de trabajo, pertenecientes al Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN). Las mismas fueron recolectadas durante época de sequía (baja pluviosidad), condición idónea para la recolección de muestras de río (Jiménez et al., 2008), debido a que en esta época favorece la localización de lugares óptimos para el muestreo, y facilita el trabajo con los instrumentos de recolección como bateas. Las muestras se recolectaron en varias campañas de muestreos entre los años 1995 – 2000. Estas fueron tomadas en zonas donde la alta energía del río permitió su acumulación de forma natural. Se recolectó como alícuota una batea de madera, para luego concentrarlos con la ayuda de la batea en el lecho del río, y así obtener los minerales pesados. Todas las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas con cierre hermético previamente rotuladas hasta su traslado al laboratorio.

El muestreo en la cuenca del Río Suapure tuvo una densidad promedio de 4 muestras por cada 100 m. Para esta cuenca se recolectaron 52 muestras de minerales pesados, 11 corresponden a la parte alta y 41 a la parte media y

baja (Apéndice 1, tabla 1.1)(figura 8). En la cuenca del Río Cuchivero se tomaron 30 muestras en la parte media y alta, y 16 muestras en la parte baja, la cual presento una densidad promedio de muestreo de 3 muestras cada 100 m (figura 8) con 46 muestras en total (Apéndice 1, tabla 1,2). Mientras, quea cuenca del Río Guaniamo se recolectó 43 muestras(Apéndice 1, tabla 1.3) con una densidad de muestreo promedio de 3 muestras por cada 100 m(figura 8).

Etapas de laboratorio

El tratamiento físico de las muestras consistió en el lavado de las mismas con agua destilada, luego fueron secadas a temperatura ambiente por un periodo de 72 horas. Posteriormente se sometieron a un proceso de homogenización, que consistió en la disgregación manual de las pequeñas masas aglomeradas durante el secado (Harttman, 1992), seguidamente las muestras fueron cuarteadas manualmente y finalmente se separó el testigo de la fracción a ser analizada. La porción de muestra que sería analizada fue preparada para el análisis químico por fluorescencia de rayo X (Anexo 1). Para esto se pulverizaron 2 gramos de cada muestra en un mortero ágata. El pulverizado de las muestras fue aglomerado con alcohol polivinílico al 5 %, luego con la utilización de una prensa mecánica se generó una pastilla empleando ácido bórico como base.

Selección de las variables a analizar

Inicialmente para la cuenca del Río Suapure se tenía 12 variables, Cuchivero 10 y Guaniamo 10 (Apéndice 2). Con el propósito de obtener una matriz de datos completa con igual número de observaciones en cada variable. Se procedió a realizar una depuración de las mismas. La cual consistió en eliminar las variables con más del 50 % de valores repetidos o más 25 % de las celdas vacías o no detectadas (Hernández, 2009; Condori, 2016). Esto debido a que presentan una gran incertidumbre que pueden distorsionar los resultados, por lo que no proporcionan información concreta sobre el sistema (Fernández et al., 2003). Hubo variables que tendrían que eliminarse al aplicar el criterio “más del 25 % de celdas vacías o no detectados” pero las mismas fueron dejadas, ya que el resto de sus observaciones no eran números repetidos ni valores estandarizados (ejemplo <100 ppm) con respecto al límite de detección del equipo. Por lo que se le podía dar una interpretación desde el punto de vista geoquímica.

Las variables que no fueron eliminadas pero que presentaron las condiciones de espacios vacíos, no detectados o valores estandarizados dichos espacios fueron sustituidos por el límite de detección de cada elemento (Apéndice 3) (Sánchez, 2016). Debido a que la cuenca del Río Suapure inicialmente estaba dividida en dos tramos: cuenca media y alta, y baja. Se procedió a realizar una matriz de datos de toda la cuenca con los atributos químicos iguales en cada tramo. En esta cuenca el Nb solo fue analizado en la cuenca baja y media, y el La solo en algunas muestras de la cuenca alta por que se discutirán por separados. Esto también se realizó en la cuenca del Río Cuchivero que estaba dividido en: cuenca baja y media, y alta.

Luego a las variables seleccionadas (Apéndice 4, 8 y 11) se les realizó los cálculos de medidas central (media, mediana y moda); medidas de dispersión (desviación estándar, coeficiente de variación y rango

intercuartílico). La dispersión de los datos fue reportada utilizando el coeficiente de variación; medidas de formas (coeficiente de asimetría, y curtosis), y gráficos de: histogramas y cajas gráficas. Adicionalmente se hizo la detable de correlación de Pearson, para observar que tan relacionadas están las variables entre sí. Todos estos se elaboraron mediante el empleo del programa estadístico STATISTICA 10.0. Donde se observó de forma cualitativa: valores anómalos, distribución y asimetría de los datos, y de forma cuantitativa: correlación entre las variables.

Calculo de valores de fondo local

La estimación de los valores de fondo local se realizó utilizando el mismo método aplicado por INGEOMIN (2003). Donde se tomó como valor de fondo la media más una desviación estándar y como umbrales la media más o menos dos veces la desviación estándar.

Elaboración de mapa geoquímico

Una vez se finalizó la ubicación de los puntos de muestreo para cada cuenca bajo estudio, mediante la utilización del programa ArcMap. Se procedió a realizar la representación gráfica de la concentración de cada variable. Para lograr así, observar la distribución espacial que presenta cada elemento dentro de cada Río.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado son presentados y discutidos los resultados del análisis químico en concentrados de minerales pesados recolectados en las cuencas de los Ríos Suapure, Cuchivero y Guaniamo, Estado Bolívar, Venezuela. La discusión se realizara por separado para cada cuenca y en cada una de estas se discutirá primero cada atributo químico analizado en el que se incluirá sus parámetros estadísticos descriptivos, valores de fondo regional y local; luego se tratara la correlación entre las variables con la finalidad de discutir la fuente que los origina. Por último se presentan los mapas de distribución espacial.

CUENCA DEL RÍO SUAPURE

Las variables seleccionadas en función de la depuración estadística realizada para esta cuenca son: hierro (Fe), titanio (Ti), zirconio (Zr) y manganeso (Mn) como mayoritarios y, como trazas: itrio (Y), torio (Th), uranio (U), tántalo (Ta), cerio (Ce) y niobio(Nb) (Apéndice 4).

HIERRO

Se encuentra en esta cuenca una concentración promedio de 27,2 % y un clark de concentración de 4,6 %. Su coeficiente de variación es 25,3 % (Apéndice 5). Según el valor de curtosis (positivo) exhibe una distribución leptocúrtica, la cual indica que la mayoría de las observaciones se aproximan a la media, y de acuerdo a las medidas de centralización (Apéndice 5) ($\text{media} \geq \text{mediana} \geq \text{moda}$), coeficiente de asimetría (positivo) e histograma (figura 9) su distribución se encuentra sesgada hacia la derecha (Molina y Rodrigo, 2010; Condori, 2016 y Sánchez, 2016). En la figura 9 se observa partir de la caja grafica que la mayor variabilidad se encuentra en el 25 % de los valore

bajos y en esta, también se aprecia la presencia de valores anómalos tanto positivos como negativos y valores extremos positivos.

La concentración de fondo local del Fe se encuentra por encima de los valores de fondos regionales establecidos por INGEOMIN (2003) y Gamero y Reveti (2011) (Apéndice 6), pero es la muestra SUAP- 50 la que presenta anomalía de este elemento. Lo que indica que en este punto o aguas arriba del mismo, la cuenca del Río Suapure recibe aporte de litologías que contiene este elemento por encima de los valores reportados regionalmente y por ende aumenta su importancia desde el punto de vista prospectivo. Los minerales que posiblemente pueden estar aportando Fe al sistema son: magnetitas (Fe_3O_4), hematitas (Fe_2O_3) e ilmenitas (FeTiO_3). Mineralogía reportada en esta área por Moreno (1996), Mendoza (2000), Zerpa y Flores (2000), INGEOMIN (2003), Gamero y Reveti (2011) y Gamero et al. (2014).

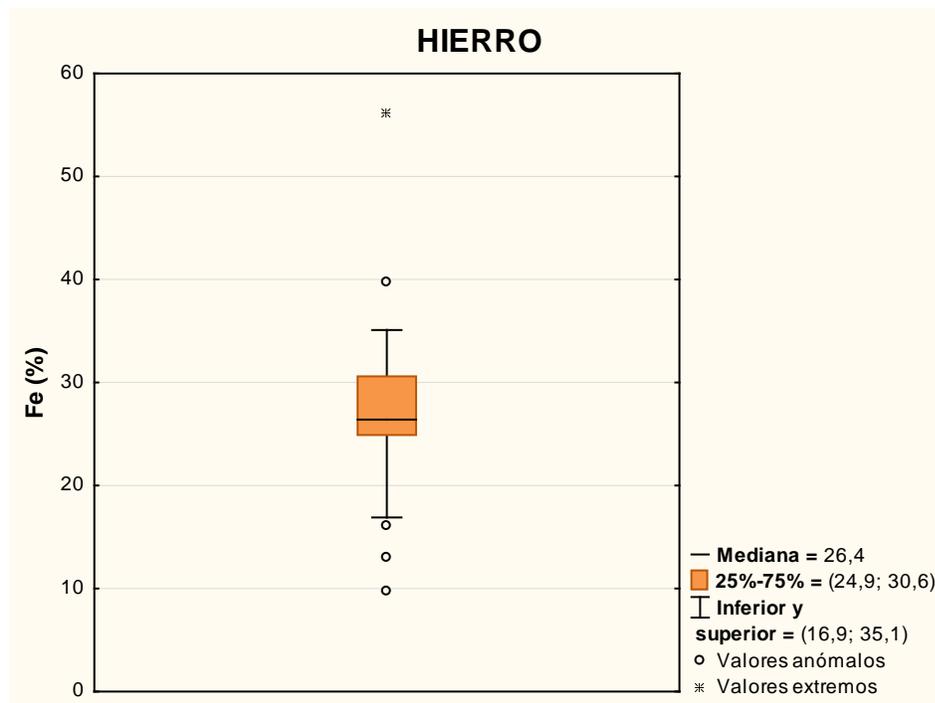
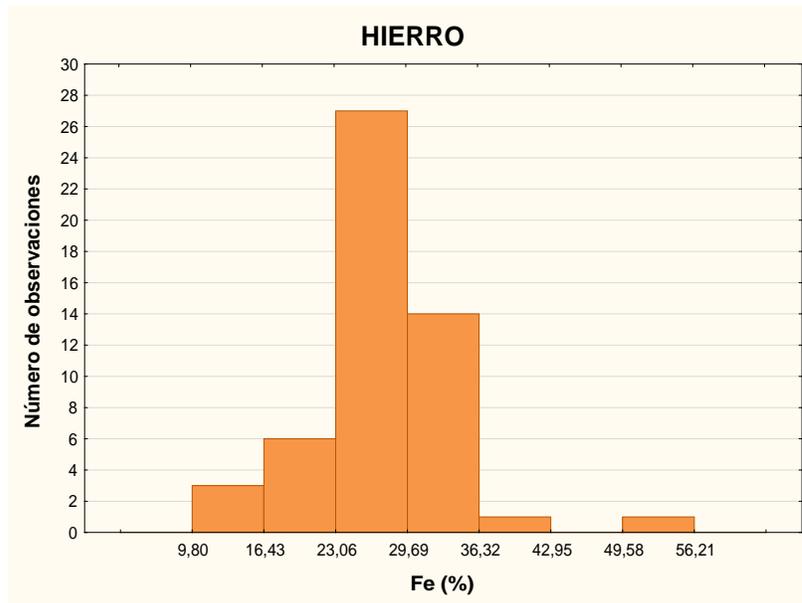


Figura 9. Histograma y caja gráfica de la concentración de Fe, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure. Obsérvese el sesgo hacia la derecha en el histograma y las anomalías en tanto positivas como negativas que se derivan de la caja gráfica

TITANIO

Los valores obtenidos de Ti en esta cuenca (26,8 % en promedio) están muy por encima de su abundancia en la corteza terrestre (0,63 %), lo cual se traduce en un clark de concentración de 42,5 %. El coeficiente de variación obtenido fue de 21,3 %. La variabilidad de los datos es mayor en el 25 % de los valores bajos, tal es el caso de que solo se presenta valores extremos negativos (figura 10). Sin embargo, a pesar de presentar valores extremos negativos, su distribución es asimétrica negativa leptocúrtica presentando valores de $\text{media} \leq \text{mediana} \leq \text{moda}$, coeficiente de asimetría negativo y valor de curtosis positivo (Apéndice 5), es decir, sus mayores frecuencias se encuentran hacia las concentraciones más elevadas, lo cual es favorable desde el punto de vista prospectivo. (figura 10).

Al comparar las concentraciones de Ti con respecto al umbral superior, ninguna de las muestras posee anomalía positiva de Ti (Apéndice 14; mapa 14.2.1), pero si se compara la concentración de fondo local con los valores de fondo regional (Apéndice 6), la cuenca del Rio Suapure su totalidad es una anomalía positiva para este elemento, ya que se encuentra por encima de los valores de fondo regional establecido por INGEOMIN (2003) y Gamero y Reveti (2011). Los elevados valores de Ti con respecto a los fondo regionales se pueden deber a dos cosas: a la presencia de rocas ígneas ácidas no comagmáticas en la cuenca, como El Granito Rapakivi del Parguaza que contienen minerales como ilmenita y rutilo, o la presencia de intrusiones ígneas de composición intermedia no reportadas. Otra posibilidad es que en esta área la meteorización haya sido más intensa (Pacheco, 2013), lo cual hace que la ilmenita se oxide (pasa de Fe^{2+} a Fe^{3+}), en donde parte del Fe se pierde en la fracción fina de los sedimentos como oxihidróxidos de hierro y parte se convierte en pseudorutilo o rutilo.

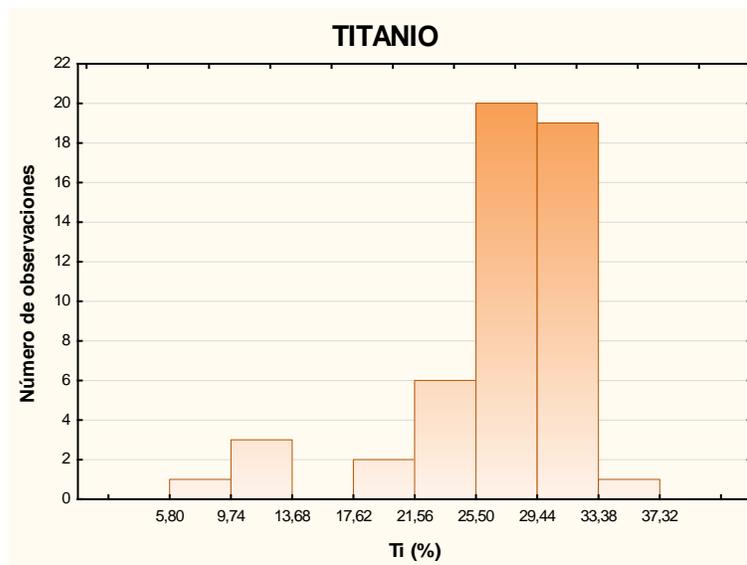
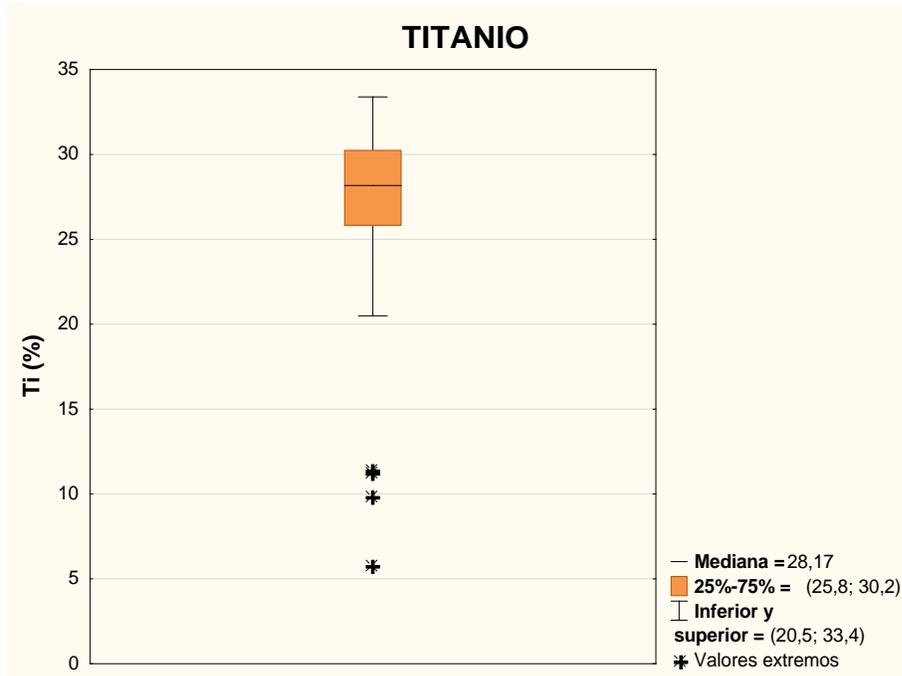


Figura 10. Histograma y caja gráfica de la concentración de Ti , analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure. En el que se observa asimetría negativa y las mayores frecuencias en las concentraciones más elevadas.

Moreno (1996) reportó en el Río Suapure la presencia de ilmenitas y pseudorutilos en la fracción mediamente magnética (0,8 AMP) e INGEOMIN en el 2003 señaló porcentajes de ilmenitas entre 34 – 64 % y rutilo > 65 %, porcentajes mayores a los considerados por Towner y Gray (1988) como depósito de placer de Tiilmenita (5 -10 %) y rutilo (>1 %)]. En base a estos valores, la cuenca del Río Suapure se convierte en un potencial prospecto para Ti.

ZIRCONIO

La abundancia del Zr en la corteza terrestre es de 0,16 % y este se encuentra en la cuenca del Río Suapure con un factor de enriquecimiento de 35,0 %, ya que se manifiesta en concentración de 5,6 % en promedio. Su coeficiente de variación en la cuenca es de 52,4 % (Apéndice 5) lo que indica gran dispersión alrededor del promedio. Su distribución según las medidas de tendencia central e histograma (figura 11) es simétrica positiva leptocúrtica, es decir, sus mayores frecuencias se agrupan en las menores concentraciones (Molina y Rodrigo, 2010; Condori, 2016 y Sánchez, 2016). La presencia de un valor anómalo puede observarse en la figura 11 mostrando el histograma y la caja gráfica realizada para este elemento.

Al realizar la comparación de los fondos regionales para el Zr con el obtenido localmente. La cuenca del Río Suapure es un área anómala positiva, ya que su concentración de fondo local es superior a la reportada regionalmente (Apéndice 6). Al nivel local las muestras SUAP- 43 y 52 presentan anomalía positiva. Las mismas se asocian a la presencia del mineral zircón ($ZrSiO_4$) y baddeleyita (ZrO_2). Mineralogía reportada en esta cuenca por Moreno (1996), INGEOMIN (2003). Pacheco (2013), lo determino como inclusiones en ilmenitas.

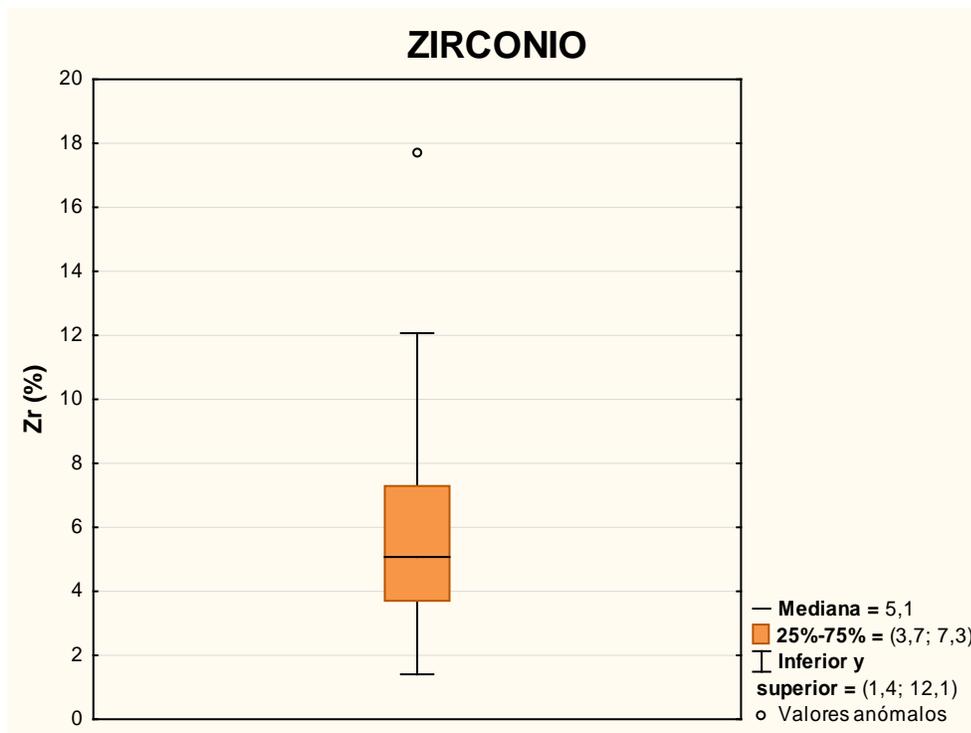
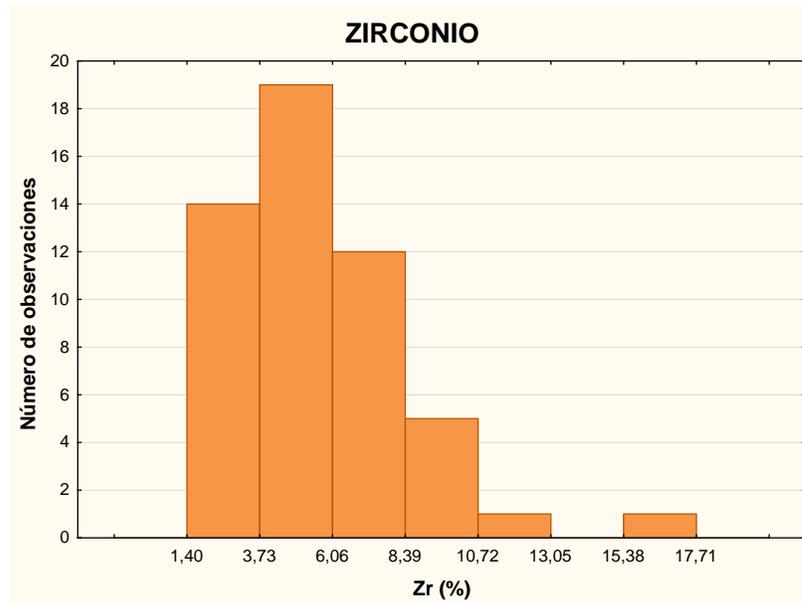


Figura 11. Histograma y caja gráfica de la concentración de Zr, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure. En esta se observa mayor variabilidad en el 25 % de los valores alto (bigote superior más grande) y la presencia de un valor anómalo.

MANGANESO

El promedio para Mn en esta cuenca es de 4,0 % con un coeficiente de variación de 60,2 %. Esta variable exhibe valores de media \geq mediana \geq moda; y coeficiente de simetría positivo, lo que hace que su distribución sea asimétrica positiva, su valor de curtosis positivo (Apéndice 5) hace que la distribución también sea una distribución leptocúrtica (Molina y Rodrigo, 2010; Condori, 2016 y, Sánchez, 2016). Su asimetría positiva se puede observar de forma gráfica en la figura 12, donde se observa que las mayores frecuencias se ubican en las menores concentraciones. En todo el conjunto de datos de este elemento, exhibe mayor variabilidad en el 25 % de los valores altos (figura 12) encontrándose cuatro anomalías para este elemento.

La cuenca del Río Suapure es un área anómala para el Mn, debido a que su concentración de fondo local está muy por encima de los valores de fondo regionales reportados por INGEOMIN (2003) y Gamero y Reveti (2013) (Apéndice 6). Los mayores porcentajes de este elemento se encuentran en la cuenca alta de este Río específicamente en el Río Chivapure, lugar donde se tomaron las muestras SUAP- 44, 45, 46 y 48 que son las que presentan anomalías positivas de este, las mismas pueden provenir de las ilmenitas ricas en Mn reportadas por Gamero y Reveti (2011), y Gamero et al (2014). Esto estaría en concordancia con la postulación de ilmenita como el mineral al cual se encuentran asociados los altos valores de titanio en esta cuenca.

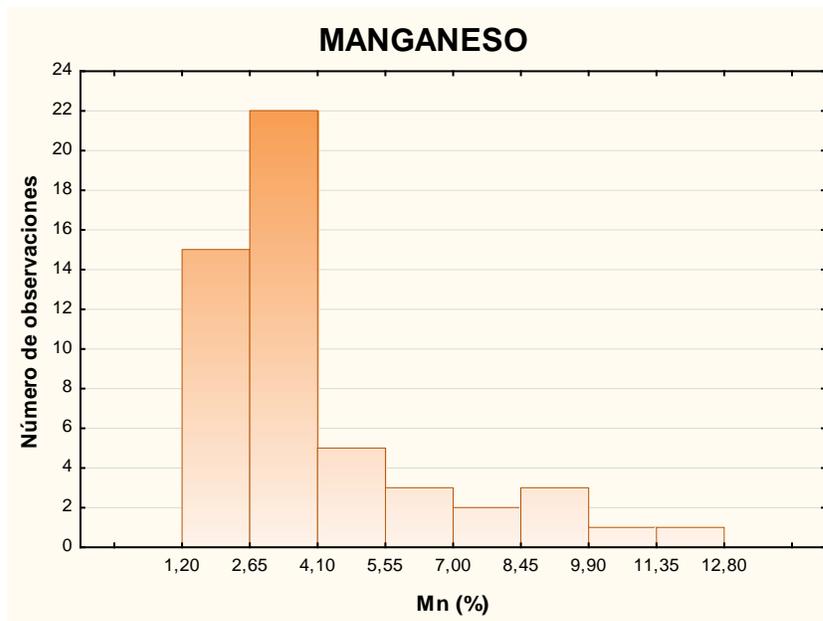
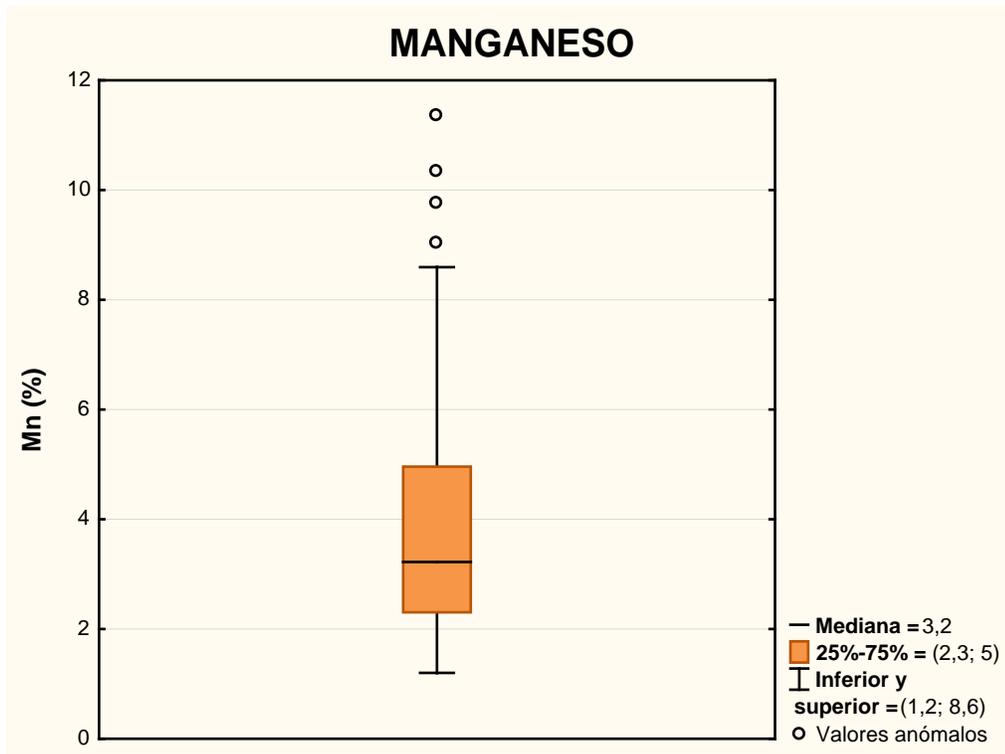


Figura 12. Histograma y caja gráfica de la concentración de Mn, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure. A saber la presencia de valores anómalos positivos y asimetría positiva.

CERIO

La cuenca del Río Suapure presenta 541 ppm de Ce en promedio con un coeficiente de variación de 178 % en promedio (Apéndice5). La cuenca bajo estudio presenta un factor de concentración de 8,2 %. Su distribución es asimétrica positiva leptocúrtica. Suasimetría se observa en la figura 13, donde se aprecia que las mayores frecuencias se encuentran en las bajas concentraciones. La presencia de valores anómalos positivos y extremos es lo que hace que su mayor variabilidad se concentre en el 25 % de los valores altos (figura 13).

Su concentración de fondo local se encuentra por encima del valor de fondo regional establecido por INGEOMIN (2003) y por debajo del de Gamero y Reveti (2011) (Apéndice6) y con respecto a sus valores de umbrales, La muestra SUAP- 45 y 44 son las que presentan anomalías positivas de este. La fase mineral a la cual podría asociarse este elemento en principio es la monacita ((Ce, La, Th, Y) PO₄) reportada por Moreno (1996) e INGEOMIN (2003).

Vale destacar, que aunque el fondo obtenido para la cuenca es inferior a los fondos regionales reportados por otros autores, los valores anómalos de cerio son de suficiente magnitud como para ser considerados importantes.

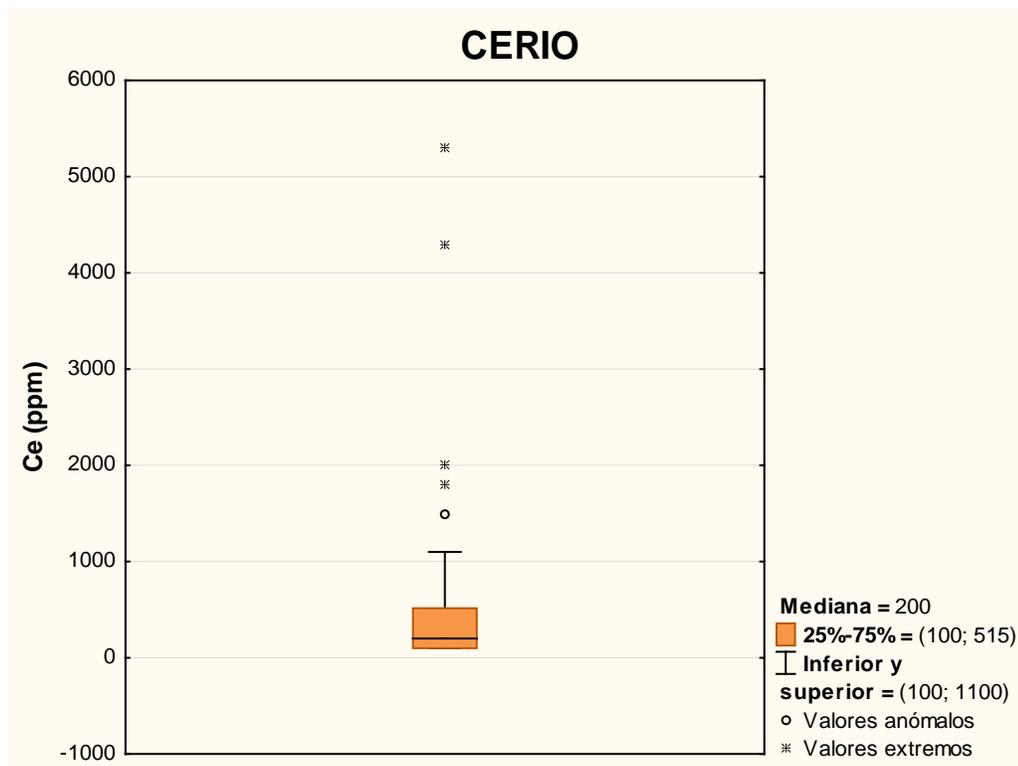
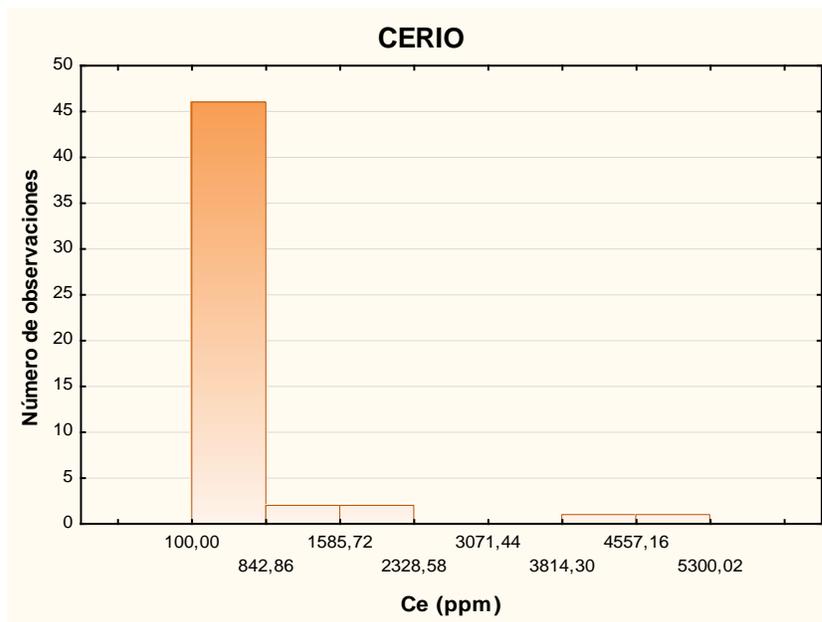


Figura 13. Histograma y caja gráfica de la concentración de Ce, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure. A saber mayores frecuencias en las menores concentraciones y la presencia de valores anómalos y extremos positivos.

YTRIO

Se encuentra con un factor de enriquecimiento de 5,4 %, manifestándose con 167 ppm en promedio y un coeficiente de variación de 78%. (Apéndice 5). En el histograma mostrado en la figura 14 se observa que dicha variable presenta una asimetría positiva o sesgada hacia la derecha, de forma numérica el comportamiento asimétrico se confirma y se le atribuye también un comportamiento platocúrtico al mostrar valores de $\text{media} \geq \text{mediana} \geq \text{moda}$, coeficiente de simetría y de curtosis positivo, pero cercano a 0 (Apéndice 5). Sus valores de coeficiente de asimetría y curtosis cercanos a 0, indica que esta variable se aproxima mucho a una distribución normal. Esto se aprecia en la figura 14, donde se observa que la caja gráfica es casi simétrica.

Al comparar sus valores de fondo local con los reportados regionalmente la cuenca del Río Suapure presenta concentraciones de Y por encima de los valores reportados por INGEOMIN (2003) y por debajo de los de Gamero y Reveti (2011) (Apéndice 6). A nivel local la muestra SUAP- 52 presenta anomalía positiva, esta probablemente se deba a la presencia del mineral Monacita ((Ce, La, Th, Y) PO₄) (Moreno, 1996; INGEOMIN, 2003).

