

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



**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**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR LA BACHILLER MARIELA CAROLINA
HERNÁNDEZ CASTAÑEDA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE LICENCIADA EN
GEOQUÍMICA

CARACAS, JULIO 2009.

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



**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**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR LA BACHILLER MARIELA CAROLINA
HERNÁNDEZ CASTAÑEDA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE LICENCIADA EN
GEOQUÍMICA

CARACAS, JULIO 2009.

ACTA

Los abajo firmantes, designados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo especial de Grado titulado: "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" presentado por la Br. Mariela Carolina Hernández Castañeda, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar al título de Licenciado en Geoquímica.

Prof. Jean Pascuali
Jurado

Prof. Laura Piñero
Jurado

Prof. Grony Garbán
Tutor

“A mis padres por haberme proporcionado
gran parte de las herramientas que hoy tengo y
por todo el apoyo a lo largo de los años”

AGRADECIMIENTOS

En los últimos años, diversas instituciones y personas me han ofrecido apoyo académico y personal, los cuales me han permitido llevar a cabo con éxito el presente trabajo. Es por ello que quiero expresar mis agradecimientos a las siguientes instituciones y personas:

A la **Universidad Central de Venezuela**, institución mediante la cual he adquirido valiosas herramientas, tanto a nivel académico como personal, y escenario fundamental donde contruí los recuerdos de esta etapa.

A mi tutor, el profesor **Grony Garbán**, por haberme dado la oportunidad de trabajar a su lado, apoyarme y ofrecerme sus valiosas recomendaciones, de verdad gracias por hacer un excelente trabajo como tutor.

A los **profesores del ICT**, que de una u otra manera impartieron gran parte de los conocimientos adquiridos durante la licenciatura.

A todos los familiares y amigos que han estado y compartido conmigo durante todos estos años.

RESUMEN

La determinación de proveniencia de sedimentos de drenajes activos se puede realizar a partir del estudio químico de los minerales pesados, particularmente cuando los afloramientos de la zona de estudio se encuentran bastante meteorizados, tal es el caso del área del presente estudio. En este sentido, se utilizaron 34 atributos químicos obtenidos del análisis (bajo la técnica de INAA) de minerales pesados provenientes de 94 muestras pertenecientes a drenajes activos de la región de Imataca, estado Bolívar. Con el fin de estimar la proveniencia de estos sedimentos, se compararon dos técnicas de análisis multivariado: análisis de factores (AF) y análisis de componentes principales (ACP). Cada una de estas técnicas fue explorada detalladamente, encontrando las condiciones óptimas para los datos tratados en base a los criterios de selección: facilidad de interpretar los resultados geoquímicamente (criterio geoquímico) y el porcentaje de explicación de la varianza total (criterio estadístico).

En el análisis multivariado sólo se emplearon 15 de los 34 atributos químicos determinados, debido a que el resto de las variables presentaban más del 25% de las muestras por debajo del límite de detección. Esto se realizó para evitar que ocurrieran posibles distorsiones en los resultados del análisis multivariado, debido a la incertidumbre de estas variables. Por otro lado, a las variables seleccionadas se les aplicaron transformaciones como Box-Cox y Ln, y posteriormente se estandarizaron, para evaluar como influye el tratamiento previo sobre los resultados obtenidos.

Tanto en el caso de la técnica de AF, como la técnica de ACP, resultó ser más favorable transformar los datos con Ln, donde la herramienta de estandarización fue indiferente, emplear un tipo de matriz de correlación, estimar la covarianza con el método robusto y rotar los factores con Quartimax. Ambas técnicas arrojaron los mismos resultados desde el punto de vista geoquímico; no obstante, el AF logró explicar mejor la varianza total.

A partir de los resultados obtenidos se pudo establecer que las muestras de la parte septentrional de la quebrada El Catire provienen de una fuente máfica, mientras que la mayoría de las muestras de la parte Sur de esta quebrada son producto de una mezcla de fuentes félsicas y máficas. Por último, se obtuvo que las muestras de las quebradas Los Brinquitos y Chaparrillal se encuentran aportadas principalmente por una fuente félsica. Estos resultados son coincidentes con los aportados a partir de la distribución de valores de correlaciones interelementales (Th/Sc, La/Co, La/Sc, Cr/Th) y de gráficos de discriminación Th/Co vs. La/Sc y La-Sc-Th.

Palabras claves: análisis de factores; análisis de componentes principales; proveniencia; región de Imataca, Venezuela.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
Objetivos.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	6
Minerales pesados	6
Proveniencia.....	10
Fundamentos de estadística.....	15
Marco geológico.....	20
Provincia de Imataca.....	21
Ocurrencia mineralógica del escudo guayanés venezolano.....	23
Descripción de la zona de estudio.....	23
4. ANTECEDENTES.....	26
Antecedentes internacionales.....	26
Antecedentes nacionales.....	27
5. METODOLOGÍA.....	31
Muestreo.....	31
Análisis químicos de las muestras.....	32
6. PARTE EXPERIMENTAL.....	34
Ubicación de las muestras en la zona de estudio.....	34
Análisis estadístico.....	34
Estimación de proveniencia.....	37
7. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	38
Selección de las variables.....	38
Aplicación de las técnicas de análisis multivariado.....	41
Análisis de factores.....	41
Análisis de componentes principales.....	58
Estimación de la proveniencia de los sedimentos.....	68
8. CONCLUSIONES.....	75

9. RECOMENDACIONES.....	77
10. BIBLIOGRAFÍA.....	78
11. APÉNDICES.....	81
11.1 Ubicación y descripción de los puntos de colección de muestras.....	82
11.2. Análisis químico en muestras de minerales pesados (INAA).....	86
11.3 Cajas gráficas de todas las variables determinadas en el análisis químico (INAA).....	94
11.4 Variables transformadas con Box-Cox.....	96
11.5 Cajas gráficas de las variables transformadas con Box-Cox.....	98
11.6 Variables transformadas con Ln.....	99
11.7 Cajas gráficas de las variables transformadas con Ln.....	101
11.8 Variables transformadas con Box-Cox, y posteriormente estandarizadas.....	102
11.9 Cajas gráficas de las variables transformadas con Box-Cox, y posteriormente estandarizadas.....	104
11.10 Variables transformadas con Ln y posteriormente estandarizadas.....	105
11.11 Cajas gráficas de las variables transformadas con Ln.....	107
11.12 Ensayos del análisis de factores.....	108
11.13 Ensayos del análisis de componentes principales.....	119
11.14 Determinaciones de Zr y Nb con ICP-MS.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	TÍTULO	Pág.
1	Variaciones en la composición de los granates.....	12
2	Relaciones de Cr y Mg que exhiben los campos composicionales de la espinela crómica de la peridotita tipo alpino.....	13
3	Discriminación de proveniencia en areniscas del Cretácico tardío.....	13
4	Discriminación de proveniencia de diferentes tipos de areniscas usando datos geoquímicos de turmalinas.	14
5	(a) Relaciones elementales que ayudan a determinar proveniencia de muestras geológicas de origen félsico o máfico, (b) asociaciones geoquímicas que ayudan a determinar proveniencia de muestras geológicas de origen félsico.....	14
6	Diagrama de caja (boxplot)	16
7	Clasificación de las técnicas multivariado.....	18
8	Escudo guayanés venezolano.....	22
9	Ubicación de la zona de estudio.....	24
10	Esquema metodológico del trabajo.....	34
11	Esquema del tratamiento de los datos priori al análisis de factores.	36
12	Prueba de normalidad Anderson-Darling y Kolmogorv-Smirnov, disponible en MINITAB™	39
13	Variaciones dentro del análisis de factores.	42
14	Ventana de los comandos del programa NCSS© 2000 para análisis de factores.....	43
15	Ensayos de análisis de factores, datos transformados con Box-Cox, factores rotados con Varimax, estimación de covarianza regular.....	45
16	Ensayos de análisis de factores, datos transformados con Ln y posteriormente estandarizados, factores rotados con Quartimax. (a) Estimación de covarianza regular, y (b) estimación de covarianza robusta.....	46
17	Ensayos de análisis de factores con datos transformados con Ln, estimación de covarianza robusta. (a) Sin rotar, (b) Varimax, y (c) Quartimax.....	47
18	Digramas de caja de Ta y las muestras donde se encuentra la anomalía.....	48
19	Regresión lineal entre las determinaciones de Hf (INAA) y Zr (ICP-MS).	50
20	Ensayos de análisis de factores. (a) Datos transformados son Ln, estimación de covarianza regular, factores rotados con Quartimax; (b) datos transformados con Ln, estimación de covarianza robusta, rotados con Quartimax; y (c) datos transformados con Box-Cox, estimación de covarianza robusta, sin rotar.....	53
21	Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del factor 1 (Ce, Eu, La, Th, U, Sm, Nd, Yb, U, Lu, Fe y Cr).....	54
22	Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del factor 2 (Hf, Lu, Yb, U y Co)..	55
23	Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del factor 3 (Sc y Cr).....	56
24	Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del factor 4 (Fe).	56
25	Ventana de los comandos del programa NCSS© 2000 para análisis de factores, con el método de normal multivariado seleccionado en la estimación de los valores perdidos...	57
26	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales con estimación de valores perdidos (normal multivariado) y estimación de covarianza robusta, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.....	58
27	Variaciones dentro del análisis de componentes principales.....	59
28	Ventana de los comandos del programa NCSS© 2000 para el análisis de componentes principales.....	60

N°	TÍTULO	Pág.
29	Diagramas resumen del ACP, estimación de covarianza: robusta, y tipo de matriz: varianza-covarianza, (a) datos iniciales (b) datos iniciales transformados con Box-Cox, (c) datos iniciales transformados con Ln, (d) datos iniciales transformados con Box-Cox estandarizados, y (e) datos iniciales transformados con Ln estandarizados.....	62
30	Ensayos de ACP, tipo de matriz: correlación, estimación de covarianza: regular. Datos transformados con Ln (a) sin rotar, (b) Varimax, (c) Quartimax. Datos transformados con Ln y estandarizados, (d) sin rotar, (e) Varimax, (f) Quartimax.....	63
31	Ensayos de ACP, tipo de matriz: correlación, estimación de covarianza: robusta. (a) Datos transformados con Ln y rotados con Varimax, y (b) datos transformados con Ln y posteriormente estandarizados, rotados con Varimax.....	64
32	(a) Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del componente 1 (Ce, Eu, La, Th, U, Sm, Nd, Yb, U, Lu, Fe y Cr), (b) distribución de la puntuación de cada muestra dentro del componente 2 (Hf, Lu, Yb, U y Co).	65
33	Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del componente 3 (Sc y Cr).....	66
34	Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del componente 4 (Fe).....	67
35	Determinación de proveniencia basada en los valores referenciales de las interrelaciones químicas reportadas por Yan <i>et al.</i> (2006).....	69
36	(a) Diagrama ternario La-Sc-Th; (b) Diagrama Th/Co vs. La/Sc, escala logarítmica.....	70
37	Influencia de cada muestra dentro de cada factor. (a) F1: REEs y Cr; (b) F2: Hf, HREEs y Co; (c) F3: Sc, y Cr; y (d) F4: Fe.....	72
38	Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales, sin tratamiento previo.....	94
39	Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales transformados con Box-Cox.....	98
40	Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales transformados con Ln.....	101
41	Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales transformados con Box-Cox, y posteriormente estandarizados.....	104
42	Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales transformados con Ln y posteriormente estandarizados.....	107
43	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.....	108
44	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Box-Cox, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.....	109
45	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Ln, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	110
46	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Box-Cox y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	111
47	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Ln y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.....	112
48	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.....	113
49	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Box-Cox, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.....	114
50	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Ln, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax...	115

N°	TÍTULO	Pág.
51	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Box-Cox y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	116
52	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Ln y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	117
53	Diagramas resumen del AF de los datos iniciales con estimación de valores perdidos (normal multivariado) y estimación de covarianza robusta, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	118
54	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales, estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	119
55	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Box-Cox, estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	120
56	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Ln, estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	121
57	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Box-Cox (estandarizados), estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	122
58	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Ln (estandarizados), estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	123
59	Diagramas resumen del ACP, estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: varianza-covarianza, (a) datos iniciales (b) datos iniciales transformados con Box-Cox, (c) datos iniciales transformados con Box-Cox, (d) datos iniciales transformados con Box-Cox y estandarizados, y (e) datos iniciales transformados con Ln y estandarizados...	124
60	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales, con estimación de covarianza: robusta y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	126
61	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Box-Cox, con estimación de covarianza: robusta y tipo de matriz: correlación; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	127
62	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Ln, con estimación de covarianza: robusta y tipo de matriz: correlación; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	128
63	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Box-Cox y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: robusta, y tipo de matriz: correlación; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	129
64	Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Ln y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: robusta, y tipo de matriz: correlación; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.	130
65	Diagramas resumen del ACP, estimación de covarianza: robusta y tipo de matriz: varianza-covarianza, (a) datos iniciales (b) datos iniciales transformados con Box-Cox, (c) datos iniciales transformados con Box-Cox, (d) datos iniciales transformados con Box-Cox y estandarizados, y (d) datos iniciales transformados con Ln y estandarizados...	131

ÍNDICE DE TABLAS

Nº	TÍTULO	Pág.
1	Estabilidad química aproximada de algunos minerales pesados comunes.....	9
2	Proveniencia de algunos minerales pesados comunes.....	10
3	Composición mineralógica promedio de las litologías presentes en la zona de estudio.....	25
4	Variables empleadas en el análisis multivariado.....	39
5	Prueba de normalidad de los datos iniciales.	40
6	Prueba de normalidad de los datos transformados con Box-Cox y Ln.....	40
7	Varianza explicada para los ensayos de datos transformados con Ln, estimación de covarianza regular.	47
8	Varianza explicada para los ensayos de datos transformados con Ln y Ln estandarizados, estimación de covarianza regular.	61
9	Varianza explicada para los ensayos de datos transformados con Ln y Ln estandarizados, estimación de covarianza robusta.	61
10	Rango de relaciones elementales de sedimentos provenientes de fuentes félsicas y máficas (Modificada de Yan <i>et al.</i> , 2006).....	68
11	Ubicación y descripción de los puntos de colección de muestras.....	82
12	Análisis químico en muestras de minerales pesados (INAA).....	86
13	Límite de detección de la técnica INAA y otros parámetros estadísticos.....	93
14	Variables transformadas con Box-Cox.....	96
15	Variables transformadas con Ln.....	99
16	Variables transformadas con Box-Cox, y posteriormente estandarizada.....	102
17	Variables transformadas con Ln y posteriormente estandarizada.....	105

1. INTRODUCCIÓN

Los minerales pesados son minerales accesorios de alta densidad (mayor a $2,89 \text{ g/cm}^3$) constituyentes de los sedimentos siliciclásticos (Boggs, 1992). Entre los minerales pesados más comunes se encuentran el rutilo, circón, hematita, apatito, granate, ilmenita, entre otros. Estos minerales presentan características intrínsecas que son de gran utilidad al momento de establecer la proveniencia de sedimentos y rocas.

El reconocimiento de los minerales pesados en sedimentos probablemente se inicio con la prospección de oro y otros minerales asociados a los depósitos de placeres a finales del siglo XVIII (Mange y Wright, 2007). A partir de ese momento han sido muy útiles en el área de Ciencias de la Tierra, ya que han proporcionado datos fiables por más de un siglo.