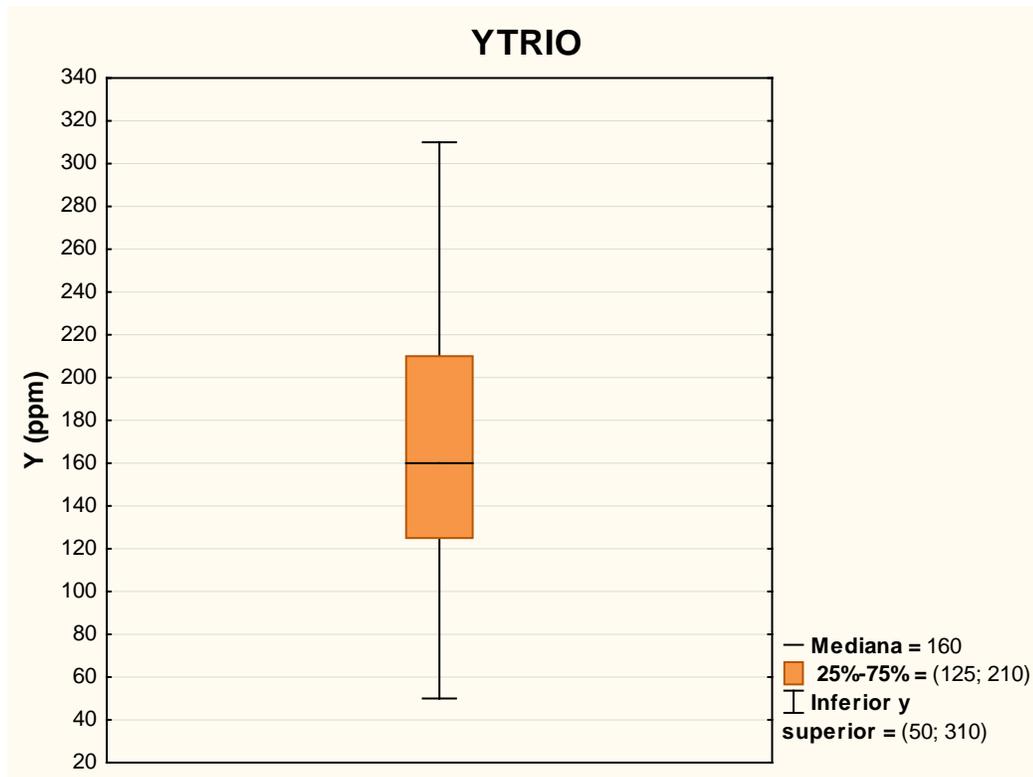
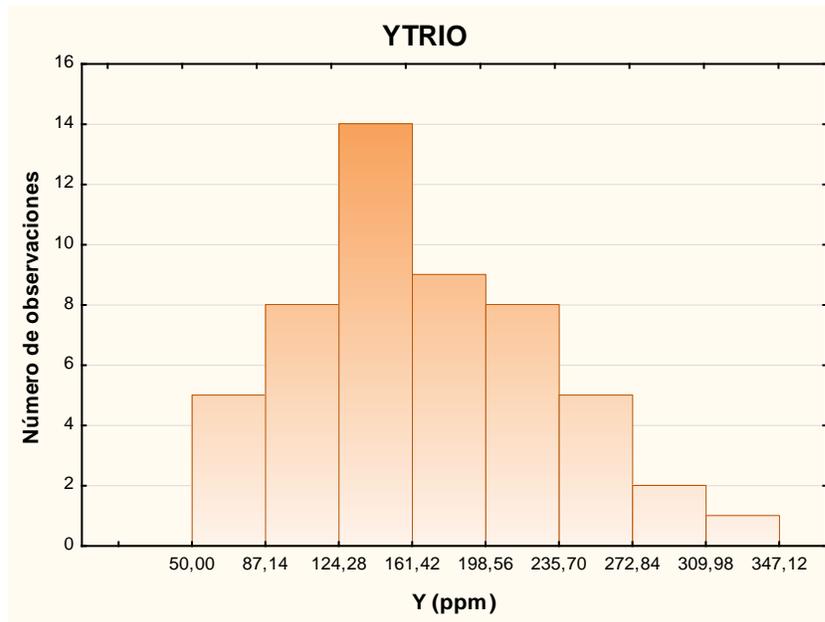


Figura 14. Histograma y Caja gráfica de la concentración de Y, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure. En el que se observa el comportamiento casi normal de la distribución.

TORIO

Se encuentra en promedio con una concentración de 335 ppm con un coeficiente de variación de 79 %. Su distribución es asimétrica positiva (figura 15), lo cual indica que sus mayores frecuencias se encuentran hacia las menores concentraciones, y Leptocúrtica (curtosis positivo), esto indica que la mayoría de sus observaciones se aproximan a la media (Molina y Rodrigo, 2010; Condori, 2016; Sánchez, 2016).

La concentración de Th en esta cuenca es muy variable, esto se ve reflejado en sus valores de desviación estándar, coeficiente de asimetría y rango intercuartílico (Apéndice 5) y, hace presencia con un factor de concentración de 41, 3 % con respecto a su abundancia en la corteza terrestre (8,1 ppm). Esta variable presenta gran cantidad de valores anómalos y extremos positivos (figura 15), Las muestras SUAP-44 y 45 también son anómalas en Mn y Ce, lo cual encaja con la idea de asignar la presencia de estos elementos al mineral monacita (Moreno, 1996; INGEOMIN, 2003). Su fondo local está muy por debajo de los valores reportados a nivel regional (Apéndice 6). Lo que muestra que el área bajo estudio no presenta litología que contengan concentraciones significativas de este elemento. No obstante se presentan anomalías locales las cuales merecen atención pues podrían indicar áreas con potencial para la exploración.

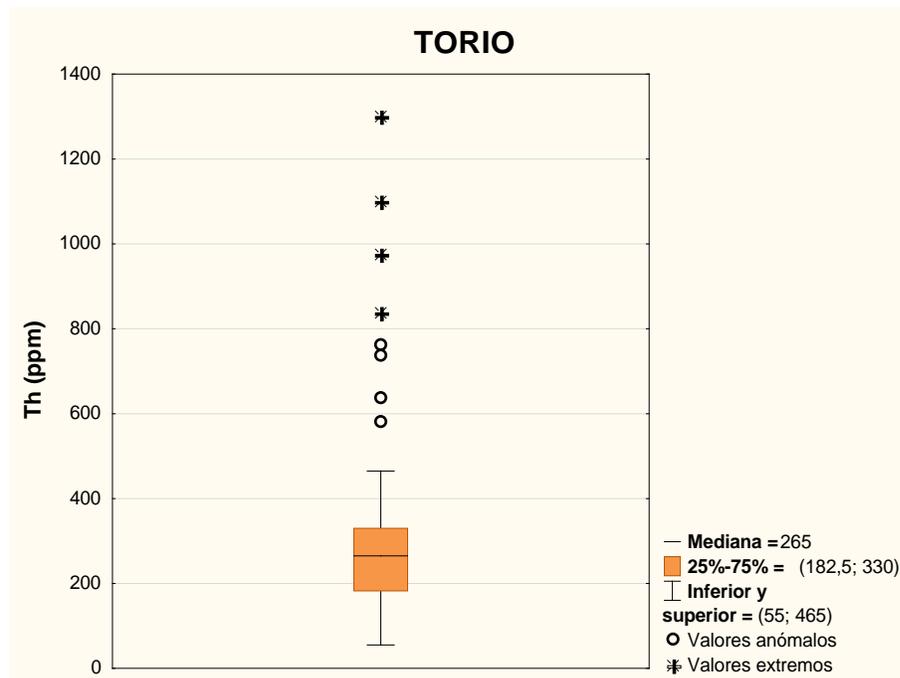
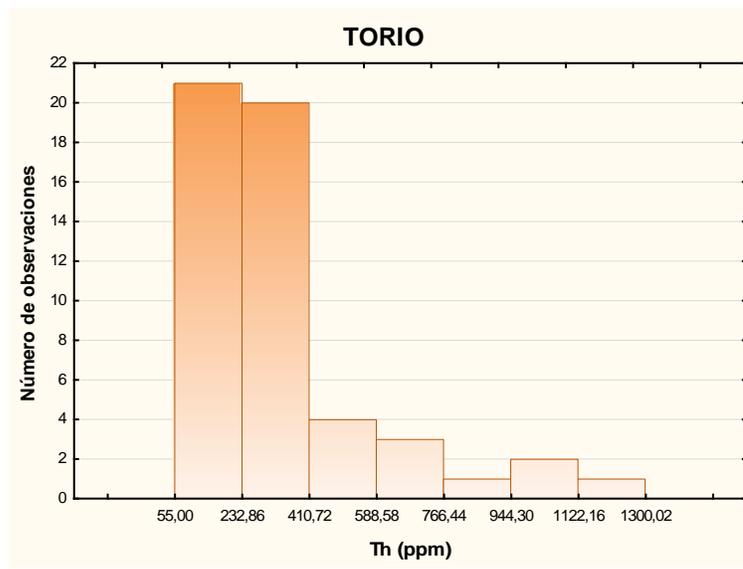


Figura 15. Histograma y caja gráfica de la concentración de Th, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure. En este se observa su asimetría positiva y mayores frecuencias en las menores concentraciones.

TÁNTALO

La cuenca del Río Suapure presenta promedio de 194 ppm de Ta y un coeficiente de variación de 33,0%, con un factor de concentración de 114,1 % en comparación con su abundancia en la corteza terrestre (1,7 ppm ó 0,0017 %). La distribución para este elemento es asimétrica positiva y platicúrtica, en sus colas existen más casos acumulados que en las colas de una distribución normal promedio. El comportamiento asimétrico no es tan marcado, debido a que su coeficiente de asimetría y curtosis son muy cercanos a 0 (Apéndice 5), es decir, se aproximan a una distribución normal (figura 16). Su variabilidad es mayor en el 25 % de los valores altos pero no presenta valores anómalos (figura 16). A nivel local no presenta ningún tipo anomalía (Apéndice 14; mapa 14.2.2) y a nivel regional su concentración de fondo local se encuentra muy por debajo del fondo regional de INGEOMIN (2003) (Apéndice 6).

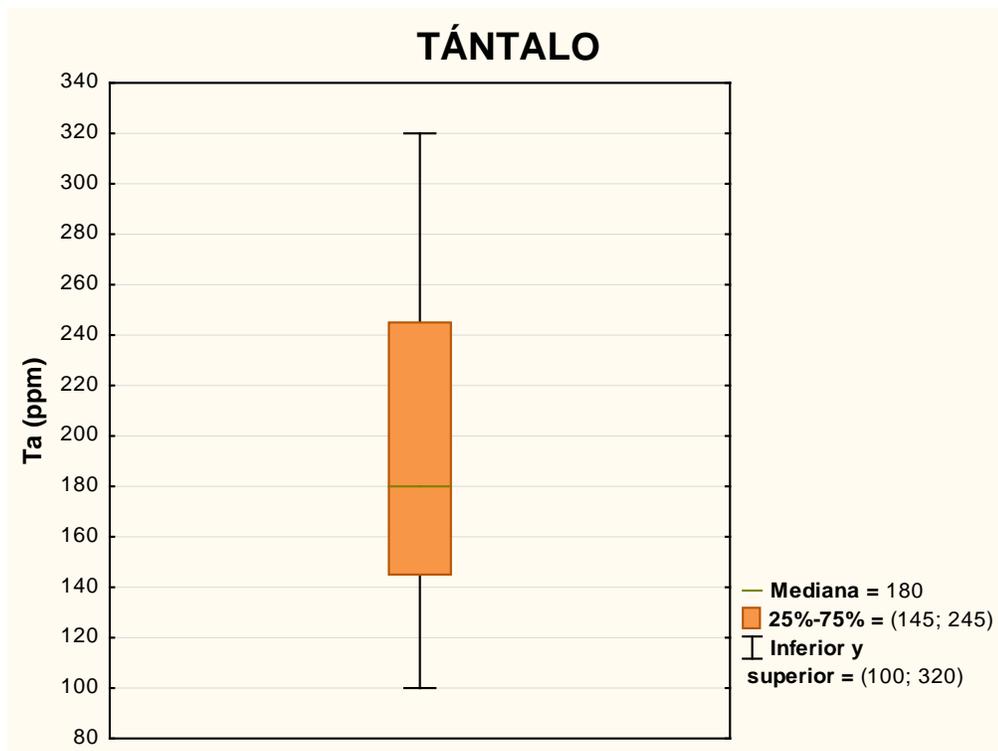
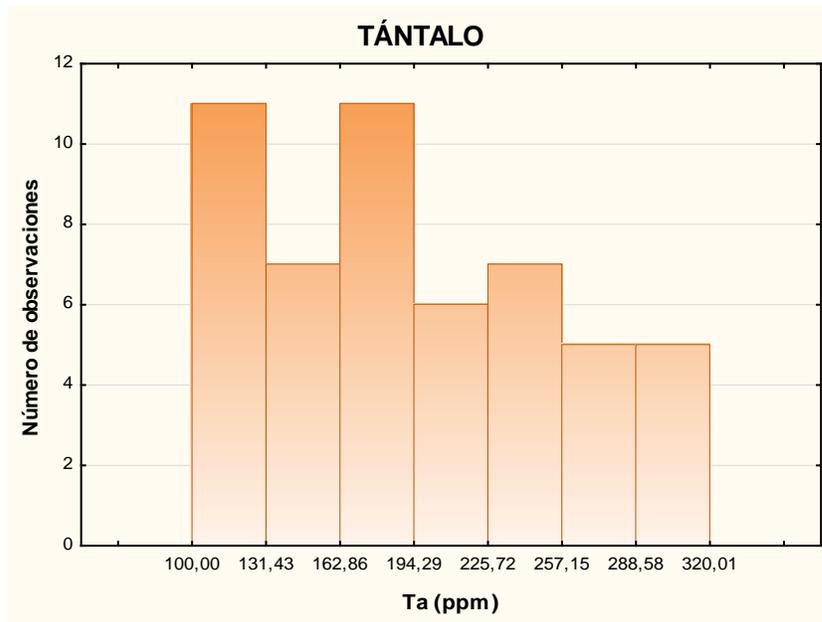


Figura 16. Histograma y caja gráfica de la concentración de Ta, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.

URANIO

La abundancia del U en la cuenca del Río Suapure es de 199 ppm con un coeficiente de variación de 82,0 %. El factor de concentraciones de 51,7 %. De acuerdo a las medidas de centralización ($\text{media} \geq \text{mediana} \geq \text{moda}$), coeficiente de simetría y de curtosis (positivo) su distribución es asimétrica positiva (figura 17) leptocúrtica, es decir, la mayoría de sus observaciones se aproximan a la media y las mayores frecuencia se encuentran hacia las menores concentraciones. Desde el punto de vista estadístico existe la presencia de valores anómalos y extremos positivos (figura 17), pero desde el punto de vista geoquímico a nivel local la muestra SUAP- 12 es la que presenta anomalía positiva de este elemento. La misma se puede deber a la presencia del mineral monacita o a inclusiones de uraninita en granos de circones (Moreno, 1996; Gamero et al., 2014). Su concentración de fondo local se encuentra por encima de los valores reportados por Gamero y Reveti (2011) y por debajo de los de INGEOMIN (2003) (Apéndice6). Sin embargo el valor anómalo merece atención por su magnitud.

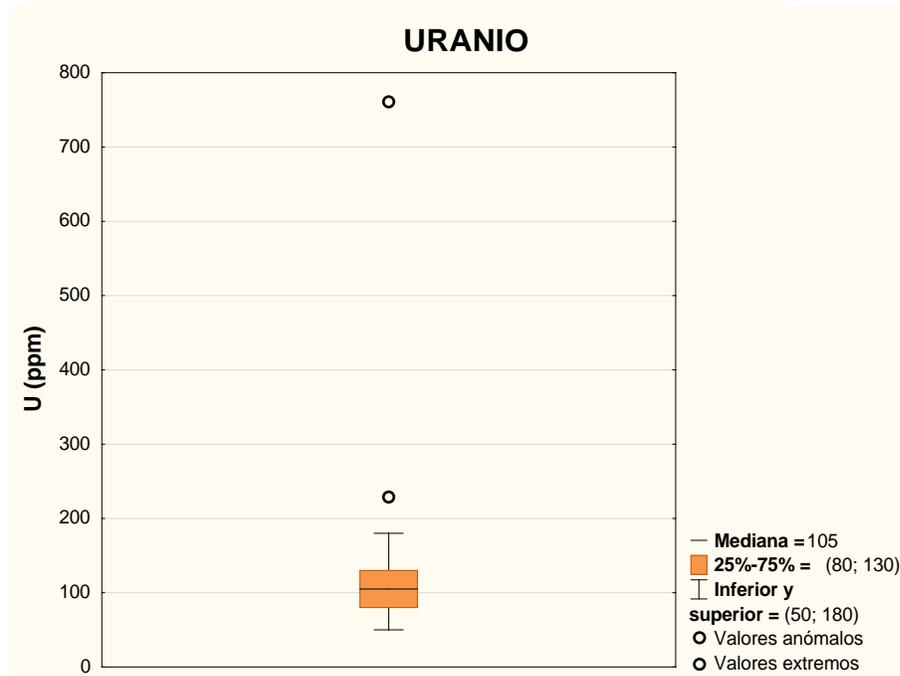
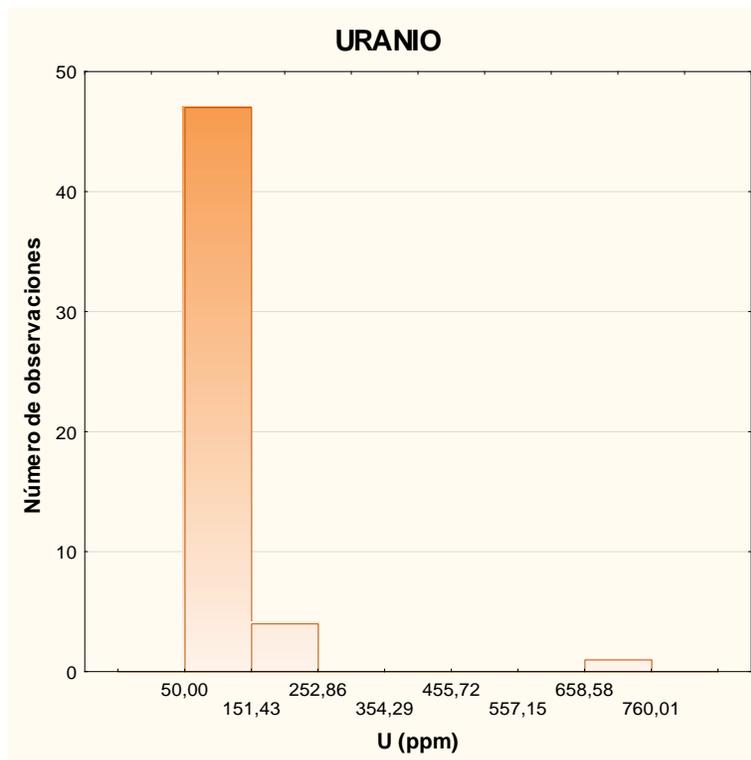


Figura 17. Histograma y caja gráfica de la concentración de U, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure. En el que se observa su asimetría y las mayores frecuencias en las menores concentraciones.

NIOBIO

De la variable Nb solo se recopilaron datos de la cuenca baja y media del Río Suapure. La misma presenta una concentración promedio de 3080 ppm con un coeficiente de variación de 84,0 % (Apéndice 5). Según su coeficiente de asimetría (positivo), medidas de centralización (media \geq mediana \geq moda) y curtosis (positivo), su distribución es asimétrica positiva leptocúrtica, esto debido a que las mayorías de sus observaciones se aproximan a la media y a que sus mayores frecuencias se concentran en las bajas concentraciones (figura 18).

La cuenca baja y media del Río Suapure presenta un factor de enriquecimiento de 154,0 % de Nb en comparación con su abundancia en la corteza terrestre (20 ppm). La presencia de valores extremos positivos se observa claramente en la figura 18. Son las muestras SUAP-16 y SUAP-17 las que presentan anomalía positiva de este elemento. Las mismas pueden deberse a la presencia del mineral columbita ((Fe, Mn) Nb₂O₆), columbita-tantalita ((Fe, Mn)(Nb, Ta)₂O₆) el cual fue reportado por Mendoza (1972) e INGEOMIN (2003). Su concentración de fondo local se encuentra muy por encima de los valores de fondos reportados a nivel regional (Apéndice 6). Lo que convierte a la cuenca baja y media del Río Suapure en un área potencialmente importante para la prospección a escala local de Nb.

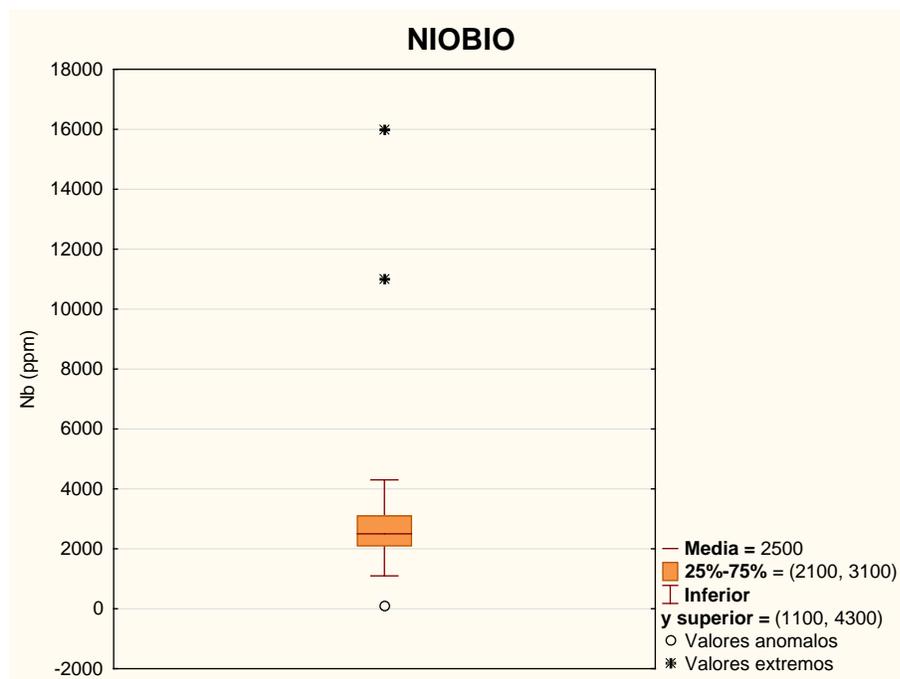
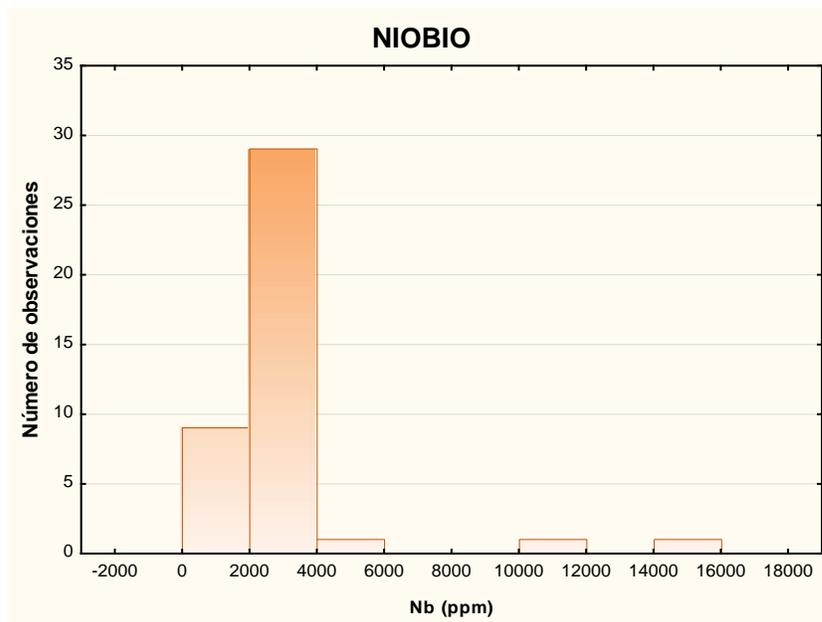


Figura 18. Histograma y caja gráfica de la concentración de Nb, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca baja y media del Río Suapure. En el que se aprecia la presencia de valores anómalos y extremos y las mayores frecuencias en las menores concentraciones.

CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES

En la tabla 5 se observan los coeficientes de correlación de Pearson para todos los elementos químicos analizados en los concentrados de los minerales pesados recolectados en la cuenca del Río Suapure. En esta se aprecia que existe una correlación moderadamente buena entre: Y/Th (0,63), Y/U (0,50), Ta/Ce (0,51), Zr/Y (0,55) y Mn/Y (0,55); y buena correlación entre Mn/Th (0,87), Mn/Ce (0,73) y Th/Ce (0,75). La correlación Th/Ce, Y/U e Y/Th permiten inferir la presencia del mineral monacita, el cual es un fosfato de tierras raras ((Ce, La, Y, Th)PO₄). Mineral reportado en esta cuenca por Moreno (1996) e INGEOMIN (2003). INGEOMIN reporta la abundancia de este mineral con valores entre 5 -14 %.

La presencia del coltan puede explicar el valor de correlación de Ta/Ce, ya que al comparar el radio iónico del Ce con el de los elementos esenciales de coltan (Ta⁵⁺ = 0,73 Å; Nb⁵⁺ = 0,70 Å; Mn²⁺ = 0,80 Å; Fe²⁺ = 0,64 Å; Ce³⁺ = 1,11 Å), la sustitución del Mn y Ta por el Ce puede ocurrir, pero se ve más favorecida la sustitución del Mn que la del Ta por la similitud su radio iónico con el del Ce. Lo antes mencionado se puede apreciar de forma numérica en la tabla 5, donde se observa que el valor de correlación del Ce/Mn es mayor que el del Ce/Ta.

La relación Mn/Th y Mn/Y puede ocurrir tanto en la monacita como en la columbita-tantalita (coltan). En la monacita la incorporación del Mn por el Th y el Y puede ocurrir, pero se ve más favorecida por la similitud de los radios iónicos la sustitución del Y (Y³⁺ = 0,93 Å; Th³⁺ = 0,95 Å; Mn²⁺ = 0,80 Å), numéricamente esto no se observa porque si la sustitución del Y por el Mn ocurre en una estructura que posea más Th que Y, por ende la relación Th/Mn será mayor. Lo mismo ocurre en la columbita-tantalita, ya que se ve más favorecida la sustitución del Mn por el Y pero numéricamente es mayor la relación Th/Mn.

La relación de Zr/Y (0,55) revela la presencia del mineral zircón. En la estructura cristalina de este el Y^{3+} sustituye al Zr^{4+} por la admisión.

Tabla 5. Correlación de Pearson para los elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.

	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	Mn (%)	Y (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Ta (ppm)	Ce (ppm)
Fe (%)	1								
Ti(%)	0,02	1							
Zr(%)	-0,42	-0,27	1						
Mn (%)	-0,57	0,01	0,05	1					
Y (ppm)	-0,74	-0,26	0,55	0,55	1				
Th (ppm)	-0,52	-0,28	0,20	0,87	0,63	1			
U (ppm)	-0,23	-0,13	0,26	0,20	0,50	0,31	1		
Ta (ppm)	-0,33	0,24	0,29	0,35	0,35	0,30	-0,03	1	
Ce (ppm)	-0,37	0,07	-0,04	0,73	0,43	0,75	-0,08	0,51	1

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS ANALIZADOS

En el Apéndice 14 en la serie de mapas 14.2 se muestran los mapas geoquímicos para los elementos estudiados en la cuenca del Río Suapure. En el Río Chivapure se recolectó la serie de muestras desde SUAP-42 hasta SUAP-49 (Apéndice 14; mapa 14.1 y 14.2). De estas las muestras SUAP-44 y 45 presentaron anomalías positivas de Th, Ce y Mn, mientras que las muestras SUAP-46 y 48 solo exhibieron anomalía positiva de Mn, aunque mostraron concentraciones de Th y Ce ubicado entre el valor de fondo local y umbral superior (Apéndice 14; mapa 14.2.3, 14.2.4 y 14.2.5). Este mismo comportamiento de valores alto pero que no llega a ser una anomalía positiva se observa en las muestras SUAP-49 y 47, a excepción de esta última que si presenta anomalía positiva de Th. Adicionalmente las muestras

SUAP- 44, 45, 46, 48 y 49 presentan valores altos de lantano (La) (Apéndice 7).

Las altas concentraciones Th, Ce y La se puede deber de acuerdo la buena correlación entre Th/Ce (0,75), Y/Th y U/Y a la presencia de mineral monacita. Dana (1997) establece que una monacita puede llegar a tener hasta 20 % de ThO₂, dicho mineral fue reportado en esta cuenca por Moreno (1996) e INGEOMIN (2003), este último lo reporto con un porcentaje de abundancia entre 4 - 14 %. En base a esto las anomalías podrían estar asociadas al aporte de sedimentos provenientes de apófisis del Granito del Parguaza.

Los elevados valores de Mn posiblemente se debe a la presencia de ilmenitas ricas en Mn, en este el Fe²⁺ (r= 0,90 Å) es sustituido por el Mn²⁺ (r= 0,80 Å) por camuflaje. Gamero et al. (2014) reportaron en esta cuenca hidrográfica este tipo de ilmenitas, al observar altas concentraciones de Mn y Nb en concentrados de minerales pesados. La presencia de este tipo de mineral se puede deber a los cuerpos carbonatíticos y pegmatíticos graníticos que afloran en esta zona (Mendoza, 2012).

La muestra SUAP- 43 también fue recolectada en el Río Chivapure y esta presenta anomalía positiva de Zr (12,1 %)(Apéndice 14; mapa 14.2.6) y valores similares de Ti y Fe (Apéndice 4) por lo que posiblemente se deba a la presencia de minerales como: Zircón (ZrSiO₄) e ilmenita (FeTiO₃). Minerales reportados por Moreno (1996), INGEOMIN (2003) con porcentajes de abundancia entre 5-14 % para el zircón y Pacheco (2013). Esto posiblemente sea producto de la meteorización de las rocas graníticas de la Asociación Suapure y Cuchivero.

Las muestra SUAP- 50, 51 y 52 exhiben mayores concentraciones de Fe que de Ti (Apéndice 4), la muestra SUAP-50 presenta anomalía positiva de Fe y concentraciones de U comprendidas entre el fondo local y el umbral

superior (Apéndice 14; mapa 14.2.7 y 14.2.8). La correlación de Fe/Ti hierro es alta y postula a la ilmenita como fase contentiva de estos elementos. Probablemente la mayor fuente de aporte son las rocas intrusivas pertenecientes a la Asociación Cuchivero, lo que además explicaría las concentraciones altas de uranio. Gamero et al. (2014) propone que el U posiblemente está asociado a inclusiones de uraninita en granos de zircón. Todas estas muestras fueron colectadas en la cuenca alta del Río Suapure en afluentes que drenan desde la Serranía del Chivapure, la cual se convierte a partir de estos datos en un área de interés para la prospección de Ti, Th, Ce y Mn. La muestra SUAP-52 exhibió anomalía positiva de Y (Apéndice 14; mapa 4.10), atribuible a la presencia del mineral monacita ((Ce, La, Th, Y) PO₄).

De las muestras recolectadas en la cuenca baja y media del Río Suapure vale destacar la muestra SUAP-12 colectada en afluente que drena desde la Serranía de La Cerbatana. Esta muestra exhibe anomalía positiva de U, concentraciones de Th e Y ubicado entre el valor de fondo local y el umbral superior (Apéndice 14; mapa 14.2.3, 14.2.8 y 14.2.9). En esta zona aflora la Asociación Cuchivero, por lo que esta anomalía pudiera estar relacionada a los diques pegmatíticos o carbonatíticos reportados por Mendoza (2012) en esta Asociación.

Las muestras SUAP-16 y 17 fueron recolectadas en el caño La Miel ambas exhiben anomalía positiva de Nb (Apéndice 14; 14.2.10), valores similares de Fe y Ti y concentraciones de Y y Th moderadas (Apéndice 4). En función de esto se puede inferir como la presencia de minerales como: ilmenitas, rutilos, monacitas y columbitas. La presencia de Columbita fue reportada por Mendoza (1972) e INGEOMIN (2003). INGEOMIN lo reportó en pequeñas cantidades (<1 %). La presencia de estos minerales posiblemente provienen de la meteorización de rocas ácidas de la Asociación Cuchivero aflorante en esta zona según el mapa geológico.

Desde el punto de vista geoquímico, los datos hasta ahora discutidos permiten deducir que la cuenca del Río Suapure, puede ser un área con potencial para la realización de estudios prospectivos con mayor detalle para los elementos Ti y Nb, posiblemente asociados a rocas ígneas conteniendo minerales como: monacita, ilmenita, ilmenorutilo y columbita tantalita.

El Río Chivapure y afluentes cercanos presentaron los más elevados valores de Th, Ce y Mn por lo que se podría decir que esta zona es la que más contribuye a los valores de fondo local, por ende, es la que mayor potencial posee para la búsqueda de la roca huésped de estos elementos.

De las muestras recolectadas en la cuenca baja y media del Río Suapure se puede decir que en la zona cercana Caño La Miel es el área con mayor potencial para la búsqueda de Nb.

CUENCA DEL RÍO CUCHIVERO

Las variables seleccionadas para esta cuenca fueron: hierro (Fe), titanio (Ti), zirconio (Zr), ytrio (Y) y torio (Th) (Apéndice 8). Las variables eliminadas y el criterio utilizado para su eliminación se muestran en el Apéndice 2 en la tabla 2.2.

HIERRO

La cuenca del Río Cuchivero presenta una concentración de hierro 24,3 % con un coeficiente de variación de 28,7 % (Apéndice 9) y un clark de concentración de 4,2 %. Su distribución es asimétrica negativa platicúrtica (figura 19). Lo cual indica que las mayores frecuencias se encuentran hacia las concentraciones elevadas, y la mayoría de sus observaciones se alejan

de la media. Este comportamiento indica que dicha variable presenta una dispersión bien marcada. Desde el punto de vista estadístico esta variable no presenta valores anómalos ni extremos (figura 19). El valor de coeficiente de asimetría para esta variable es cercano a 0, lo cual indica que se aproxima a una distribución normal. Esto se puede apreciar de forma gráfica en la figura 19, donde se observa que la distribución es casi simétrica, es decir, su media casi se ubica en el centro de la caja.

El fondo local del Fe se encuentra por encima de los valores reportados a nivel regional por INGEOMIN (2003), y Gamero y Reveti (2011) (Apéndice 10). Esto indica que en la zona existe mineralogía que contiene Fe en cantidades significativas. La muestra P40 ubicada en la cuenca alta del Río Cuchivero exhibió anomalía positiva de este elemento.

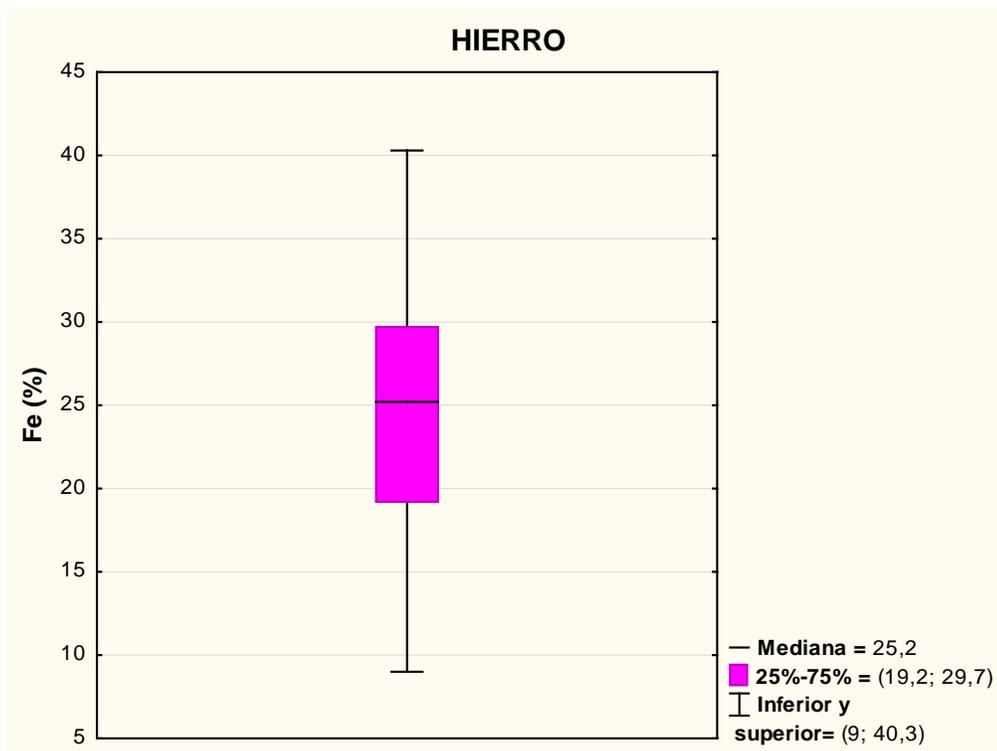
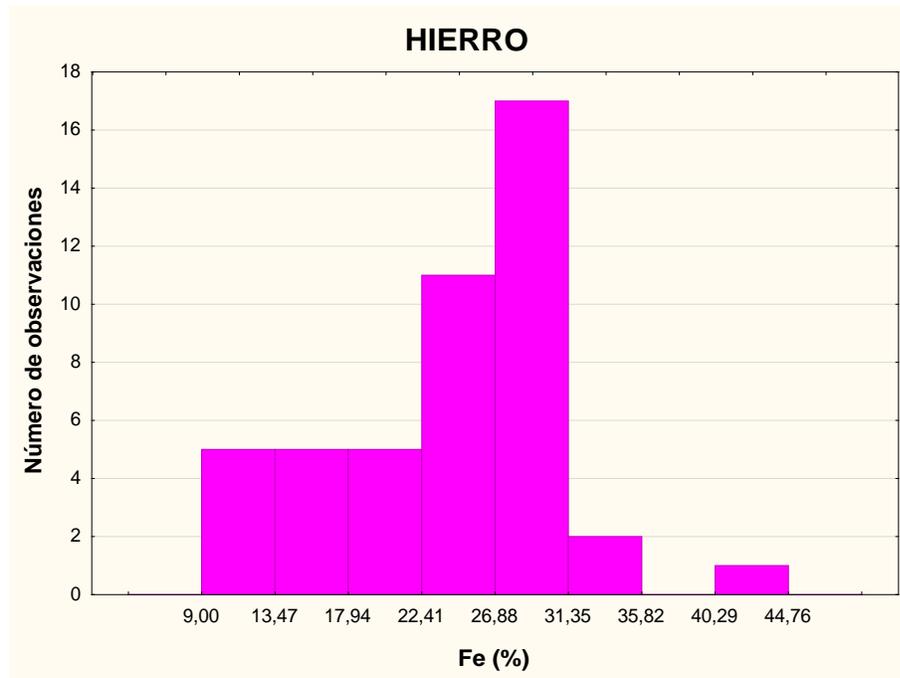


Figura 19. Histograma y caja gráfica de la concentración de Fe, analizado en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Cuchivero. En esta se ve reflejada la asimetría negativa y la ausencia de valores atípicos.

TITANIO

Se encuentra en la cuenca del Río Cuchivero con una concentración promedio de 19,7 % con un coeficiente de variación de 25,4 % (Apéndice 9). En comparación con su abundancia en la corteza terrestre (0,63 %), en esta cuenca el Ti presenta un clark de concentración de 31,3 %. En el histograma mostrado en la figura 20 se aprecia una distribución normal, pero de acuerdo a las medidas de tendencia central ($\text{media} \leq \text{mediana} \leq \text{moda}$) y coeficiente de asimetría (negativo) su distribución es asimétrica negativa (Molina y Rodrigo, 2010; Condori, 2016; Sánchez, 2016). La misma no es tan marcada debido a que su valor de coeficiente de asimetría y curtosis se aproxima a cero, lo que indica que se acerca a una distribución normal. Esto se puede observar en la figura 20 en donde se aprecia que la caja gráfica es prácticamente simétrica y la ausencia de valores atípicos.

La concentración de fondo local para este elemento se encuentra por encima de los valores reportados por INGEOMIN (2003) y por debajo de los de Gamero y Reveti (2011) (Apéndice 10). A nivel local no existe ningún tipo de anomalía (Apéndice 14; mapa 14.16).

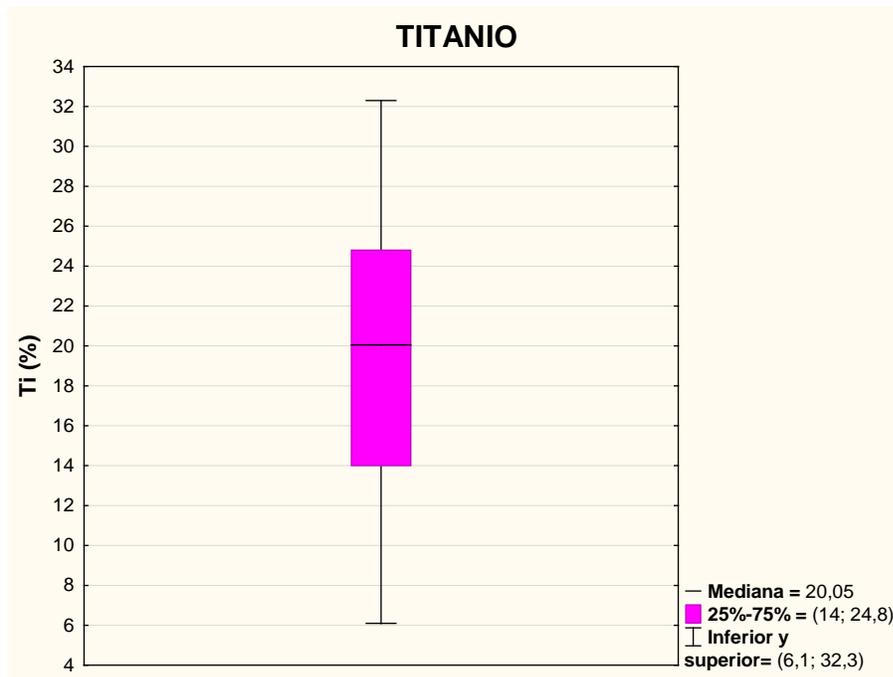
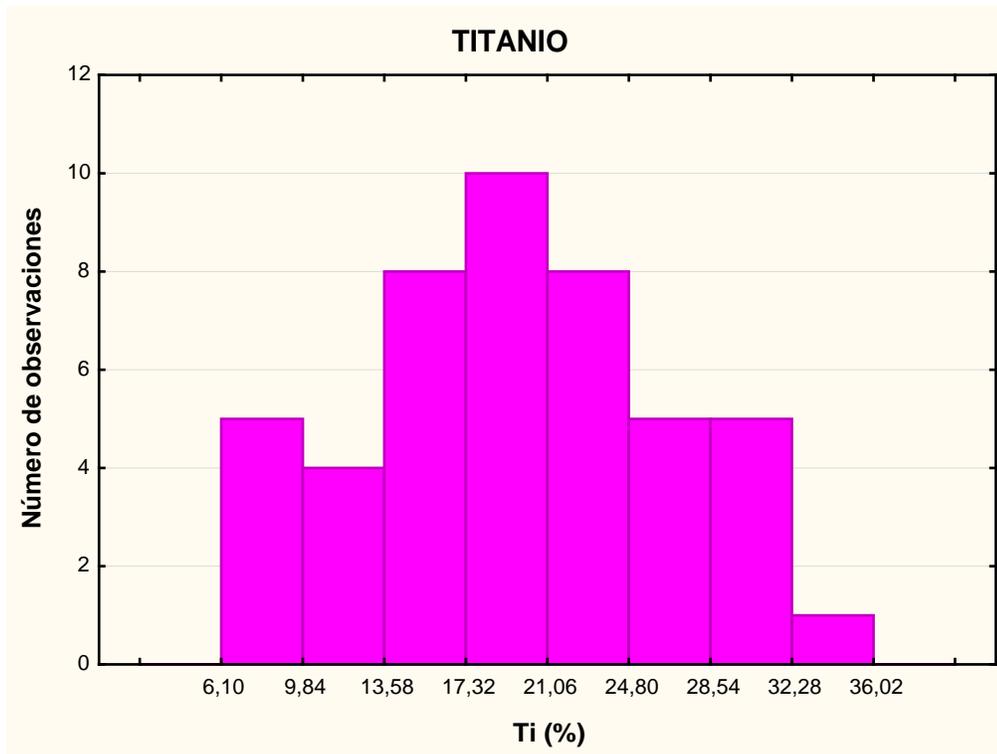


Figura 20. Histograma y caja gráfica de la concentración de la concentración de Ti , analizado en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero. En el que se observa su comportamiento casi normal.

ZIRCONIO

La concentración promedio de Zr en la cuenca del Río Cuchivero es 3,5 % con un coeficiente de variación de 62,2 %, presenta un factor de enriquecimiento de 29,9 %. La mayor variabilidad de todo el conjunto de datos se concentra en el 25 % de los valores altos (figura 21). Su distribución de acuerdo a las medidas de centralización ($\text{media} \geq \text{mediana} \geq \text{moda}$) y coeficiente de asimetría (positivo) es asimétrica positiva (figura 21), lo cual indica que sus mayores frecuencias se encuentra hacia las menores concentraciones. Los valores de curtosis y coeficiente de asimetría son muy cercanos a 0 (Apéndice 9), lo que indica que se aproxima a una distribución normal. Sin embargo el histograma mostrado en la figura 21 se observan que pudieran haber dos poblaciones, una con un intervalo entre 0.80 - 5.32 % y otra entre 5.32 - 8.71 %.

La concentración de fondo local del Zr está por encima de los valores reportados a nivel regional (Apéndice 10). Lo que convierte a la cuenca del Río Cuchivero en una anomalía positiva de este y por ende aumenta su importancia desde el punto de vista prospectivo. A nivel local son las muestras P31 y P10 las que exhiben concentraciones anómalas positivas.

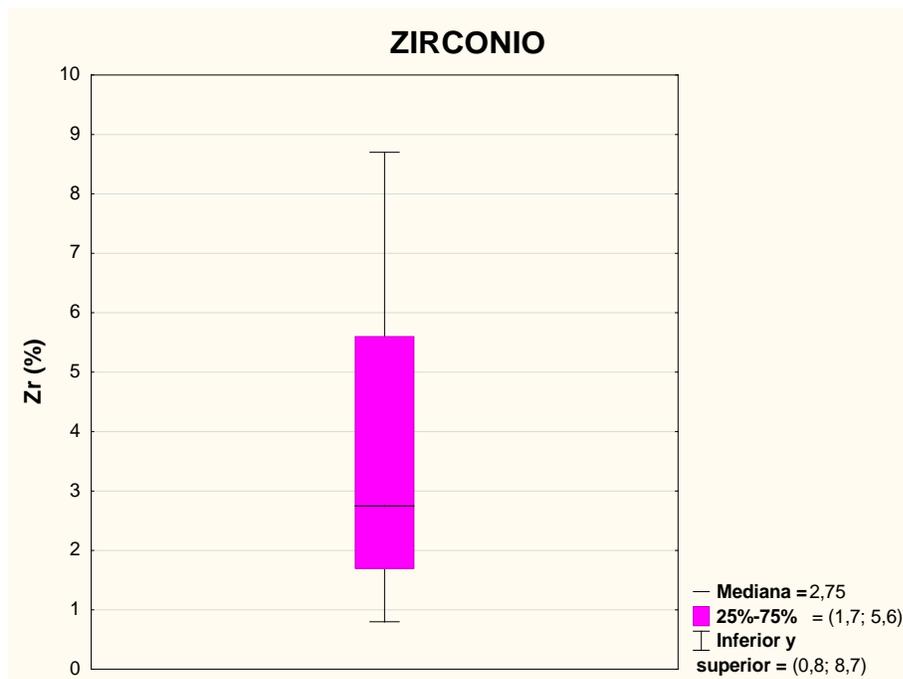
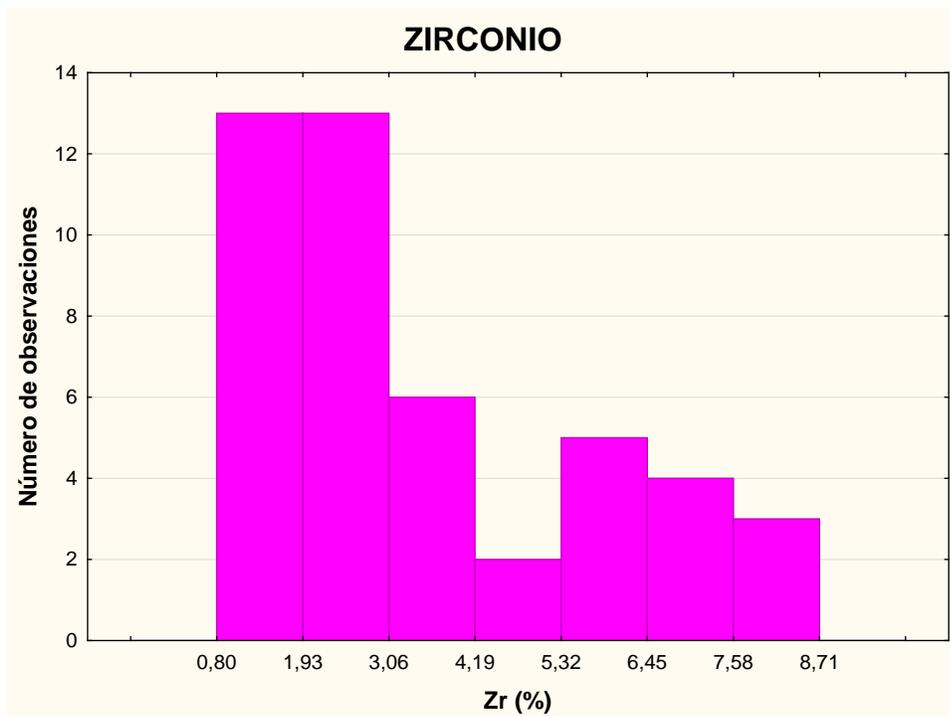


Figura 21. Histograma y caja gráfica de la concentración de Zr, analizado en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero. En el que se revela dos posibles poblaciones.

TORIO

La abundancia en la corteza terrestre del Th es de 8,1 ppm y este se encuentra en los sedimentos pesados de la cuenca del Río Cuchivero con 231 ppm y coeficiente de variación de 54 % para este promedio (Apéndice 9) el clark de concentración es de 28,5 %. Su distribución es asimetría positiva, esto al presentar coeficiente de asimetría positivo y los valores de $media \geq mediana \geq moda$ (Apéndice 9). Lo que indica que las mayores frecuencias de sus valores se encuentran en las menores concentraciones (figura 22).

La concentración del fondo local del Th es menor a los valores reportados regionalmente por INGEOMIN (2003) y Gamero y Reveti (2011) (Apéndice 10). Lo que indica menor abundancia de minerales portadores de este elemento en esta área que en otras áreas de la región. Sin embargo merece especial atención la muestra P48 (cuenca alta) y P30 (cuenca baja) que presentaron anomalía positiva de este elemento con una concentración de 760 y 500 ppm respectivamente. Vale destacar que esta muestra presenta también moderada concentración de Zr.

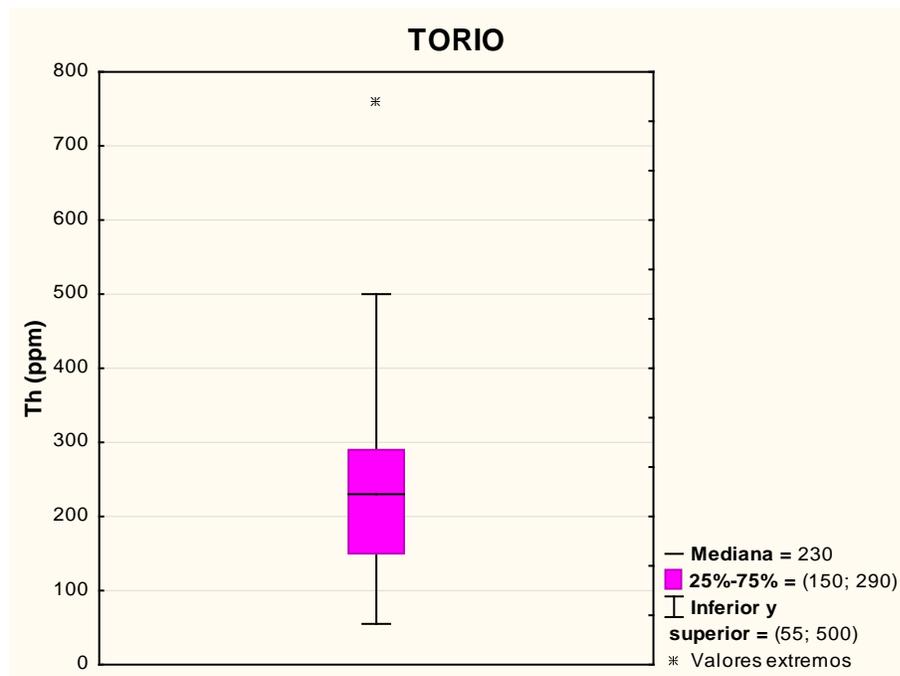
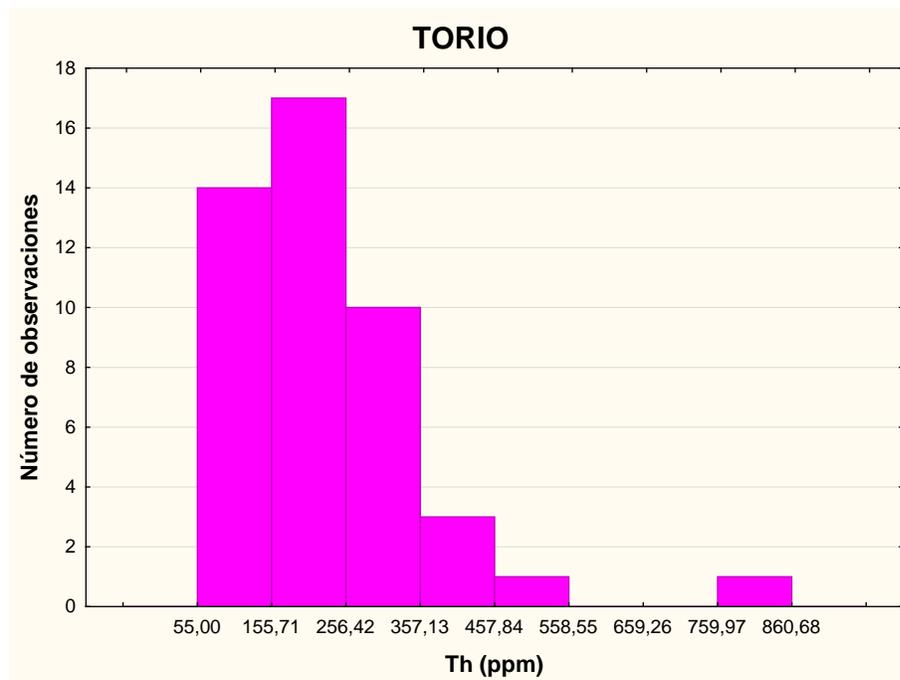


Figura 22. Histograma y caja gráfica de la concentración de Th, analizado en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero. En el que se observan las mayores frecuencias hacia las menores concentraciones.

YTRIO

La cuenca del Río Cuchivero presenta 145 ppm de Y con un coeficiente de variación de 61 % y un factor de concentración de 4,7 %. De acuerdo a las medicas de centralización (media \geq mediana \geq moda), coeficiente de asimetría (positivo) y curtosis (positivo) (Apéndice 9) su distribución es asimétrica positiva leptocúrtica. Lo que indica que sus mayores frecuencias de concentran en las menores concentraciones (figura 23), y que la mayoría de sus observaciones se aproximan a la media.

En la figura 23 se observa que el Y presenta mayor variabilidad en el 25 % de los valores altos, a tal forma que también exhibe valores anómalos y extremos positivos. Localmente las muestras P36 y P37 fueron las que mostraron anomalía positiva de dicho elemento. Las misma se puede deber a la presencia del mineral monacita ((Ce, La, Th, Y) PO₄) y zircón. En este último debido a que el Y³⁺ sustituye al Zr⁴⁺ en esta fase, mediante la admisión del mismo. Regionalmente su concentración de fondo se encuentra por encima de INGEOMIN (2003) y por debajo de Gamero y Reveti (2011) (Apéndice 10).

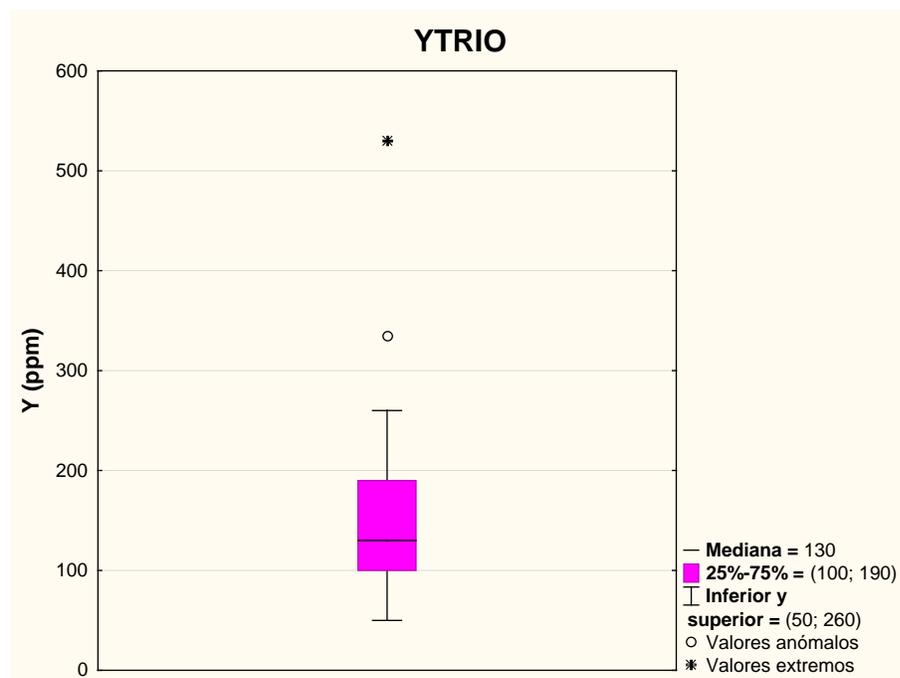
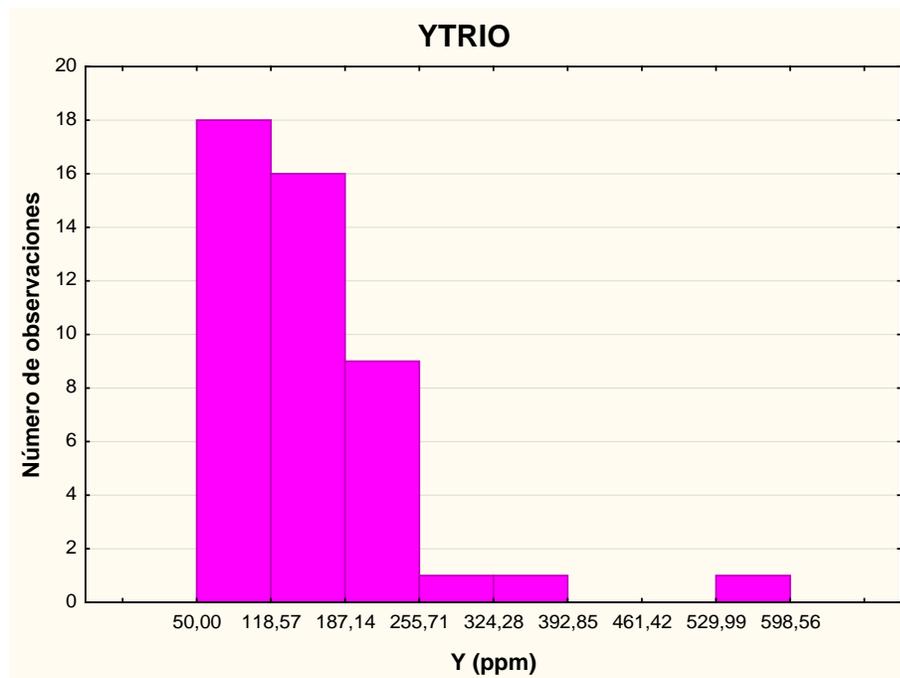


Figura 23. Histograma y caja gráfica de la concentración de Y, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero. En donde se observa asimetría positiva y la presencia de un valor anómalo y extremo positivo.

CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES

Los valores de correlación de Pearson mostrados en la tabla 6, reflejan que hay buena correlación entre el Fe/Ti (0,83), la misma revela la presencia de mineral ilmenita (FeTiO_3). Existe moderadamente buena correlación entre Y/Th (0,51), lo cual refuerza la idea ya planteada acerca de la presencia del mineral monacita ((Ce, La, Y, Th) PO_4), el cual puede llegar a contener hasta un 12 % de ThO_2 (Dana, 1997).

Las relaciones Zr/Y (0,60) y Zr/Th (0,52) son moderadamente buenas, por lo que se postula la presencia de zircón, el cual puede contener en su estructura cristalina pequeñas cantidades de Th. De igual forma puede estar ocurriendo con el Y, es decir, el Y^{3+} puede estar sustituyendo al Zr^{4+} por admisión, al presentar menor carga y radio iónico similar ($\text{Zr}^{4+} = 0,80 \text{ \AA}$; $\text{Y}^{3+} = 0,93 \text{ \AA}$).

Tabla 6. Correlación de Pearson para los elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.

	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	Y (ppm)	Th (ppm)
Fe(%)	1				
Ti (%)	0,83	1			
Zr (%)	-0,28	-0,16	1		
Y(ppm)	-0,43	-0,41	0,60	1	
Th(ppm)	-0,25	-0,23	0,52	0,51	1

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS ANALIZADOS

De las 30 muestras tomadas en la cuenca media y alta del Río Cuchivero (Apéndice 14; mapa 14.3) solo las muestras P10, P36, P37, P48 y P40 presentaron concentraciones anómalas de para los elementos Y, Th, Zr y Fe. La muestra P10 ubicada en la cuenca baja del Río Cuchivero exhibió anomalía positiva de Zr y valores de Th e Y comprendidos entre el fondo local y el umbral superior (Apéndice 14; mapa 14.3.1; 14.3.2 y 14.3.3). A pesar de la anomalía encontrada y su asociación con elementos estratégicos como Th e Y, su ubicación en el Río Cuchivero no permite postular claramente fuentes, ya que en este punto se recibe aporte de distintos tipos litológicos.

Las muestras P37 y P36 en los caños La Tiera y San Miguel respectivamente se encuentran en la parte alta de la cuenca Río Cuchivero. Estas presentaron anomalía positiva de Y (Apéndice 14; mapa 14.3.3) y valores moderados de Th (Apéndice 8), como ya antes mencionado esta anomalía se puede deber a la presencia del mineral monacita. En esta parte de la cuenca se reciben aportes de sedimentos proveniente de la Asociación Cuchivero por lo que al igual que en el caso de las anomalías detectadas en la cuenca del Río Suapure, la presencia de diques pegmatíticos o carbonatíticos pudieran estar controlando dicha anomalía.

La muestra P40 fue recolecta en el Río Cuchivero, esta presentó anomalía positiva de Fe y valores de Ti comprendido entre el fondo local y el umbral superior (Apéndice 14; mapa 14.3.4 y 14.3.5). Estos valores más la buena correlación entre el Fe/Ti revelan que la composición mineralógica de esta muestra está dominada por ilmenitas, aunque no se descarta la presencia de otros minerales portadores de estos elementos como: hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4) y rutilos (TiO_2), en este último el Ti^{+4} es sustituido por el Fe^{2+} por admisión.

La muestra P30 fue colecta en el afluente Quebrada Seca del Rio Cuchivero, exhibe anomalía positiva de Th (Apéndice 14; mapa 14.3.2) y valores moderados de Y (Apéndice 8). Esto más el valor de correlación entre estos dos elementos (0,51) (tabla 6) indica la presencia de mineral monacita ((Ce, La, Y, Th) PO₄).

En base a los datos discutidos para las muestras P40, P36 y P37 se postula a la cuenca alta del Rio Cuchivero como de interés para la búsqueda de Th y tierras raras

CUENCA DEL RÍO GUANIAMO

Las variables seleccionadas después de someter la data a un proceso de depuración estadístico fueron: hierro (Fe), Titanio (Ti), Zirconio (Zr), Cerio (Ce) y Niobio (Nb) (Apéndice 11). Los criterios utilizados para la depuración se muestran en el Apéndice 2 en la tabla 2.3. A continuación se presenta la discusión de resultados para estos elementos.

HIERRO

El Fe con 26,4% en promedio y un coeficiente de variación de 24,0 % se encuentra en esta cuenca por encima de su abundancia en la corteza terrestre (5,8 %), lo que implica una clark concentración de 5,6 %. Su distribución es asimétrica negativa leptocúrtica. Esto al presentar valores $media \leq mediada \leq moda$, coeficiente de asimetría negativo y valor de curtosis positivo (Apéndice 12). En la figura 24 se observa que las mayores frecuencias se agrupan en las mayores concentraciones y que la mayor variabilidad de los datos se concentra en el 25 % de los valores bajos.

Su concentración de fondo local se encuentra por encima del fondo regional establecido por INGEOMIN (2003) y Gamero y Reveti (2011) (Apéndice 13). Valor que convierte a la cuenca del Río Guaniamo en anomalía positiva. Sin embargo el bajo Clarke de concentración no parece ser atractivo desde el punto de vista económico para la recuperación de hierro. A nivel local la muestra PG-35 presenta anomalía positiva de Fe. La misma puede provenir de magnetitas (Fe_3O_4), hematitas (Fe_2O_3), ilmenitas (FeTiO_3), ulvoespinelas (Fe_2TiO_4) y cromita ($\text{Cr}_2\text{O}_4\text{Fe}$), y en algunos sulfuros como la pirita (FeS_2). Mineralogía reportada en esta cuenca por Gamero y Reveti (2011) y Pacheco (2013). Pacheco reportó magnetitas en esta cuenca con 70 % FeO^* ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$), entre 2 – 4 % MnO y entre 10 – 20 % TiO_2 .

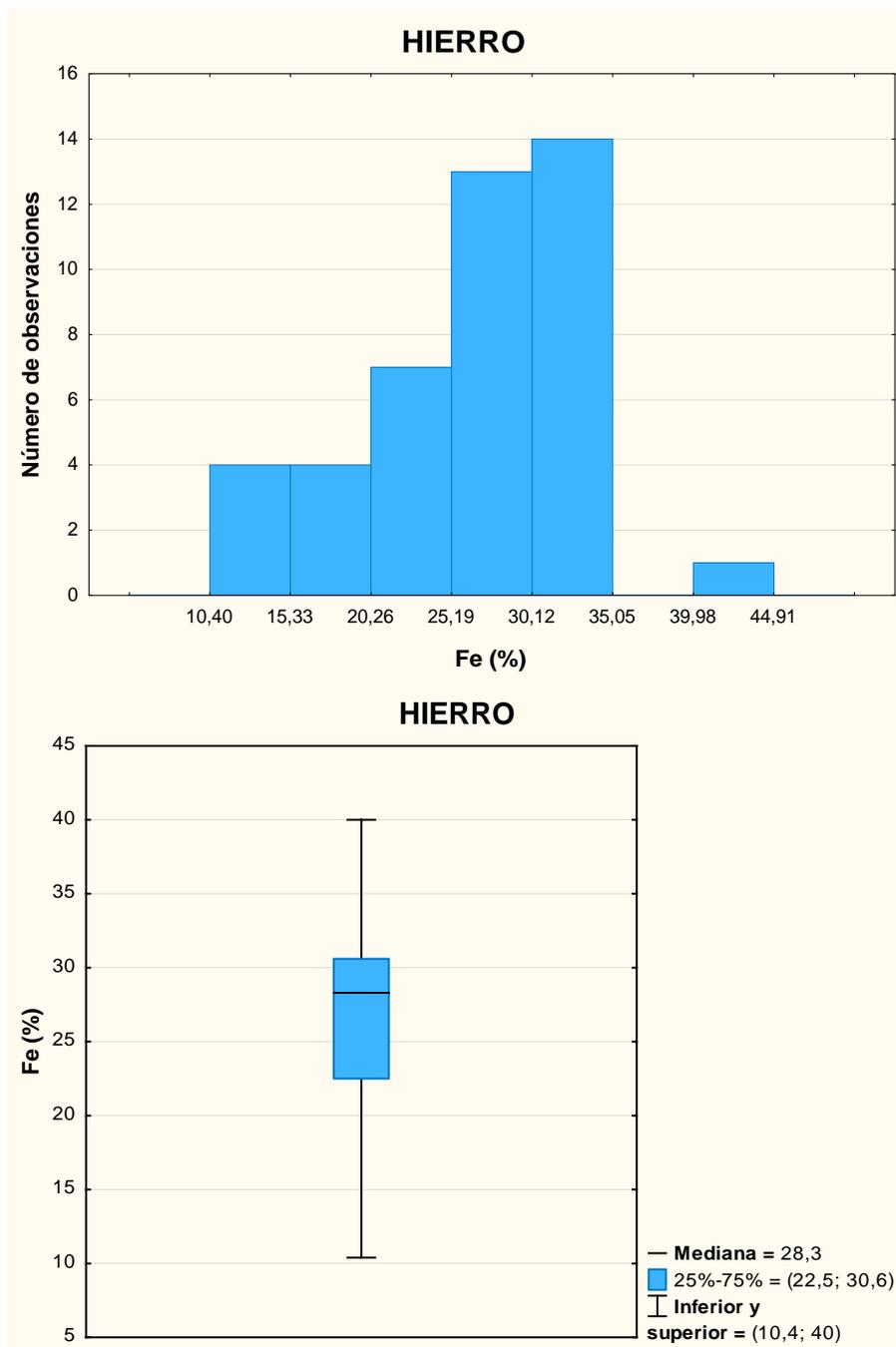


Figura 24. Histograma y caja gráfica de la concentración de Fe, analizado en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo. En el que se aprecia asimetría negativa y mayor variabilidad en el 25 % de los valores bajo.

TITANIO

La cuenca del Río Guaniamo presenta en promedio 24,5 % de Ti, con una dispersión 27,6 % expresada como coeficiente de variación (Apéndice 12). En comparación con su abundancia en la corteza terrestre (0,63 %) se encuentra por encima de esta con un clark de concentración de 38,9 %. De acuerdo a las medidas de centralización ($media \leq mediada \leq moda$) y coeficiente de asimetría (negativo) su distribución es asimétrica negativa y de acuerdo a su valor de curtosis (negativo) (Apéndice 12), también es una distribución platicúrtica (Molina y Rodrigo, 2010; Condori, 2016; y Sánchez, 2016).