La selección de minerales pesados de sedimentos de drenajes activos, como herramienta en la determinación de proveniencia, radica en las propiedades que poseen estos minerales, debido fundamentalmente a su gran estabilidad frente a procesos que ocurren en el ambiente exógeno, como son la meteorización y transporte, por lo que mantienen las características originales del material parental (Morton y Hallsworth, 1994; 1999). Adicionalmente, éstos son de gran utilidad en el presente trabajo debido a las complejidades geológicas de la zona estudiada y por el grado de alteración que muestran los afloramientos, como consecuencias de las condiciones climáticas del área de estudio.

Las investigaciones en Ciencias de la Tierra han ido evolucionando cada vez más rápido a raíz de los nuevos avances tecnológicos. En la actualidad existen diversas técnicas de análisis químico instrumental que permiten determinar concentraciones muy bajas de elementos de una muestra en particular, tales como los sedimentos, en un corto periodo de tiempo. Esto en parte es posible gracias al bajo límite de detección de las técnicas novedosas. Todos estos avances tecnológicos han permitido que investigadores puedan determinar las concentraciones de ciertos elementos indicadores de procesos y condiciones, ayudando a establecer la proveniencia de sedimentos y rocas.

En general, las técnicas instrumentales modernas permiten el análisis multielemental, el cual suele estar conformado por un gran número de determinaciones que pueden alcanzar más de 30 elementos, aunque esto depende particularmente de los objetivos del estudio. Por otro lado, se tiene que a la hora de realizar un estudio geoquímico es importante que el mismo sea

representativo; por consiguiente, se debe tomar un número significativo de muestras. Estos dos aspectos traen como consecuencia la obtención de una gran cantidad de datos geoquímicos que frecuentemente son difíciles de interpretar a simple vista o, inclusive, aplicando técnicas de estadística descriptiva. Sin embargo, el desarrollo computacional de las últimas décadas ha permitido desarrollar técnicas de análisis multivariado, las cuales consisten en agrupar un gran número de variables con características en común, permitiendo interpretar los procesos asociados a las variables.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las determinaciones de proveniencia de sedimentos y rocas generalmente se han realizado a partir del estudio de los resistatos pesados, debido a su gran estabilidad frente a procesos que gobiernan en el ambiente exógeno, tales como la meteorización y el transporte. En un principio, predominó la determinación de proveniencia a través del estudio directo de las fases minerales pertenecientes a las fracciones de sedimentos, lo cual proporciona información certera en la mayoría de los casos. Posteriormente, a medida que fueron evolucionando las técnicas analíticas para la determinación de las concentraciones elementales en muestra geológicas, se ha optado por incorporar el estudio químico de dichas fracciones para determinar la proveniencia de los sedimentos. El presente trabajo se realizó con el segundo enfoque; es decir, se va a trabajar con un gran número de variables químicas determinadas por Garbán (2001), las cuales son difíciles de manipular e interpretar con estadística descriptiva. Es por esta razón que se utilizan técnicas de análisis estadístico multivariado.

En la actualidad, existen al menos siete técnicas diferentes que se incluyen dentro de lo que, en estadística, se conoce como análisis multivariado. Cada una de estas técnicas basan su desarrollo en un fundamento matemático particular, razón por la cual, los resultados que puedan arrojar son generalmente diferentes a pesar que los datos introducidos sean los mismos. Por otro lado, dentro de una misma técnica de análisis multivariado se puede variar la metodología, ocurriendo una situación similar a lo mencionado anteriormente. La metodología también puede depender del tratamiento estadístico de los datos iniciales, previo a la aplicación de la técnica de análisis multivariado y, a su vez, este tratamiento previo va a depender de la técnica multivariada seleccionada.

Entre las técnicas de análisis estadístico multivariado utilizadas comúnmente en el área de geoquímica se encuentran: el análisis de factores y el análisis de componentes principales. Esto probablemente son los más comunes en esta área, por ser métodos de interdependencia de datos métricos; es decir, no distinguen entre variables dependientes e independientes y su objetivo consiste en identificar qué variables están relacionadas, cómo lo están y por qué (Figueras, 2000). Por consiguiente, para el presente estudio, se plantea evaluar estos dos métodos de análisis multivariado sobre los datos químicos obtenidos del análisis de minerales pesados provenientes

de sedimentos de drenajes activos pertenecientes al área de El Grillero-Los Españoles, (Provincia de Imataca) en el estado Bolívar, Venezuela, con el fin de establecer su proveniencia.

Adicionalmente, se tiene que la zona de estudio exhibe ciertas limitaciones, como lo son las complejidades geológicas presentes, así como la presencia de afloramientos altamente meteorizados. No obstante, Garbán (2001) realizó un levantamiento general de la geología superficial del área de estudio, lo cual será utilizado como punto de partida para establecer las posibles litologías que pudieron estar aportando los sedimentos en los drenajes estudiados.

Por otra parte, a nivel mundial, se han realizados diversos estudios sobre proveniencia de sedimentos a partir de los minerales pesados presentes en éstos, donde han usado como herramientas las técnicas de análisis multivariado. No obstante, los procedimientos utilizados al momento de analizar los datos en dichos trabajos no son del todo extrapolables a este estudio, debido a las diferencias en las variables clima, meteorización y material parental. En base a todo lo antes mencionado, en este trabajo se propone llevar a cabo una comparación entre dos técnicas del análisis estadístico multivariable, con la finalidad de establecer cuál es más adecuada para la resolución de este estudio. Además, los hallazgos de este trabajo podrán colaborar con estudios futuros relacionados con la proveniencia de minerales pesados en zonas similares del país. En función a lo antes expuesto, en el siguiente apartado se plantean los objetivos del presente trabajo, los cuales permitieron realizar con éxito el mismo.

Objetivos

El objetivo principal de este estudio es realizar una evaluación comparativa de las técnicas de análisis de factores y análisis de componentes principales como herramientas en la determinación de la proveniencia de minerales pesados asociados a drenajes activos en un área de la región de Imataca, estado Bolívar. Para cumplir con éxito este objetivo se llevaron a cabo los siguientes objetivos específicos:

- Digitalizar el mapa correspondiente a la zona de estudio y ubicar las muestras a estudiar.
- Establecer los parámetros fundamentales de la estadística descriptiva de los datos geoquímicos asociados a la fracción de minerales pesados.
- Determinar y aplicar el tratamiento previo más idóneo para preparar los datos químicos iniciales antes de ejecutar las diversas técnicas de análisis multivariado.

- Aplicar las técnicas de análisis de componentes principales y análisis de factores a una serie de datos geoquímicos utilizando un grupo de paquetes comerciales de programas estadísticos.
- Evaluar el efecto de la modificación de algunos parámetros estadísticos (estandarización de datos, tipo de rotación) sobre los resultados obtenidos.
- Interpretar los resultados obtenidos en función de establecer correlaciones geoquímicas aplicables para estimar proveniencia de sedimentos.
- Establecer la proveniencia de los sedimentos y comparar con los datos existentes de geología de superficie de la zona de estudio.

3. MARCO TEÓRICO

A continuación se presenta una breve reseña bibliográfica donde se desarrollaran aspectos teóricos concernientes a la naturaleza de los minerales pesados, así como su aplicación en la determinación de proveniencia de sedimentos fluviales a través del análisis químico y las asociaciones geoquímicas.

MINERALES PESADOS

Los minerales accesorios constituyentes de los sedimentos siliciclásticos que poseen una gravedad específica igual o mayor a $2,89 \text{ g/cm}^3$ son denominados minerales pesados (Boggs, 1992).

En sus rocas parentales, los minerales pesados están presentes tanto como minerales esenciales formadores de rocas (anfíboles, piroxenos, micas) o como componentes accesorios, tales como circón, apatito, turmalinas, etc., presentándose en una amplia variedad de tipos de rocas. Los granos de minerales pesados son raramente encontrados en cantidades apreciables. Su porcentaje total raramente es mayor al uno por ciento (1%) de la roca. Para estudiarlos efectivamente ellos deben ser concentrados. Comúnmente la concentración de minerales pesados se realiza mediante la disgregación de la roca o a través de la concentración hidrodinámica de sedimentos, con ayuda de bateas cónicas. Posteriormente, son separados empleando líquidos con densidades $2,89 \text{ g/cm}^3$ (bromoformo) o $2,96 \text{ g/cm}^3$ (tetrabromoetano), debido a que sus densidades son mayores a la densidad del cuarzo y feldespato ($2,6 \text{ g/cm}^3$). La alta densidad de estos granos origina que se sumerjan en estos líquidos. Es por esto que se les denomina minerales pesados (Tucker, 2001).

La fracción de minerales pesados en sedimentos es frecuentemente conformada por diversas especies minerales, en los cuales cada grano posee su propia historia. En áreas como la petrología sedimentaria y la sedimentología, el estudio de los minerales ha sido diverso, destacando su aplicación en los siguientes tópicos (Mange y Maurer, 1992):

- a) Determinación de proveniencia: reconstrucción del tipo y ambiente donde se encuentra la roca fuente.
- b) Identificación del camino recorrido por los sedimentos transportados: esto es especialmente útil para complementar análisis de paleocorriente.
- c) Mapeo de sedimentos en patrones dispersos.

- d) Correlación en cuerpos de areniscas.
- e) Identificación de regímenes hidráulicos particulares y procesos de concentración.
- f) Localización de depósitos potencialmente económicos.
- g) Elucidación de procesos diagenéticos.
- h) Estudio de la formación de un suelo determinado.

Si bien la información (química y mineralógica) obtenida a partir del estudio de minerales pesados es de amplia aplicación, para interpretar los datos debe tomarse en cuenta diversos factores que pueden condicionar la distribución, estabilidad y acumulación de los minerales pesados, lo cual puede afectar la fiabilidad de los resultados obtenidos. Entre estos factores caben destacar los siguientes (Mange y Maurer, 1992):

- *La fisiografía y clima de la zona fuente.* Estos factores controlan ampliamente la preselección de los granos minerales durante la meteorización de la roca fuente, determinando el aporte original de minerales pesados en un sistema sedimentario.
- *Abrasión y mecanismos de destrucción durante el transporte.* Estos están relacionados con la durabilidad mecánica de los propios granos.
- *Factor hidráulico.* Esto opera durante el transporte y es controlado por las condiciones de un régimen en particular. Sus efectos traen como consecuencia un ordenamiento selectivo de acuerdo a su tamaño de grano, forma y densidad.
- *Efectos de disolución postdepositacionales.*

Los dos últimos parámetros son especialmente importantes. El factor hidráulico establece cual grano mineral va a ser depositado bajo ciertas condiciones hidráulicas, mientras que la disolución postdepositacional introduce un proceso de selección de un tipo de mineral determinado, específicamente elimina los granos minerales menos resistentes, influyendo en el ensamblaje final de un sedimento en particular. Adicionalmente, la abrasión durante el transporte parece causar insignificantes modificaciones en la asociación de minerales pesados. Por otro lado, se tiene que algunos minerales pesados tienen preferencia a asociarse a una fracción granulométrica en particular. Esto refleja su tamaño inicial en la roca parental, siendo un factor controlado principalmente por las condiciones de cristalización. La tendencia del circón a estar presente como pequeños granos es frecuentemente mencionada en este contexto. Otras especies, tales como la estauroлита, cianita, silimanita, andalusita, topacio; están asociadas a fragmentos de

mayor tamaño. Tanto el tamaño de los granos de minerales pesados como el tamaño de los sedimentos están controlados por factores que operan en ambientes depositacionales particulares; es por esto que no puede establecerse un tamaño de grano uniforme adecuado para todos los análisis de los minerales pesados. Sin embargo, Mange y Maurer (1992) llegaron a la conclusión que en caso de hacer una correlación, ya sea a escala local o regional, se debe seleccionar un tamaño de grano y un análisis similar.

Un aspecto importante al estudiar la naturaleza de los minerales pesados es su estabilidad química. A partir de estudios realizados, los investigadores han obtenido el tipo y cinética de la disolución mineral y han tratado de comprender las reacciones entre minerales y solventes, en el proceso de disolución a través de sistemas de hidrólisis extrema, gobernados por lluvias intensas y prolongadas y la conversión de un mineral en otro mineral por reemplazamiento. Aunque estas investigaciones son limitadas a condiciones superficiales, los procesos probablemente sean similares durante el soterramiento. Otro aspecto relevante es la disolución postdeposicional, ya que esto puede dificultar la determinación de la proveniencia mediante la eliminación de minerales inestables útiles para su determinación, dejando un residuo ultraestable de circón, turmalina, rutilo y, frecuentemente, apatito. En general, el comportamiento de los minerales pesados puede ser dependiente de la composición química individual de la especie mineral en cuestión. También, puede ser reflejo de los diferentes sitios geológicos y de los diferentes ambientes geoquímicos (Mange y Maurer, 1992).

Los sitios tectónicamente activos, de altos relieves, fuerte erosión y rápido soterramiento, proveen condiciones favorables para preservar la composición inicial de los sedimentos reflejando claramente la litología de la zona fuente (Mange y Maurer, 1992).

En términos generales, la estabilidad de una especie mineral en particular puede ser determinada a partir del pH del ambiente geoquímico. Sin embargo, hay que tener en cuenta otros parámetros como son el Eh y la composición iónica del fluido que está presente en los poros al hacer esta aproximación, debido a que ambos también influyen en la estabilidad de los minerales pesados. El ensamblaje de los minerales pesados parece responder diferente en ambientes extremadamente ácidos, típicos de meteorización de en ambientes lateríticos o tropical húmedo y en ambientes alcalinos, tales como suelos desérticos o asociaciones salinas con reservorios de hidrocarburos. Una vez evaluadas las condiciones locales que prevalecen en cada área de estudio se puede

establecer: el control de proveniencia o procesos de disolución que recientemente hayan sido responsables de la composición de las asociaciones de minerales pesados presentes. Este último aspecto es más fácil de reconocer en ensamblajes inestables donde, después de la disolución parcial, la presencia de patrones típicos de desgastes superficial y reliquias proporcionan una clara evidencia de las modificaciones postdeposicionales del ensamblaje. A medida que aumenta la edad o la profundidad de soterramiento, el proceso de disolución entre los estratos disminuye progresivamente y al final elimina las especies menos estables de acuerdo con su estabilidad química (Mange y Maurer, 1992).

Muchas asociaciones de minerales pesados contienen sólo minerales ultraestables (Tabla 1). La ausencia de minerales inestables en cada caso puede ser descrita por: (a) litología del área fuente (áreas con metamorfismo de bajo grado; rocas carbonáticas; sedimentos policíclicos maduros, los cuales no contienen proporciones significantes de minerales inestables); (b) pérdida predeposicional o presoterramiento (debido a meteorización química intensa en las localidades donde se encuentran relieves bajos, baja tasa de sedimentación, pedogénesis avanzada, terrenos húmedos corrosivos, (c) la disolución postsoterramiento la cual podría originar pérdida diagenética de los minerales inestables. Cualquiera de estos factores podría disgregar a los minerales inestables antes de que ellos lleguen al lugar donde posteriormente se sedimentarán (Carver, 1971).

Tabla 1. Estabilidad química aproximada de algunos minerales pesados comunes (Carver, 1971).