La figura 25 muestra la ausencia de valores atípicos y que las mayores frecuencias se aglomeran en las concentraciones más elevadas. Lo cual hace inferir cierto potencial económico aun y cuando no se observan anomalías positivas del mismo. La concentración de fondo local se encuentra por encima de valor de fondo establecido por INGEOMIN (2003) y por debajo del de Gamero y Reveti (2011). A nivel local la muestra PG-17 presento anomalía negativa de este elemento. A pesar de no haber anomalías positivas, la mayor parte de los valores se encuentra hacia concentraciones altas de este elemento, tal y como se observa en el histograma (figura25) y en los valores numéricos de asimetría, razón por la cual estas arenas constituye un recurso potencial para la exploración de Ti.

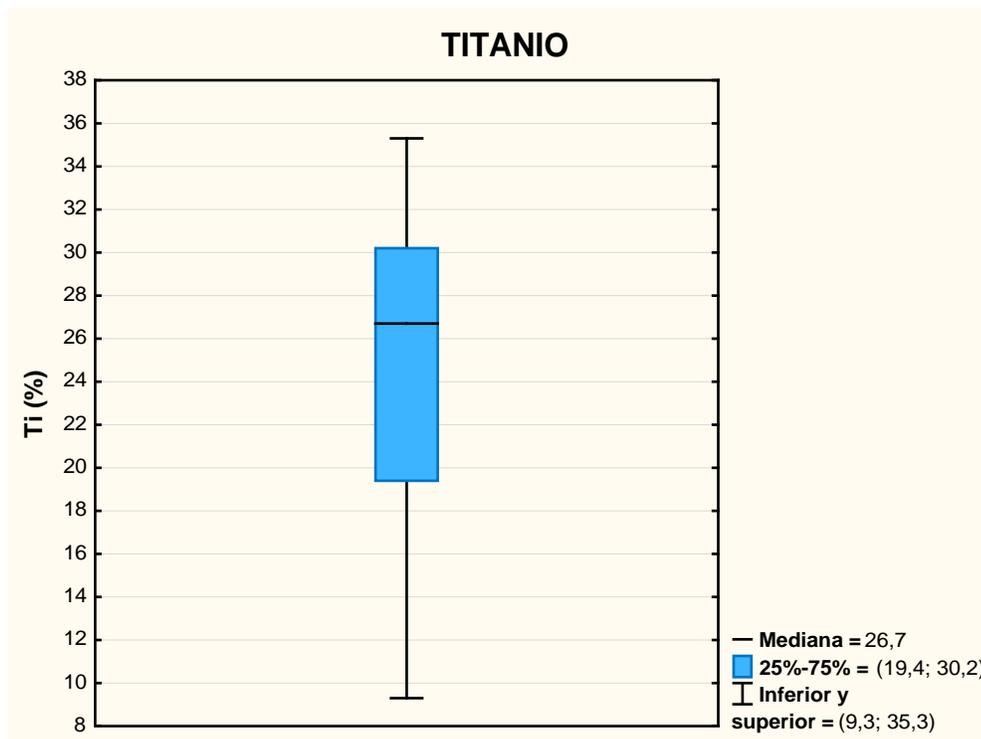
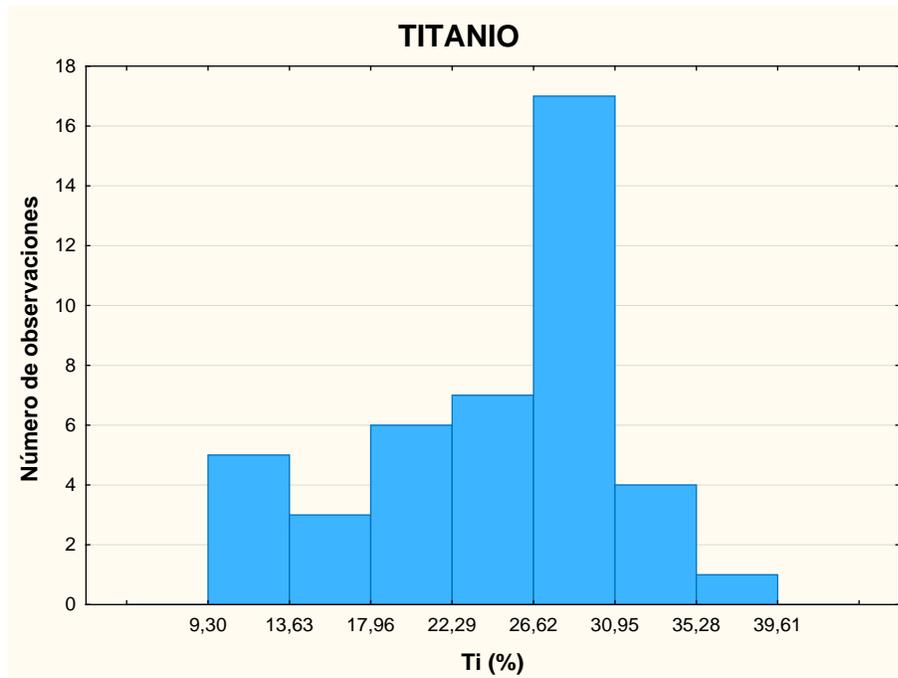


Figura 25. Histograma y caja gráfica de la concentración de *Ti*, analizada en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo. En la que se observa la ausencia de valores atípicos.

ZIRCONIO

Los valores obtenidos de Zr en esta cuenca presentan un promedio de 3,1% con un coeficiente de variación de 87,6 % (Apéndice 12). Se encuentra por encima de su abundancia en la corteza terrestre (0,16 %), con un clark de concentración de 19,4 %. Su distribución es asimétrica positiva leptocúrtica, por presentar valores de media \geq mediana \geq moda, coeficiente de asimetría positivos y valor de curtosis positivo (Apéndice 12). La figura 26 muestra: el comportamiento asimétrico antes descrito; que las mayores frecuencias se agrupan en las menores concentraciones; que la dispersión de los datos se concentra en el 25 % de los valores altos y se aprecia la presencia de un valor atípico.

El valor de fondo local del Zr se encuentra por encima de las concentraciones de fondo regionales (Apéndice 13). Lo que le otorga importancia desde el punto de vista prospectivo. A nivel local la muestra PG-2 presentó anomalía positiva de este elemento. La misma se puede deber a la presencia del mineral zircón (ZrSiO_4) y baddeleyita (ZrO_2). Mineralogía reportada en esta cuenca por Gamero y Reveti (2011) y Pacheco (2013).

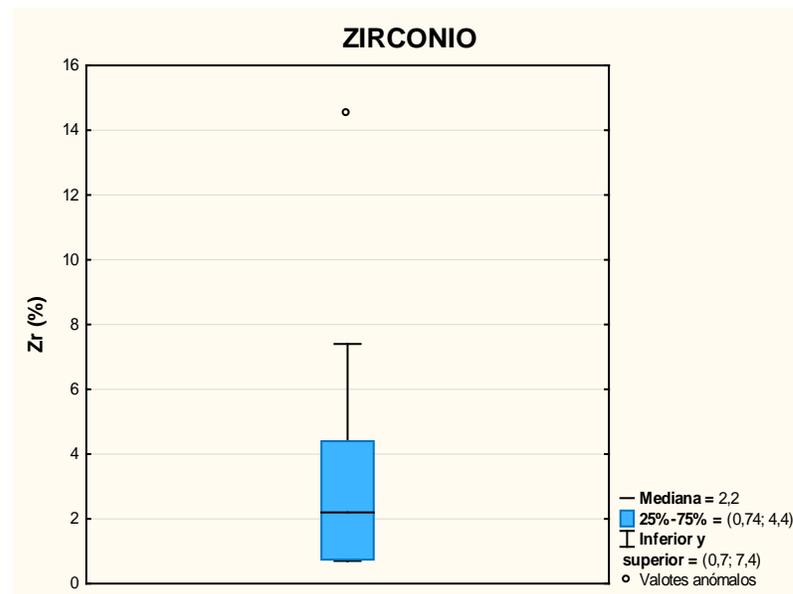
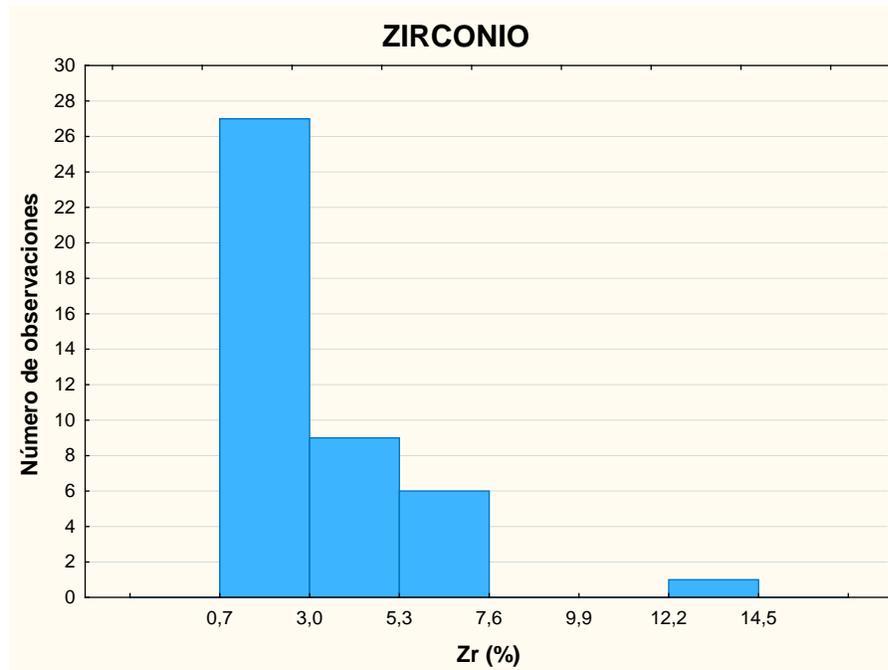


Figura 26. Histograma y caja gráfica de la concentración de Zr, analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo. En este se observa que las mayores frecuencias se agrupan en las menores concentraciones, mayor variabilidad en el 25 % de los valores altos y la presencia de un valor anómalo.

CERIO

La abundancia de Ce en la cuenca bajo estudio es de 599 ppm con un coeficiente de variación de 100 % (Apéndice 12). En comparación con su abundancia en la corteza terrestre (66 ppm), este se encuentra en la cuenca del Río Guaniamo con un clark de concentración de 9,1 %. De acuerdo a su valor de curtosis (positivo), coeficiente de asimetría (positivo) y medidas de centralización ($\text{media} \geq \text{mediana} \geq \text{moda}$) (Apéndice 12) su distribución es asimétrica positiva. Lo que indica que las mayores frecuencias se aglomeran en las menores concentraciones. Cualitativamente pudiera postularse la existencia de dos poblaciones. Una población que abarca el rango de concentraciones entre 100 - 733 ppm, y una población platicúrtica anómala que abarca el rango de 733 a 2000 ppm.

En la figura 27 se observa el comportamiento asimétrico antes descrito, la ausencia de valores atípicos y que la variabilidad de los datos se concentra en el 25 % de los valores altos. El fondo local del Ce se encuentra por encima del fondo regional reportado por INGEOMIN (2003) y por debajo del de Gamero y Reveti (2011) (Apéndice 16). A nivel local la muestra PG-21 y PG-32 fueron las que presentaron anomalías positiva de este elemento. Las mismas se pueden deber a la presencia del mineral monacitas ((Ce, La, Th, Y)PO₄), fergusonitas ((Ce, Nd, Y)NbO₄) y en la ulvoespinelas (Fe₂TiO₄) como impureza. Mineralogía reportada en la cuenca del Río Guaniamo por Gamero y Reveti (2011) y, Pacheco (2013).

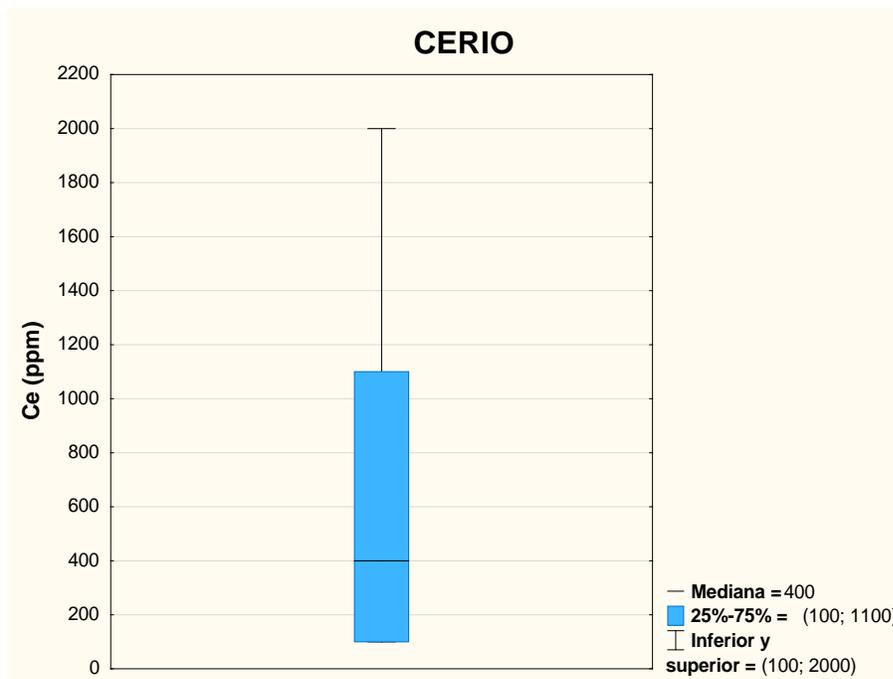
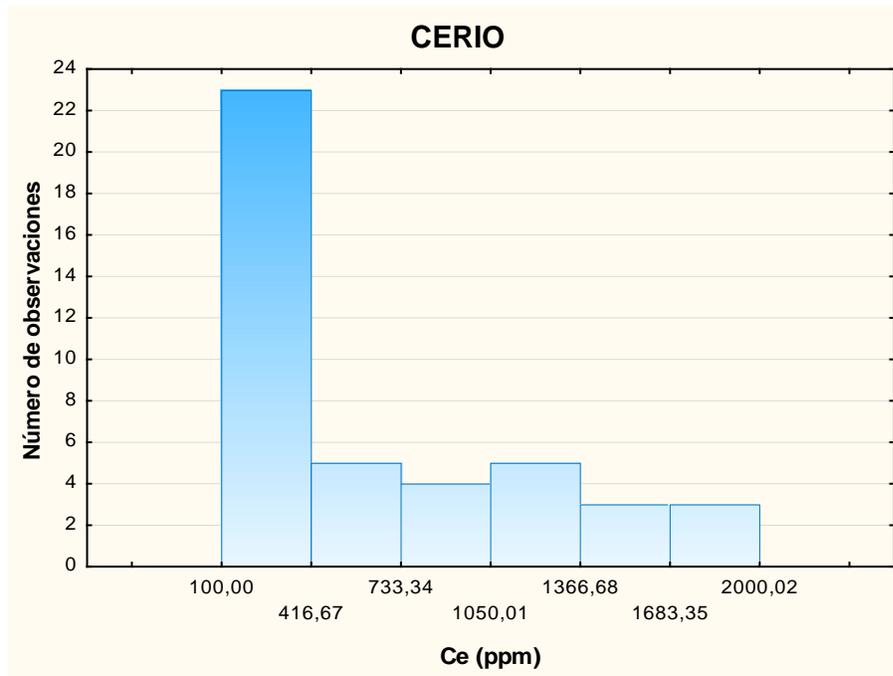


Figura 27. Histograma y caja gráfica de la concentración de Ce, analizado en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo. En el que se aprecia dos posible poblaciones y .que la variabilidad de los datos se concentra en el 25 % de los valores altos.

NIOBIO

La abundancia en la corteza terrestre del Nb es de 20 ppm y este se encuentra en la cuenca del Río Guaniamo con un factor de enriquecimiento de 18,0 %, al estar presente con una concentración promedio de 360 ppm y un coeficiente de variación de 83 % (Apéndice 12). Su distribución es asimétrica positiva leptocúrtica, al presentar valores de coeficiente de asimetría positivo, valores de media \geq mediana \geq moda y valor positivo de curtosis (Apéndice 12). Lo que indica que la mayoría de sus observaciones se aproximan a la media. La figura 28 muestra que las mayores frecuencias se agrupan hacia las menores concentraciones de Nb y revela la presencia de valores extremos.

La concentración de fondo local se encuentra por debajo de los valores de fondo reportados a escala regional (Apéndice 13). A nivel local las muestras PG-6, PG-8, PG-29 y PG-35 presentaron anomalías positivas de este elemento. Esto concuerda con los resultados de Gamero y Reveti (2011) quienes reportaron en esta cuenca altas concentraciones de Nb. Estos autores proponen que las altas concentraciones de Nb están relacionadas con la ilmenita, ya que el Nb⁵⁺ sustituye al Ti⁴⁺ en esta fase por medio de la captura de este, al presentar mayor carga y radio iónico similar (Nb⁵⁺ = 0,70 Å; Ti⁴⁺ = 0,68 Å) (Kallioskoski, 1965). El Nb también puede estar contenido dentro de la estructura cristalina de la columbita (Fe, Mn) Nb₂O₆, manganocolumbita ((Mn, Fe)(Nb, Ta)₂O₆) y fergusonita ((Ce, Nd, Y) NbO₄) y como impurezas en el baddeleyita (ZrO₂). Pacheco (2013) reportó en esta área fergusonita y baddeleyita. En el apartado siguiente se verá que las correlaciones interelementales de este elemento no arrojaron resultados que permitan postular alguna de estas fases minerales como las portadoras de Nb.

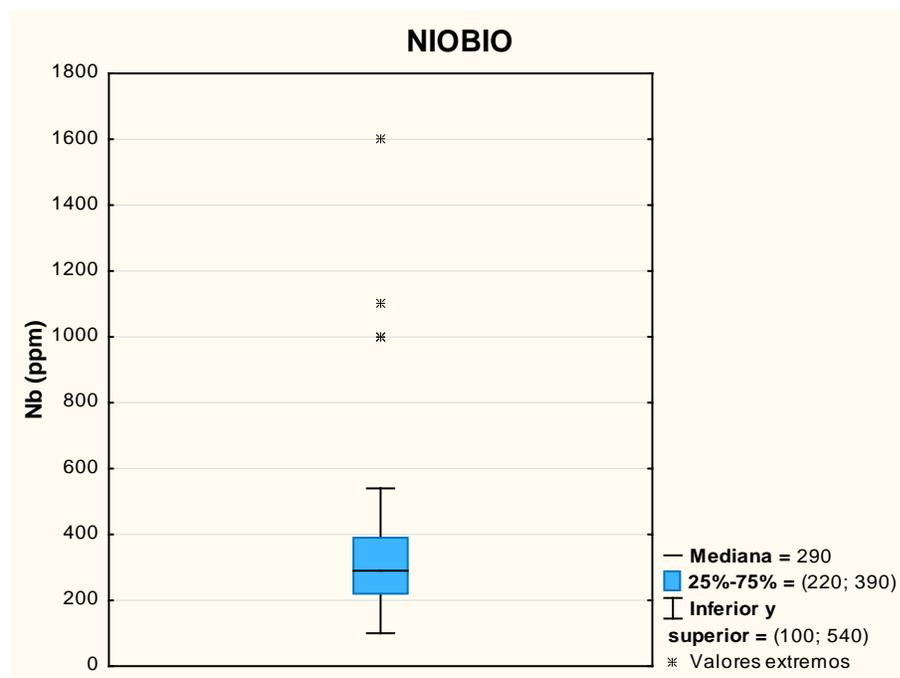
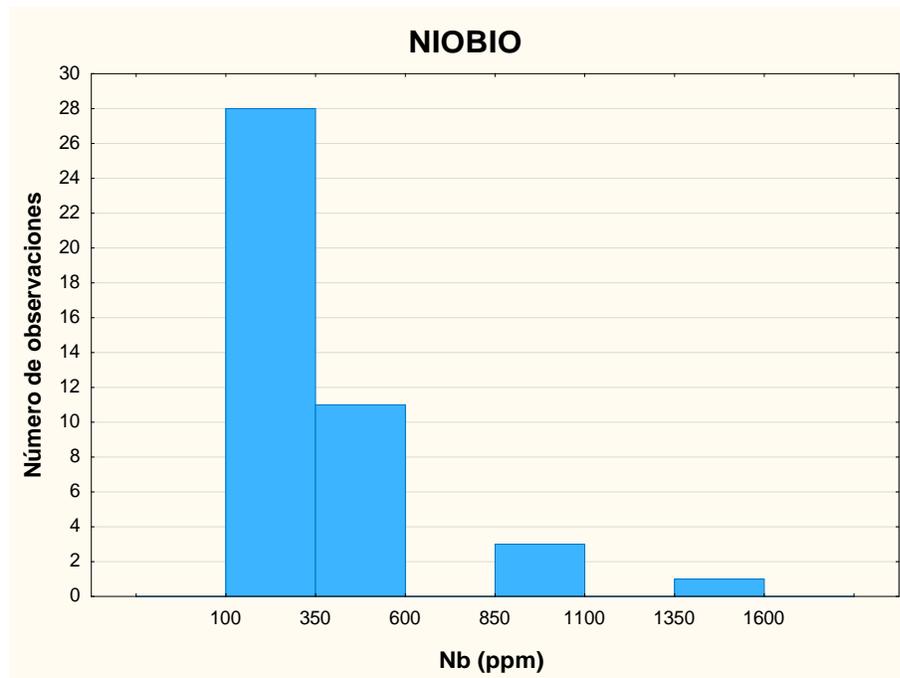


Figura 28. Histogramas y caja gráfica de la concentración de Nb, analizado en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo. En que se observa la asimetría positiva y la presencia de valores extremos.

Todo lo anteriormente discutido, le da importancia a la cuenca del Río Guaniamo desde el punto de vista geoquímico, para la realización de estudios prospectivos con mayor detalle, cuyo objetivo sería delimitar el área que proporcionan las anomalías de Fe y Zr que son los que presentan valores de fondos locales mayores a los reportados regionalmente.

CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES

En la tabla 7 se puede apreciar que el Ce/Fe (0,50), Ce/Ti (0,66) y Fe/Ti (0,68) presentan moderadamente buena correlación. Esta correlación revela que estos tres elementos se encuentran geoquímicamente relacionados. La sustitución de Fe por el Ti se atribuye en este caso al mineral ilmenita (FeTiO_3). La presencia de Fe y Ti conjuntamente en la ilmenita se debe a que esta puede contener menos de 6 % en peso de Fe_2O_3 (Dana 1997). El Ce puede estar sustituyendo al Ti y al Fe pero dicha sustitución se ve más favorecida con el Ti por presentar radio iónicos más parecidos ($\text{Ce}^{3+} = 1.11 \text{ \AA}$; $\text{Ti}^{4+} = 0,68 \text{ \AA}$; $\text{Fe}^{2+} = 0,64 \text{ \AA}$). La sustitución de Ti por Ce puede ocurrir en la ulvoespinela (Fe_2TiO_4), perovskita (CaTiO_3) e incluso en la ilmenita (FeTiO_3). Mientras que la sustitución de Ce por Fe ocurre en óxidos de Fe como las magnetitas (Fe_3O_4) y hematitas (Fe_2O_3).

Tabla 7. Correlación de Pearson para los elementos químicos analizados en la cuenca del Río Guaniamo.

	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	Ce (ppm)	Nb (ppm)
Fe(%)	1				
Ti(%)	0,68	1			
Zr(%)	-0,26	-0,37	1		
Ce(ppm)	0,50	0,66	-0,30	1	
Nb(ppm)	0,001	-0,29	0,32	-0,04	1

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS ANALIZADOS

Todas las muestras recolectadas en el Río Guaniamo (Apéndice 14; mapa 14.4) en general contienen cantidades similares de Fe y Ti (Apéndice 11) y elevadas concentraciones de Ce, pero fueron las muestra PG-21 y PG-32 las que exhiben concentración anómala positiva de Ce (Apéndice 14; mapa 14.4.1). La PG-32 también posee concentraciones de Fe y Ti comprendidas entre el fondo local y el umbral superior (Apéndice 14; mapa 14.4.2 y 14.4.3). La presencia de anomalía positiva de Ce más los valores de correlación existente entre el Ce, Fe y el Ti revela la presencia de ilmenitas (FeTiO_3), aunque no se descarta la presencia de otros minerales como: perovskita (CaTiO_3) y ulvoespinelas (Fe_2TiO_3) y más aún cuando ya han sido reportados en esta cuenca por Pacheco (2013). Por su parte la muestra PG-2 solo exhibió anomalía positiva de Zr (Apéndice 14; mapa 14.4.4), lo que conlleva a la posible presencia de Zircón.

La muestra PG-5 y PG-6 fueron recolectadas en la Quebrada Guayabal, ambas poseen concentraciones similares de Fe y Ti, valores de Zr comprendidos entre el fondo local y el umbral superior y elevadas concentraciones de Nb (Apéndice 11), incluso la PG-6 presenta anomalía positiva de Nb (Apéndice 14; mapa 14.4.5). La muestra PG-8 exhibe concentración anómala de Nb (Apéndice 14; mapa 14.4.5) y concentraciones similares de Fe y Ti. Los minerales que pueden estar aportando estos elementos son ilmenitas, hematita, rutilos, zircón y columbita-tantalita.

La muestra PG-29 y PG-35 fueron recolectadas en el Río Guaniamito, ambas presentaron anomalía positiva de Nb, valores de Zr comprendidos entre el fondo local y umbral superior (Apéndice 14; mapa 14.4.4 y 14.4.5), bajo contenido de Ti y elevadas concentraciones de Fe (Apéndice 11), inclusive la muestra PG-35 presentó anomalía positiva de este elemento (Apéndice 14; mapa 14.4.2) por lo que pudieran postularse todas las fases minerales reportadas para la zona como posible fuente de este elemento, zircón,

magnetita, hematita, columbita-tantalita y rutilos. En este último cuando el Ti^{4+} es sustituido por Fe^{2+} y la neutralización eléctrica se mantiene duplicando el contenido de Nb^{5+} y Ta^{5+} (Dana 1997).

El mapa de Nb muestra a la cuenca baja del Río Guaniamo, específicamente en las zonas aledañas a la Quebrada Guayabal, como un área interesante para la búsqueda de Nb. Vale la pena mencionar que la ausencia de correlación entre Nb y otros elementos indica que muy probablemente este elemento se encuentre asociado a la fase mineral columbita.

CONCLUSIONES

- La cuenca del Río Supure es un área anómala para los elementos Fe, Ti, Mn, Zr y Nb ya que su fondo local está por encima del valor de fondo regional para estos elementos, y presenta mayor potencial prospectivo para el Ti y Nb por sus elevados valores de clark de concentración.
- En función de las elevadas concentraciones de Mn, Th y Ce el Río Chivapure y sus afluentes es el área con mayor potencial para la búsqueda de elementos tierras raras y radiactivos.
- Los valores de correlación Th/Ce (0,75), Y/Th (0,63) e Y/U (0,50) permite inferir la presencia del mineral monacita en la cuenca del Río Suapure.
- La correlación de Ta/Ce permite inferir la presencia del mineral coltan en la cuenca del Río Suapure.
- A partir del mapa geoquímico de Nb se desprende que zonas aledañas al Caño La Miel es el área más idónea para la prospección de Nb en la cuenca baja y media del Río Suapure.
- La correlación existente entre el Fe/Ti (0,83) permite inferir la presencia del mineral ilmenita como fase mayoritaria contentiva de estos elementos en los sedimentos pesados de la cuenca del Río Cuchivero.
- La cuenca del Río Guaniamo es en función de los valores de fondo obtenidos para la misma un área anómala para los elementos Fe y Zr.
- La cuenca del Río Guaniamo es un área con potencial prospectivo para la búsqueda de Nb, específicamente en las zonas cercanas a la Quebrada Guayabal y Río Guaniamito donde se encontraron elevadas concentración de este elemento.

- La ausencia de correlación del Nb con los otros elementos analizados en la cuenca del Río Guaniamo, indica que posiblemente este asociado al mineral columbita.

RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio prospectivo de mayor detalle en las zonas cercanas al Caño La miel (cuenca baja del Río Suapure), Quebrada Guayabal y Río Guaniamito (cuenca del Río Guaniamo), en el que se analice de elementos asociados al coltan como Fe, Ti, Mn, Sn, Ta y Nb. Esto debido a que estas zonas se presentan concentraciones importantes de Nb.
- Realizar un estudio prospectivo en la cuenca media del Río Suapure en el que se analicen los elementos Fe, Ti, Zr, Mn, Nb, Ta, Y, Th, U, Ce y Nb que permitan conocer la distribución espacial de estos elementos en este tramo de la cuenca y compararlos con los resultados obtenidos en el presente trabajo, para así conocer la distribución espacial de todos estos elementos en toda la cuenca del Río Suapure.
- Realizar un estudio prospectivo de mayor detalle en la cuenca del Río Chivapure, diseñando un muestreo orientado a la detección de anomalías relacionadas a radioactivos y tierras raras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, M. J., Cladera, M. M. (2002).***Introducción a la estadística descriptiva para economista.* España.
- Alzate, J. C. (2004).***Estadística Descriptiva.* Colombia: Iniremington.
- Carver, E. (1971).***Procedures in sedimentary petrology.*New York: Wiley.
- Condori, M. G. Y. (2016).***Análisis estadístico multivariante y modelamiento de datos geoquímicos del yacimiento epitermal de alta sulfaración Mirador Norte. Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Perú.
- Dana, J. D. (1997).** *Manual de mineralogía.* España: Reverte.
- Deer, W. A, Howie, R. A., y Zussman, J., (1992).** An introduction to the rock forming minerals: 2nd Edition. Pearson Education Limited, 689 p.
- Devore, J. L. (2001).***Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.* México:Thomson Learning.
- Evans, A. (2003).***Ore Geology and Industrial Minerals an Intrduction.*Editorial: Blackwell.
- Feo, G. (1956).**Heavy mineral techniques and their application to Venezuelan stratigraphy.*Bull. Amer. Assoc. Petroleum. Geologists, 40* (5), 24.
- Fermín, A. (2013).***Estudio geoquímico de las fracciones magnéticas y no-magnéticas de los minerales pesados transportados por los ríos que drenan las provincias de Cuchivero y Roraima, Estados Bolívar y Amazonas, Venezuela* (tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Venezuela.
- Fernández, G. y Hidalgo, M. (2008).** Mapeo geoquímico ambiental en la cuenca del río Lules mediante el uso de muestras de sedimentos de corriente. *Actas del V Congreso Argentino de Presas y Aprovechamiento Hidroeléctrico.*
- Gamero, M. A.,y Reveti, M. M. (2011).***Estudio geoquímico y mineralógico de minerales pesados en la zona nor-occidental del estado Bolívar* (trabajo especial de grado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. Venezuela.
- Gamero, M. A., Reveti, M. M., Jiménez, Y., Rodríguez, R., Angulo, F., Hurtado, H. R., y Abrisqueta, R. A. (2014).** Caracterización geoquímica de minerales pesados recolectados en la zona nor-occidental del Estado Bolívar. *Facultad de Ingeniería U.C.V, 29* (4), 6-13.

- Gaspar, J., y Wyllie, P. (1983).** Ilmenite (high Mg,Mn,Nb) in the carbonatites from the Jacupiranga Complex, Brazil. *American Mineralogist*, 68, 960-971.
- Garban, G. (2001).** *Estudio de anomalías de tántalo en el área de El Grillero-El Café, Edo Bolívar, Venezuela* (tesis de maestría). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Venezuela.
- González, de J. (1980).** *Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas*. Caracas: Foninves.
- González, I. (2009).** *Estudio de la fracción de arcillas y minerales pesados, asociados al residuo insoluble del mármol de Guacuripia, Edo. Bolívar y suelos suprayacentes* (tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Venezuela
- Gómez, B. (1991).** Beadload Transport. *Earth-Science Reviews*, 31, 89-130
- Grande, S. (2000).** *Guía de Yacimientos Minerales Metálicos*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Venezuela.
- Hartman, H. (1992).** *SME MiningEngineeringHandbook*. Vol (1). Sociedad de Minería, Metalurgia y de Exploración. California, EEUU.
- Hawkes, H., y Webb, J. (1962).** *Geochemistry in mineral exploration*. New York: Harper and Row.
- Hernández, A. (2013).** *Determinación de las concentraciones de los elementos U, Th y tierras raras (REE) en los minerales pesados de los sedimentos del río Arizo (afluente del río Aro), Municipio Heres, Estado Bolívar, Venezuela* (tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Venezuela.
- Hernández, M. (2009).** *Evaluación de técnicas de análisis multivariado sobre minerales pesados pertenecientes a sedimentos de drenajes activos de la región de Imataca, estado Bolívar, Venezuela: Implicación en la determinación de proveniencia* (tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Venezuela.
- INGEOMN (2003).** *Explotación Geoquímica y Geológica en las cuencas de Los Ríos Suapure, Villacoa, Parguaza y Ore, Municipio Cedeño, Estado Bolívar*.
- Iriondo, M. (2007).** *Introducción a la geología*: Brujas.

- Jiménez, Y., Nuñez, J., Vera, O., y Hernández, E. (2008).** Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela (PMGV). XIII Congreso Venezolano de Geofísica, Venezuela.
- Kalliokoski, J. (1965).** *Geology of the North-Central Guayana Shield, Venezuela* En: Geol. Soc. of America. Bull. V78.
- Levinson, A. (1973).** *Introduction to Exploration Geochemistry*. Illinois: Applied Publishing Ltd.
- Li, Ch., Ma, T., y Shi, J. (2003).** Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background. *Journal of Geochemical Exploration*, 77 (2-3), 167-175.
- Linares, R. E. (2013).** *Generación de mapas geoquímicos para la prospección de depósitos minerales mediante el análisis de los elementos K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, y, Zr, Nb y Sr en la fracción fina de los sedimentos de corriente de la cuenca del alto Paragua, estado Bolívar, Venezuela* (tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Venezuela.
- Llinas, S. H., Rojas, Á. C. (2006).** *Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad*. Colombia: Uninorte.
- Mange, M., y Maurer, H. (1992).** *Heavy minerals in colour*. Londres: Chapman and Hall.
- Martínez, B. C. (2007).** *Estadística básica aplicada*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Martínez, G. M., y Marí, B. M. (2010).** *El papel probabilístico normal*. Universidad Politécnica de Valencia, Facultad de administración y dirección de empresas, España.
- Matschullat, J. Ottenstein, R. y Reimann, C. (2000).** Geochemical background – can we calculate it?. *Environmental Geology*. 39, 990-1000.
- Meléndez, P. C., y Camacho, D. A. (2009).** Espectrometría de fluorescencia de rayos X. *Aventuras del Pensamiento*, 1-5.
- Meléndez, W. (2006).** *Caracterización química y mineralógica de los minerales pesados presentes en el perfil de meteorización del yacimiento de bauxitas de los Pijiguaos* (tesis doctoral). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Venezuela.
- Méndez, B. J. (2006).** *Petrología*. Caracas, Venezuela: PDVSA INTEVEP.
- Mendenhall, W. (1995).** *Estadística para administradores*. México: Iberoamerica.

- Mendoza, S. V., (1972).** *Geología del área del río Suapure, parte noroccidental del escudo de Guayana*, Estado Bolívar, Venezuela. IX Conferencia Geológica Interguayanas. En: MEM Bol. Geol. Pub. Esp. N 6.
- Mendoza, S. V., (1974).** *Geología del área del río Suapure, parte noroccidental del Escudo de Guayana, Estado Bolívar, Venezuela*. IX Conferencia Geológica Interguayanas. Venezuela.
- Mendoza, S. V. (1975).** “Evolución geoquímica de rocas graníticas de la Guayana Venezolana”. X Congreso Geológico Interguayanas: Brasil.
- Mendoza, S. V. (2000).** *Evolución Geotectónica y Recursos minerales del Escudo de Guayana en Venezuela y su relación con el Escudo Sudamericano*. Venezuela.
- Mendoza, S. V. (2005).** *Geología de Venezuela*. Tomo II Escudo de Guayana. Venezuela.
- Mendoza, S. V., Moreno, L., Barrios, F., Rivas D., Martínez, J., Lira, P., Sardi., y Ghosh, S.K. (1977).** “Geología de la parte norte del Territorio Federal Amazonas. V Congreso Geológico Venezolano. Venezuela.
- Mendoza, S. V. (2012).** *Geología de Venezuela*. Bogotá, Colombia: Gran Colombia.
- Mitchel, W. (1975).** *Heavy Minerals. In Giesecking. Soil Components II Inorganic*. New York: Springer.
- Molina, J. G., y Rodrigo, M. F. (2010).** Estadísticos de formas de la distribución. Universidad de Valencia, España.
- Montenegro, T. (2006).** *Óxidos (hidróxidos, vanadatos, arsenicos, antimonitos, bismunitos, sulfitos, selenitos, teluritos, iodatos)*. Buenos Aires, Argentina.
- Moreno, R. Y. (1996)** *Estudio geoquímico de los minerales pesados en los ríos que drenan las rocas del Complejo de Cuchivero, Estado Bolívar y Amazonas, Venezuela* (Tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Caracas- Venezuela.
- Morton, A., y Hallsworth, C. (1999).** Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, (124), 3-29.

- Nichols, G. (2009).** *Sedimentology and stratigraphy*. USA:Chichester.
- Pacheco, R., Rotshira, J. (2013).** *Caracterización química y morfológica de la ilmenita y magnetita de los concentrados de minerales pesados de las cuencas de los ríos Suapure y Guaniamo del Estado Bolívar*. (Tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Caracas- Venezuela.
- Parales, D. (2009).** *Estudio de la variación en la composición de minerales pesados con el tamaño de grano en sedimentos de las cuencas de los ríos Aro, Arizo, Pao y Orinoco, Venezuela* (Tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Caracas- Venezuela.
- Pérez, R., Cerrera, L., Boggio, W., Díaz, R., y Sampol, M. (2011).** Estudio mineralógico y morfométrico de los minerales pesados del río Aro. Implicaciones metalogénicas. *Geociencias. Sociedad Cubana de geología*, 1- 15.
- Pettijohn, F. J. (1975).** *Sedimentary Rocks*. New York: Harper y Row Publishers.
- Pierdant, R. A. I., y Rodríguez, F. J. (2006).** *Elementos básicos de estadística para Ciencias Sociales*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Posada, H. G. J. (2016).** *Elementos básicos de estadística descriptiva para el análisis de datos*. Colombia: Luis Amago.
- Quevedo, J. (2009).** *Análisis mineralógico y químico de minerales pesados de sedimentos de la cuenca del río Aro, Estado Bolívar, Venezuela* (tesis de pregrado). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Venezuela.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garret, R., y Dutter, R., (2008)** *Statistical data analysis explained: Applied Environmental Statistics with R*. Inglaterra: John Wiley&Sons Ltd.
- Reimann, C., Filzmoser, P., y Garrett, R. (2005).** Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the Total Environment*, 346, 1-16.
- Sampol, M., Perez, R., Diaz, R., Carrera, L., y Boggio, W. (2011).** Caracterización mineralógica y morfológica de minerales pesados de los sedimentos del río Paragua, Estado Bolívar. *Geociencias. Sociedad Cubana de geología*, 1-8.
- Ríos, J. (1972).** *Geología de la Región de Caicara, Estado Bolívar*. En: IV Congreso Geológico Venezolano, MEM Pub. Esp. V 5, N3.
- Rondón, M. (2007).** *Diseño del sistema de recolección y tratamiento de aguas servidas, para las poblaciones de Morichalito y San José de Morichalito, ubicado en*

el Municipio Cedeño, estado Bolívar (trabajo especial de grado). Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería. Puerto La Cruz, Venezuela.

Rose, A., Hawkes, H. E., y Webb, J., (1979). *Geochemistry in mineral exploration*: New York, Academic Press, 2da edición.

Skoog, D., Holler, F., y Nieman, T. (2001). *Principios de análisis instrumental*. Madrid, España:Mc Graw Hill.

Spadoni, M., Cavarreta, G., y Patera, A. (2004).Cartographic techniques for mapping the geochemical data of stream sediments: the “Sample Catchment Basin” approach. *EnvironmentalGeology*. 45, 593-597.

Spalletti, L. A. (2007). Meteorización. *Universidad Nacional de La Plata*, 2-19. Recuperado de <http://bioxeo3eso.weebly.com/uploads/5/8/4/7/5847869/meteorizacion.pdf>

Spiegel, M. R. (2013).*Estadística*. España: McGraw-Hill.

Suárez, I. M. O., y Tapia, Z. F. A (2012).*Interaprendizaje de estadística básica*. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.

Sun, X., Deng, J., Gong, Q., Wang, Q., Yang, L., y Zhao, Z. (2009).Kohonen neural network and factor analysis based approach to geochemical data pattern recognition. *Journal of Geochemical Exploration*. 103, 6-16.

Taissier, Z., Philip, G., y Fares H., (2008). Geochemical zapping of New Mexico, USA, using stream sediment data.Jackson School of Geosciences, The University of Texas at Austin.

Torres, J. (1984). *Análisis geoquímico de los resistatos pesados de la hoya hidrográfica del río Paragua, Edo. Bolívar, Venezuela*. (tesis de maestría).Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Venezuela.

Triola, M. F. (2000).*Estadística elemental*. México: Pearson Educación.

Xie, X., Dawen, L., Yunchuan, X., Guangsheng, Y., y Changyun, L. (2004). Geochemical blocks for predicting large ore deposits-concept and methodology: *Journal of Geochemical Exploration*, 84 (2), 77- 91.

Zerpa, L., y Flores, E. (2000). *Ubicación y delimitación de área anómala en elementos químicos en sedimentos livianos, asociados a depósitos minerales de interés económicos, en la cuenca media del Río Suapure, Municipio Cedeño, Estado Bolívar*. INGEOMIN, Venezuela

APÉNDICES

Apéndice 1. Ubicación de las muestras de concentrado de minerales pesados recolectadas en las cuencas de los Río Suapure, Cuchivero y Guaniamo.

Tabla 1.1. Ubicación de las muestras recolectadas en la **cuenca alta del Río Suapure (Chivapure)** entre la confluencia con Río Blanco, y la comunidad indígena de Chawachinoto en la intersección del río con el camino que conduce a San Juan de Manapiare, y la **cuenca baja y media** entre la población los Pijiguaos y Temblador (Pozos Azules). Lugar donde el Río Suapure forma una gran Isla cerca de la antigua estación Sarrapiera

MUESTRA	COORDENADAS UTM		UBICACIÓN (RÍO O CAÑO)
	N	W	
SUAP-42	670850	802650	Río Chivapure
SUAP-43	688650	802350	Afluente de Chivapure
SUAP-44	670150	803500	Río Chivapure
SUAP-45	668400	803500	Río Chivapure
SUAP-46	668350	803700	Río Chivapure
SUAP-47	667750	803300	Río Chivapure
SUAP-48	667600	803800	Río Chivapure
SUAP-49	667250	803200	Río Chivapure
SUAP-50	677800	804300	Afluente drena Serranía del Chivapure
SUAP-51	675850	804250	Afluente drena Serranía del Chivapure
SUAP-52	673400	803700	Afluente drena Serranía del Chivapure
SUAP-1	725650	755000	Afluente drena Serranía los Pijiguaos
SUAP-2	726200	756000	Río Suapure
SUAP-3	724500	759000	Afluente El Paují drena Serranía los Pijiguaos

Tabla 1.1. Continuación. Ubicación de las muestras recolectadas en la **cuenca alta, baja y media** del Río Suapure.

Muestra	Coordenadas UTM		Ubicación (río o caño)
	N	W	
SUAP-4	723200	758150	Afluente El Paují drena Serranía los Pijiguaos
SUAP-5	723850	758650	Afluente El Paují drena Serranía los Pijiguaos
SUAP-6	719100	765300	Río Suapure
SUAP-7	719500	766000	Afluente drena Serranía La Cerbatana
SUAP-8	718750	765850	Afluente drena Serranía La Cerbatana
SUAP-9	718350	765100	Río Suapure
SUAP-10	717400	767650	Afluente drena Serranía La Cerbatana
SUAP-11	718000	767900	Afluente drena Serranía La Cerbatana
SUAP-12	718650	768750	Afluente drena Serranía La Cerbatana
SUAP-13	717850	765150	Río Suapure
SUAP-14	715750	765350	Caño La Miel. Afluente drena Serranía La Cerbatana
SUAP-15	715100	765450	Caño La Miel. Afluente drena Serranía La Cerbatana
SUAP-16	714700	765900	Caño La Miel. Afluente drena Serranía La Cerbatana
SUAP-17	715150	766300	Caño La Miel. Afluente drena Serranía La Cerbatana
SUAP-18	715800	763900	Río Suapure
SUAP-19	715100	763100	Río Suapure
SUAP-20	712250	763800	Río Suapure
SUAP-21	711400	763250	Afluente drena de Serranía los Pijiguaos
SUAP-22	709300	764250	Río Suapure
SUAP-23	710250	764350	Río Suapure
SUAP-24	708700	765300	Río Suapure
SUAP-25	708250	765750	Río Suapure
SUAP-26	707250	765500	Río Suapure
SUAP-27	706250	765850	Río Suapure
SUAP-28	705850	766800	Caño Pozos azules

Tabla 1.1. Continuación. Ubicación de las muestras recolectadas en la cuenca alta, baja y media del Río Suapure.

Muestra	Coordenadas UTM		Ubicación (río o caño)
	N	W	
SUAP-29	705300	767350	Caño Pozos azules
SUAP-30	704750	767850	Caño Pozos azules
SUAP-31	706250	765650	Río Suapure
SUAP-32	705600	764700	Afluente drena de Serranía los Pijiguaos
SUAP-33	705350	765200	Afluente drena Serranía los Pijiguaos
SUAP-34	704350	766400	Río Suapure
SUAP-35	703900	766250	Caño Peineta drena Serranía Los Pijiguaos
SUAP-36	703600	766050	Caño Peineta drena Serranía Los Pijiguaos
SUAP-37	703150	765850	Caño Peineta drena Serranía Los Pijiguaos
SUAP-38	702700	765650	Caño Peineta drena Serranía Los Pijiguaos
SUAP-39	702350	765550	Caño Peineta drena Serranía Los Pijiguaos
SUAP-40	704050	766750	Río Suapure
SUAP-41	703850	767200	Río Suapure

Tabla 1.2.Ubicación de las muestras recolectadas en la en la **cuenca media y alta** del Río Cuchivero. Tramo desde la confluencia con Río Guaniamo hasta Raudal Alto, y en la **cuenca baja**. Tramo población de Cuchivero- Confluencia con el Río Guaniamo Aguas arriba.

Muestra	Coordenadas UTM		Ubicación (río o caño)
	N	W	
P10	800250,4	199681,6	Río Cuchivero
P11	800014,4	199563,2	Río Cuchivero
P13	797220,3	201572,3	Río Cuchivero
P12	796124,7	199373,9	Río Cuchivero
P14	796016,4	203344,9	Río Cuchivero
P15	789530,5	202941,2	Río Cuchivero
P16	785817,3	205152,4	Río Cuchivero
P17	786869,0	210711,0	Río Cuchivero
P18	780375,0	210735,7	Quebrada Laguna Sucia
P34	781297,9	210721,2	Río Cuchivero
P35	772970,5	210932,2	Caño Amarillo
P36	771029,9	208781,1	Caño San Miguel
P37	764700,0	208834,7	Caño La Tiera
P38	763504,0	208977,4	Río Zariapo
P39	760062,6	208858,4	Río Zariapo
P40	758926,2	208707,6	Río Cuchivero
P41	757474,3	208574,7	Río Cuchivero
P42	757420,5	207083,1	Río Cuchivero
P43	754558,3	205134,3	Afluente Río Cuchivero
P44	754196,9	203963,4	Río Cuchivero
P45	753377,0	202732,3	Quebrada
P46	750838,6	203120,5	Quebrada
P47	748992,3	198952,4	Caño Anapuy
P48	748992,3	199663,3	Caño Urune

Tabla 1.2. Continuación. Ubicación de las muestras recolectadas en la cuenca media, alta y baja del Río Cuchivero.

Muestra	Coordenadas UTM		Ubicación (río o caño)
	N	W	
P49	741793,8	203109,7	Quebrada Honda
P50	741062,9	201293,0	Quebrada Raudal Alto
P51	740349,2	203065,3	Quebrada Raudal Alto
P52	740090,4	201501,9	Quebrada Raudal Alto
P53	737530,0	203116,3	Río Cuchivero (Raudal Alto)
P54	736503,1	204859,9	Quebrada
P33	828526,7	181792,2	Río Cuchivero
P32	826366,5	185173,1	Quebrada Seca 2
P31	826046,0	185190,1	Río Cuchivero
P30	822870,3	185941,4	Quebrada Seca 1
P28	821148,3	188535,9	Río Cuchivero
P27	819183,2	189042,1	Caño Tirma
P26	813709,4	188872,2	Caño Mayeral
P25	809895,7	190603,4	Caño Machete
P24	808134,6	190669,8	Río Cuchivero
P23	807972,2	190668,8	Quebrada Potrero
P22	806232,4	189632,9	Río Cuchivero
P21	804175,8	194475,5	Río Cuchivero
P20	802412,8	194459,1	Río Cuchivero
P19	800668,4	196072,2	Río Cuchivero
P9	800656,9	196288,3	Caño San Carlos
P1	801120,5	196097,0	Río Cuchivero

Tabla 1.3. Ubicación de las muestras recolectadas en la cuenca del **Río Guaniamo**. Tramo confluencia Cuchivero-Guaniamo hasta confluencia Río Guaniamo-Guaniamito (Aguas arriba).

Muestra	Coordenadas UTM		Ubicación (río o caño)
	N	W	
P2	799998,7	195535,2	Río Guaniamo
P3	799295,0	193971,3	Río Guaniamo
P4	798627,6	195840,0	Río Guaniamo
P5	794856,9	252771,5	Río Guaniamo
P6	793559,0	197412,3	Río Guaniamo
P7	789923,0	197773,6	Quebrada Macamaca
P8	789420,6	194390,6	Quebrada da. Rosalito
PG-1	787564,8	194361,0	Río Guaniamo
PG-2	782487,0	192480,0	Afluente
PG-3	784232,1	188094,3	Afluente
PG-4	782519,2	188157,6	Río Guaniamo
PG-5	781628,7	185959,2	Quebrada Guayabal
PG-6	781844,0	185942,1	Quebrada Guayabal
PG-7	780171,1	183987,6	Afluente
PG-8	780185,9	183588,3	Afluente
PG-9	775738,2	183886,7	Río Guaniamo
PG-10	771643,9	184212,1	Afluente
PG-11	770288,1	184710,8	Afluente
PG-12	767361,4	183175,4	Afluente
PG-13	765004,4	181409,8	Río Guaniamo
PG-14	765534,7	180660,2	Afluente
PG-15	763051,4	179477,8	Afluente
PG-16	762894,2	179031,0	Afluente
PG-17	761686,3	177945,1	Afluente
PG-18	761299,5	177841,3	Afluente
PG-19	760502,7	177913,3	Río Guaniamo

Tabla 1.3. Continuación. Ubicación de las muestras recolectadas en la cuenca del Río Guaniamo.

Muestra	Coordenadas UTM		Ubicación (río o caño)
	N	W	
PG-20	760003,5	177904,1	Río Guaniamo
PG-21	759996,9	177814,9	Afluente
PG-22	758625,9	178126,2	Río Guaniamo
PG-23	758157,1	177813	Río Guaniamito
PG-24	757900,4	177590,2	Río Guaniamito
PG-25	757726,3	177404,7	Río Guaniamito
PG-26	757453	176843,8	Afluente Río Guaniamito
PG-27	757356,5	175020,8	Afluente Río Guaniamito
PG-28	758005,7	174440,9	Río Guaniamo
PG-29	757708,5	178301,9	Río Guaniamito
PG-30	756325,8	177288,7	Río Guaniamo
PG-31	756001,3	176911,8	Afluente Río Guaniamito
PG-32	755685,1	176820,7	Río Guaniamo
PG-33	755020,1	176457,1	Río Guaniamo
PG-34	754347,4	175850,7	Río Guaniamo
PG-35	754349,5	174987,1	Afluente Río Guaniamito
PG-36	754286,3	174267,5	Afluente Río Guaniamito

Apéndice 2. Depuración de datos.

Tabla 2.1. Variables eliminadas para la **cuenca alta, media y baja** del Río Suapure.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS										
	Nb (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Zro2 (%)	TiO2 (%)	Fe (%)	MnO2 (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)
SUAP-42		300	<100	10,6	47,4	28,8	4,0	115	210	140	ND
SUAP-43		310	<101	16,3	42,0	25,7	3,5	150	250	190	ND
SUAP-44		280	<102	7,1	47,0	19,0	16,4	110	1300	290	5.300
SUAP-45		320	120	3,7	50,6	20,9	18,0	60	1100	220	4.300
SUAP-46		270	<100	9,1	42,3	16,1	14,3	120	640	250	1.800
SUAP-47		185	ND	7,2	34,6	21,8	13,6	130	975	170	ND
SUAP-48		270	<100	8,2	44,6	16,9	15,5	110	840	240	2.000
SUAP-49		240	<100	7,0	34,2	13,0	12,1	80	580	210	1.500
SUAP-50		<100	ND	2,1	9,7	56,2	1,9	50	225	<50	ND
SUAP-51		<101	ND	4,2	19,0	39,9	4,2	90	465	110	120
SUAP-52		170	ND	23,9	16,5	18,4	4,5	230	740	310	390

 Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos.

 Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Tabla 2.1. Continuación. Variables eliminadas para la **cuenca alta, media y baja** del Río Suapure.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS											
	Nb (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Zro2 (%)	TiO2 (%)	Fe (%)	MnO2 (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)	La (ppm)
SUAP-1	2200	220	100	3,3	52,7	32,0	3,2	60	130	60	ND	
SUAP-2	2800	200	100	6,8	50,2	28,7	5,4	100	230	150	100	
SUAP-3	2000	150	ND	3,7	53,0	32,8	3,3	60	160	60	ND	
SUAP-4	2100	150	ND	1,9	53,5	33,4	3,3	50	120	50	ND	
SUAP-5	2000	140	ND	3,6	49,8	31,6	3,2	70	130	70		
SUAP-6	2400	180	ND	11,3	42,0	21,0	9,1	110	460	130		
SUAP-7	1500	120	ND	8,2	47,0	25,7	7,7	180	460	270	100	
SUAP-8	4000	310	ND	11,8	47,0	27,3	4,8	100	230	160	520	
SUAP-9	2500	160	ND	10,5	41,6	24,4	4,4	130	210	200	360	
SUAP-10	2900	180	ND	5,3	51,7	30,1	5,2	90	260	140	610	
SUAP-11	1300	100	ND	6,0	47,7	25,8	8,4	110	320	140	100	
SUAP-12	1700	150	ND	6,6	44,3	24,8	11,1	760	760	280	100	
SUAP-13	2900	180	ND	5,3	51,7	30,1	5,2	90	260	135	610	
SUAP-14	2500	180	ND	3,0	48,5	35,1	5,1	70	220	120	580	
SUAP-15	1100	120	ND	8,9	45,5	25,0	8,0	100	330	130	140	
SUAP-16	16000	120	ND	9,3	40,7	25,8	8,9	130	330	170	290	
SUAP-17	11000	110	ND	11,7	45,7	25,8	8,3	120	360	160	160	
SUAP-18	3000	210	100	6,9	50,6	28,9	5,1	110	190	155	220	
SUAP-19	2000	140	ND	5,0	46,4	28,8	3,6	80	110	120	ND	

 Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos.

 Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Tabla 2.1. Continuación. Variables eliminadas para la **cuenca alta, media y baja** del Río Suapure.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS											
	Nb (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Zro2 (%)	TiO2 (%)	Fe (%)	MnO2 (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)	La (ppm)
SUAP-20	2900	165	100	8,6	45,1	26,1	4,6	100	220	170	225	
SUAP-21	2300	120	100	5,3	50,9	30,9	3,7	80	160	115	ND	
SUAP-22	3000	240	100	12,3	44,1	25,6	4,6	155	300	220	530	
SUAP-23	3000	240	100	13,7	43,6	25,2	4,6	140	270	230	430	
SUAP-24	3100	170	100	6,5	47,1	27,4	4,4	65	175	140	425	
SUAP-25	3000	210	100	6,2	45,6	26,4	5,1	130	240	190	100	
SUAP-26	3500	300	850	4,1	52,7	30,3	5,7	80	310	140	1.100	
SUAP-27	3600	240	100	11,1	40,0	26,4	6,4	150	290	210	510	
SUAP-28	4300	200	100	11,9	45,0	24,6	6,1	150	320	210	490	
SUAP-29	3600	260	100	7,6	42,6	23,4	5,8	180	320	190	420	
SUAP-30	3900	250	100	6,5	49,6	27,6	6,4	120	280	170	765	
SUAP-31	2900	215	100	6,0	49,8	29,1	4,6	90	160	150	180	
SUAP-32	2200	190	100	3,5	49,5	25,5	10,4	90	270	240	380	
SUAP-33	1500	100	100	4,1	18,8	9,8	2,5	140	310	260	100	
SUAP-34	3100	250	100	10,4	45,6	26,2	4,6	120	240	190	440	
SUAP-35	2200	130	ND	5,0	52,6	32,2	2,8	75	70	100	ND	
SUAP-36	2200	130	100	5,3	51,3	31,6	2,8	90	80	120	ND	

 Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos.

 Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Tabla 2.1. Continuación. Variables eliminadas para la **cuenca alta, media y baja** del Río Suapure.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS											
	Nb (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Zro2 (%)	TiO2 (%)	Fe (%)	MnO2 (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)	La (ppm)
SUAP-37	2100	160	100	6,2	51,6	31,8	2,8	70	70	120	ND	
SUAP-38	2200	170	100	3,1	55,7	34,1	2,8	70	55	90	ND	
SUAP-39	2100	170	100	7,0	50,3	30,9	2,7	90	100	130	ND	
SUAP-40	3600	260	100	11,0	47,7	26,3	6,4	130	290	215	500	
SUAP-41	3900	250	100	7,9	50,0	27,7	6,6	120	280	180	650	

 Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos.

 Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Tabla 2.2. Variables eliminadas para la cuenca **baja, media y alta** del Río Cuchivero.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)	Nb (ppm)
P10	19,7	15,2	8,5	155	370	135	ND	260	525	
P11	29,3	23,9	2,9	<100	200	ND	<100	130	<200	
P13	12,9	9,2	5	120	290	<100	ND	200	236	
P12	29,9	24,8	2,4	<100	<100	<100	ND	114	ND	
P14	26,2	19,6	2,7	<100	210	<100	ND	120	<200	
P15	14,4	11	5,7	100	230	<100	<100	184	<200	
P16	25,1	19,6	1,4	<100	120	<100	ND	100	ND	
P17	16,4	11,6	6,5	135	330	<100	<100	243	470	
P18	27,7	20,1	6,2	140	360	<100	<100	200	530	
P34	23,5	17,5	1,4	<100	180	<100	ND	110	<200	
P35	28,2	21,6	6,8	120	330	<100	<100	190	280	
P36	18,8	14	3,6	170	290	<100	ND	335	<200	
P37	25,7	20	5	115	370	<100	220	530		
P38	31,3	17,2	2,2	<100	295	<100	<100	180	285	
P39	19,2	10,1	1,1	<100	250	<100	ND	145	<200	
P40	40,3	29,6	1,3	<100	100	ND	ND	<100	ND	

 Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos: Sn, y más del 50 % de valores repetidos: U y Ta.

 Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Tabla 2.2.Continuación. Variables eliminadas para la cuenca **baja, media y alta** del Río Cuchivero.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)	Nb (ppm)
P41	30,4	26,5	3,4	<100	250	<100	<100	120	<200	
P42	29,2	25,4	3,7	<100	200	<100	<100	130	<200	
P43	25,3	29,9	5,6	100	230	100	<100	125	ND	
P44	24,6	20,7	3,6	<100	220	<100	ND	125	<200	
P45	17,9	16,4	2,2	140	300	110	<100	163	ND	
P46	23,9	19,3	2,2	140	325	170	<100	135	ND	
P47	30,9	29,3	2,7	<100	<100	ND	<100	<100	ND	
P48	25	23,2	5,6	160	760	<100	<100	150	ND	
P49	33,6	32,3	0,8	<100	<100	ND	<100	<100	<100	
P50	29,4	29,7	3,4	<100	230	<100	<100	<100	ND	
P51	32,7	27,3	3,3	<100	220	<100	<100	110	<200	
P52	30	8	1,1	<100	240	250	<100	<100	<200	
P53	29,7	20	1,6	<100	150	<100	<100	<100	ND	
P54	29,9	23,8	2,7	<100	270	ND	ND	100	ND	
P33	17,2	13,8	5,6	106	230	<100	ND	190	<200	

 Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos: Sn, y más del 50 % de valores repetidos: U y Ta.

 Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Tabla 2.2. Continuación. Variables eliminadas para la cuenca **baja, media y alta** del Río Cuchivero.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)	Nb (ppm)
P32	10,1	6,6	2,4	<100	115	100	ND	130	<200	
P31	24,2	20,9	8,7	150	265	<100	ND	220	360	36
P30	11,3	13,3	3,0	200	500	200	<100	190	<200	
P28	27,0	22,9	2,8	<100	170	<100	<100	105	ND	
P27	17,5	14	6,8	155	250	<100	ND	210	215	
P26	9,0	6,1	2,1	100	160	<100	ND	165	<200	
P25	12,3	9,4	2,7	114	150	<100	ND	163	ND	
P24	23,5	20,6	1,3	<100	100	<100	ND	<100	ND	
P23	24,8	21,9	7	120	250	<100	<100	173	<200	
P22	29,7	27,3	1,1	<100	115	<100	<100	<100	ND	
P21	30,9	28,1	1,3	<100	105	<100	<100	<100	ND	
P20	21,3	17,3	1,7	100	155	<100	ND	100	ND	
P19	27,0	22,3	1,6	<100	120	<100	<100	100	ND	
P9	20,2	14,7	7,7	125	300	<100	<100	235	270	
P1	30,6	30,3	1,9	<100	150	100	<100	<100	ND	

 Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos: Sn, y más del 50 % de valores repetidos: U y Ta.

 Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Tabla 2.3. Variables eliminadas para la cuenca del Río Guaniamo.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)	Nb (ppm)
P2	30,9	30,2	1,4	<100	<100	<100	<100	<100	ND	
P3	26,1	25	1,6	<100	110	<100	<100	<100	ND	
P4	30,5	30,6	2,2	<100	120	<100	<100	<100	ND	
P5	30,6	30,2	2,2	<100	120	<100	<100	<100	ND	
P6	23,2	21,9	1,9	<100	<100	<100	<100	<100	ND	
P7	30,5	30,8	3,5	<100	<100	ND	ND	<100	ND	
P8	26,7	25,2	6,3	120	145	<100	<100	135	ND	
PG-1	27,5	28,6	5,2	<200	200	<200	ND	200	1100	410
PG-2	14,8	14,6	14,5	240	1500	<200	ND	280	ND	430
PG-3	17,2	16,4	3,7	<200	200	<200	ND	200	ND	270
PG-4	13,3	11	2,2	<200	<200		ND	<200	ND	260
PG-5	22,5	22,2	7,4	<200	<200	<200	ND	210	ND	540
PG-6	23,9	24,1	5,2	<200	<200	<200	ND	<200	400	1600
PG-7	21,9	21,7	5,2	<200	<200	<200	ND	200	400	510
PG-8	17,7	18,3	3	<200	<200	<200	ND	<200	ND	1100
PG-9	27,5	28	4,4	<200	<200	<200	ND	<200	900	300

■ Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos: Sn, y más del 50 % de valores repetidos: U, Th, Ta e Y.

■ Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Tabla 2.3. Continuación. Variables eliminadas para la cuenca del Río Guaniamo.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)	Nb (ppm)
PG-10	18,7	17,4	4,4	<200	<200	<200	ND	200	ND	260
PG-11	20,7	19,2	6,7	210	220	<200	ND	270	ND	<200
PG-12	13,7	11,9	2,2	<200	<200	<220	ND	<200	ND	250
PG-13	29,1	30,2	3	<200	<200	<200	ND	<200	1200	310
PG-14	29,7	23,8	0,74	<200	<200	<200	ND	<200	<400	200
PG-15	24,8	25,3	6,7	<200	230	<200	ND	220	800	380
PG-16	28,3	26,9	0,7	>200	<200	<200	ND	<200	600	240
PG-17	10,4	9,3	0,7	<200	<2200	<200	ND	<200	ND	300
PG-18	30,1	27,8	1,5	<200	200	<200	ND	<200	1600	410
PG-19	28,8	29	2,2	<200	<200	<200	ND	<200	100	340
PG-20	31,8	30,5	0,7	<200	<200	<200	ND	<200	1200	220
PG-21	31,4	32,7	1,5	<200	<200	<200	ND	<200	1900	460
PG-22	30,2	28	0,7	<200	<200	<200	ND	<200	1100	280
PG-23	30,9	27,3	0,7	<200	<200	<200	ND	<200	700	270
PG-24	29,3	25,6	0,7	<200	<200	<200	ND	<200	700	260
PG-25	33,8	33	0,7	<200	<200	<200	ND	<200	1500	290

 Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos: Sn, y más del 50 % de valores repetidos: U, Th, Ta e Y.

 Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Tabla 2.3. Continuación. Variables eliminadas para la cuenca del Río Guaniamo.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Ta (ppm)	Sn (ppm)	Y (ppm)	Ce (ppm)	Nb (ppm)
PG-26	28,7	25,8	0,7	<200	<200	<200	ND	<200	900	270
PG-27	30,4	27,4	0,7	<200	<200	<200	ND	<200	1200	<100
PG-28	28,3	27	3,7	<200	<200	<200	ND	<200	900	280
PG-29	32,3	11,3	6,7	340	370	<200	900	360	ND	1000
PG-30	30,7	31,1	3,7	<100	<100	<200	ND	<200	1600	340
PG-31	25,1	26,7	1,5	<200	<200	<200	ND	<200	450	380
PG-32	33,5	35,3	1,5	<200	210	<200	ND	210	2000	380
PG-33	27,7	28,1	3	<200	<200	<200	ND	<200	700	290
PG-34	32,6	33,4	1,5	<200	<200	<200	ND	<200	1800	390
PG-35	40	12,9	5,9	330	290	<200	ND	300	ND	1000
PG-36	20,2	19,4	0,7	<200	<200	<200	ND	<200	ND	360

 Variables eliminadas bajo el criterio: más del 25 % de valores no detectados o espacios vacíos: Sn, y más del 50 % de valores repetidos: U, Th, Ta e Y.

 Variables salvadas por interpretación geoquímica.

Apéndice 3. Límite de detección de los elementos químicos analizados.

Tabla 3.1. Límite de detección.

Elemento	U	Y	Th	Ce	Ta	Nb
LD (ppm)	50	50	55	100	100	100

Apéndice 4. Análisis químicos de las muestras de concentrados de minerales pesados recolectados en la cuenca del **Río Suapure**.

Tabla 4.1. Elementos químicos analizados en la cuenca del Río Suapure.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe %	Ti %	Zr %	Mn %	Y ppm	Th ppm	U ppm	Ta ppm	Ce ppm	Nb ppm
SUAP-1	32,0	31,6	2,4	2,0	60	130	60	220	100	2200
SUAP-2	28,7	30,1	5,0	3,4	150	230	100	200	100	2800
SUAP-3	32,8	31,8	2,7	2,1	60	160	60	150	100	2000
SUAP-4	33,4	32,1	1,4	2,1	50	120	50	150	100	2100
SUAP-5	31,6	29,8	2,7	2,0	70	130	70	140	100	2000
SUAP-6	21,0	25,2	8,4	5,8	130	460	110	180	100	2400

a baja y media

Tabla 4.1.Continuación. Elementos químicos analizados en la cuenca del Río Suapure.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe %	Ti %	Zr %	Mn %	Y ppm	Th ppm	U ppm	Ta ppm	Ce ppm	Nb ppm
SUAP-7	25,7	28,2	6,1	4,9	270	460	180	120	100	1500
SUAP-8	27,3	28,2	8,7	3,0	160	230	100	310	520	4000
SUAP-9	24,4	24,9	7,8	2,8	200	210	130	160	360	2500
SUAP-10	30,1	31,0	3,9	3,3	140	260	90	180	610	2900
SUAP-11	25,8	28,6	4,4	5,3	140	320	110	100	100	1300
SUAP-12	24,8	26,6	4,9	7,0	280	760	760	150	100	1700
SUAP-13	30,1	31,0	3,9	3,3	135	260	90	180	610	2900
SUAP-14	35,1	29,1	2,2	3,2	120	220	70	180	580	2500
SUAP-15	25,0	27,3	6,6	5,1	130	330	100	120	140	1100
SUAP-16	25,8	24,4	6,9	5,6	170	330	130	120	290	16000
SUAP-17	25,8	27,4	8,7	5,2	160	360	120	110	160	11000
SUAP-18	28,9	30,3	5,1	3,2	155	190	110	210	220	3000
SUAP-19	28,8	27,8	3,7	2,3	120	110	80	140	100	2000
SUAP-20	26,1	27,0	6,4	2,9	170	220	100	165	225	2900
SUAP-21	30,9	30,5	3,9	2,3	115	160	80	120	100	2300
SUAP-22	25,6	26,4	9,1	2,9	220	300	155	240	530	3000
SUAP-23	25,2	26,1	10,1	2,9	230	270	140	240	430	3000
SUAP-24	27,4	28,2	4,8	2,8	140	175	65	170	425	3100

a baja y media

Tabla 4.1 Continuación. Elementos químicos analizados en la cuenca del Río Suapure.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe %	Ti %	Zr %	Mn %	Y ppm	Th ppm	U ppm	Ta ppm	Ce ppm	Nb ppm
SUAP-25	26,4	27,3	4,6	3,2	190	240	130	210	100	3000
SUAP-26	30,3	31,6	3,0	3,6	140	310	80	300	1100	3500
SUAP-27	26,4	24,0	8,2	4,0	210	290	150	240	510	3600
SUAP-28	24,6	27,0	8,8	3,9	210	320	150	200	490	4300
SUAP-29	23,4	25,5	5,6	3,7	190	320	180	260	420	3600
SUAP-30	27,6	29,7	4,8	4,0	170	280	120	250	765	3900
SUAP-31	29,1	29,8	4,4	2,9	150	160	90	215	180	2900
SUAP-32	25,5	29,7	2,6	6,6	240	270	90	190	380	2200
SUAP-33	9,8	11,3	3,0	1,6	260	310	140	100	100	1500
SUAP-34	26,2	27,3	7,7	2,9	190	240	120	250	440	3100
SUAP-35	32,2	31,5	3,7	1,8	100	70	75	130	100	2200
SUAP-36	31,6	30,7	3,9	1,8	120	80	90	130	100	2200
SUAP-37	31,8	30,9	4,6	1,8	120	70	70	160	100	2100
SUAP-38	34,1	33,4	2,3	1,8	90	55	70	170	100	2200
SUAP-39	30,9	30,1	5,2	1,7	130	100	90	170	100	2100
SUAP-40	26,3	28,6	8,1	4,0	215	290	130	260	500	3600

Cuenta baja  a

Tabla 4.1 Continuación. Elementos químicos analizados en la cuenca del Río Suapure.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS									
	Fe %	Ti %	Zr %	Mn %	Y ppm	Th ppm	U ppm	Ta ppm	Ce ppm	Nb ppm
SUAP-41	27,7	30,0	5,8	4,2	180	280	120	250	650	3900
SUAP-42	28,8	28,4	7,8	2,5	140	210	115	300	100	
SUAP-43	25,7	25,2	12,1	2,2	190	250	150	310	100	
SUAP-44	19,0	28,2	5,3	10,4	290	1300	110	280	5.300	
SUAP-45	20,9	30,3	2,7	11,4	220	1100	60	320	4.300	
SUAP-46	16,1	25,4	6,7	9,0	250	640	120	270	1.800	
SUAP-47	21,8	20,7	5,3	8,6	170	975	130	185	100	
SUAP-48	16,9	26,7	6,1	9,8	240	840	110	270	2.000	
SUAP-49	13,0	20,5	5,2	7,6	210	580	80	240	1.500	
SUAP-50	56,2	5,8	1,6	1,2	50	225	50	100	100	
SUAP-51	39,9	11,4	3,1	2,7	110	465	90	100	120	
SUAP-52	18,4	9,9	17,7	2,8	310	740	230	170	390	

Cuenca alta



Cuenta baja



ia

Apéndice 5. Parámetros estadísticos de los elementos químicos analizados en las muestras de concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Supure.