Estabilidad	Minerales
Ultraestable	Rutilo Circón Turmalina
Estables	Leucoxeno Moscovita Clorita Hematita (inestable bajo condiciones reductoras)
Semiestable	Apatito Monzonita Estauralita Silimanita Cianita Grupo del epidoto
Inestable	Biotita Granate Magnetita (inestable bajo condiciones oxidantes) Ilmenita Hornablenda Augita Olivino

PROVENIENCIA

El término proveniencia es derivado del verbo *provenire* en latín, que significa que va de un lado para otro u originarse. En su alcance general, el análisis de proveniencia investiga todo lo que puede ayudar en la reconstrucción de la historia litosférica de la Tierra (Weltje, 2004). En petrología sedimentaria el término proveniencia ha sido usado para agrupar todos los factores relacionados con la producción de sedimento, con su referencia específica de la composición de la roca parental, así como la fisiografía y clima del área de la cual son derivados los sedimentos (Mange y Wright, 2007).

Según Pettijohn *et al.* (1987), el análisis de proveniencia sirve para reconstruir la historia predeposicional de un sedimento o roca sedimentaria, incluyendo la distancia y dirección de transporte, tamaño y ubicación de la fuente regional, el clima y relieve de zona fuente y los tipos específicos de fuentes.

El análisis de minerales pesados es una de las técnicas más ampliamente usada como método mineralógico en estudios de proveniencia, debido a que muchos minerales son diagnóstico de una roca fuente en particular, especialmente si la información geoquímica en las especies individuales está disponible (Morton *et al.* 2000).

Adicionalmente, Pe-Piper *et al.* (2008) establece que la proveniencia es un factor clave en la determinación y reconstrucción de la paleogeografía de una cuenca sedimentaria.

Los minerales pesados son una herramienta muy útil en el caso de interpretar la litología de la roca fuente, debido a que usualmente ellos están agrupados en asociaciones genéticas tales como sedimentos reabajados, bajo y alto grado de metamorfismo, rocas ígneas félsicas y máficas y asociaciones autigénicas (Tabla 2). Aunque una severa meteorización puede modificar profundamente el ensamblaje de los minerales pesados, como ocurre en los perfiles de suelos, el efecto que tiene en la composición de las arenas de las cuencas con un moderado a rápido proceso de erosión y sedimentación es insignificante, siendo esto una característica importante a la hora de establecer la proveniencia de estos sedimentos (Carver, 1971).

Tabla 2. Proveniencia de algunos minerales pesados comunes (Carver, 1971).

Fuente de minerales pesados	Asociación
Sedimentos retrabajados	Granos bien redondeados de rutilo, turmalina, circón.
Metamorfismo de bajo grado	Biotita, clorita, esparita (granate), turmalina (especialmente pequeñas, euhedrales, cristales marrones con inclusiones de grafito).
Metamorfismo de alto grado	Actinolita, andalucita, apatito, almandino (granate), diópsido, epidoto, clinozoisita, glaucofano, hornablenda (incluyendo las variedades verde-azules).
Rocas ígneas félsicas	Apatito, biotita, hornablenda, ilmenita, monacita, moscovita, rutilo, esfena, turmalina (variedad rosada), circón, titanita, brookita.
Rocas ígneas máficas	Augita, diópsido, epidoto, hornablenda, hiperesteno, ilmenita, magnetita, olivino, oxihornablenda, piropo (granate), serpentina.
Pegmatita granítica	Apatito, biotita, casiterita, granate, monacita, moscovita, rutilo, turmalina (especialmente indicolita).
Cenizas volcánicas	Cristales euhedrales de apatito, augita, biotita, hornablenda y circón.
Minerales autigénicos	Hematita, leucoxeno, limonita, turmalina, circón, cristales euhedrales de anatasa, brookita, pirita, rutilo y esfena.

Aparte de utilizar fases cristalinas de minerales pesados en la determinación de proveniencia de rocas y sedimentos, existe como alternativa el uso de asociaciones geoquímicas elementales útiles en la inferencia de proveniencia. Esta alternativa ha tomado importancia gracias al desarrollo tecnológico en el área del análisis instrumental, convirtiéndose en una herramienta muy útil para determinar y discriminar la proveniencia de sedimentos y rocas ya que, a partir de un análisis químico de alta resolución, se puede obtener con una alta fiabilidad las concentraciones de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas, las cuales permiten inferir la proveniencia de los sedimentos a partir del carácter geoquímico de los elementos.

En geoquímica, los minerales pesados son de particular interés porque son minerales con composiciones apropiadas para análisis geoquímicos de rutina, estando más difundidos en los sedimentos (Mange y Morton, 2007).

Diversos estudios han determinado la existencia de especies químicas en particulares que están asociadas con minerales pesados portadores de información útil en proveniencia. Un ejemplo de proveniencias de areniscas empleando análisis geoquímicos es presentado por Mange y Morton (2007), al comparar las variaciones en la composición de los granates, ilustrando así, la importancia que tiene el análisis geoquímico en la determinación de proveniencias de un grupo

de areniscas (Figura 1). Sin embargo, el uso de los granates como indicadores de proveniencia de sedimentos es limitado por la baja estabilidad del granate durante la diagénesis.

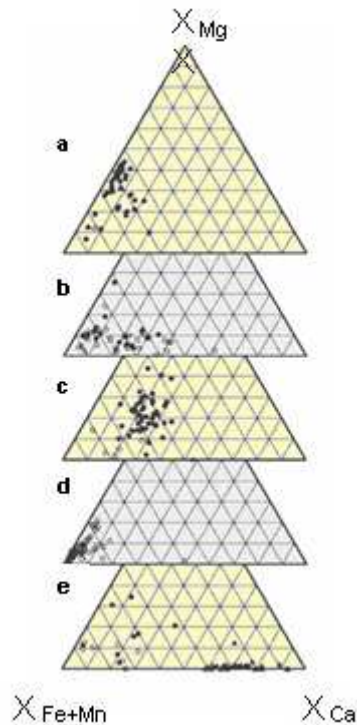


Figura 1. Variaciones en la composición de los granates. (a) Granates enriquecidos en Mg y baja concentración de Ca, metasedimentaria de metamorfismo de alto grado (facies de las granulitas). (b) Granates baja concentración de Mg y Ca variable (facies de anfibolitas). (c) Derivadas de rocas metabásicas de alto grado. (d) Granates con alta concentración de Mn, baja concentración de Mg y Ca. (e) Granates enriquecidos en Fe^{3+} y Ca derivados de rocas metabásicas de bajo grado (modificado de Mange y Morton, 2007).

Otras asociaciones geoquímicas útiles para establecer proveniencia surgen a partir de las relaciones de elementos como: el Cr, Mg y Al, los cuales son los principales constituyentes de la espinela crómica $[(Mg, Fe^{2+})(Cr, Al, Fe^{3+})_2 O_4]$. Este mineral está presente como mineral accesorio de las rocas ultramáficas y máficas, siendo un indicador petrogénico por sus características químicas particulares. Sus principales constituyentes (Cr, Mg y Al) se comportan diferente durante el fraccionamiento cristalino: el Cr y Mg están fuertemente asociados al sólido, mientras que el Al está fuertemente asociado al fundido. La partición de Mg y Fe^{2+} , de la espinela, el fundido de silicato y los minerales depende principalmente de la temperatura (Arai, 1992).

Dick y Bullen (1984) emplearon relaciones entre elementos como: $Cr/(Cr+Al)$ y $Mg/(Mg+Fe^{2+})$, comprobando que la espinela crómica es un buen indicador de peridotitas abisales y tipo alpino (Figura 2).

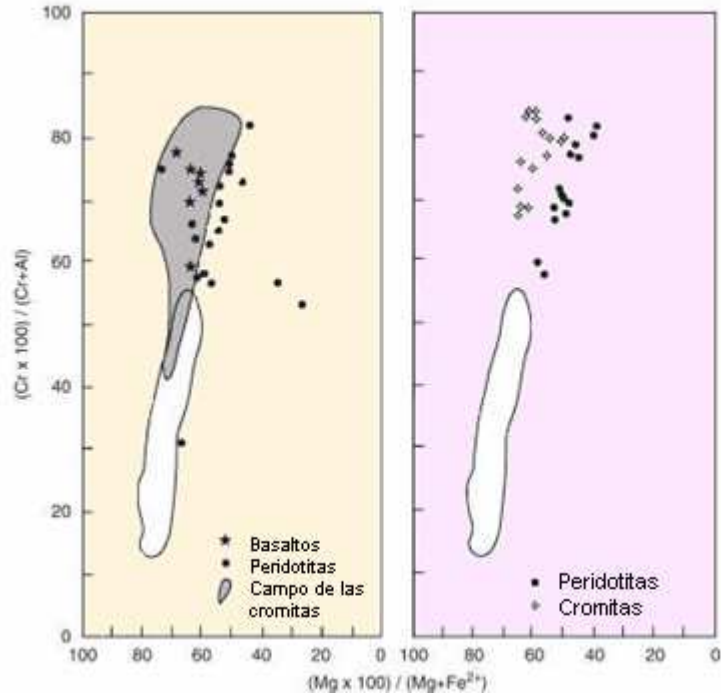


Figura 2. Relaciones de Cr y Mg que exhiben los campos composicionales de la espinela crómica de la peridotita tipo alpino (modificado de Dick y Bullen, 1984).

La geoquímica de las turmalinas proporciona un componente multidisciplinario en los estudios de proveniencia. Tal es el caso de las areniscas del cretácico del Mar de Noruega (Morton *et al.*, 2005b). Gracias a esta herramienta se logró discriminar proveniencia de tres tipos de fuentes sedimentarias (Figura 3 y 4).

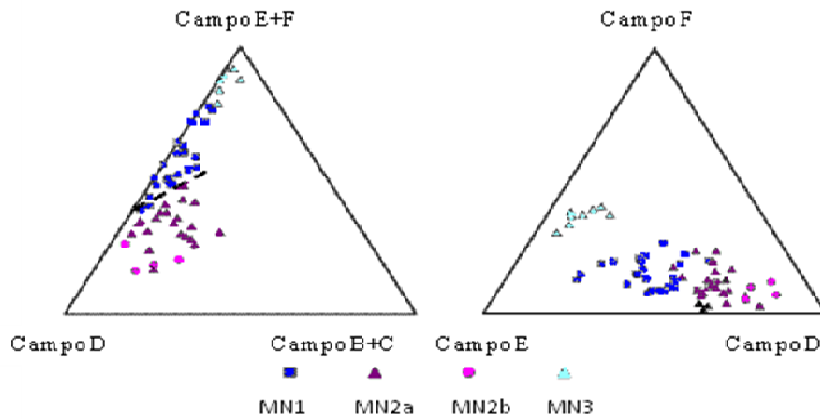


Figura 3. Discriminación de proveniencia de diferentes tipos de areniscas usando datos geoquímicos de turmalinas. MN1, MN2a y MN2b son del Mar de Noruega, mientras que MN3es deriva del Occidente de Noruega.

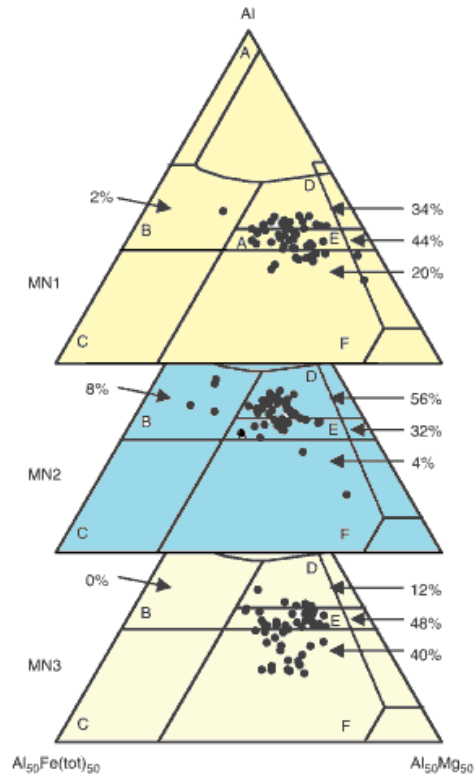


Figura 4. Discriminación de proveniencia en areniscas del Cretácico tardío, tipo MN1 (derivadas del Norte de Noruega), MN2 (derivada del Oriente de Inglaterra) y MN3 (derivadas del Occidente de Noruega) (modificado de Morton *et al.*, 2005b).

Por otro lado, Cullers (2002) empleó relaciones como Cr/V vs. Y/Ni, y Th/Co vs. La/Sc, para discriminar entre fuentes máficas y félsicas que dieron origen a lutitas cercanas a Pueblo, Colorado, EE.UU. Los diagramas propuestos por este autor se presentan en la figura 5.

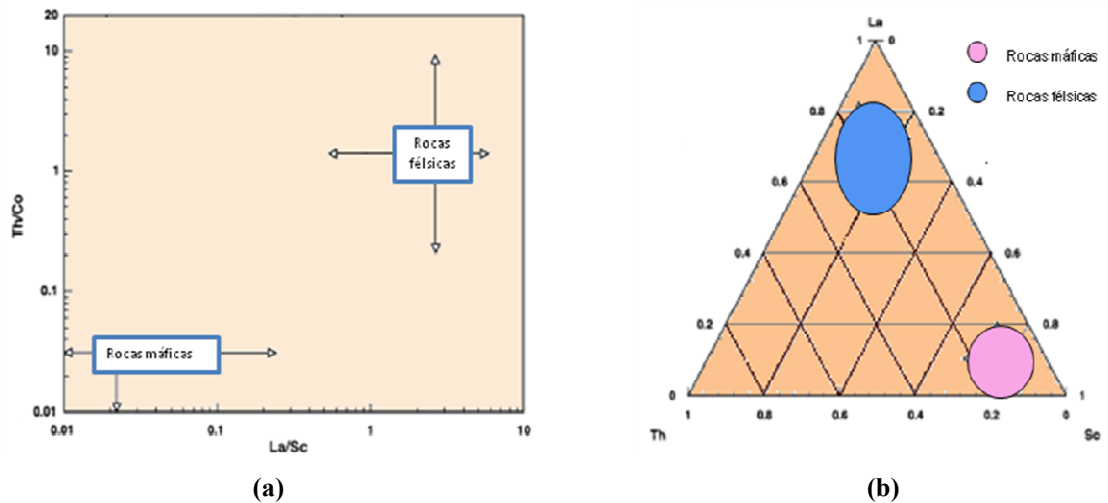


Figura 5. (a) Relaciones elementales que ayudan a determinar proveniencia de muestras geológicas de origen félsico o máfico. (b) Asociaciones geoquímicas que ayudan a determinar proveniencia de muestras geológicas de origen félsico o máfico (modificado de Cullers, 2002).

FUNDAMENTOS DE ESTADÍSTICA

La estadística, es una ciencia con base matemática referente a la recolección, análisis e interpretación de datos, que busca explicar condiciones regulares en fenómenos de tipo aleatorio. Es transversal a una amplia variedad de disciplinas, desde la física hasta las ciencias sociales, desde las ciencias de la salud hasta el control de calidad y es usada para la toma de decisiones en áreas de negocios e instituciones gubernamentales (Devore, 2001). Entre las ramas de la estadística se presentan la estadística descriptiva y la estadística multivariada.

La estadística descriptiva analiza, estudia y describe la totalidad de los individuos de una población. Su finalidad es obtener información, analizarla, elaborarla y simplificarla lo necesario para que pueda ser interpretada cómoda y rápidamente y, por lo tanto, pueda utilizarse eficazmente para el fin que se desee. Los métodos estadísticos descriptivos implican el cálculo de medidas numéricas de resumen, como medias, desviaciones estándar y coeficientes de correlación. Otros métodos descriptivos son de naturaleza gráfica: histogramas, diagramas de cajas y gráficas de dispersión (Devore, 2001).