Tabla 5.1. Parámetros estadísticos de la cuenca del Río Supure.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA										
Variable	Media	Mediana	Moda	V. Mín.	V. Máx.	R. Inter.	DS	Coef. Var (%)	Coef. A.	Curtosis
Fe (%)	27,2	26,4	25,8	9,8	56,2	5,7	6,9	25,3	1,0	5,9
Ti (%)	26,8	28,2	28,2	5,8	33,4	4,4	5,7	21,3	-2,2	5,1
Zr (%)	5,6	5,1	3,9	1,4	17,7	3,6	2,9	52,4	1,6	4,6
Mn (%)	4,0	3,2	2,9	1,2	11,4	2,7	2,4	60,2	0,7	3,9
Y (ppm)	167	160	140	50	310	85	63	38	0,2	-0,4
Th (ppm)	335	265	160	55	1300	148	263	79	2,0	3,9
U (ppm)	119	105	90	50	760	50	97	82	5,8	38,1
Ta (ppm)	194	180	100	100	320	100	63	33	0,3	-0,9
Ce (ppm)	541	200	100	100	5300	415	961	178	3,8	15,5
Nb (ppm)*	3080	2500	2200	100	16000	1000	2592	84	3,9	17,3

* Solo aplica para la cuenca baja y media del Río Suapure.

V.: Valor; **Mín:** Mínimo; **Máx.:** Máximo; **R. Inter.:** Rango Intercuartílico; **D S.:** Desviación Estándar; **Coef. Var:** Coeficiente de Variación; **Coef. A.:** Coeficiente de asimetría.

Apéndice 6. Valores de fondo regional y local para los elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.

Tabla 6.1. Valores de fondo regional y local para la cuenca del Río Suapure..

Variable	FONDO REGIONAL						FONDO LOCAL		
	INGEOMIN (2003)			GAMERO Y REVETI (2011)			GONZALEZ (2018)		
	Umb. Inf. M - 2DS	Fondo M + DS	Umb. Sup. M + 2DS	Umb. Inf. M - 2DS	Fondo M + DS	Umb. Sup. M + 2DS	Umb. Inf. M - 2DS	Fondo M + DS	Umb. Sup. M + 2DS
Fe (%)	-2,2	23,3	31,8	8,8	31,2	38,7	13,4	34,0	40,9
Ti (%)	-2,8	21,5	29,6	6,6	32,2	41,3	15,4	32,5	38,3
Mn (%)	-0,1	1,7	2,3	-2,8	4,6	7,8	-0,8	6,4	8,8
Zr (%)	-0,2	3,4	4,6	-2,5	4,5	6,8	-0,3	8,5	11,4
U (ppm)	-35,4	222	307,8	-35	111	159	-76	217	314
Th (ppm)	-611,7	709	1149,1	-2121	2035	3420	-192	598	861
Ta (ppm)	-63,5	381	529,3	-	-	-	68	257	320
Y (ppm)	-18,2	191	260,6	38	372	539	41	229	292
Ce (ppm)	58	256	322	-6521	5772	9870	-1381	1502	2463
Nb (ppm)*	-308	4199	5701	-1202	2375	3567	-2104	5673	8265

* Aplica solo para la cuenca baja y media del Río Suapure.

Umb. Inf.: umbral inferior; **Umb. Sup.:** umbral superior; **M:** media; **DS:** desviación estándar.

Valores por encima de ambos fondos regionales.

Apéndice 7. Concentración de Lantano (La) en algunas muestras recolectadas en la cuenca alta del Río Suapure.

Tabla 7.1. Concentración de La en algunas muestras de concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Suapure.

MUESTRAS	La (ppm)
SUAP-44	3.600
SUAP-45	3.200
SUAP-46	1.300
SUAP-48	1.400
SUAP-49	1.000

Apéndice 8. Análisis químicos de las muestras de concentrados de minerales pesados recolectados en la cuenca del Río Cuchivero.

Tabla 8.1. Elementos químicos analizados en la cuenca del Río Cuchivero.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS				
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	Y (ppm)	Th (ppm)
P10	19,7	15,2	8,5	260	370
P11	29,3	23,9	2,9	130	200
P13	12,9	9,2	5	200	290
P12	29,9	24,8	2,4	114	55
P14	26,2	19,6	2,7	120	210
P15	14,4	11	5,7	184	230
P16	25,1	19,6	1,4	100	120
P17	16,4	11,6	6,5	243	330
P18	27,7	20,1	6,2	200	360
P34	23,5	17,5	1,4	110	180

Cuenca alta y media

Tabla 8.1. Continuación. Elementos químicos analizados en la cuenca del Río Cuchivero.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS				
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	Y (ppm)	Th (ppm)
P35	28,2	21,6	6,8	190	330
P36	18,8	14	3,6	335	290
P37	25,7	20	5	530	370
P38	31,3	17,2	2,2	180	295
P39	19,2	10,1	1,1	145	250
P40	40,3	29,6	1,3	50	100
P41	30,4	26,5	3,4	120	250
P42	29,2	25,4	3,7	130	200
P43	25,3	29,9	5,6	125	230
P44	24,6	20,7	3,6	125	220
P45	17,9	16,4	2,2	163	300
P46	23,9	19,3	2,2	135	325
P47	30,9	29,3	2,7	50	55
P48	25	23,2	5,6	150	760
P49	33,6	32,3	0,8	50	55
P50	29,4	29,7	3,4	50	230
P51	32,7	27,3	3,3	110	220
P52	30	8	1,1	50	240
P53	29,7	20	1,6	50	150
P54	29,9	23,8	2,7	100	270
P33	17,2	13,8	5,6	190	230
P32	10,1	6,6	2,4	130	115
P31	24,2	20,9	8,7	220	265
P30	11,3	13,3	3,0	190	500
P28	27,0	22,9	2,8	105	170
P27	17,5	14	6,8	210	250
P26	9,0	6,1	2,1	165	160
P25	12,3	9,4	2,7	163	150
P24	23,5	20,6	1,3	50	100
P23	24,8	21,9	7	173	250

Cuenca alta y media

Cuenca baja

Tabla 8.1. Continuación. Elementos químicos analizados en la cuenca del Río Cuchivero.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS				
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	Y (ppm)	Th (ppm)
P22	29,7	27,3	1,1	50	115
P21	30,9	28,1	1,3	50	105
P20	21,3	17,3	1,7	100	155
P19	27,0	22,3	1,6	100	120
P9	20,2	14,7	7,7	235	300
P1	30,6	30,3	1,9	50	150

Cueca alta y media Cueca baja

Apéndice 9. Parámetros estadísticos de los elementos químicos analizados en las muestras de concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.

Tabla 9.1. Parámetros estadísticos de la cuenca del Río Cuchivero.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA										
Variable	Media	Mediana	Moda	V. Mín	V. Máx	R. Inter.	DS	Coef. Var (%)	Coef. A	Curtosis
Fe (%)	24,3	25,2	29,8	9,0	40,3	10,5	7,0	28,7	-0,4	-0,2
Ti (%)	19,7	20,1	27,3	6,1	32,3	10,8	7,0	35,4	-0,2	-0,8
Zr (%)	3,5	2,8	2,7	0,8	8,7	3,9	2,2	62,2	0,8	-0,4
Y (ppm)	145	130	50	50	530	90	88	61	2,0	7,2
Th (ppm)	231	230	250	55	760	140	124	54	1,8	6,3

V.: Valor; **Mín:** Mínimo; **Máx.:** Máximo; **R. Inter.:** Rango Intercuartílico; **D S.:** Desviación Estándar; **Coef. Var:** Coeficiente de Variación; **Coef. A.:** Coeficiente de asimetría.

Apéndice 10. Valores de fondo regional y local para los elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Cuchivero.

Tabla 10.1. Valores de fondo regional y local para la cuenca del Río Cuchivero.

Variable	FONDO REGIONAL						FONDO LOCAL		
	INGEOMIN (2003)			GAMERO Y REVETI (2011)			GONZALEZ (2018)		
	Umb. Inf. M - 2DS	Fondo M + DS	Umb. Sup. M + 2DS	Umb. Inf. M - 2DS	Fondo M + DS	Umb. Sup. M + 2DS	Umb. Inf. M - 2DS	Fondo M + DS	Umb. Sup. M + 2DS
Fe (%)	-2,2	23,3	31,8	8,8	31,2	38,7	10,4	31,3	38,2
Ti (%)	-2,8	21,5	29,6	6,6	32,2	41,3	5,8	26,7	33,7
Zr (%)	-0,2	3,4	4,6	-2,5	4,5	6,8	-0,9	5,7	7,9
Th (ppm)	-611,7	709	1149,1	-2121	2035	3420	-18	355	479
Y (ppm)	-18,2	191	260,6	38	372	539	-31	233	321

Umb. Inf.: umbral inferior; **Umb. Sup.:** umbral superior; **DS:** desviación estándar **M:** media.

 Variables por encima de ambos fondos regionales.

Apéndice 11. Análisis químicos de las muestras de concentrados de minerales pesados recolectados en la cuenca del Río Guaniamo.

Tabla 11.1. Elementos químicos analizados en la cuenca del Río Guaniamo.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS				
	Fe %	Ti %	Zr %	Ce ppm	Nb ppm
P2	30,9	30,2	1,4	100	100
P3	26,1	25	1,6	100	100
P4	30,5	30,6	2,2	100	100
P5	30,6	30,2	2,2	100	100
P6	23,2	21,9	1,9	100	100
P7	30,5	30,8	3,5	100	100
P8	26,7	25,2	6,3	100	100
PG-1	27,5	28,6	5,2	1100	410
PG-2	14,8	14,6	14,5	100	430
PG-3	17,2	16,4	3,7	100	270
PG-4	13,3	11	2,2	100	260
PG-5	22,5	22,2	7,4	100	540
PG-6	23,9	24,1	5,2	400	1600
PG-7	21,9	21,7	5,2	400	510
PG-8	17,7	18,3	3	100	1100
PG-9	27,5	28	4,4	900	300
PG-10	18,7	17,4	4,4	100	260
PG-11	20,7	19,2	6,7	100	100
PG-12	13,7	11,9	2,2	100	250
PG-13	29,1	30,2	3	1200	310
PG-14	29,7	23,8	0,74	100	200
PG-15	24,8	25,3	6,7	800	380
PG-16	28,3	26,9	0,7	600	240
PG-17	10,4	9,3	0,7	100	300
PG-18	30,1	27,8	1,5	1600	410
PG-19	28,8	29	2,2	100	340
PG-20	31,8	30,5	0,7	1200	220
PG-21	31,4	32,7	1,5	1900	460

Tabla 11.1. Continuación. Elementos químicos analizados en la cuenca del Río Guaniamo.

MUESTRA	ELEMENTOS Y ÓXIDOS				
	Fe (%)	Ti (%)	Zr (%)	Ce (ppm)	Nb (ppm)
PG-22	30,2	28	0,7	1100	280
PG-23	30,9	27,3	0,7	700	270
PG-24	29,3	25,6	0,7	700	260
PG-25	33,8	33	0,7	1500	290
PG-26	28,7	25,8	0,7	900	270
PG-27	30,4	27,4	0,7	1200	100
PG-28	28,3	27	3,7	900	280
PG-29	32,3	11,3	6,7	100	1000
PG-30	30,7	31,1	3,7	1600	340
PG-31	25,1	26,7	1,5	450	380
PG-32	33,5	35,3	1,5	2000	380
PG-33	27,7	28,1	3	700	290
PG-34	32,6	33,4	1,5	1800	390
PG-35	40	12,9	5,9	100	1000
PG-36	20,2	19,4	0,7	100	360

Apéndice 12. Parámetros estadísticos de los elementos químicos analizados en las muestras de concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo.

Tabla 12.1. Parámetros estadísticos de la cuenca del Río Guaniamo.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA										
Variables	Media	Mediana	Moda	V.Mín	V. Máx	R. Inter	DS	Coef.Var	Coef. A	Curtosis
Fe(%)	26,4	28,3	30,9	10,4	40,0	8,1	6,3	24,0	-0,8	0,3
Ti(%)	24,5	26,7	30,2	9,3	35,3	10,8	6,8	27,6	-0,8	-0,3
Zr(%)	3,1	2,2	0,7	0,7	14,5	3,7	2,7	87,6	2,0	6,0
Ce(ppm)	599	400	100	100	2000	1000	601	100	0,9	-0,4
Nb(ppm)	360	290	100	100	1600	170	299	83	2,5	7,3

V.: Valor; **Mín:** Mínimo; **Máx.:** Máximo; **R. Inter.:** Rango Intercuartílico; **D S.:** Desviación Estándar; **Coef. Var:** Coeficiente de Variación; **Coef. A.:** Coeficiente de asimetría.

Apéndice 13. Valores de fondo regional y local para los elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de la cuenca del Río Guaniamo.

Tabla 13.1. Valores de fondo regional y local para la cuenca del Río Guaniamo.

Variable	FONDO REGIONAL						FONDO LOCAL		
	INGEOMIN (2003)			GAMERO Y REVETI (2011)			GONZALEZ (2018)		
	Umb. Inf. M - 2DS	Fondo M + DS	Umb. Sup. M + 2DS	Umb. Inf. M - 2DS	Fondo M + DS	Umb. Sup. M + 2DS	Umb. Inf. M - 2DS	Fondo M + DS	Umb. Sup. M + 2DS
Fe (%)	-2,2	23,3	31,8	8,8	31,2	38,7	13,7	32,8	39,1
Ti (%)	-2,8	21,5	29,6	6,6	32,2	41,3	11,0	31,3	38,1
Zr (%)	-0,2	3,4	4,6	-2,5	4,5	6,8	-2,3	5,8	8,5
Nb (ppm)	-308	4199	5701	-1202	2375	3567	-238	659	958
Ce (ppm)	58	256	322	-6521	5772	9870	-603	1200	1801

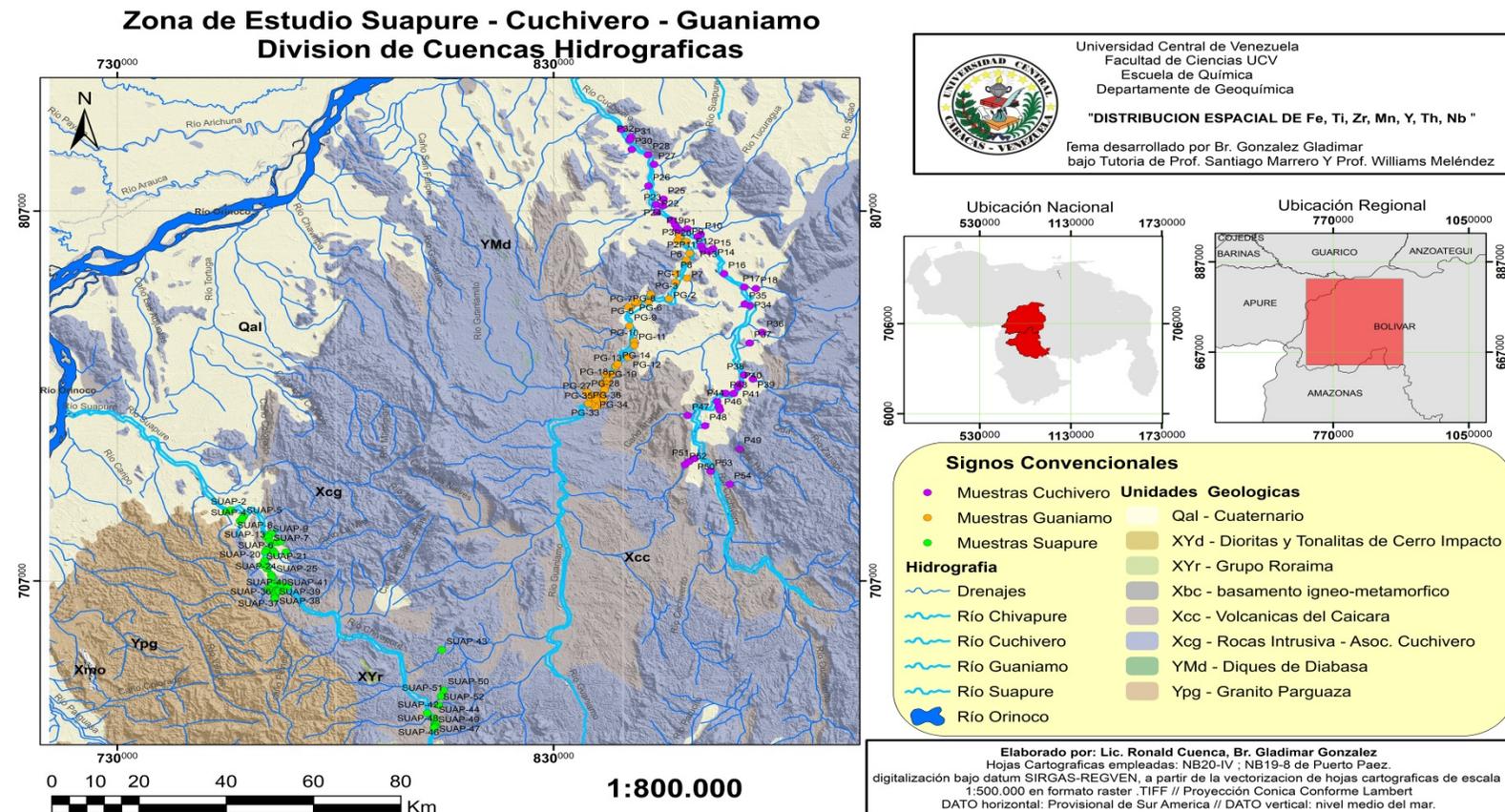
Coef.: Coeficiente; **Inter.:** Intercuartílico; **Umb. Inf.:** umbral inferior; **Umb. Sup.:** umbral superior;

DS: desviación estándar; **M:** media.

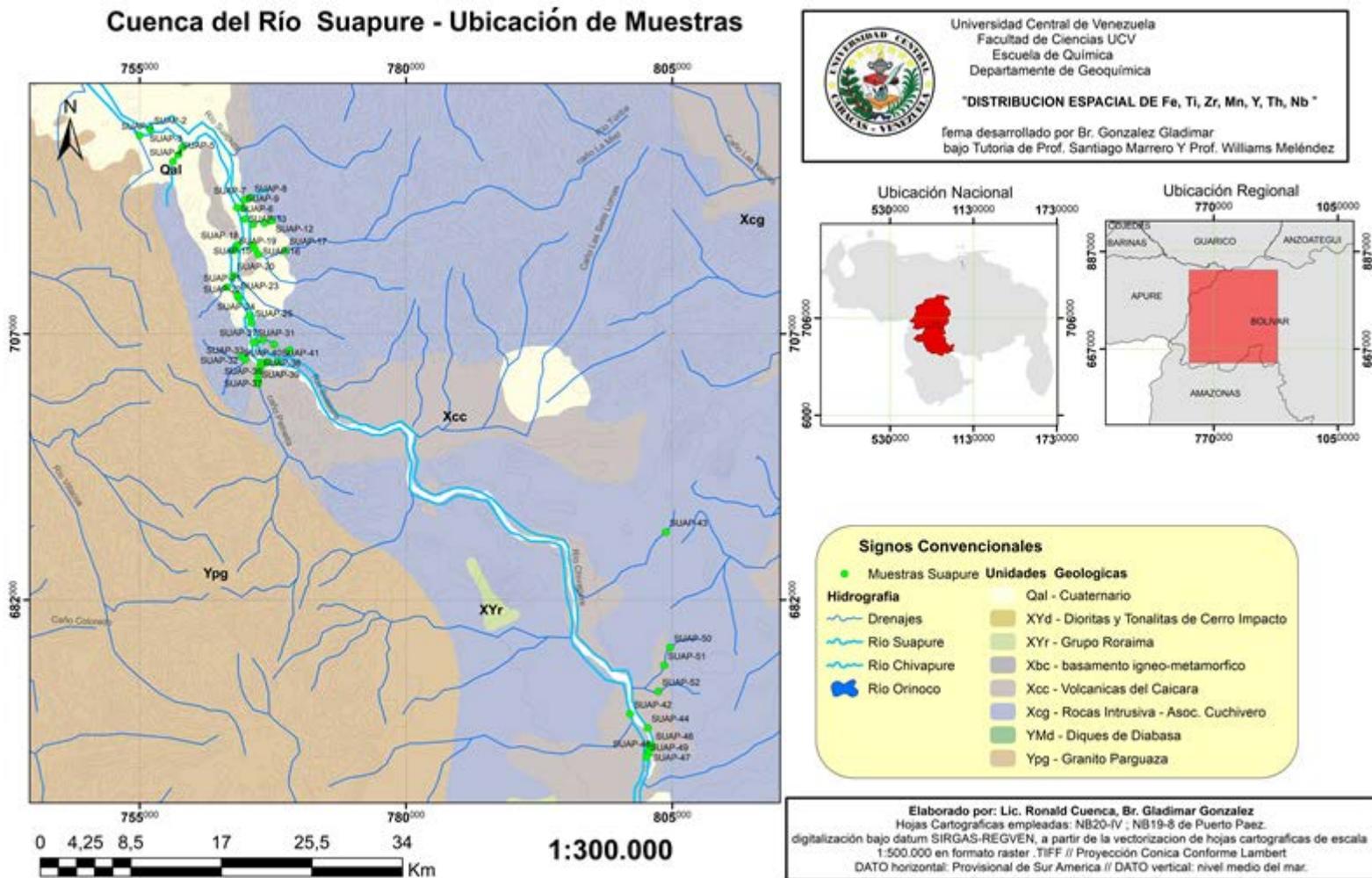
 Variables por encima de ambos fondos regionales.

Apéndice 14. Distribución espacial de los elementos químicos analizados en los concentrados de minerales pesados de las cuencas de los Ríos Suapure, Cuchivero y Guaniamo.

Mapa 14.1. Ubicación de los puntos de muestreo en las cuencas de los Ríos Suapure, Cuchivero y Guaniamo.

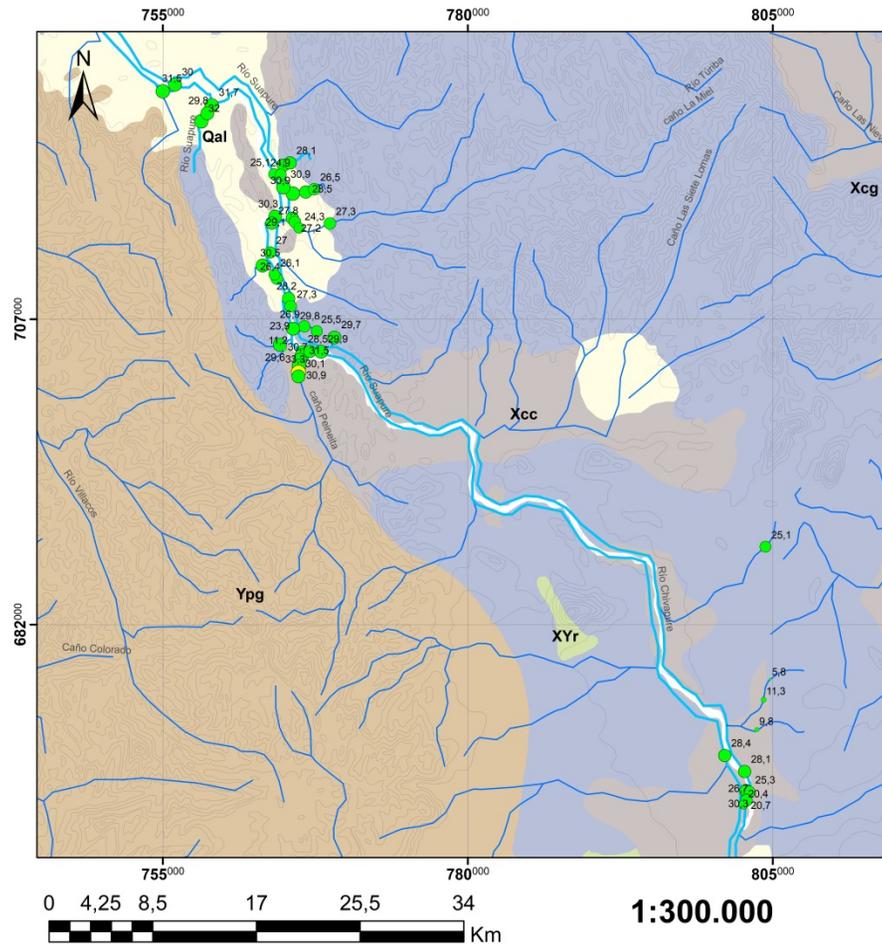


Mapa 14. 2. Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Suapure.

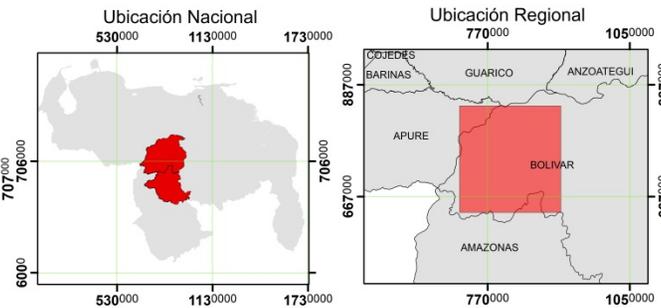


Mapa 14.2.1. Distribución espacial de la concentración de Ti en la Cuenca del Río Suapure.

Cuenca del Río Suapure Concentración de Ti (%)




 Universidad Central de Venezuela
 Facultad de Ciencias UCV
 Escuela de Química
 Departamento de Geoquímica
"DISTRIBUCION ESPACIAL DE Fe, Ti, Zr, Mn, Y, Th, Nb "
 Tema desarrollado por Br. Gonzalez Gladimar
 bajo Tutoría de Prof. Santiago Marrero Y Prof. Williams Meléndez

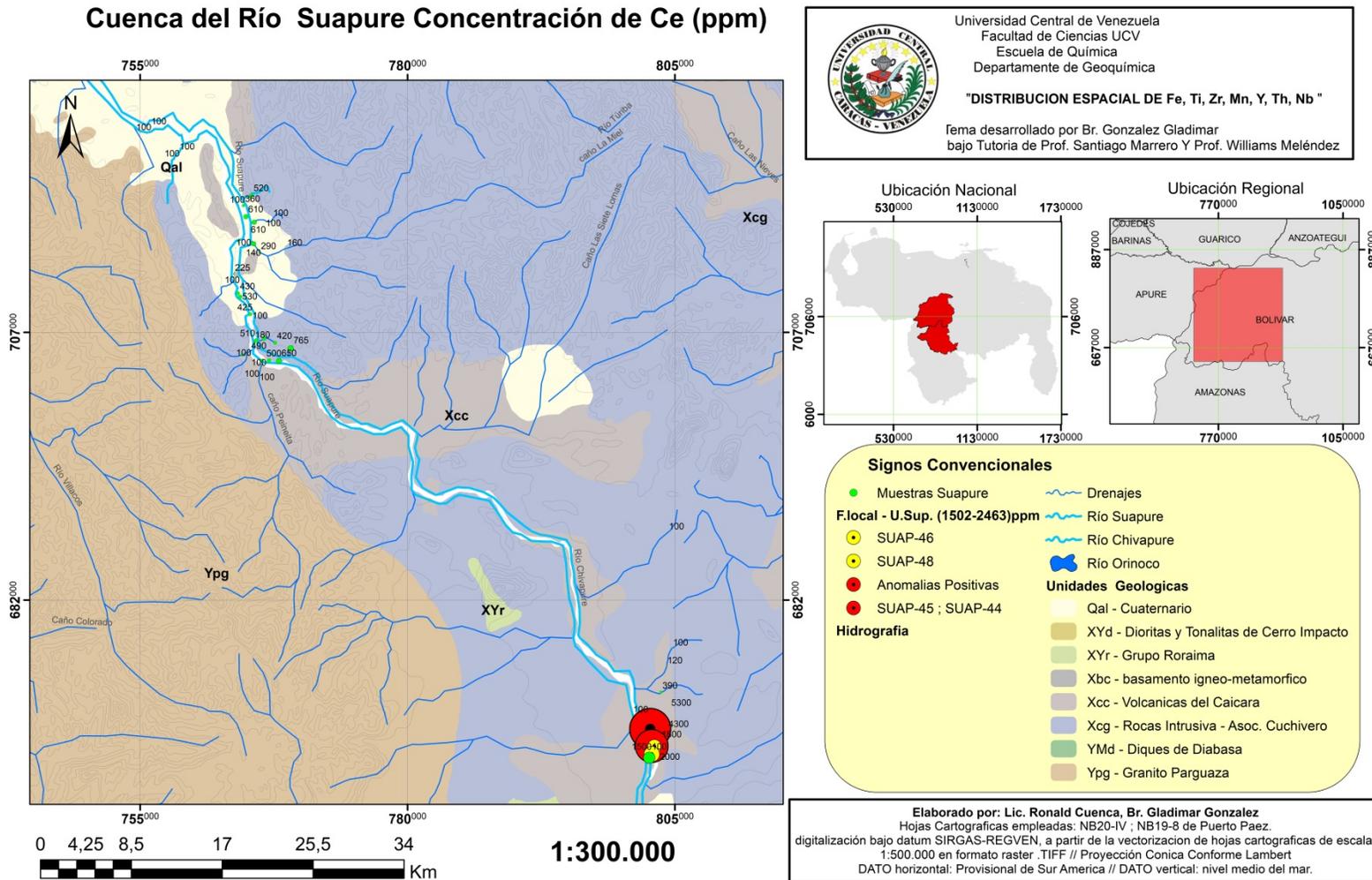


Signos Convencionales

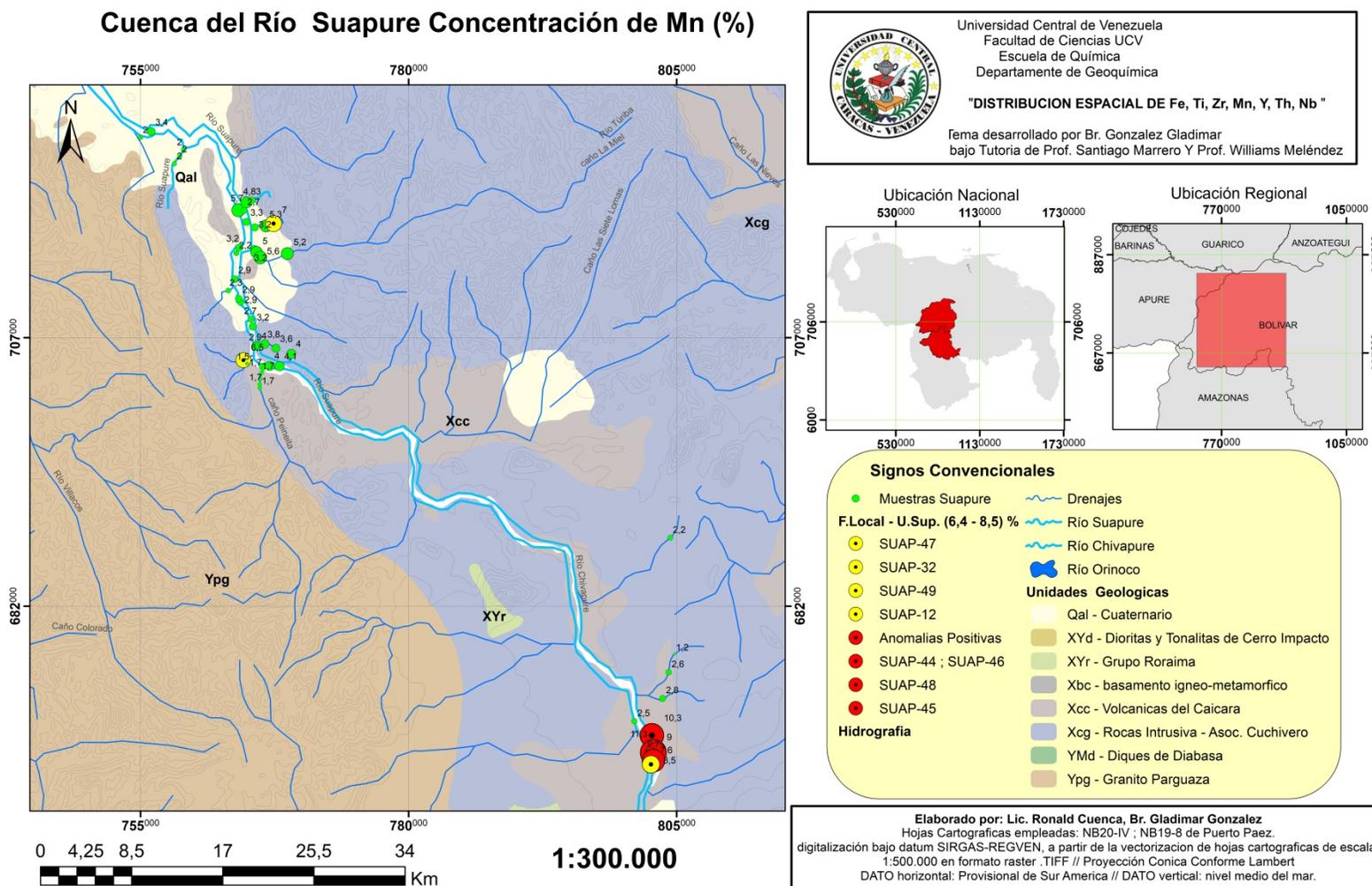
● Muestras Suapure	Unidades Geológicas
● SUAP-38	Qal - Cuaternario
Drenajes	XYd - Dioritas y Tonalitas de Cerro Impacto
Río Suapure	XYr - Grupo Roraima
Río Chivapure	Xbc - basamento igneo-metamorfico
Río Orinoco	Xcc - Volcanicas del Caicara
	Xcg - Rocas Intrusiva - Asoc. Cuchivero
	YMd - Diques de Diabasa
	Ypg - Granito Parguaza

Elaborado por: Lic. Ronald Cuenca, Br. Gladimar Gonzalez
 Hojas Cartograficas empleadas: NB20-IV ; NB19-8 de Puerto Paez.
 digitalización bajo datum SIRGAS-REGVEN, a partir de la vectorización de hojas cartograficas de escala 1:500.000 en formato raster .TIFF // Proyección Conica Conforme Lambert
 DATO horizontal: Provisional de Sur America // DATO vertical: nivel medio del mar.

Mapa.14.2.4. Distribución espacial de la concentración de Ce en la cuenca del Río Suapure.

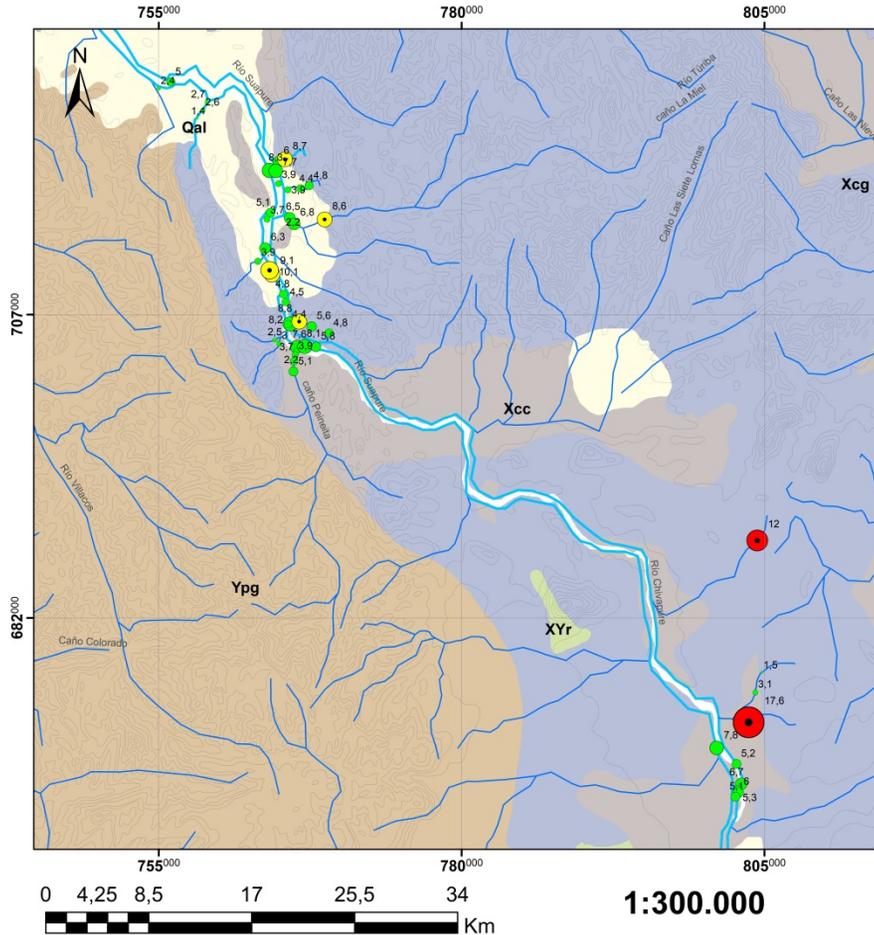


Mapa 14.2.5. Distribución espacial de la concentración de Mn en la cuenca del Río Suapure.

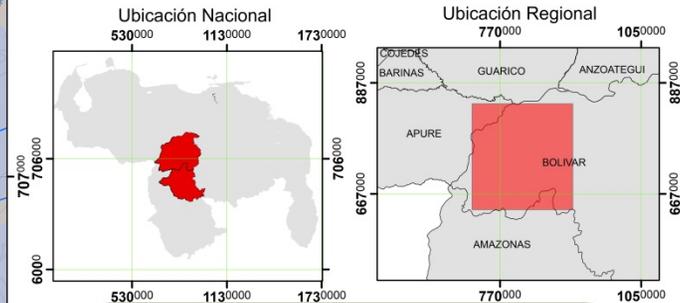


Mapa.14.2.6. Distribución espacial de la concentración de Zr en la cuenca del Río Suapure.

Cuenca del Río Suapure Concentración de Zr (%)




 Universidad Central de Venezuela
 Facultad de Ciencias UCV
 Escuela de Química
 Departamento de Geoquímica
"DISTRIBUCION ESPACIAL DE Fe, Ti, Zr, Mn, Y, Th, Nb "
 Tema desarrollado por Br. Gonzalez Gladimar
 bajo Tutoria de Prof. Santiago Marrero Y Prof. Williams Meléndez

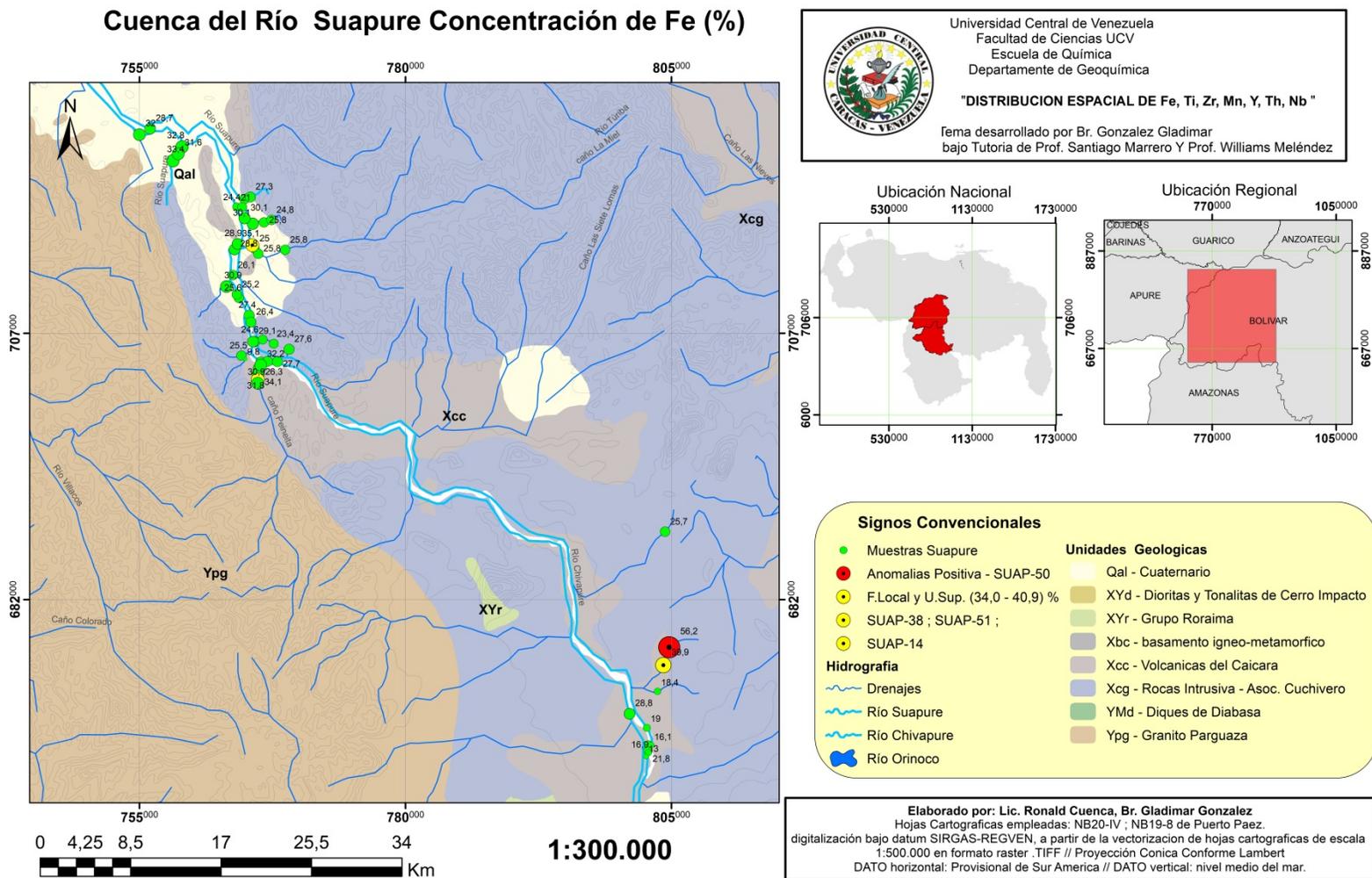


Signos Convencionales

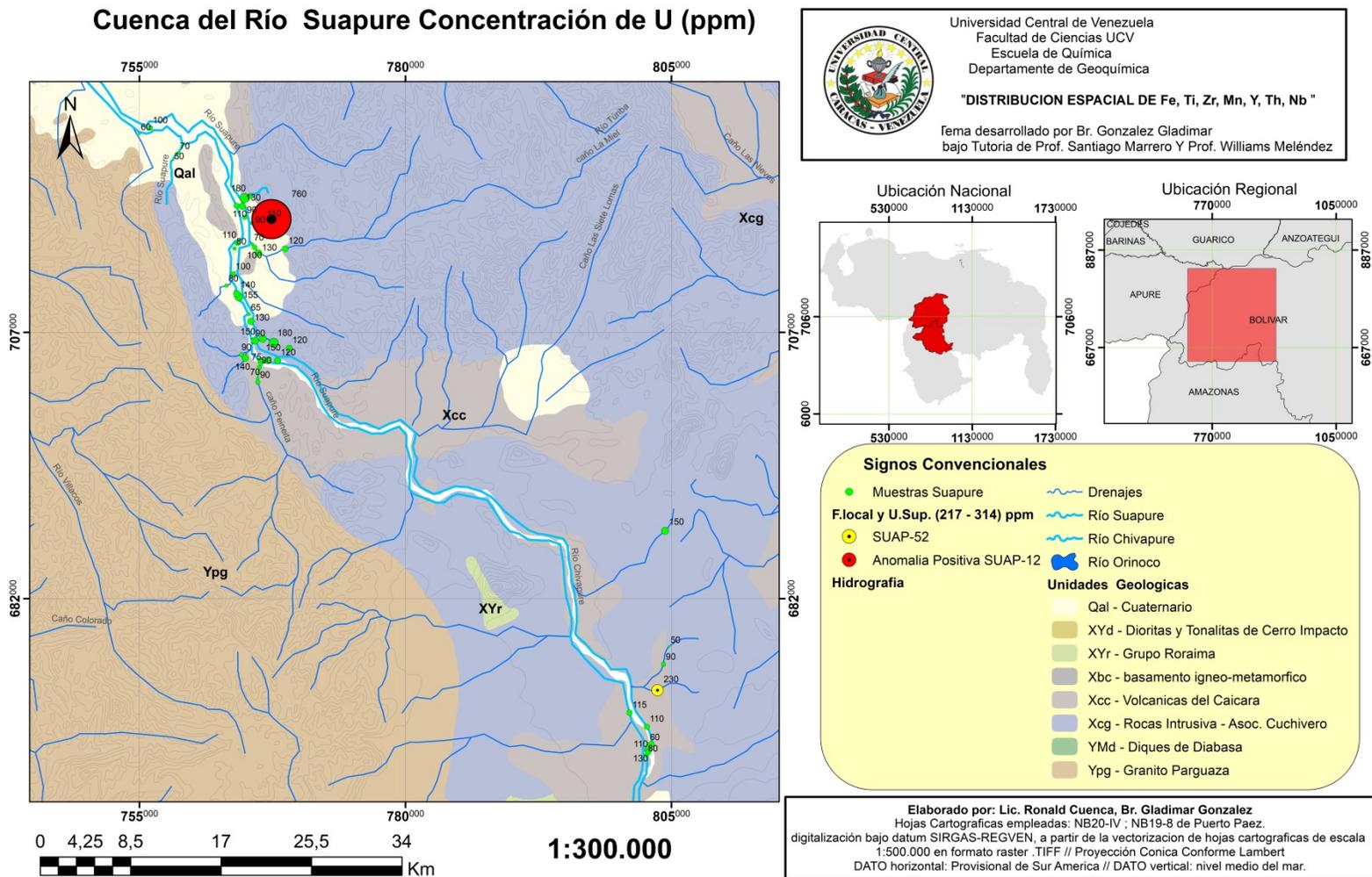
● Muestras Suapure	~ Drenajes
● F.Local - U.Sup. (8,5 - 11,4) %	~ Río Suapure
● SUAP-8	~ Río Chivapure
● SUAP-28	~ Río Orinoco
● SUAP-23	
● SUAP-22	
● SUAP-17	
● Anomalías Positivas	Unidades Geológicas
● SUAP-43 ; SUAP-52	Qal - Cuaternario
	XYd - Dioritas y Tonalitas de Cerro Impacto
	XYr - Grupo Roraima
	Xbc - basamento igneo-metamorfico
	Xcc - Volcanicas del Caicara
	Xcg - Rocas Intrusiva - Asoc. Cuchivero
	YMd - Diques de Diabasa
	Ypg - Granito Parguaza

Elaborado por: Lic. Ronald Cuenca, Br. Gladimar Gonzalez
 Hojas Cartograficas empleadas: NB20-IV ; NB19-8 de Puerto Paez.
 digitalización bajo datum SIRGAS-REGVEN, a partir de la vectorización de hojas cartograficas de escala 1:500.000 en formato raster .TIFF // Proyección Conica Conforme Lambert
 DATO horizontal: Provisional de Sur America // DATO vertical: nivel medio del mar.

Mapa 14.2.7. Distribución espacial de la concentración de Fe en la cuenca del Río Suapure.

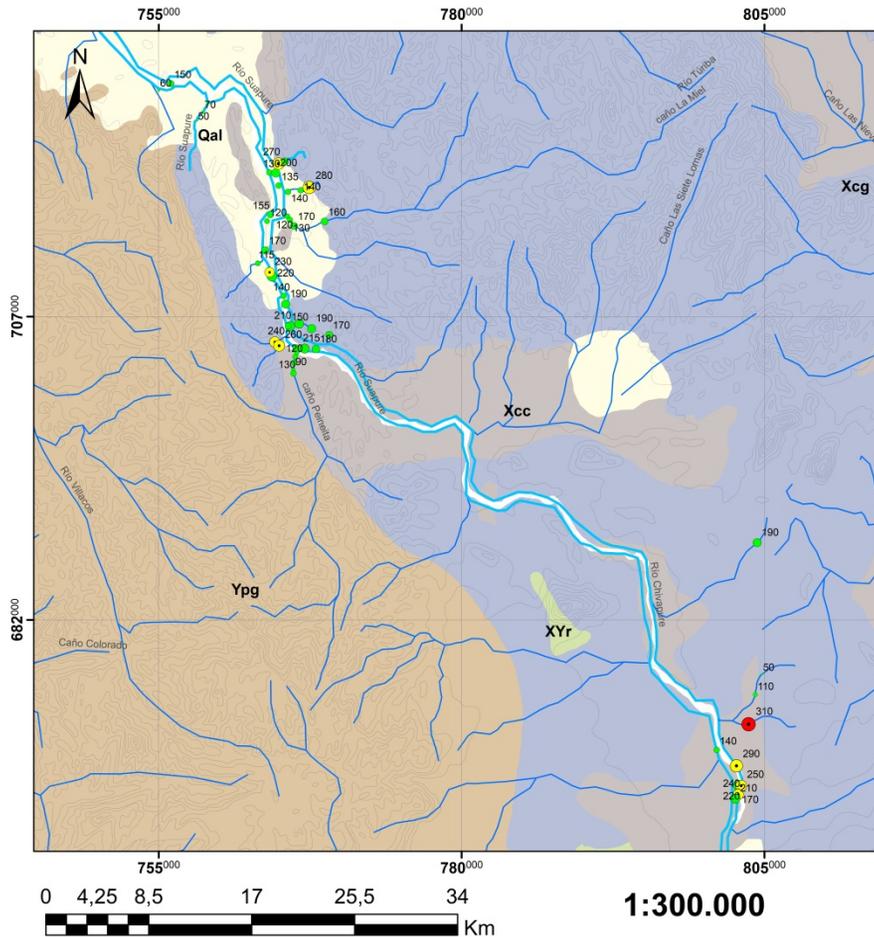


Mapa 14.2.8. Distribución espacial de la concentración de U en la cuenca del Río Suapure.

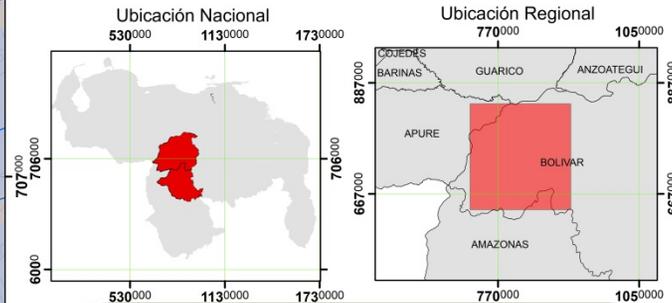


Mapa 14.2.9. Distribución espacial de la concentración de Y en la cuenca del Río Suapure.

Cuenca del Río Suapure Concentración de Y (ppm)




 Universidad Central de Venezuela
 Facultad de Ciencias UCV
 Escuela de Química
 Departamento de Geoquímica
"DISTRIBUCION ESPACIAL DE Fe, Ti, Zr, Mn, Y, Th, Nb "
 Tema desarrollado por Br. Gonzalez Gladimar
 bajo Tutoria de Prof. Santiago Marrero Y Prof. Williams Meléndez

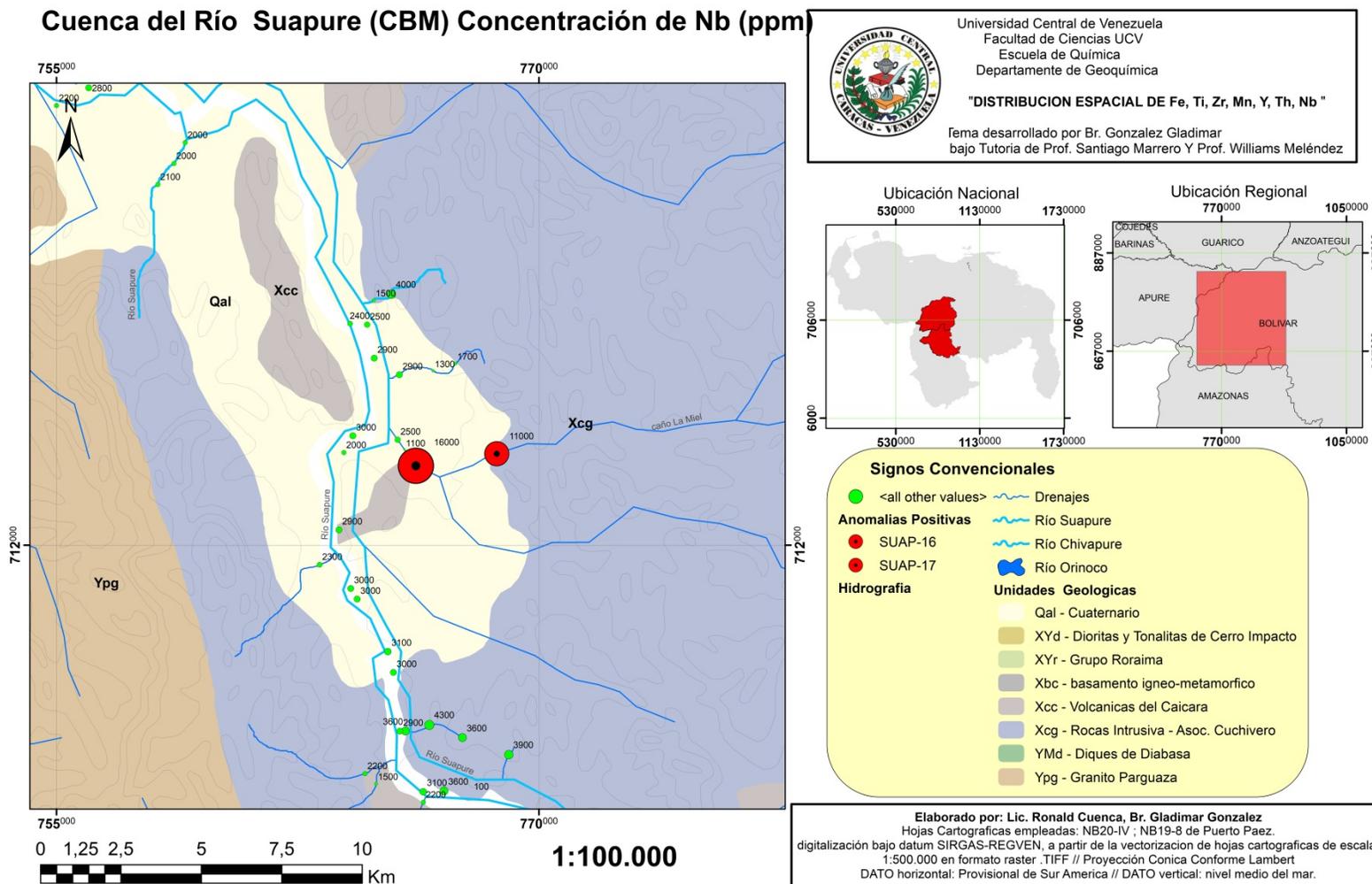


Signos Convencionales

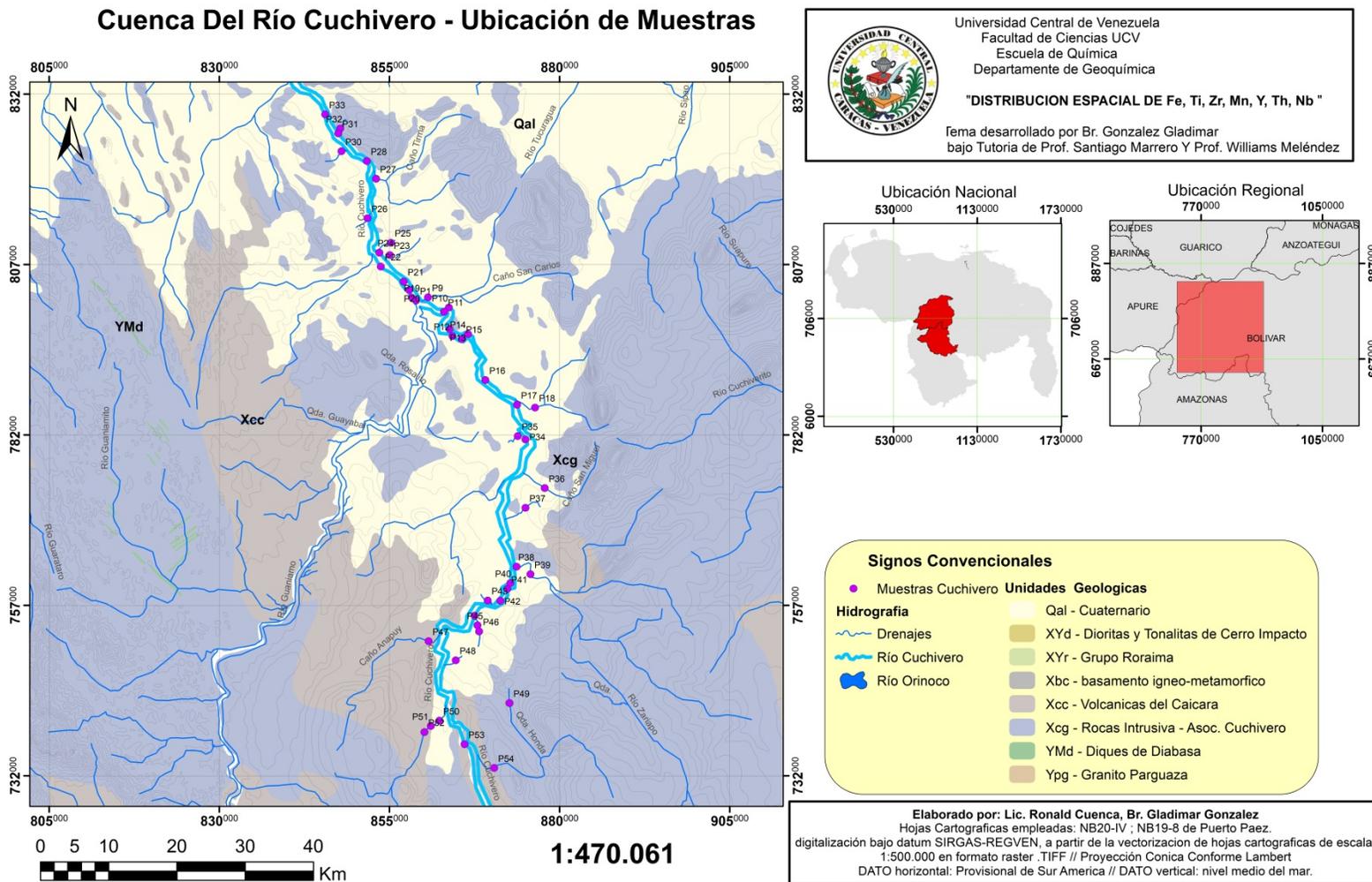
● Muestras Suapure	~ Drenajes
● F.local y U.Sup. (229 - 292) ppm	~ Río Suapure
● SUAP-12	~ Río Chivapure
● SUAP-23	~ Río Orinoco
● SUAP-32	
● SUAP-33	Unidades Geológicas
● SUAP-44	Qal - Cuaternario
● SUAP-46	XYd - Dioritas y Tonalitas de Cerro Impacto
● SUAP-48	XYr - Grupo Roraima
● SUAP-7	Xbc - basamento igneo-metamorfico
● Anomalia Positiva SUAP-52	Xcc - Volcanicas del Caicara
Hidrografia	Xcg - Rocas Intrusiva - Asoc. Cuchivero
	YMd - Diques de Diabasa
	Ypg - Granito Parguaza

Elaborado por: Lic. Ronald Cuenca, Br. Gladimar Gonzalez
 Hojas Cartograficas empleadas: NB20-IV ; NB19-8 de Puerto Paez.
 digitalización bajo datum SIRGAS-REGVEN, a partir de la vectorización de hojas cartograficas de escala 1:500.000 en formato raster .TIFF // Proyección Conica Conforme Lambert
 DATO horizontal: Provisional de Sur America // DATO vertical: nivel medio del mar.

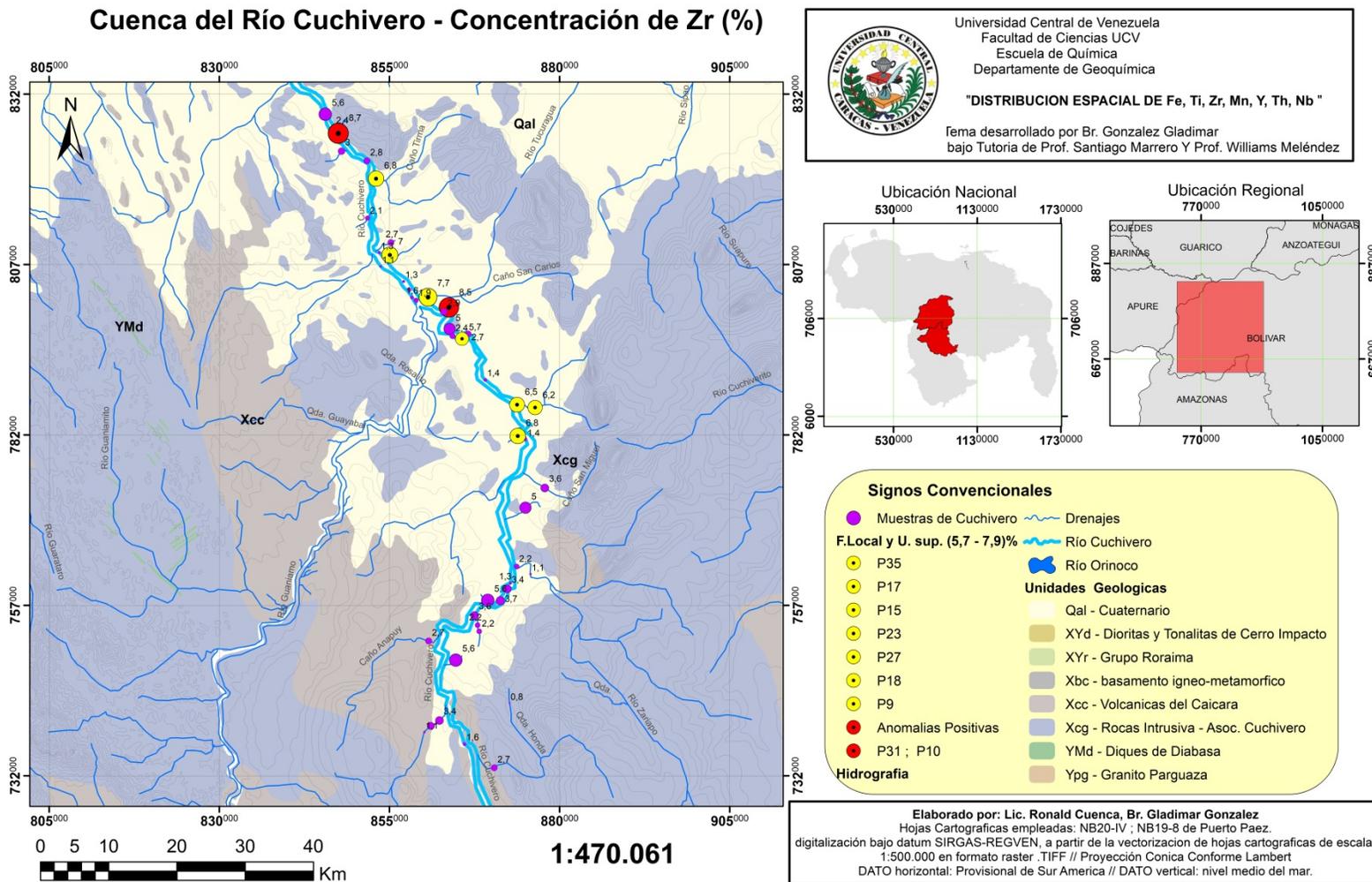
Mapa.14.2.10. Distribución espacial de la concentración de Nb en la cuenca baja y media del Río Suapure.



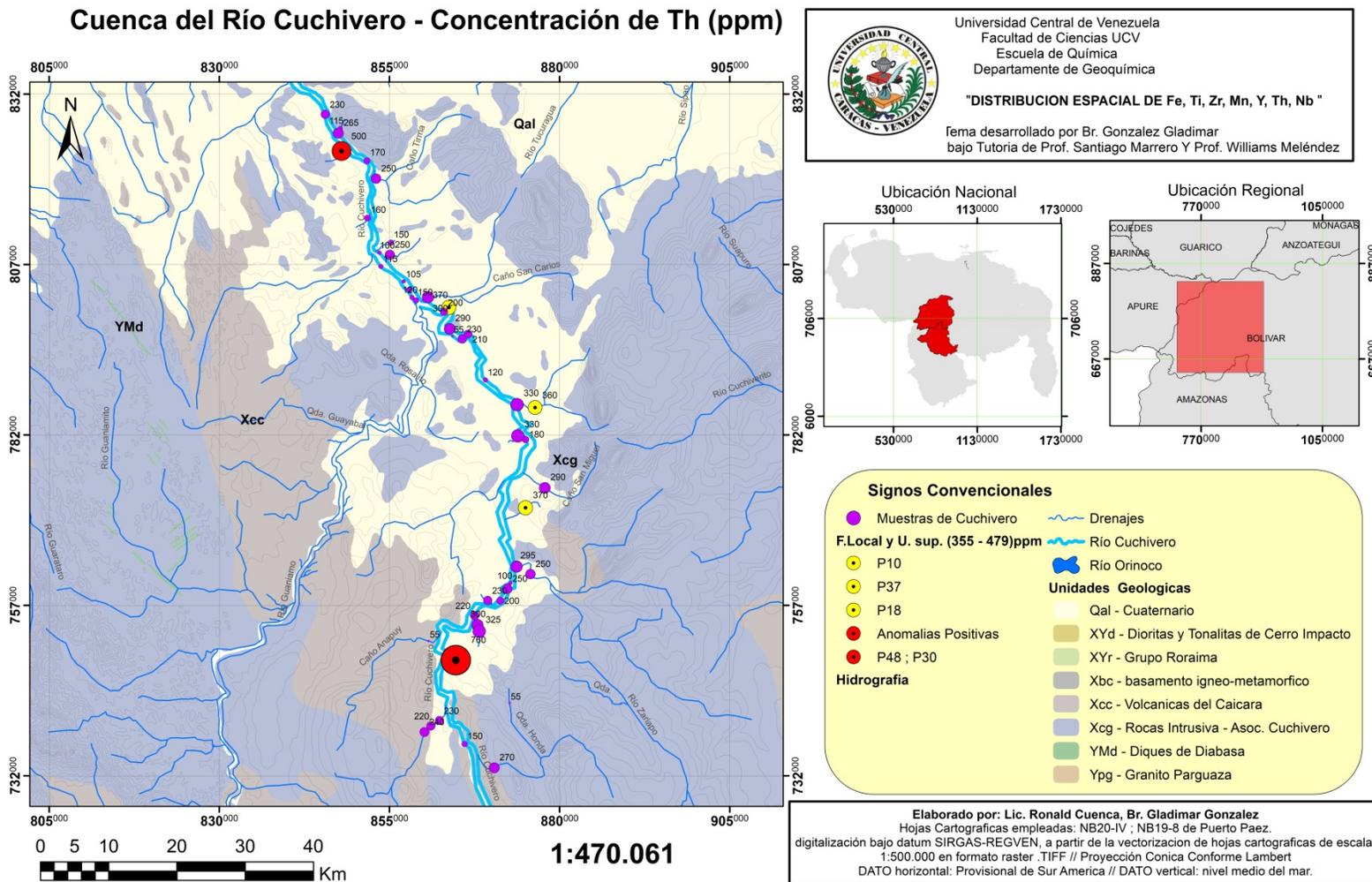
Mapa 14.3. Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Cuchivero.