Al utilizar un método gráfico en un estudio determinado hay que tener en cuenta el objetivo del mismo para poder determinar cuál gráfico es el más adecuado. Una herramienta muy útil en el área de geoquímica son los diagramas de cajas (Figura 6). Los diagramas de cajas son un resumen gráfico, por lo general rectangular, que describe las características principales de una población, entre ellas están: la mediana, dispersión, naturaleza y magnitud de cualquier desviación de la simetría, identificación de puntos inusuales (outliers) y valores extremos (extreme values) (Devore, 2001). Estos diagramas permiten observar la distribución de una población, proporcionando una idea cualitativa acerca de la normalidad de cierta población. También, arrojan información acerca de los posibles valores anómalos; esto es de gran utilidad en prospección geoquímica para determinar anomalías.

Para evaluar estadísticamente si una población es normal o no, se emplean comúnmente las pruebas de bondad de ajuste ji-cuadrado de Kart Pearson, Kolmogorov Smirnov (K-S), Anderson Darling (A-D), entre otras. Cada prueba tiene sus ventajas e inconvenientes. Es por esto que debe pensarse cuál es la más adecuada para la población específica de datos a estudiar considerando en que caso es recomendable cada una de estas pruebas. La prueba ji-cuadrado es recomendable para distribuciones discretas o distribuciones continuas cuando existen una gran

cantidad de datos; K-S es apropiada para distribuciones continuas y es más sensible a los valores cercanos a la mediana que a los extremos de la distribución; mientras que la prueba A-D es recomendada para distribuciones con colas pronunciadas ya que proporciona igual sensibilidad en los valores extremos (Dythan, 2003).

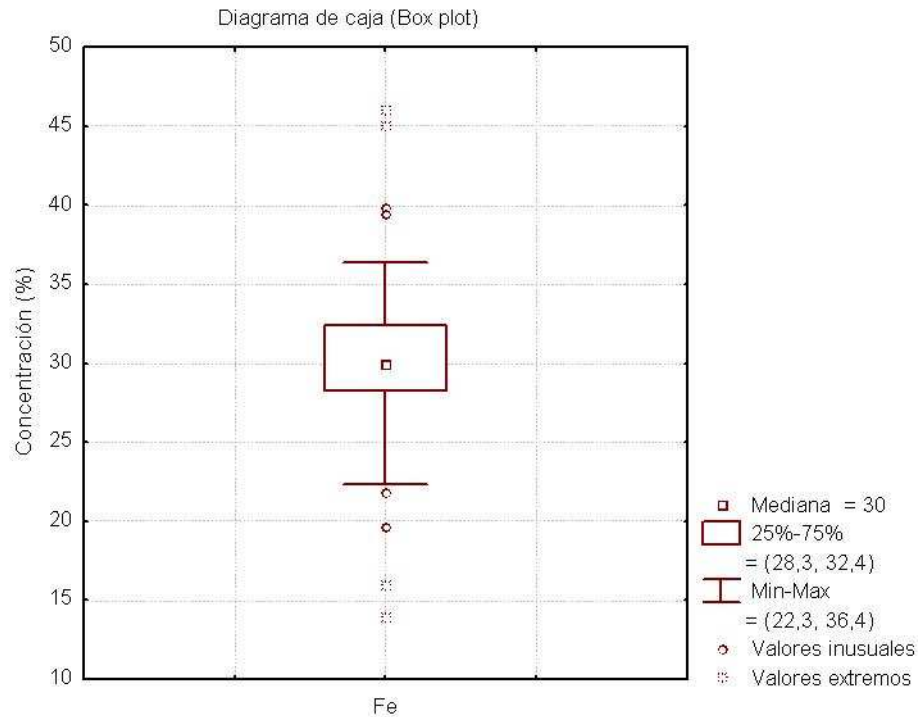


Figura 6. Diagrama de caja (box plot).

El paquete estadístico MINITAB™ (release version 13.20), el cual fue empleado para realizar el tratamiento previo de los datos, no posee la prueba ji-cuadrado de Kart Pearson, pero si tiene disponible las pruebas K-S y A-D. En la práctica, valores de $P < 0,05$; correspondientes a la prueba A-D, indican que los datos son significativamente diferentes a una distribución normal y no es aconsejable usar estadística paramétrica. Algo similar ocurre para la prueba de K-S, donde valores de P aproximado $< 0,05$ revelan que los datos son significativamente diferentes a una distribución normal y valores de $P > 0,15$ indican que no hay diferencia significativa entre los datos y una población normal (Dythan, 2003).

En general, los trabajos geoquímicos están conformados por determinaciones de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas, las cuales son expresadas en diferentes unidades de concentración como partes por cien (%), partes por millón (ppm) y partes por millardo (ppb). Esto puede convertirse en un problema al utilizar técnicas de análisis multivariado donde se

analicen todas las variables simultáneamente porque la variable con mayor varianza va a tener la mayor influencia en el resultado, debido a que la varianza es obviamente relacionada con la magnitud absoluta. Una posible solución a este problema es la denominada estandarización de los datos (Reimann *et al*, 2002). Un método de estandarización comúnmente usado es el método de media cero (0) y desviación estándar uno (1). Este método consiste en restarle a la variable (x) su promedio (μ), y dividir su diferencia entre su desviación estándar (σ), tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Sin embargo, este método de estandarización tiene poco sentido en datos geoquímicos crudos porque se conoce que esta distribución es fuertemente asimétrica. Es por esto que se debe primero transformar los datos (por ejemplo, con transformaciones logarítmicas) antes de tomar la decisión de estandarizar. Las transformaciones logarítmicas ayudan a obtener homogeneidad de la varianza.

Análisis multivariante o análisis multivariado es el conjunto de métodos estadísticos cuya finalidad es analizar simultáneamente conjuntos de datos multivariados en el sentido de que existen varias variables medidas para cada individuo u objeto estudiado. Su razón de ser radica en un mejor entendimiento del fenómeno u objeto de estudio obteniendo información que los métodos estadísticos univariantes y bivariantes son incapaces de conseguir (Figueras, 2000).

Muchas técnicas de análisis multivariado son extensiones del análisis univariantes (análisis de distribuciones de una sola variable) y del análisis bivariantes (análisis de distribuciones de dos variables). Sin embargo, otras técnicas están diseñadas exclusivamente para tratar con problemas multivariantes, tal como el análisis de factores que sirve para identificar la estructura subyacente de un conjunto de variables (Hair *et al.*, 2004).

Según Figueras (2000), los objetivos del análisis multivariado pueden sintetizarse en dos:

- 1) Proporcionar métodos cuya finalidad es el estudio conjunto de datos multivariados que el análisis estadístico uni y bidimensional es incapaz de conseguir.
- 2) Ayudar al analista o investigador a tomar decisiones óptimas en el contexto en el que se encuentre teniendo en cuenta la información disponible del conjunto de datos analizado.

Entre las técnicas más conocidas que conforman el análisis multivariado se tienen: regresión múltiple y correlación múltiple, análisis discriminante múltiple, análisis de componentes principales y análisis factorial común (o análisis de factores), análisis multivariado de varianza y covarianza, correlación canónica, análisis de cluster, análisis multidimensional y análisis de conjunto (Figueras, 2000). La figura 7, muestra un esquema de la clasificación más detallada de las técnicas multivariadas.

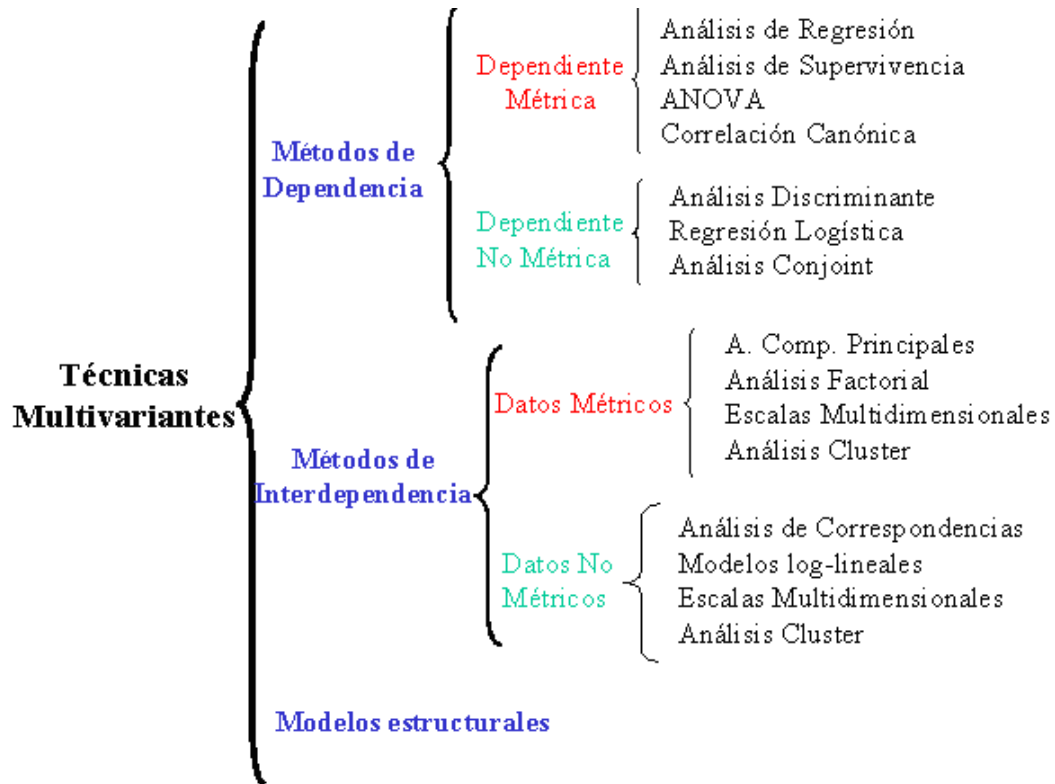


Figura 7. Clasificación de las técnicas multivariantes (Figueras, 2000).

Al establecer proveniencia de minerales se han utilizados diferentes tipos de análisis multivariados; entre los más comunes se destacan: el análisis de agrupamiento o de cluster, análisis de componentes principales y análisis de factores. Estos tres métodos forman parte de los métodos de interdependencia debido a que no distinguen entre variables dependientes e independientes y su objetivo consiste en identificar qué variables están relacionadas, cómo lo están y por qué (Figueras, 2000).

El análisis de factores (AF), el cual es una técnica del modelo factorial en el que los factores se basan en una matriz de correlación reducida. Es decir, se insertan las varianzas compartidas en la diagonal de la matriz de correlación y los factores extraídos se basan solamente en la varianza

común, con la exclusión de las varianzas específicas y de error. Esta técnica se caracteriza por examinar la estructura interna de la unidad de medida, mide si los indicadores tienen algo en común, es decir, si tienen un común denominador, mide las correlaciones entre los indicadores e intenta descubrir si hay algo subyacente. Las variables deben tener un común denominador que debe aflorar estadísticamente. La estructura subyacente o común denominador es llamado factor (Hair *et al.*, 2004).

El análisis de factores tiene un número infinito de soluciones. Una de las mayores críticas del análisis de factores es que la solución no es única. Dos investigadores pueden encontrar dos tipos de factores que se interpretan de forma muy diferente aunque los datos originales sean iguales, es aquí donde recae la importancia de conseguir las condiciones más adecuadas para un estudio en particular.

El *análisis de componentes principales (ACP)*, es una técnica del modelo factorial en el que los factores se basan en la varianza total. En el análisis de componentes principales, se emplean las unidades que aparecen en la diagonal de la matriz de correlación; este procedimiento implica, por lo que se refiere al cálculo, que toda varianza es común o compartida. Esta técnica es utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Técnicamente, el ACP busca la proyección mediante la cual los datos queden mejor representados en términos de mínimos cuadrados. En términos menos formales, puede usarse para determinar el número de factores subyacentes explicativos tras un conjunto de datos, que den cuenta de la variabilidad de dichos datos (Hair *et al.*, 2004).

Análisis de componentes principales frente al análisis de factores

El análisis de factores y el análisis de componentes principal están muy relacionados. Algunos autores consideran el segundo como una etapa del primero y otros los consideran como técnicas diferentes.

El ACP trata de hallar componentes (factores) que sucesivamente expliquen la mayor parte de la varianza total. Por su parte el AF busca factores que expliquen la mayor parte de la varianza común.

En el AF se distingue entre varianza común y varianza única. La *varianza común* es la parte de la variación de la variable que es compartida con las otras variables, mientras que la *varianza única* es la parte de la variación de la variable que es propia de esa variable. El ACP no hace esa

distinción entre los dos tipos de varianza. Se centra en la varianza total. Mientras que el ACP busca hallar combinaciones lineales de las variables originales que expliquen la mayor parte de la variación total, el AF pretende hallar un nuevo conjunto de variables, menor en número que las variables originales, que exprese lo que es común a esas variables.

El AF supone que existe un factor común subyacente a todas las variables, el ACP no hace tal suposición.

En el ACP, el primer factor o componente sería aquel que explica una mayor parte de la varianza total, el segundo factor sería aquel que explica la mayor parte de la varianza restante, es decir, de la que no explicaba el primero y así sucesivamente. De este modo sería posible obtener tantos componentes como variables originales, aunque esto en la práctica no tiene sentido.

MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio relacionada con este trabajo está localizada dentro del Escudo Guayanés venezolano, específicamente en la Provincia de Imataca (Garbán, 2001). En esta sección se mencionarán las características más importantes del Escudo Guayanés venezolano y de la provincia antes mencionada.

En Suramérica las rocas pertenecientes al Sistema Precámbrico se encuentran primordialmente concentradas en los escudos Brasileños y de Guayana, separadas entre sí por la Cuenca del Amazonas, expresión de una geofractura profunda que se proyecta a más de 700 km en la corteza (González *et al.*, 1980).

El Escudo de Guayana tiene forma oval y su expresión septentrional se encuentra en Venezuela al Sur del curso del Orinoco, mientras que su parte meridional se adentra en Colombia, Brasil, Guayana, Surinam y Guayana Francesa. La parte venezolana está conformada por rocas arqueozóicas y proterozóicas de muy diversas litologías, alteradas en mayor o menor escala durante una serie de episodios geotectónicos mayores (González *et al.*, 1980).

Sobre la base de caracteres petrológicos y tectónicos, el escudo ha sido dividido en Venezuela en cuatro provincias, conocidas como: Imataca, Pastora, Cuchivéro y Roraima. Estas provincias se diferencian en sus direcciones estructurales, estilos de deformación tectónica, asociaciones litológicas y metalogénicas y edades (González *et al.*, 1980).

Provincia de Imataca

La Provincia de Imataca está situada en el extremo Norte de la Guayana venezolana y ocupa una faja angosta entre el río Caura al Oeste y el estado Delta Amacuro al Este (Figura 9). En general, se considera que la Provincia de Imataca está representada en la actualidad por un conjunto de metasedimentos y gneises graníticos plegados en forma compleja y posteriores intrusiones de granitos. Las edades más antiguas detectadas en rocas de la Provincia de Imataca alcanzan valores entre 3500-3600 m. a., que pueden corresponder a la edad del protolito. Estas rocas han sido plegadas, inyectadas por material granítico y parcialmente asimiladas, migmatizadas durante el evento tectotermal de alrededor de 2800 m.a. y posteriormente afectadas por la orogénesis Transamazónica, de alrededor de 2100 m. a., durante la cual se produjeron intrusiones graníticas (González *et al.*, 1980).

Aunque el origen de las rocas que constituyen esta provincia ha sido motivo de controversias, la idea más difundida considera a estas rocas como un conjunto original de rocas silíceas de composición calco-alkalina, con algunos episodios máficos y asociaciones menores de sedimentarias y cuarcitas ferruginosas o formaciones de hierro (González *et al.*, 1980).

Las rocas que componen la Provincia de Imataca, afloran en la parte Norte del estado Bolívar, al Este del río Caura y paralelamente al río Orinoco hasta penetrar en el estado Delta Amacuro y, hasta ahora, representan las rocas más antiguas del escudo. Entre las litologías características del complejo se encuentran los gneises félsicos y máficos, intercalados con capas de cuarcitas ferruginosas, granulitas y cuerpos delgados interestratificados con las rocas graníticas. También, existen desarrollos delgados de mármol dolomítico. En toda la provincia las rocas leucocráticas predominan y constituyen aproximadamente el 80% de la unidad, los gneises máficos constituyen el 10% de la secuencia y el resto lo componen los gneises graníticos y escasas anfibolitas.

Las formaciones de hierro y las cuarcitas calco-silicatadas son metasedimentarias y existen evidencias que indican un origen similar fue para los gneises biotíticos. Las dos secuencias principales formadas por las granulitas félsicas y máficas, están separadas por la zona de falla Gurí-Ciudad de Piar (rumbo SO-NE) de los gneises graníticos y anfibolitas (González *et al.*, 1980).

La edad del protolito de Imataca ha sido estimada mediante las determinaciones radiométricas por métodos Rb/Sr y U/Pb roca total, como correspondiente a 3500-3600 m. a. La Provincia de Imataca ha sufrido varios periodos orogénicos, definidos mediante determinaciones radiométricas en diversas

muestras a diferentes niveles de la secuencia. Los principales eventos están marcados en las rocas de Imataca en alrededor de 2700 m. a., en gneises y migmatitas como La Ceiba y alrededor de 2100 m. a., en un conjunto de pequeños plutones graníticos expuestos principalmente a lo largo del borde Norte de la región de afloramientos de Imataca (González *et al.*, 1980).

Ratmiroff (1965), en su estudio del Cuadrilátero de Upata, deduce que los principales eventos geológicos en la provincia son (Léxico estratigráfico, 2008):

- 1) Sedimentación de grauvacas y flujos basálticos en un ambiente geosinclinal.
- 2) Litologías menores, también intercaladas en las secuencias, fueron lutitas calcáreas, lutitas carbonáceas y formaciones de hierro.
- 3) Deformación y metamorfismo del conjunto bajo condiciones de P-T de la facies granulítica y metasomatismo potásico parcial de las meta-grauvacas.
- 4) El emplazamiento del material granítico debió producirse al final de los principales eventos de deformación.
- 5) Emplazamiento de los diques de diabasas.

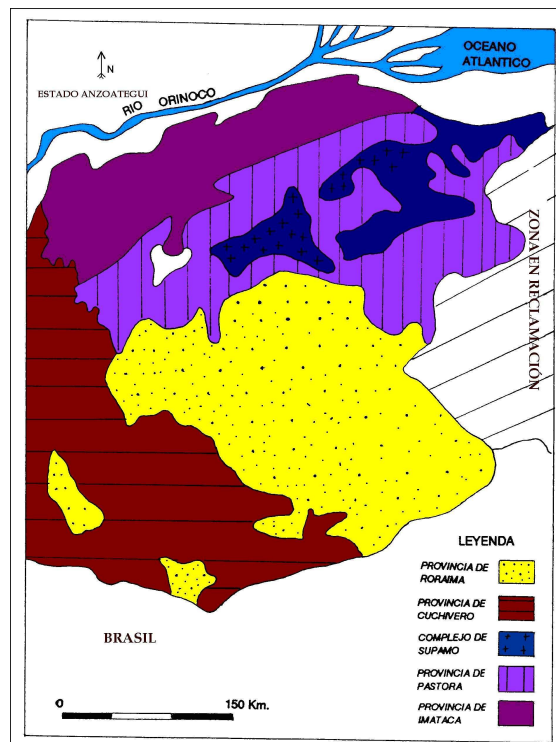


Figura 8. Escudo guayanés venezolano (tomado de Garbán, 2001).

Ocurrencias mineralógicas en el escudo guayanés venezolano

Más de 450 minas, prospectos y ocurrencias minerales han sido documentados en el Escudo Guayanés venezolano, de las cuales más de 200 son de oro. Entre la información recopilada se encuentra más de 100 minas y ocurrencias de diamantes, 14 depósitos y prospectos de hierro y manganeso, 35 depósitos de formaciones bandeadas de hierro y 40 ocurrencias de bauxita. Otras ocurrencias minerales reportadas incluyen Mn, Sn aluvial, Ti, barita, caolín, dolomita, arenas y gravas, Mo, U, minerales de tierras raras, y W (Cox *et al.*, 1991).

Cox *et al.* (1991) realizaron estimaciones obteniendo un 50% de probabilidad de encontrar otros 40 depósitos con una media de 30000 toneladas métricas de mena. También, estudiaron la presencia de un cuerpo carbonatita intrusivo (Cerro Impacto) presente en el Escudo de Guayana venezolana, del cual se calcula que hay al menos un 50% de probabilidad de encontrar cinco o más cuerpos de carbonatita con un tonelaje medio de Nb y elementos Tierras Raras, con zonas de alrededor de 60 millones de toneladas. También, estiman que hay un 50% de probabilidad de que 26 o más depósitos de hierro posean un tonelaje de mena promedio de 170 millones de toneladas. No pudieron hacer estimaciones cuantitativas para otros tipos de depósitos debido a la falta de información detallada, como mapas de reconocimiento geoquímico que muestren la distribución de elementos incluyendo Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Be, Nb, Ba, y elementos Tierras Raras y, por la falta de datos geofísicos del Sur y Noroeste y partes del escudo. Otro inconveniente que presentaron fue la falta de mapas geomorfológicos regionales.

Por otro lado, se tiene que la Provincia de Imataca tiene una importancia económica principalmente por su mineralización de hierro, caolín, manganeso y bauxita, así como también para la industria de la construcción como piedra picada (agregado para concreto, balastro, etc.) y rocas ornamentales (pisos, fachadas, columnas, etc., Léxico estratigráfico, 2008).

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio está comprendida entre los caseríos de El Grillero-El Café, estado Bolívar, ubicándose a unos 30 km al Sureste de Ciudad Piar, Distrito Héres, estado Bolívar, específicamente entre los cuadrantes de coordenadas UTM [E 488.000 – N 816.000] y [E 496.000 – N 816.000], y [E 488.000 – N 812.000], [E 496.000 - N 812.000], zona 20. Las poblaciones principales de la zona las constituyen los caseríos de El Grillero, Los Españoles y El Café (Figura 9).

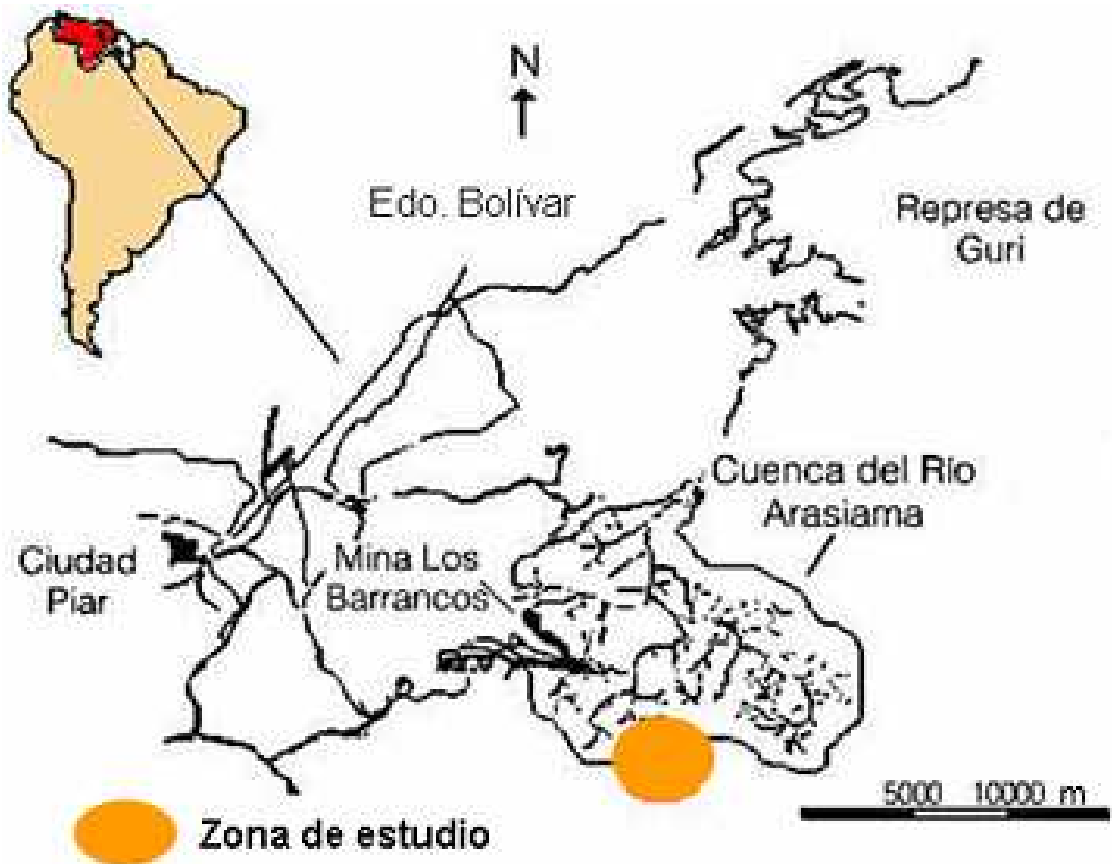


Figura 9. Ubicación de la zona de estudio.

La mayor parte del área está constituida por sabanas y terrenos que constituyen el pie de monte de la serranía de Las Adjuntas. El cerro de Las Adjuntas, cuerpo montañoso de altura aproximada de 670 msnm, constituido principalmente por anfibolitas y gneises. Por otra parte, la mayoría de los terrenos planos de la zona están interrumpidos por montículos de cuerpos gnéisicos o anfibolíticos de poca elevación.

El desarrollo del drenaje del área se caracteriza por un drenaje dendrítico de una considerable densidad. Los drenajes más importantes están constituidos por el río El Catire y las quebradas Los Brinquitos y Chaparrillal.

Si bien los afloramientos en la zona de estudio presentan un alto grado de meteorización, es posible distinguir tres tipos litológicos característicos. Uno de ellos está constituido por gneises cuarzo-microclínicos-biotíticos, los cuales presentan colores de blanco a rosado (dependiendo de la concentración de ortosamicroclino), con un buen bandeamiento y tamaño de grano medio. Muestran presencia de trazas de piroxenos y anfíboles, variando la concentración de éstos a lo largo del área estudiada. El otro grupo litológico, se encuentra constituido por gneises cuarzo-

plagioclásicos-biotíticos, los cuales muestran características similares a los gneises antes descritos, pero con una disminución en el índice de color, debido a la menor concentración de minerales ferromagnesianos. Finalmente, Garbán (2001) caracterizó el grupo constituido por anfibolitas y granulitas anfibolíticas, las cuales muestran una coloración verde oscura y presentan una buena foliación; la composición mineralógica se caracteriza por la presencia de hornablenda, plagioclasa cálcica, cuarzo y epidoto.

Adicionalmente a las tres litologías distinguibles, se presentan diques de pegmatitas graníticas y vetas de cuarzo, asociadas principalmente a los cuerpos gnéisicos. El espesor de los diques varía entre 10 y 40 cm aproximadamente, éstos presentan megacristales de cuarzo, feldespato potásico (principalmente microclino) y granate almandino. Asociado a los cuerpos anfibolíticos, se presentan diques pegmatíticos que, en su mayor extensión, se encuentran intensamente meteorizados (Tabla 3).

Tabla 3. Composición mineralógica promedio de las litologías presentes en la zona de estudio (Garbán, 2001).

Litología	Composición mineralógica promedio
Gneises cuarzo-plagioclásico-biotítico	40 % Plagioclasa sódica 25 % Cuarzo 25 % Ortosa 5 % Biotita 5 % Epidoto, magnetita, circón
Gneises cuarzo-microclínicos-biotíticos	30 % Microclino. 20 % Cuarzo. 20 % Ortosa. 10 % Biotita. 15 % Plagioclasa. Mineral accesorio: clinopiroxeno.
Anfibolitas	45 % Hornablenda. 25 % Plagioclasa cálcica. 10 % Ortosa y microclino. 15 % Cuarzo. 5 % Epidoto. Los minerales opacos se encuentran constituidos principalmente por pirita.
Pegmatitas graníticas	40 % Microclino. 25 % Plagioclasa sódica. 30 % Cuarzo. 5 % Granate almandino. 1 % Minerales opacos no identificados.

4. ANTECEDENTES

Este capítulo se presenta la revisión de los artículos y trabajos, internacionales y nacionales, los cuales enmarcan dentro de sus objetivos, estudios de proveniencia a través de minerales pesados, así como trabajos de análisis multivariado aplicado al área de Ciencias de la Tierra.

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

A nivel internacional se han realizados numerosos trabajos en la determinación de proveniencia a partir de minerales pesados. En las últimas décadas, a medida que fue avanzando la tecnología computacional se ha incrementado el uso de las técnicas de análisis mutivariante en el área de Ciencias de la Tierra, incluyendo el área de la geoquímica, como una herramienta de tratamientos de datos.

Briggs (1965), correlacionó minerales pesados, procedentes de muestras de sedimentos fluviales, para determinar la proveniencia de los mismos. En su trabajo separó a los minerales pesados de los livianos (cuarzo y feldspatos), aplicó funciones teóricas de distribución de ambas fracciones, realizó estudios del equivalente hidráulico de los minerales y comparó la separación modal de las muestras con un modelo teórico basado en la gravedad específica y la forma de los granos. A través de todos estos ensayos y mediante el análisis multivariado él estableció la proveniencia de los sedimentos y encontró que el análisis de componentes principales y la rotación Varimax fueron particularmente útiles en este estudio.

Morton *et al.* (2000) evaluaron la proveniencia de areniscas del Carbonífero mediante el análisis de minerales pesados y estudios isotópicos. El primero fue para delimitar la zona fuente dentro de una región ya establecida por trabajos anteriores y, el segundo, para identificar y caracterizar la contribución de sedimento de otras áreas y obtener límites en la naturaleza y localización de dichas fuentes. Los investigadores obtuvieron que la combinación de ambas técnicas, en el análisis de los datos de la edad de los circones, son un poderoso y efectivo método de distinción y caracterización en la proveniencia de sedimentos, debido a que proporcionan una información certera de la proveniencia de los sedimentos carboníferos de la cuenca Penine.

Reimann *et al.* (2002) aplicaron estadística descriptiva y análisis de factores a un conjunto de datos geoquímicos regionales constituidos por muestras de suelos, de las cuales analizaron más de 50 elementos. Éstas fueron usadas con la finalidad de evaluar la influencia de las diferentes

variantes del análisis de factores en los resultados extraídos. Entre los resultados obtenidos, se tiene que el análisis de factores revela más datos interesantes a mediada que el número de variables introducidas era menor y la representación gráfica de los resultados del AF solapados con mapas geológicos les permitió ver resultados interesantes, de la proveniencia de las muestras, de una manera rápida. Hicieron además algunas sugerencias al trabajar con datos geoquímicos, como separar los valores anómalos del conjunto de datos y tratarlos aparte.