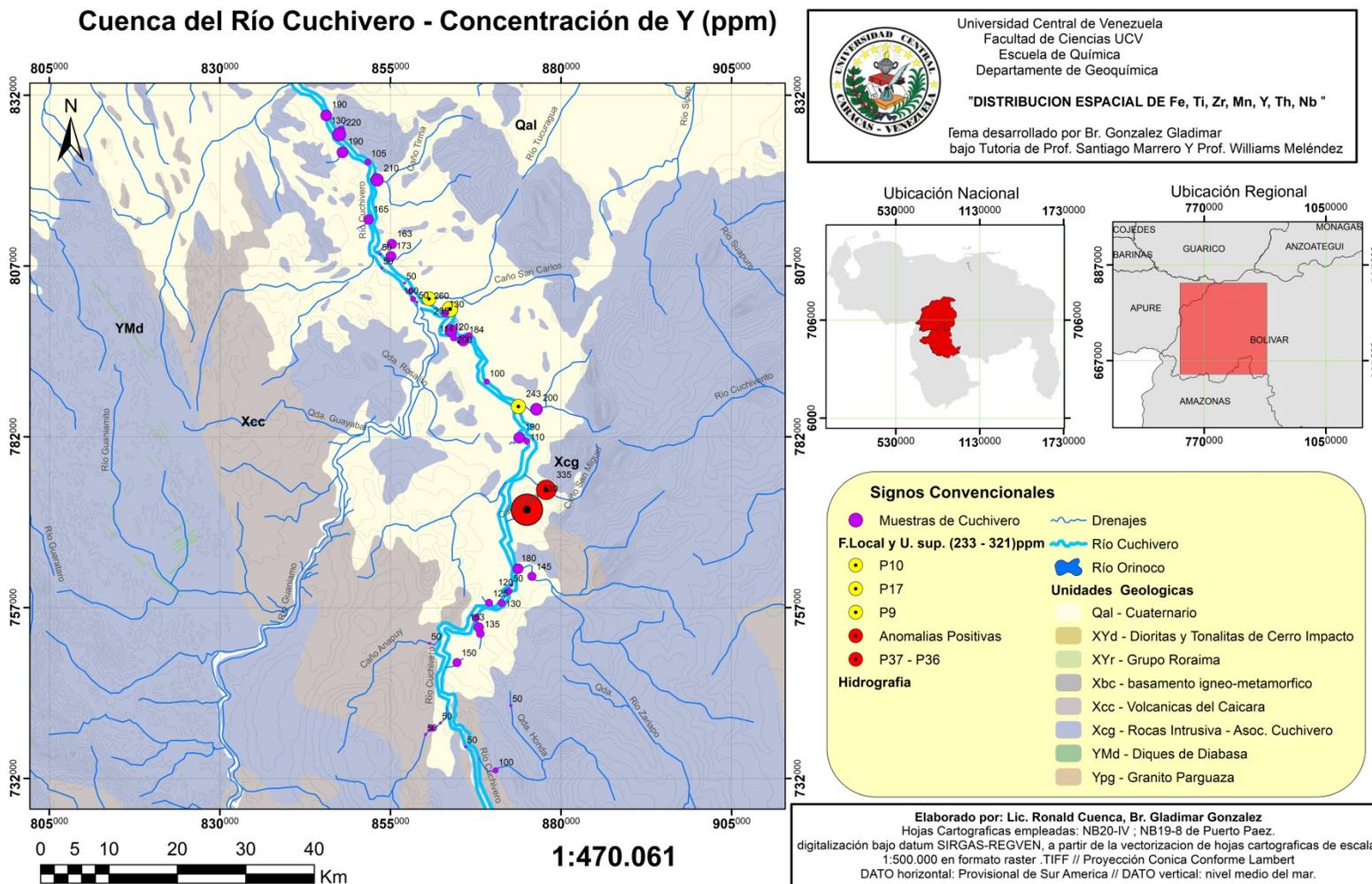
Mapa 14.3.1. Distribución espacial de la concentración de Zr en la cuenca del Río Cuchivero.



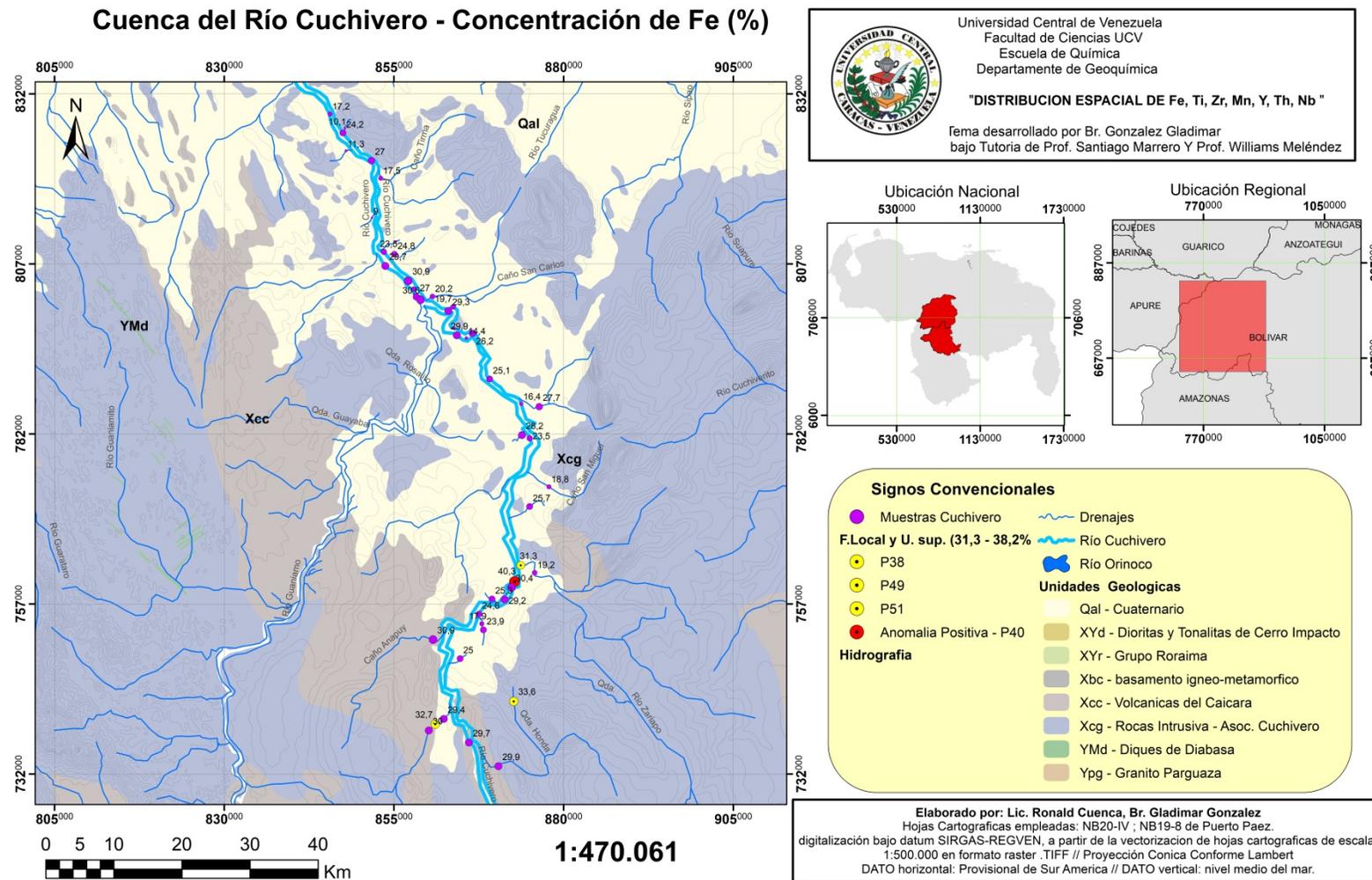
Mapa 14.3.2. Distribución espacial de la concentración de Th en la cuenca del Río Cuchivero.



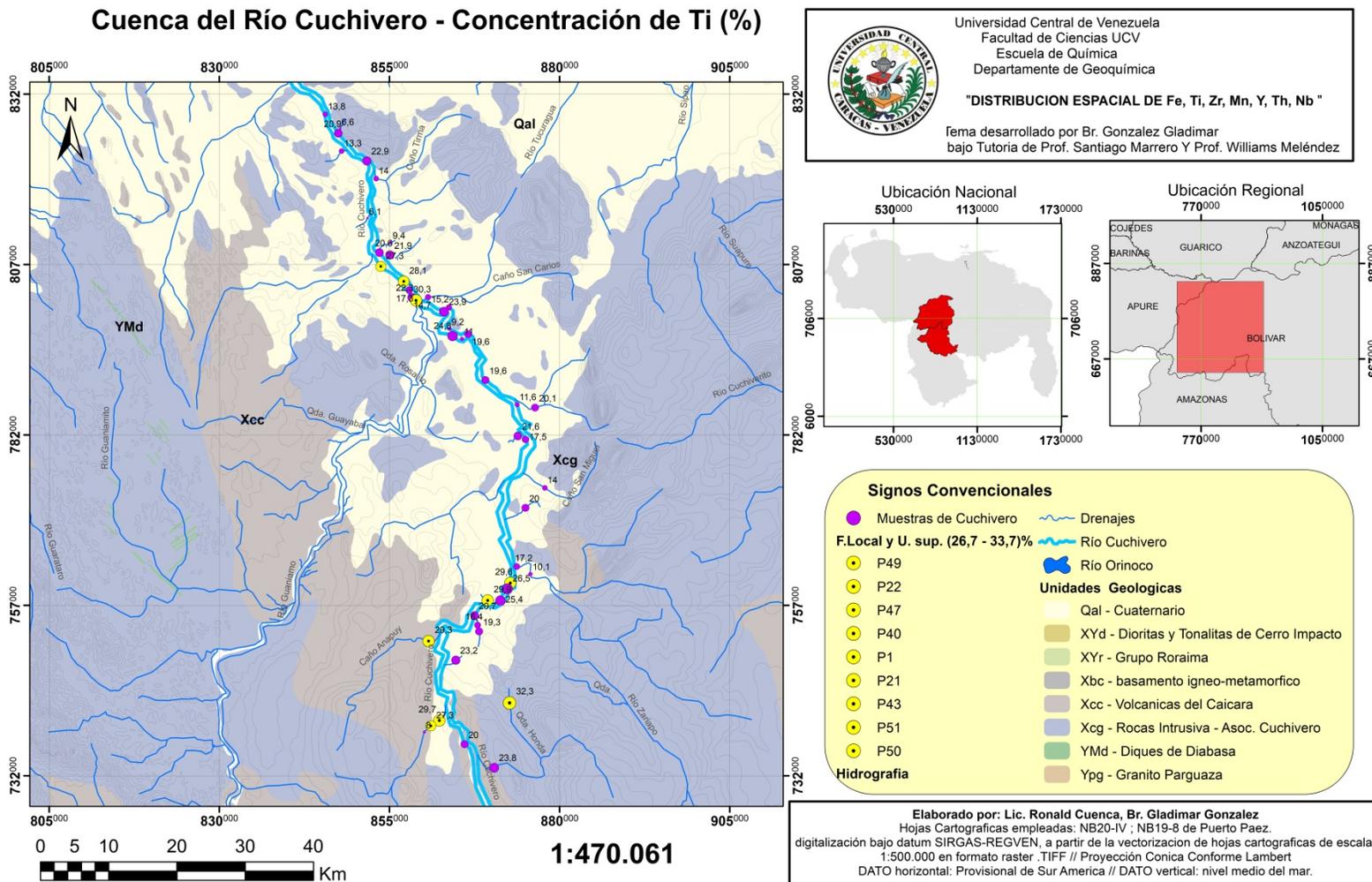
Mapa 14.3.3. Distribución espacial de la concentración de Y en la cuenca del Río Cuchivero.



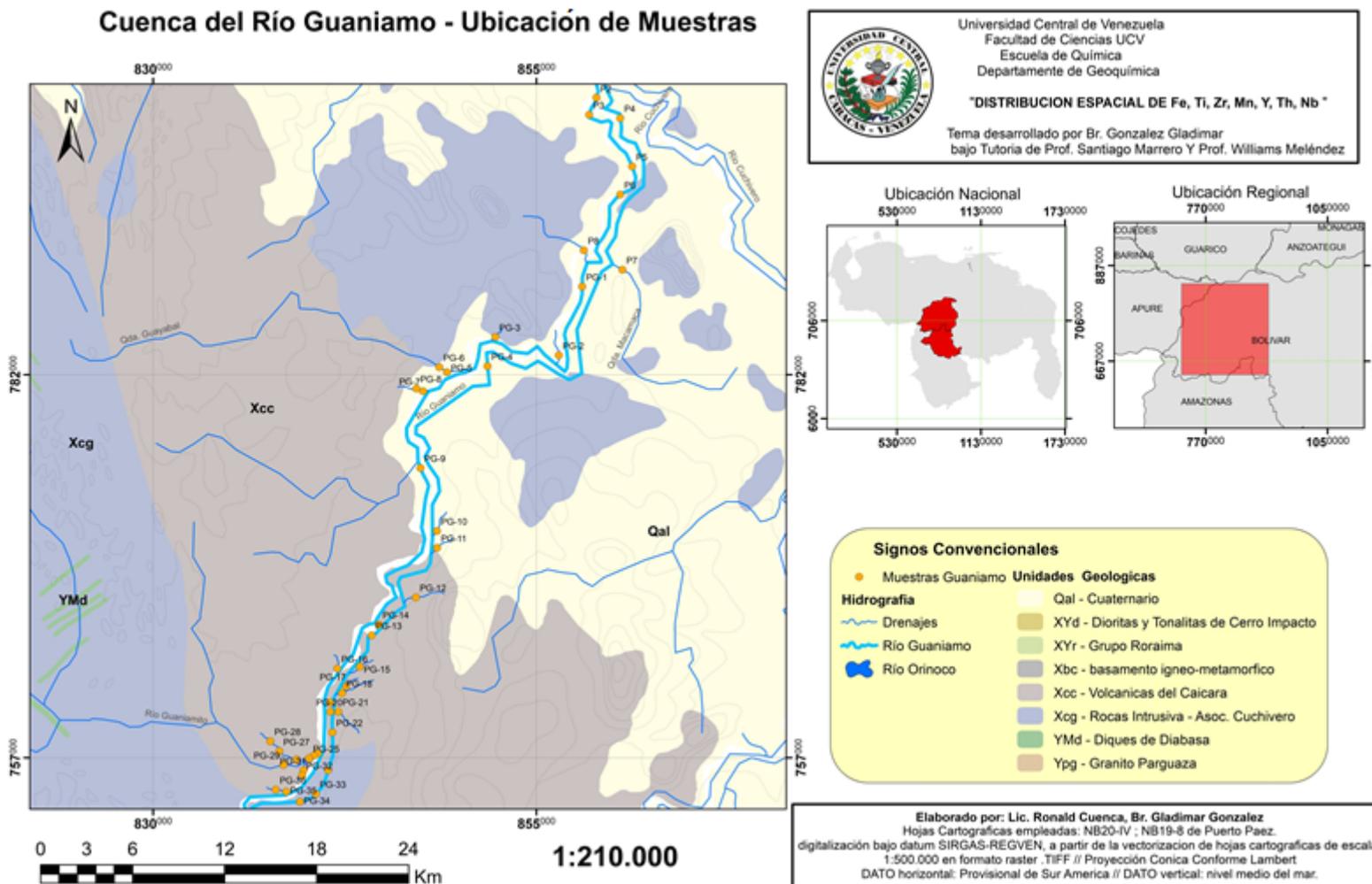
Mapa 14.3.4. Distribución espacial de la concentración de Fe en la cuenca del Río Cuchivero.



Mapa 14.3.5. Distribución espacial de la concentración de Ti en la cuenca del Río Cuchivero.

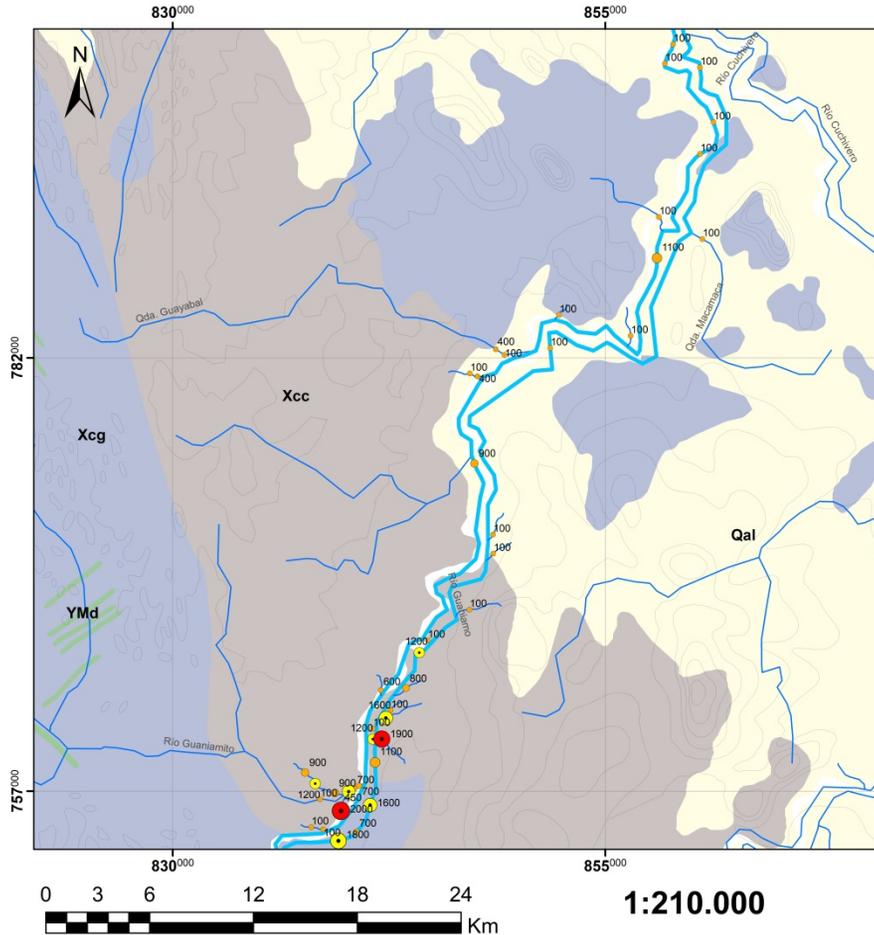


Mapa 14.4. Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Guaniamo.

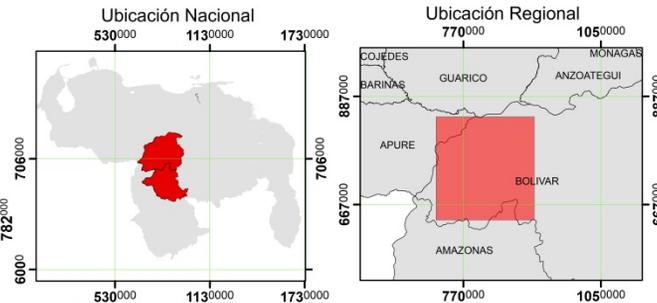


Mapa 14.4.1. Distribución espacial de la concentración de Ce en la cuenca del Río Guaniamo.

Cuenca del Río Guaniamo - Concentración de Ce (ppm)




 Universidad Central de Venezuela
 Facultad de Ciencias UCV
 Escuela de Química
 Departamento de Geoquímica
"DISTRIBUCION ESPACIAL DE Fe, Ti, Zr, Mn, Y, Th, Nb "
 Tema desarrollado por Br. Gonzalez Gladimar
 bajo Tutoria de Prof. Santiago Marrero Y Prof. Williams Meléndez



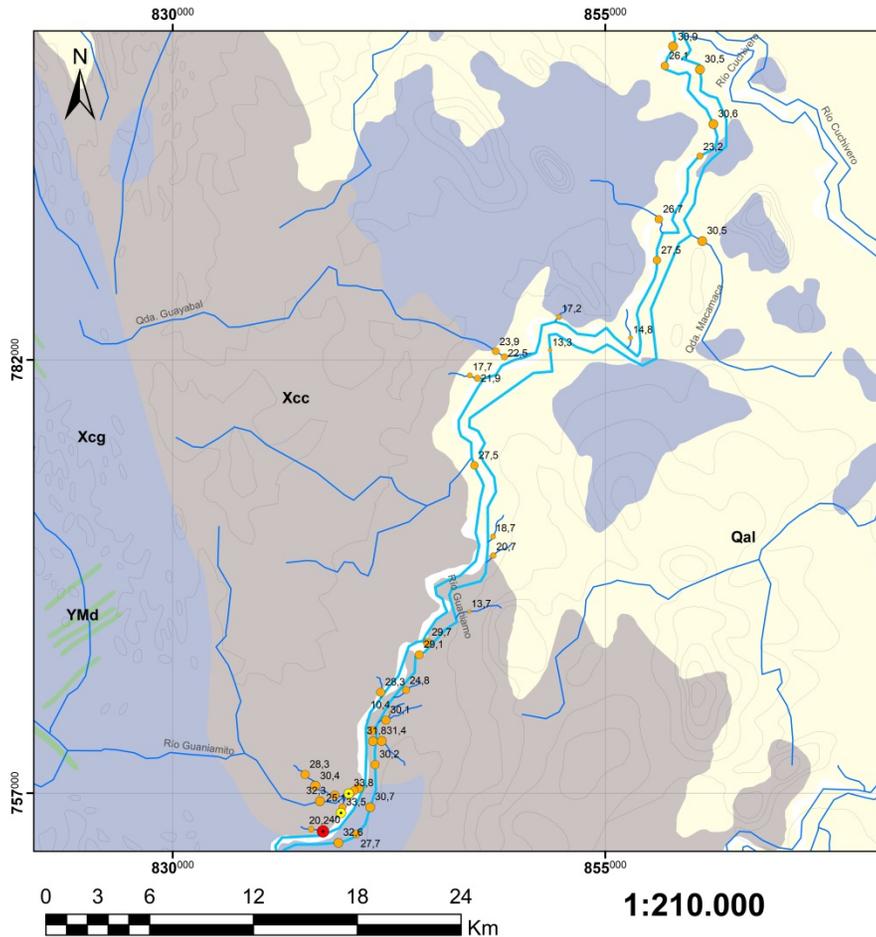
Signos Convencionales

Muestras Guaniamo	Drenajes
Muestras Guaniamo	Río Guaniamo
F.Local y U.sup. (1200 - 1801)ppm	Río Orinoco
PG-30	Unidades Geológicas
PG-27	Qal - Cuaternario
PG-18	XYd - Dioritas y Tonalitas de Cerro Impacto
PG-34	XYr - Grupo Roraima
PG-25	Xbc - basamento igneo-metamorfico
PG-20	Xcc - Volcanicas del Caicara
PG-13	Xcg - Rocas Intrusiva - Asoc. Cuchivero
Anomalias Positivas	YMd - Diques de Diabasa
PG-32 ; PG-21	Ypg - Granito Parguaza
Hidrografia	

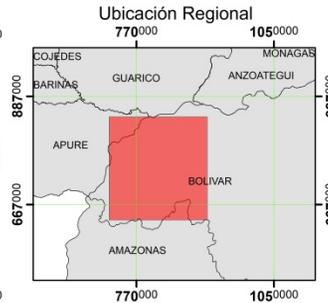
Elaborado por: Lic. Ronald Cuenca, Br. Gladimar Gonzalez
 Hojas Cartograficas empleadas: NB20-IV ; NB19-8 de Puerto Paez.
 digitalización bajo datum SIRGAS-REGVEN, a partir de la vectorización de hojas cartograficas de escala 1:500.000 en formato raster .TIFF // Proyección Conica Conforme Lambert
 DATO horizontal: Provisional de Sur America // DATO vertical: nivel medio del mar.

Mapa 14.4.2. Distribución espacial de la concentración de Fe en la cuenca del Río Guaniamo.

Cuenca del Río Guaniamo - Concentración de Fe (%)




 Universidad Central de Venezuela
 Facultad de Ciencias UCV
 Escuela de Química
 Departamento de Geoquímica
"DISTRIBUCION ESPACIAL DE Fe, Ti, Zr, Mn, Y, Th, Nb "
 Tema desarrollado por Br. Gonzalez Gladimar
 bajo Tutoria de Prof. Santiago Marrero Y Prof. Williams Meléndez

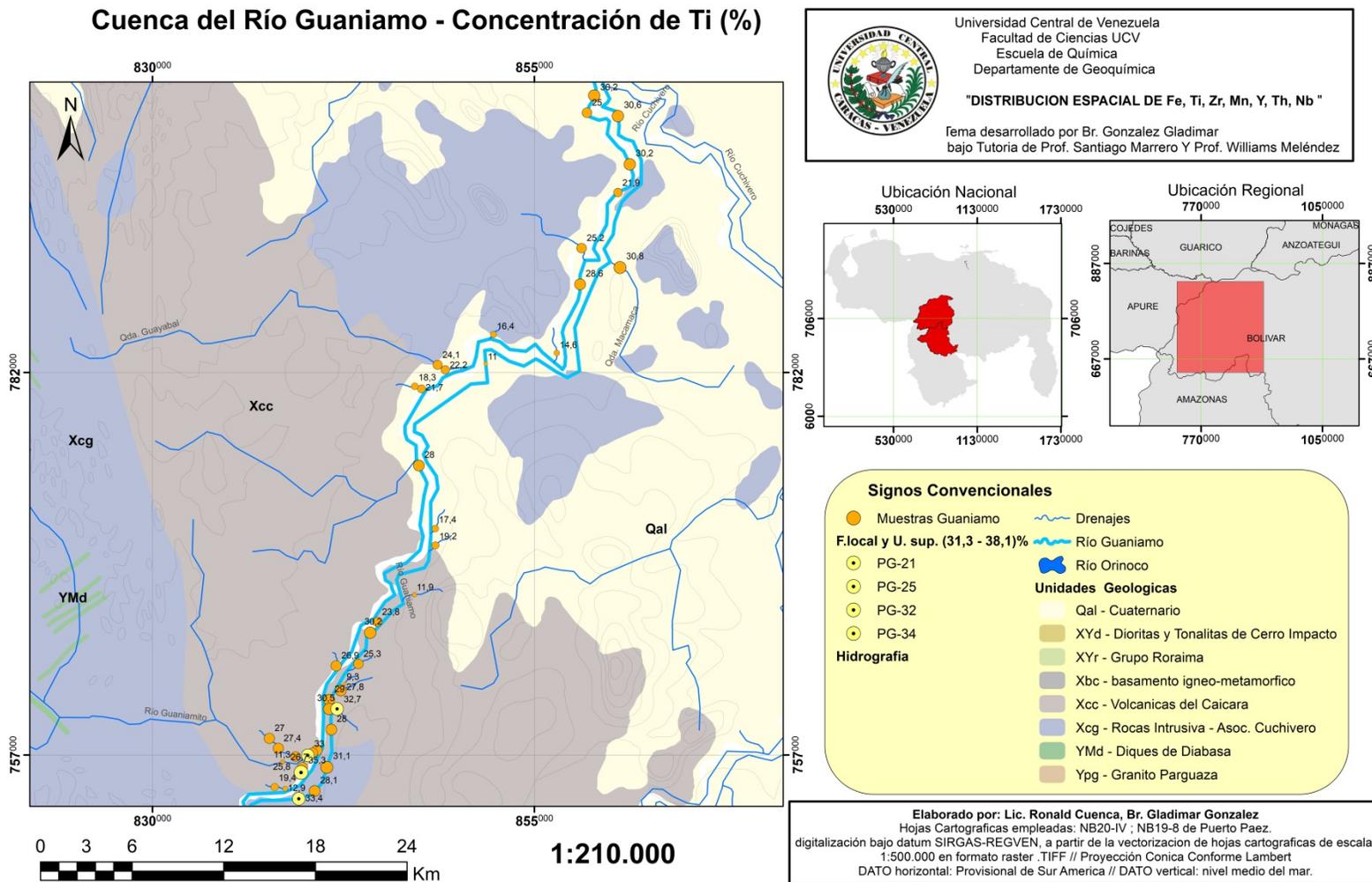


Signos Convencionales

- Muestras Guaniamo
- F.local y U. sup. (32,8 - 39,1)%
- PG-25
- PG-32
- Anomalia Positiva PG-35
- ~ Drenajes
- ~ Río Guaniamo
- ~ Río Orinoco
- Unidades Geológicas**
- Qal - Cuaternario
- XYd - Dioritas y Tonalitas de Cerro Impacto
- XYr - Grupo Roraima
- Xbc - basamento igneo-metamorfico
- Xcc - Volcanicas del Caicara
- Xcg - Rocas Intrusiva - Asoc. Cuchivero
- YMd - Diques de Diabasa
- Ypg - Granito Parguaza

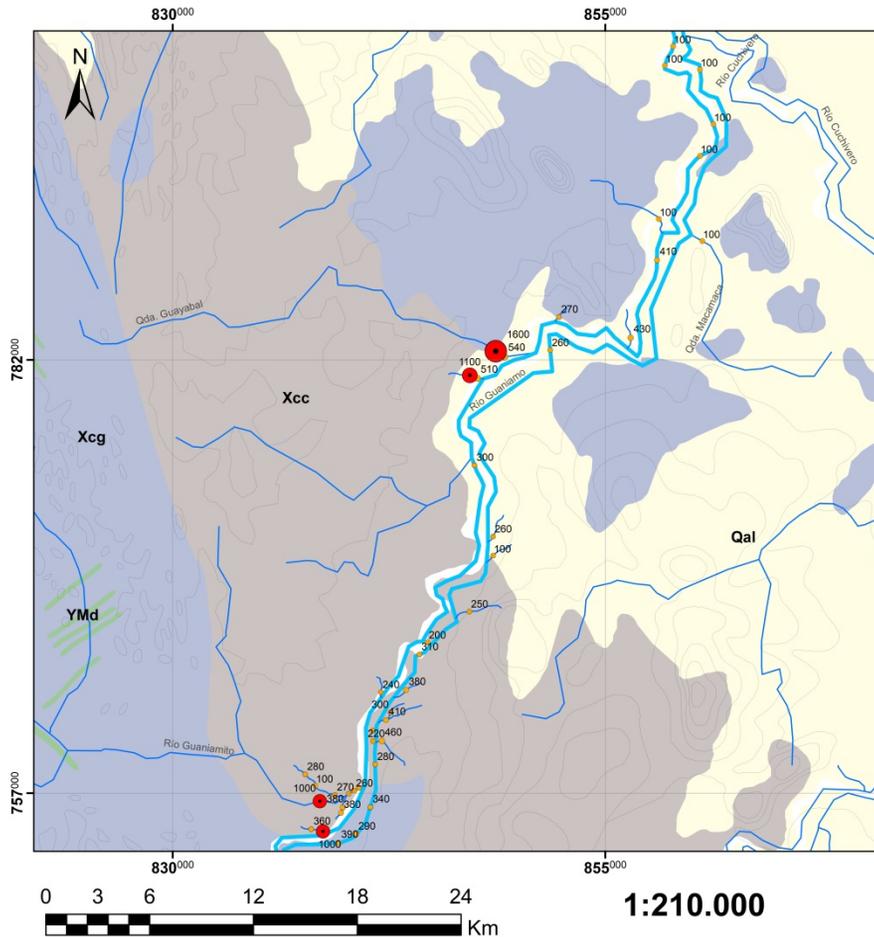
Elaborado por: Lic. Ronald Cuenca, Br. Gladimar Gonzalez
 Hojas Cartograficas empleadas: NB20-IV ; NB19-8 de Puerto Paez.
 digitalización bajo datum SIRGAS-REGVEN, a partir de la vectorización de hojas cartograficas de escala 1:500.000 en formato raster .TIFF // Proyección Conica Conforme Lambert
 DATO horizontal: Provisional de Sur America // DATO vertical: nivel medio del mar.

Mapa 14.4.3. Distribución espacial de la concentración de Ti en la cuenca del Río Guaniamo.



Mapa 14.4.5. Distribución espacial de la concentración de Nb en la cuenca del Río Guaniamo.

Cuenca del Río Guaniamo - Concentración de Nb (ppm)

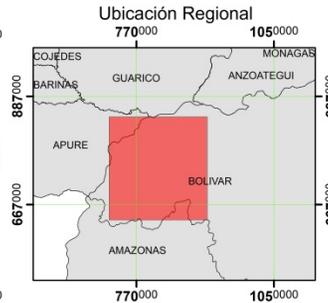




Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ciencias UCV
Escuela de Química
Departamento de Geoquímica

"DISTRIBUCION ESPACIAL DE Fe, Ti, Zr, Mn, Y, Th, Nb "

tema desarrollado por Br. Gonzalez Gladimar
bajo Tutoría de Prof. Santiago Marrero Y Prof. Williams Meléndez



Signos Convencionales

● Muestras Guaniamo	Drenajes
● Anomalías Positivas	Río Guaniamo
● PG-8	Río Orinoco
● PG-6	Unidades Geológicas
● PG-29	Qal - Cuaternario
● PG-35	XYd - Dioritas y Tonalitas de Cerro Impacto
Hidrografía	XYr - Grupo Roraima
Xbc - basamento igneo-metamorfico	Xcc - Volcanicas del Caicara
Xcg - Rocas Intrusiva - Asoc. Cuchivero	YMd - Diques de Diabasa
Ypg - Granito Parguaza	

Elaborado por: Lic. Ronald Cuenca, Br. Gladimar Gonzalez
Hojas Cartograficas empleadas: NB20-IV ; NB19-8 de Puerto Paez.
digitalización bajo datum SIRGAS-REGVEN, a partir de la vectorización de hojas cartograficas de escala 1:500.000 en formato raster .TIFF // Proyección Conica Conforme Lambert
DATO horizontal: Provisional de Sur America // DATO vertical: nivel medio del mar.

ANEXO

Anexo 1. Fluorescencia de rayos X.

Se basa en el estudio de las emisiones de fluorescencia, generadas después de la excitación de una muestra mediante una fuente de rayos X. Para que se dé el proceso de fluorescencia de rayos X, primero tiene que ocurrir la absorción fotoeléctrica por el elemento presente en la muestra. Esto sucede cuando un fotón altamente energético proveniente de una radiación de rayos X interactúa con la materia. Los átomos de la muestra a analizar absorben esta alta energía (figura 29). Lo que causa que un electrón de los más cercanos al núcleo (capa interna) sea expulsado del átomo. En este proceso de absorción, parte de la energía del fotón incidente de rayos X, es utilizada para romper la energía de enlace del electrón interno del elemento y la energía restante acelera el electrón expulsado (Skoog, 2001).

Después de que el electrón es expulsado. El átomo queda en un estado altamente excitado y por lo tanto muy inestable. Para que el átomo vuelva a su estado estable, los electrones de las capas adyacentes llenaran el espacio vacante. Al pasar un electrón de otra capa, y con una energía diferente al del electrón saliente; hay una diferencia de energía. La cual se emite en forma de radiación de rayos X, comúnmente conocido como fluorescencia de rayos X. El fotón de rayos X emitido tendrá una energía específica, igual a la diferencia entre las dos energías de enlace de un electrón de las capas interna y adyacente. Esta energía es única para cada elemento (Meléndez y Camacho, 2009). Esta técnica requiere que la muestra previamente pulverizada y homogenizada, sea comprimida en forma de pastilla para luego llevarla al espectrómetro de fluorescencia de rayos-X.

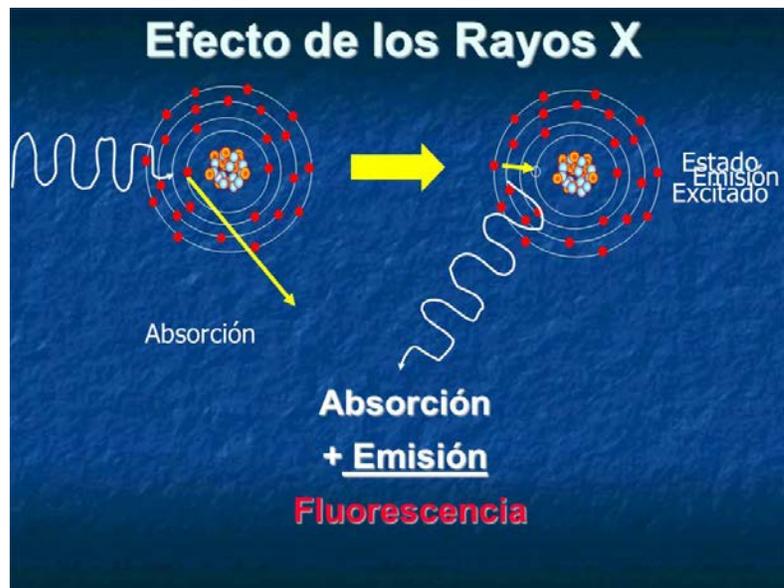


Figura 29. Fluorescencia de rayos X, salida de un electrón de un átomo de la materia (Tomado de Meléndez (2009)).