Pe-Piper *et al.* (2008) realizaron un estudio en el cual evaluaron la efectividad del enfoque geoquímico en la identificación de proveniencia en una cuenca, donde las diferentes fuentes litológicas no muestran un fuerte contraste geológico. Los datos obtenidos, mediante el análisis químicos de núcleos convencionales, fueron analizados con ACP para evaluar la hipótesis de tres fuentes discretas sugeridas por el modelo petrológico. El ACP no reveló una fuerte característica geoquímica distintiva que pudiese relacionar a una fuente en específico. Esto probablemente se deba a que, en situaciones geológicas donde las fuentes son similares, la variabilidad debido a la diagénesis, tamaño de grano y ordenamiento hidráulico pueden enmascarar las características distintivas y los procesos que geoquímicamente deben ser evaluados.

ANTECEDENTES NACIONALES

En Venezuela se han realizados diversos estudios involucrados con minerales pesados por su gran importancia en el área de Ciencias de la Tierra, específicamente en la determinación de proveniencia. También, se han empleados técnicas del análisis multivariado como herramienta en la manipulación de los resultados y se han obtenidos interpretaciones mas precisas. A continuación se citan algunos trabajos relacionados con los minerales pesados, proveniencia y la aplicación de las técnicas de análisis multivariado en el área de Ciencias de la Tierra.

Torres (1984) llevó a cabo un estudio textural, granulométrico y mineralógico con muestras de preconcentrados de batea tomadas en la hoya hidrográfica del río Paragua. Los resultados arrojaron que los minerales livianos (cuarzo), corresponden a arenas medias y están moderadamente escogidos. Por otro lado, los minerales pesados corresponden a arenas finas y están formados por una fase mineral correspondiente a una ilmenita alterada (ilmenorutilo o pseudorutilo); en una proporción mucho menor fue encontrado el circón (1-2%). La proporción visual de los minerales pesados, con respectos a los livianos, indicó que lo primeros están entre 0

y 10%. A partir de los resultados pudo establecer que la cuenca del río Carún es significativamente diferente a la cuenca del río Paragua, desde el punto de vista geoquímico.

Rodríguez (1984) llevó a cabo la caracterización geoquímica de los resistatos pesados de la cuenca del río Paragua, estado Bolívar, lo cual le permitió indicar que en la zona del bajo y medio Paragua los resistatos pesados están constituidos principalmente por ilmenorutilo y circón, siendo los minerales accesorios rutilo, anatasa y la variedad ilmenítica magnesiana (considerada un trazador de cuerpos kimberlíticos). Además, la autora halló que el tamaño de los resistatos pesados provenientes del río Paragua poseen un tamaño de grano de arena fina a muy fina, los cuales están moderadamente bien escogidos.

Menéndez (1992) separó fracciones magnéticas y no magnéticas de los minerales pesados de los ríos Paragua, Antabará y Carún del estado Bolívar. Al realizar la separación llegó a la conclusión de que la separación magnética de las muestras de minerales pesados de un ambiente tropical lluvioso es un método de gran utilidad en la prospección geoquímica, debido a que permite distinguir con facilidad ciertos elementos trazas como el Sn, U, Th, La, Nb, Sr e Y presentes en los minerales pesados; permitiendo encontrar una mineralización, un depósito mineral o un yacimiento. Por otra parte, estableció que las muestras provenientes del río Antabará son diferentes composicionalmente a las muestras de los ríos Paragua y Carún, las cuales están constituidas básicamente por ilmenita, ilmenorutilo, circón y cuarzo.

Garbán (1999) realizó un estudio geoquímico de los minerales pesados en el área de Santa Bárbara-San Isidro-El Grilleró, estado Bolívar, con la finalidad de detectar posibles mineralizaciones auríferas y observar la relación que guardan éstas con las distintas litologías presentes en el área. Mediante este trabajo el autor llegó a proponer 2 poblaciones distinguibles de minerales pesados, una correspondiente a las características las anfibolitas-gnéises-cuarzo-feldespático-piroxénicos y, otra, que responde a las características de una litología cuarzo ferruginosa mediante el uso del análisis multivariable.

Posteriormente, Garbán (2001) llevó a cabo un estudio de anomalías de Ta en el área de El Grilleró-El Café, estado Bolívar, a través de muestras de resistatos pesados en sedimentos de corriente, suelos y rocas. A partir de los valores de fondo locales de 300 ppm de Ta, el propuso el área estudiada como una zona anómala en concentraciones de Ta. Por otro lado, encontró que

los diques pegmatíticos constituyen los cuerpos mineralizados de Ta y confirmó la presencia de anomalías auríferas, no coincidentes con las anomalías de Ta, en el área estudiada.

Herrera (2004), realizó una caracterización geoquímica de los minerales pesados tomados en drenajes sedimentológicamente activos de la cuenca del río Aro, a partir de la fracción granulométrica 177-250 μm de 7 muestras de minerales pesados provenientes del río Aro y sus afluentes. Los minerales pesados de esta fracción fueron concentrados a través de un método hidrodinámico y posteriormente separados, según sus susceptibilidades magnéticas. La finalidad de todo esto fue generar información sobre su distribución, textura y composición mineralógica. Entre los resultados obtenidos, estableció que la fracción no magnética constituye aproximadamente un 6% de la fracción estudiada y que es una fracción de gran potencial para la búsqueda general de yacimientos minerales.

Franco (2006) estudió tres muestras de sedimentos superficiales mediante la técnica de tamizado en húmedo, con el fin de realizar el estudio de los minerales pesados en las facies sedimentarias propuestas por estudios previos. Realizó una identificación de minerales pesados encontrando: circón, epidoto, berilo, clinocloro, ilmenita, anatasa y rutilo, en las facies de fango de la plataforma somera. También, identificó los minerales de las facies de los carbonatos y en las arenas transgresivas basales. Dichos minerales tienen mayor influencia local proveniente del río Orinoco con respecto al Amazonas y son distribuidos perpendicularmente a la línea de costa.

Méndez (2006) analizó 86 muestras de rocas colectadas a diferentes alturas estratigráficas dentro de la formación Pecaya, Cuenca Central de Falcón, para efectuar un estudio quimioestratigráfico de la unidad, con el propósito de evaluar la composición y las variaciones en la roca fuente de los sedimentos que le dieron origen. Por medio de la estadística multivariada, estableció tres asociaciones geoquímicas distintas (redox-carbonatos, clásticos arenosos y clásticos arcillosos), considerando para el análisis de proveniencia los dos últimos, definidos por los elementos: Na, Ce, Y, K, Th, Sc, V y Al. Además, empleó gráficas como: Cr/V vs. Y/Ni, Th/Co vs. La/Sc, entre otros, mediante las cuales infirió que la fuente de sedimentos presenta afinidad con una composición metamórfica con aporte félsico, sugiriendo a Los Andes venezolanos como una posible fuente de sedimentos.

Abreu (2007) identificó y cuantificó los minerales pesados provenientes de sedimentos fluviales de la cuenca del río Caroní, estado Bolívar. A través de su estudio logró establecer que las zonas

de Sabanita de Antabará y San Salvador de Paúl tienen una abundancia de minerales pesados en los sedimentos de 300-2800 mg/Kg y que están constituidos principalmente por ilmenita, magnetita y hematita (fracción magnética); y por circón, rutilo, ilmenita, anatasa, casiterita, monacita, oro y diamante en la fracción no magnética. En este sentido, obtuvo que la fracción magnética constituye más del 50% del total de los minerales pesados y la fracción no magnética posee una abundancia entre 9-826 mg/Kg.

5. METODOLOGÍA

El presente trabajo se llevó a cabo a partir de datos geoquímicos obtenidos mediante el estudio de los sedimentos de drenajes sedimentológicamente activos realizado por Garbán (2001), en la zona de Chaparrillal-El Café-El Grillero, estado Bolívar. En esta sección se describe el muestreo y análisis químicos que dieron origen a los datos geoquímicos a tratar y se planteará la metodología del presente trabajo.

MUESTREO

El trabajo de campo consistió principalmente en recolectar sedimentos provenientes de drenajes activos. Los drenajes colectados fueron quebradas de orden uno y dos (en base a mapas topográficos 1:25.000), específicamente aquellas pertenecientes a la zona de Chaparrillal-El Café-El Grillero, estado Bolívar. El muestreo se basó en la recolección de concentrados a batea de minerales pesados (de 50-250g). El factor de concentración (peso inicial/peso de concentrados pesados) varió entre 10 y 20. La fracción granulométrica que se concentró a batea fue aquella menor a 1 cm; adicionalmente, en cada sitio de recolección de muestras, se tomó una fracción de sedimentos con granos mayores a 1 cm, con la intención de identificar en campo los minerales presentes (Garbán, 2001).

La recolección de sedimentos se llevó a cabo acorde con los siguientes criterios (Garbán, 2001):

- a) La toma de muestras se realizó en sistemas sedimentológicamente activos.
- b) Se consideró el orden de los ríos y quebradas, según los mapas topográficos a escala 1:25.000.
- c) Las muestras se tomaron con una densidad de aproximadamente 1 muestra por cada 50-100 m a lo largo del curso de agua.

En total se recolectaron 103 muestras de concentrados de batea, rotuladas como P-1 hasta P-103 (Garbán, 2001). Todas las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas con cierre hermético, previamente rotuladas. Aunque, inicialmente se colectaron 103, durante el presente trabajo se trabajó sólo con 94 de las muestras colectadas (Apéndice 11.2).

ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS

Al igual que el muestreo, el análisis químico de las muestras fue realizado por Garbán (2001). A continuación se realizará una breve descripción de los procedimientos seguidos para lograr las determinaciones químicas.

Las muestras de minerales pesados (previamente concentradas a batea en campo), fueron lavadas con agua destilada y posteriormente secadas al aire durante 48 horas. Posteriormente, se procedió a tamizar cada muestra separándolas en dos fracciones granulométricas, una correspondiente a sedimentos $> 300\mu\text{m}$ y la otra a sedimentos $< 300\mu\text{m}$ (malla 48). Con el fin de separar los minerales pesados (densidad específica mayor a $2,89 \text{ g/cm}^3$) de aquellos que no lo son, se tomaron aproximadamente 50 g de muestra de la fracción granulométrica $< 300\mu\text{m}$ y se colocaron en un embudo de separación, el cual contenía 50-60ml de bromoformo (CHBr_3). Seguidamente se agitó la mezcla y se separó la fracción decantada (fracción de minerales pesados) de aquella que quedó suspendida en el bromoformo. Esta operación se repitió dos veces más para cada una de las muestras. Después de la separación, las muestras fueron lavadas con metanol, con el fin de eliminar cualquier rastro de bromoformo remanente. Una vez secas las muestras, se procedió a separar, con la ayuda de un imán de mano, la fracción fuertemente magnética de la fracción no magnética.

Para el análisis químico de los minerales pesados, se pesaron aproximadamente 25 g de muestra pertenecientes a la fracción granulométrica $< 300\mu\text{m}$, previamente tratadas. Las muestras fueron analizadas por la compañía Activation Laboratories LTD, en Ontario, Canadá. El método utilizado por la compañía para el análisis de los minerales pesados fue el de análisis instrumental por activación neutrónica (INAA). Este método multielemental, no destructivo, permite obtener bajos límites de detección y confiabilidad en los datos obtenidos. Para confirmar la repetibilidad del método, se incluyó una misma muestra (P-14) cuatro veces.

El paquete analítico seleccionado incluyó el análisis de los siguientes elementos: Au, Ag, As, Ba, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, Hf, Hg, Ir, Mo, Na, Ni, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, Ta, Th, U, W, Zn, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu (Apéndice 11.2). Los límites de detección del método se encuentran en el orden de las partes por millón (ppm), e incluso para elementos como el Au, se reduce al orden de las partes por millardo (ppb).

La matriz de datos a tratar en este estudio estará conformada por 94 muestras de minerales pesados pertenecientes a sedimentos de drenajes activos, a las cuales se les determinó la concentración de 34 elementos químicos.

6. PARTE EXPERIMENTAL

UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

A partir de las coordenadas geográficas del muestreo y la geología general reportada por Garbán (2001), se procedió a ubicar las muestras en la zona de estudio mediante la digitalización de un mapa topográfico de escala 1:25.000 y con la ayuda del programa Surfer 8.0 (Figura 10). De manera más detallada se presentan las coordenadas UTM para cada uno de los puntos de toma de muestras en el apéndice 11.1.

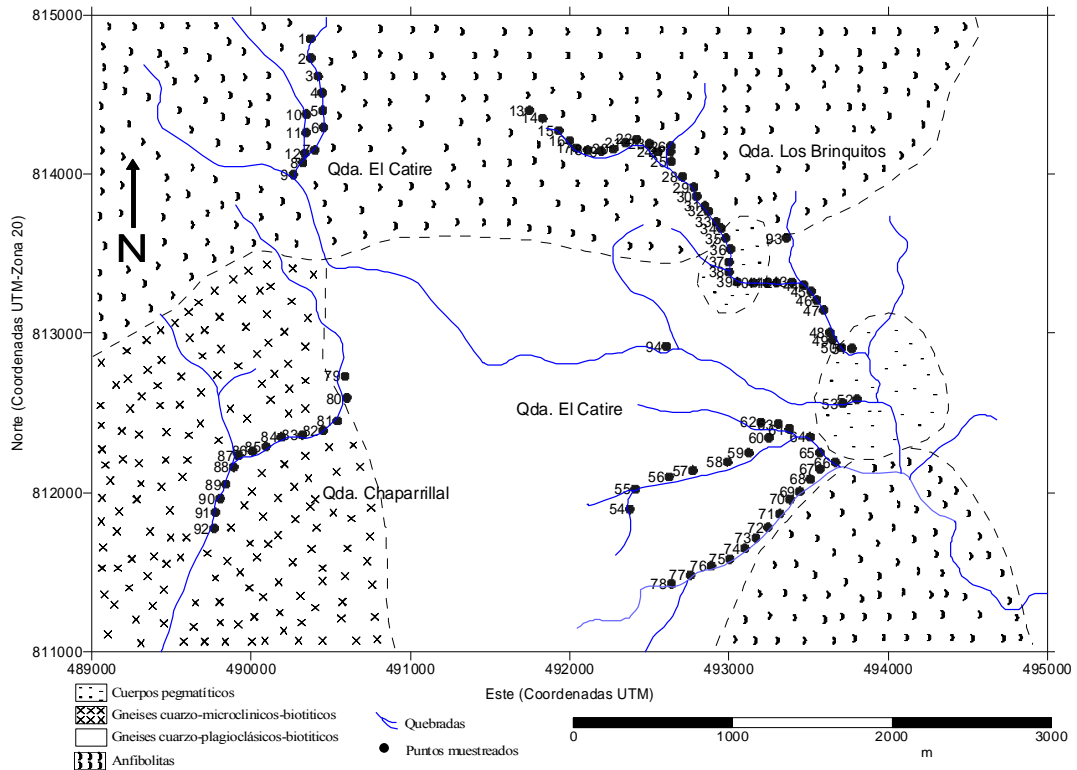


Figura 10. Ubicación de las muestras en la zona de estudio.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para determinar la estructura de los datos y correlación o similitud de las variables, se realizó un análisis estadístico descriptivo a toda la matriz de los datos. En primera instancia, se realizó una análisis exploratorio de los datos, a través de las cajas gráficas para observar los valores anómalos, la media, mediana y los cuartiles de todas las variables (Apéndice 11.3).

Al observar detalladamente las variables determinadas en el análisis químico, se pudo apreciar que, en muchas muestras, no se detectaron todas las variables químicas. Para tratar de compensar esta limitante se procedió a realizar una aproximación denominada redondeo de ceros, el cual consistió en sustituir los valores no detectados por $2/3$ del límite de detección en aquellas variables que tuviesen $\leq 10\%$ muestras con valores por debajo del límite de detección (Sandford *et al.*, 1993; Fernández *et al.*, 2003), mientras que en las variables que tuviesen un número de muestras entre $>10\%$ y $\leq 25\%$ con concentraciones por debajo del límite de detección, se sustituyeron los valores no detectados por $1/2$ del límite de detección (Reimann *et al.*, 2002). Las variables que poseen más de 25% de las muestras con concentraciones por debajo del límite de detección no se tomaron en cuenta al aplicar el análisis multivariado, debido a que presentan una gran incertidumbre que pueden distorsionar los resultados de un análisis multivariado determinado (Fernández *et al.*, 2003).

Las pruebas estadísticas de análisis multivariados suelen ser muy sensibles en presencia de datos cuya distribución no es normal (Reimann and Filzmoser, 2000; Reimann *et al.*, 2002). Tal es el caso de los conjuntos de datos provenientes de sistemas naturales, como los datos geoquímicos. Por esta razón, se aplicaron pruebas estadísticas para determinar la normalidad de la distribución de los datos tales como la prueba Kolmogorov-Smirnov (K-S) y la prueba de Anderson Darling (A-D), a los datos iniciales. Posteriormente, mediante transformaciones Box-Cox y Ln, se intentó normalizar las variables, seguido por una estandarización de los datos a través de la transformación media a cero (0) y desviación estándar a uno (1). Cabe destacar, que las pruebas de evaluación de normalidad antes mencionadas se aplicaron después de las transformaciones Box-Cox y Ln y luego de la estandarización; todo esto se realizó mediante el programa estadístico MINITABTM (Figura 11).

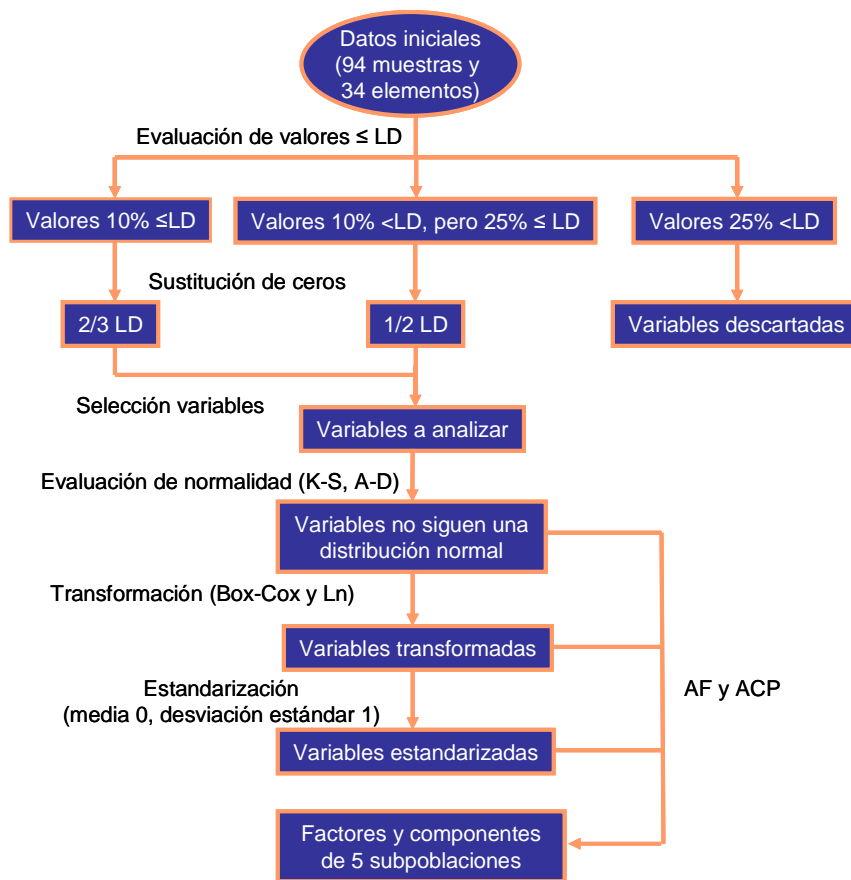


Figura 11. Esquema del tratamiento de los datos priori al análisis de factores.

Una vez culminado el tratamiento previo de los datos iniciales se procedió a aplicar la técnica de análisis de factores (AF) a la siguiente secuencia de datos: los datos iniciales sin tratamiento previo, datos iniciales seleccionados transformados con Box-Cox y Ln, y datos iniciales seleccionados transformados con Box-Cox y Ln, posteriormente estandarizados (media cero y desviación estándar uno); obteniendo un total de 5 subpoblaciones de datos. Por otro lado, cuando se aplicó el análisis de factores sobre la secuencia de datos antes mencionada, se extrajeron los factores sin rotar, empleando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax y variando la estimación de la covarianza de regular a robusta.

Posteriormente, a las 5 subpoblaciones antes mencionadas se les realizó un análisis multivariado con la técnica de análisis de componentes principales (ACP). A lo largo de este análisis, se ensayó variando la estimación de covarianza de regular a robusta, extrayendo los componentes sin rotar y rotándolos con las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax. Adicionalmente, se estableció el tipo de matriz como matriz de correlación y varianza-covarianza; en este último tipo

de matriz el programa no permite rotar los factores extraídos. El ACP, al igual que el AF, se llevó a cabo con el programa estadístico NCSS[®] 2000.

ESTIMACIÓN DE LA PROVENIENCIA DE LOS SEDIMENTOS

A partir la digitalización de un mapa topográfico de escala 1:25.000 con la localización de las muestras, la información litológica de la zona basada en la geología de superficie reportada por Garbán (2001) y los resultados obtenidos con las técnicas de análisis multivariado, se pretende establecer la proveniencia de los sedimentos estudiados. La interpretación de la proveniencia de los sedimentos, no se pretende hacer en función de definir que tipo litológico específico aportó los sedimentos a los drenajes estudiados, pero sí busca discriminar si la fuente de los sedimentos es de origen félsico, máfico, o una mezcla de fuentes. Para este análisis se tendrá en cuenta el comportamiento geoquímico de elementos así como relaciones interelementales utilizadas comúnmente como indicadores de proveniencia.

Algunas relaciones elementales que ayudan a determinar proveniencias de muestras geológicas de origen félsico o máfico son las empleadas por Cullers (2002) y Yan *et al.* (2006). Cullers (2002) propone graficar en escala logarítmica las relaciones Th/Co vs. La/Sc y/o realizar diagramas ternarios Th-Sc-La (Figura 5), mientras que Yan *et al.* (2006) utilizan intervalos de relaciones interelementales que guardan generalmente los sedimentos provenientes de una fuente máfica y félsica. En este último trabajo los autores presentan valores de las relaciones La/Sc, Th/Sc, La/Co y Cr/Th, los cuales serán discutidos en la próxima sección.

7. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos, los cuales se presentan detalladamente en los distintos apéndices, se expondrá en esta sección los hallazgos, observaciones y consideraciones más relevantes encontradas a lo largo de este trabajo. Los tópicos a discutir se desarrollaran en el siguiente orden: selección de las variables a introducir en el análisis multivariado, aplicación de análisis de factores y análisis de componentes principales a las determinaciones químicas correspondientes de los minerales pesados y la integración de las herramientas de análisis multivariado con relaciones geoquímicas para la determinación de la proveniencia de los sedimentos.

SELECCIÓN DE LAS VARIABLES

Al inicio del estudio se contaba con una matriz de datos conformados por 94 muestras, las cuales se les determinó la concentración de 34 elementos diferentes (Apéndice 11.2). A estos datos iniciales se les realizó un análisis exploratorio a través de cajas gráficas logrando detectar valores anómalos en una gran parte de los atributos químicos y, apreciando claramente, que la mayoría de las cajas gráficas presentan una distribución asimétrica, característica de poblaciones de datos de origen natural, reflejando la heterogeneidad y la no normalidad de los atributos químicos estudiados (Apéndice 11.3). De igual manera, se pudo detectar que más de la mitad de las variables químicas determinadas presentaban un elevado porcentaje de datos por debajo del límite de detección. Para evitar introducir en el análisis multivariado variables con una gran incertidumbre de sus datos se procedió a realizar la sustitución de ceros descrita en la sección anterior (Figura 11), reduciendo el número de variables a 15, de las 34 que fueron aportadas inicialmente (Tabla 4). En este sentido, la matriz final utilizada para el estudio quedó constituida por 94 casos (muestras de minerales pesados) y 15 variables (concentraciones elementales).

Tabla 4. Variables empleadas en el análisis multivariado*.

Elemento	LD	%<LD	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar
Co (ppm)	5	0	26	110	66	65	16
Cr (ppm)	10	5	<10	577	156	138	103
Fe (%)	0,02	0	<0,02	39,90	30,19	30,00	3,44
Hf (ppm)	1	0	4	1700	206	65	268
Sc (ppm)	0,1	0,0	16,2	116,0	37,2	35,3	13,3
Ta (ppm)	1	1	<1	1700	453	332	388
Th (ppm)	0,5	0	1,6	3290,0	442,8	55,4	653,0
U (ppm)	0,5	1,1	<0,5	182,0	43,4	31,9	38,6
La (ppm)	1	0	5	590	747	42	1166
Ce (ppm)	3	0	3	5790	998	90	1468
Nd (ppm)	5	24	17	7250	276	26	406
Sm (ppm)	0,1	1,1	<0,1	1950,0	63,3	8,1	90,7
Eu (ppm)	0,2	8,5	<0,2	458,0	3,2	1,7	3,4
Yb (ppm)	0,2	0	2,1	72,0	42,1	34,2	33,9
Lu (ppm)	0,05	0	2,10	187,00	7,20	6,09	6,31

* LD: Límite de detección; %<LD: porcentaje de muestras con valores de concentración inferior al límite de detección.

Un aspecto importante a ser tomado en cuenta al aplicar técnicas de análisis multivariado sobre una matriz de datos, es el reconocimiento de la distribución que presenta una población de datos determinado. En la actualidad se presentan un buen número de pruebas estadísticas que permiten evaluar cuantitativamente si una población presenta una distribución normal o no. Las pruebas utilizadas en este trabajo fueron las pruebas de Kolmogorv-Smirnov y la prueba de Anderson-Darling. A través de estas pruebas se logró determinar que de estas 15 variables seleccionadas sólo el Fe presentaba una distribución normal (Figura 12), es decir, un valor de $p > 0,05$ (Tabla 5).

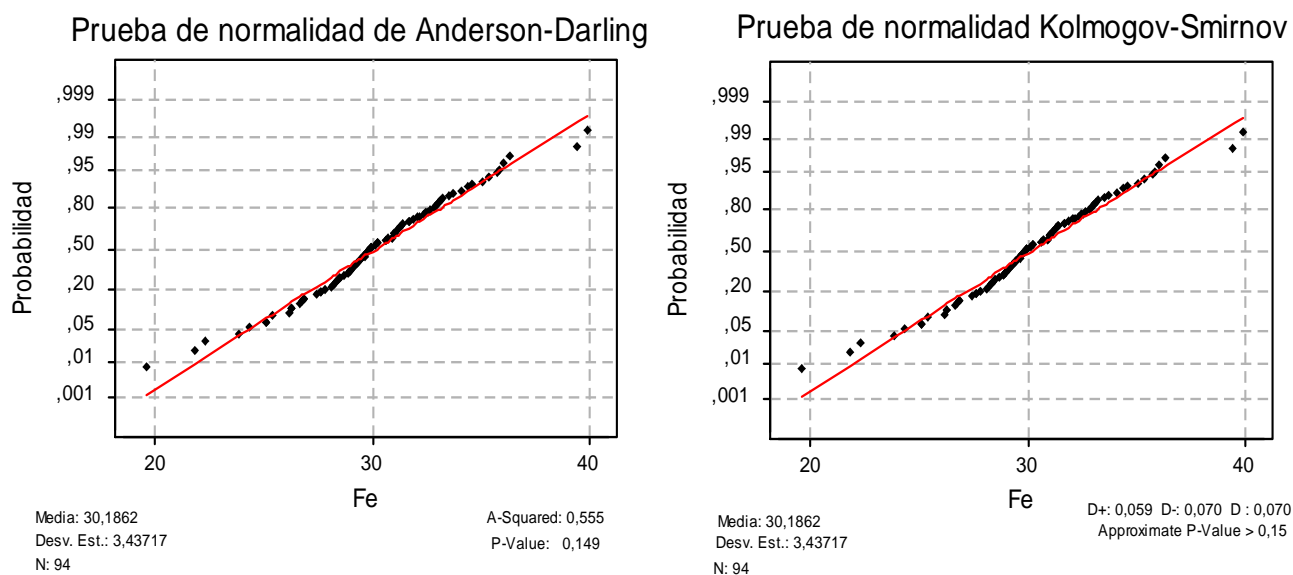


Figura 12. Prueba de normalidad Anderson-Darling y Kolmogorv-Smirnov, disponible en MINITAB™.

Tabla 5. Prueba de normalidad de los datos iniciales *.

Elemento	Datos iniciales		Elemento	Datos iniciales		Elemento	Datos iniciales	
	A-D	K-S		A-D	K-S		A-D	K-S
	Valor p	Valor p		Valor p	Valor p		Valor p	Valor p
Co	0,001	0,033	Ta	0,000	<0,01	Nd	0,000	<0,01
Cr	0,000	<0,01	Th	0,000	<0,01	Sm	0,000	<0,01
Fe	0,149	>0,15	U	0,000	<0,01	Eu	0,000	<0,01
Hf	0,000	<0,01	La	0,000	<0,01	Yb	0,000	<0,01
Sc	0,000	<0,01	Ce	0,000	<0,01	Lu	0,000	<0,01

*A-D: prueba de normalidad Anderson-Darling; K-S: prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov; Valor p: representa la probabilidad aproximada dentro de los pruebas de hipótesis, donde Valor p <0,05 sugieren que la distribución no es normal y valores de p >0,05 sugieren que la distribución de la población se aproxima a una distribución normal.

Una vez evaluada la normalidad, se intentó normalizar las variables mediante transformaciones Box-Cox y Ln. Estas transformaciones no lograron normalizar todas las variables (Tabla 6). Sin embargo, ayudaron a que las distribuciones se acercaran a distribuciones normales. Esto se evidencia mejor en las cajas gráficas de los datos transformados con Box-Cox y con Ln (Apéndice 11.5 y 11.7). La transformación Box-Cox normalizó 26,66% de las variables, mientras que la transformación de Ln normalizó 13,33%.

Tabla 6. Prueba de normalidad de los datos transformados con Box-Cox y Ln *.

Elemento	Datos transformados con Box-Cox		Datos transformados con Ln		Elemento	Datos transformados con Box-Cox		Datos transformados con Ln	
	A-D	K-S	A-D	K-S		A-D	K-S	A-D	K-S
	Valor p	Valor p	Valor p	Valor p		Valor p	Valor p	Valor p	Valor p
Co	0,000	<0,01	0,000	0,026	La	0,000	<0,01	0,000	<0,01
Cr	0,166	>0,15	0,000	<0,01	Ce	0,000	<0,01	0,000	<0,01
Fe	0,124	>0,15	0,024	0,090	Nd	0,000	<0,01	0,000	<0,01
Hf	0,000	<0,01	0,000	<0,01	Sm	0,000	<0,01	0,000	<0,01
Sc	0,053	0,035	0,157	>0,15	Eu	0,001	0,013	0,000	0,026
Ta	0,376	>0,15	0,001	0,017	Yb	0,000	<0,01	0,000	<0,01
Th	0,000	<0,01	0,000	<0,01	Lu	0,000	<0,01	0,000	<0,01
U	0,000	<0,01	0,000	<0,01					

*A-D: prueba de normalidad Anderson-Darling; K-S: prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov; Valor p: representa la probabilidad aproximada dentro de los pruebas de hipótesis, donde Valor p <0,05 sugieren que la distribución no es normal y valores de p >0,05 sugieren que la distribución de la población se aproxima a una distribución normal.

Otro tratamiento previo, aconsejable por la bibliografía consultada, es la estandarización de los datos (Reimann *et al.*, 2002). Esto se recomienda para evitar posibles resultados erróneos debido a las diferentes unidades que existen al expresar las concentraciones químicas, ya que cuando se analizan todas las variables simultáneamente en un análisis multivariable, la variable con mayor varianza va a tener la mayor influencia en el resultado, debido a que la varianza está directamente

relacionada con la magnitud absoluta. Los datos transformados con Box-Cox y Ln, posteriormente estandarizados se presentan en el apéndice 11.8 y 11.10. El procedimiento de estandarización es equivalente a aplicar el modo de matriz de correlación y no el de matriz de covarianza en el análisis de factores (Reimann *et al.*, 2002).

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS MULTIVARIADO

Con la finalidad de establecer una correlación multielemental entre las variables químicas obtenidas a partir de la fracción de los minerales pesados estudiados, e interpretarlas en función de los procesos que pudieron afectarlas, se emplearon las técnicas de análisis multivariantes: análisis de factores y análisis de componentes principales. Estas técnicas ayudan a reducir la dimensionalidad de una población de numerosos datos a un número pequeño de relaciones, sin una pérdida significativa en la contribución de la varianza (Reimann *et al.*, 2002).

Análisis de factores

Para evaluar cómo influye la preparación previa de los datos en el resultado del análisis de factores, se procedió a introducir cinco subpoblaciones de datos en el análisis, en las cuales se ensayó la estimación de covarianza de regular a robusta y se extrajeron los factores sin rotar y rotándolos con las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax disponibles en el programa NCSS© 2000, con el fin de facilitar la interpretación de los resultados obtenidos mediante la simplificación de la estructura de la matriz original (Kieffer, 1998). Todas estas modificaciones arrojaron como resultados 30 ensayos (Figura 13).



Figura 13. Variaciones dentro del análisis de factores.

Los resultados proporcionados por el programa NCSS© 2000 están conformados por reportes constituidos por varias secciones: estadística descriptiva, correlación entre las variables, autovalores (eigenvalues), carga de los factores, comunales, resumen de la estructura de los factores y la puntuación de los factores. Cada una de estas secciones aporta información estadística de la matriz analizada. No obstante, las de mayor interés en este estudio son los *autovalores*, parámetro que sugiere el número de factores a extraer en cada análisis, es decir, se deben extraer un número de factores igual a los autovalores mayores a 1,00 (Kaiser, 1960); el *porcentaje de la varianza explicada de los factores*, refleja la importancia de cada factor dentro del análisis y *la estructura de los factores*, permite interpretar como están relacionadas las variables según el análisis de factores.

Con el fin de reducir a un número manejable los posibles factores que pueden variar los resultados obtenidos a partir del análisis de factores, se dejaron constantes los siguientes parámetros: las iteraciones de comunalidad y el peso en la estimación robusta siempre se le asignó un valor de 4, mientras el número máximo de iteraciones fue siempre 5; estos valores son los recomendados por el programa (Figura 14).

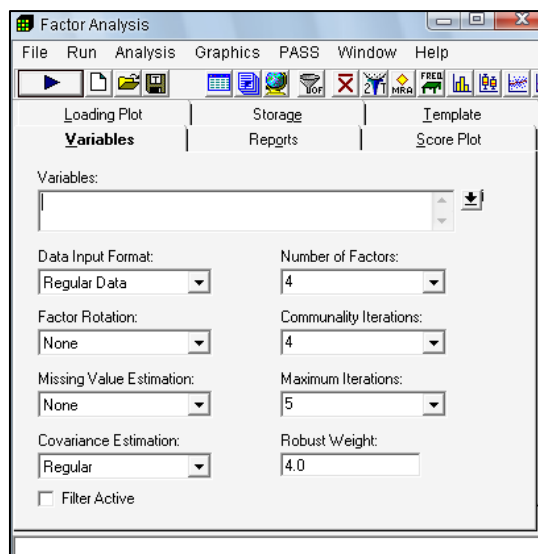


Figura 14. Ventana de los comandos del programa NCSS© 2000 para análisis de factores.

La matriz factorial puede presentar un número de factores superiores a los necesarios para explicar la estructura de los datos. Con la finalidad de evitar que esto ocurra, se ha utilizado el método *análisis de factores exploratorio* para determinar el número de factores a extraer (Kieffer, 1998). Este método consiste en explorar la estructura de los datos extrayendo empíricamente un número elevado de factores que expliquen la mayor parte la varianza acumulada, para obtener una estructura previa de los datos y, así, posteriormente reducir el número de factores con criterios seleccionados por el analista.

Los criterios seleccionados en este trabajo para la determinación del número de factores fueron el criterio del porcentaje de la varianza y la regla de los autovalores. El criterio del porcentaje de la varianza se basa en tomar un número de factores mínimos necesarios para que el porcentaje acumulado de la varianza explicada alcance un nivel satisfactorio que suele ser de 75% u 80% (Reimann *et al.*, 2002; Figueras, 2002); mientras que la regla de los autovalores se basa en que autovalores mayores a 1,00 comúnmente sugieren el número de factores a analizar (Kaiser, 1960; Gorsuch, 1983).

Por consiguiente, en cada uno de los treinta ensayos se extrajeron 6 factores, los cuales explicaban aproximadamente el 100% de la varianza y, posteriormente, se redujo a 4 y a 5 en los ensayos correspondientes a los datos iniciales sin tratamiento previo, debido a que con este número de factores se alcanza explicar aproximadamente 85% de la varianza, siendo este valor considerado como satisfactorio. Cabe destacar, que los autovalores sugirieron extraer 3 factores y

4 en los ensayos correspondientes a los datos iniciales sin tratamiento previo. No obstante, se seleccionó un factor adicional ya que pudiese traer información geoquímica importante.

Para interpretar mejor los resultados del análisis de factores se pueden construir diagramas conformados por la carga que posee cada variable dentro de un factor determinado y la varianza explicada de cada factor. Tales gráficos se presentan en el apéndice 11.12. Este tipo de gráfico es de gran utilidad debido a que permite comparar de una manera fácil y rápida las posibles variaciones que pueden aportar la modificación de los parámetros sobre el peso de la varianza explicada, así como en la covarianza generada entre las variables.

Es importante destacar que, para un factor determinado, mientras más cercano a la unidad (en valor absoluto) se presente la carga de los factores para las variables dadas, mayor será el factor de correlación o covarianza entre ellas. Por otro lado, es importante considerar el peso de la varianza explicada por parte de cada factor generado. Cada autovalor genera un porcentaje de varianza explicada, el cual aporta de manera individual para la explicación total de la varianza por parte de los factores generados. De manera general, el factor 1 siempre suele explicar el mayor porcentaje de la varianza (Kieffer, 1998; Reimann *et al.*, 2002).

En general, todos los ensayos presentaron la misma estructura de los factores a excepción de ligeras variaciones. Aunque los ensayos del análisis de factores hayan arrojado a grosso modo la misma información geoquímica, a continuación se discutirán algunas observaciones que determinarán cuál de todos los ensayos dentro del análisis de factores fue el más adecuado.

Los parámetros más relevantes al discriminar que ensayo del análisis de factores realizado era el más adecuado fueron: la interpretación geoquímica y el porcentaje de varianza explicada; es decir, el ensayo que arrojara mayor información geoquímica de la manera más sencilla de interpretar y que, a su vez, tuviera la mayor varianza explicada será el ensayo más adecuado para las muestras analizadas.

De las 5 subpoblaciones de datos, las más adecuadas son los datos transformados con Ln, tanto estandarizadas como sin estandarizar, seguidos por los datos iniciales, debido a que arrojan resultados más fáciles de interpretar geoquímicamente. Mientras que las subpoblaciones que incluían la transformación Box-Cox parece no ser adecuada porque siempre separó en el F1 a los elementos Th, Ce y La, del resto de los elementos REEs, cuando geoquímicamente los REEs presentan un comportamiento similar. Con la información que se tiene en este estudio no se

puede discriminar entre la hipótesis de que una fase mineral específica pueda estar concentrando estos elementos y la hipótesis de que la transformación matemática no sea adecuada para los datos geoquímicos tratados en este estudio, ya que no se tiene una descripción detallada de los minerales pesados que conforman los sedimentos. Como ejemplo se presenta la Figura 15, en donde se observa claramente la separación de Th, Ce y La del resto de los REEs dentro del F1, esto se observó en todos los ensayos provenientes de datos transformados con Box-Cox.

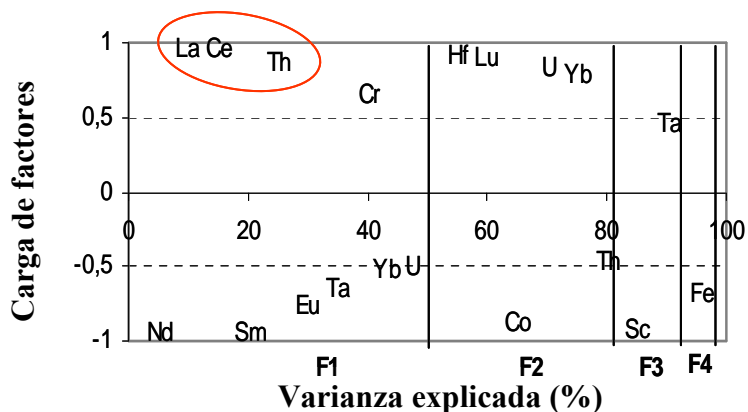


Figura 15. Ensayos de análisis de factores, datos transformados con Box-Cox, factores rotados con Varimax, estimación de covarianza regular.

El posible fraccionamiento de La, Ce y Th no es de gran utilidad dentro de la determinación de proveniencia. No obstante, es conveniente determinar si realmente esto está ocurriendo, debido a que podría ser de gran utilidad en el área de prospección o para estudios posteriores en el área de geoquímica sedimentaria.

Otro parámetro que se pudo variar dentro del análisis de factores fue la estimación de covarianza de regular a robusta. En general, los ensayos realizados con estimación de covarianza robusta obtuvieron mayor varianza explicada con la misma cantidad de factores extraídos. Adicionalmente, se tiene que en los ensayos de estimación de covarianza regular el Ta se encuentra tanto en el F1 como en el F3, sin embargo, este elemento está geoquímicamente asociado a litologías félsicas. Por lo tanto, se considera más adecuada la estimación de covarianza robusta, debido a que en estos ensayos se refleja la anomalía de Ta asociada a los elementos félsicos (Figura 16).

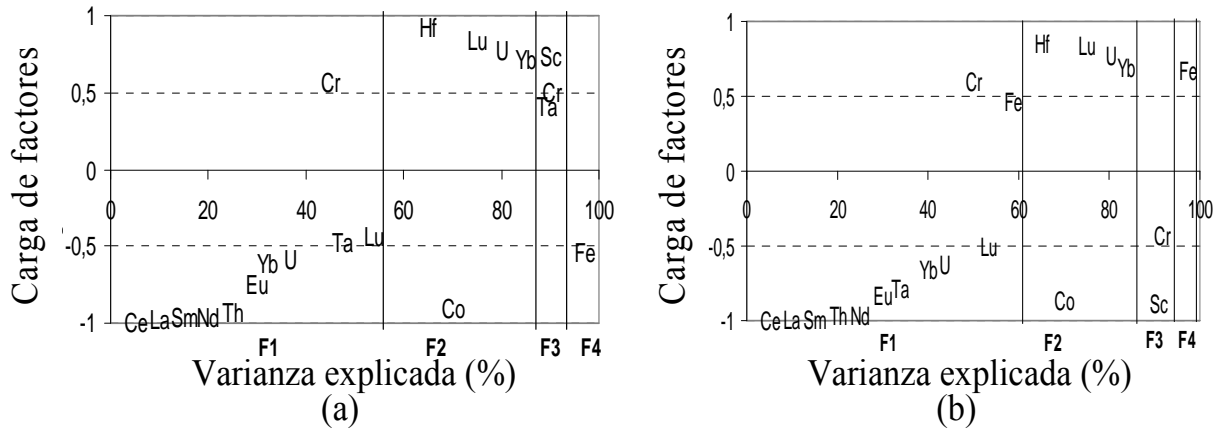


Figura 16. Ensayos de análisis de factores, datos transformados con Ln y posteriormente estandarizados, factores rotados con Quartimax. (a) Estimación de covarianza regular, y (b) estimación de covarianza robusta.

Adicionalmente, los factores de cada uno de los ensayos se pueden extraer sin rotar o rotándolos con las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax. El objetivo principal de las rotaciones es buscar obtener unos factores cuya matriz de cargas factoriales los haga más fáciles de interpretar, a partir de una solución inicial. En este trabajo se ensayó con las tres posibilidades de extracción de factores que permite el programa, con la finalidad de encontrar la más adecuada para este estudio.

Al rotar los factores se obtuvo que la comunalidad de cada variable no se modificó, es decir, la rotación no afecta a la bondad de ajuste de la solución factorial: aunque la matriz factorial sea modificada, esto se debe a que las especificidades no cambian y por tanto, las comunalidades permanecen inalteradas. Sin embargo, se observó que la varianza explicada de cada factor sí cambió, esto se debe a que los nuevos factores rotados no están ordenados de acuerdo con la información que contienen, cuantificada a través de la varianza (Figueras, 2000).

Desde el punto de vista práctico, ha resultado más adecuado transformar los datos con Ln, debido a que proporciona mayor varianza total explicada, seguida por la subpoblación de datos transformados con Ln y posteriormente estandarizarlos. Posiblemente estas dos subpoblaciones hayan dado una estructura de los factores muy similares debido a que el procedimiento de estandarización es equivalente a aplicar el modo de matriz de correlación y no el de matriz de covarianza en el análisis de factores (Reimann *et al.*, 2002). También, se obtuvo que la estimación de covarianza más conveniente fue el método de estimación robusta. Por otro lado, la rotación de factores con Quartimax resultó ser más adecuada que la rotación Varimax, debido a que en el F1 se observa el Fe correlacionado con el Cr (Figura 17). El criterio de la varianza total

explicada no fue útil para seleccionar cuál rotación más adecuada ya que, los tres ensayos arrojaron la misma varianza total explicada (Tabla 7).

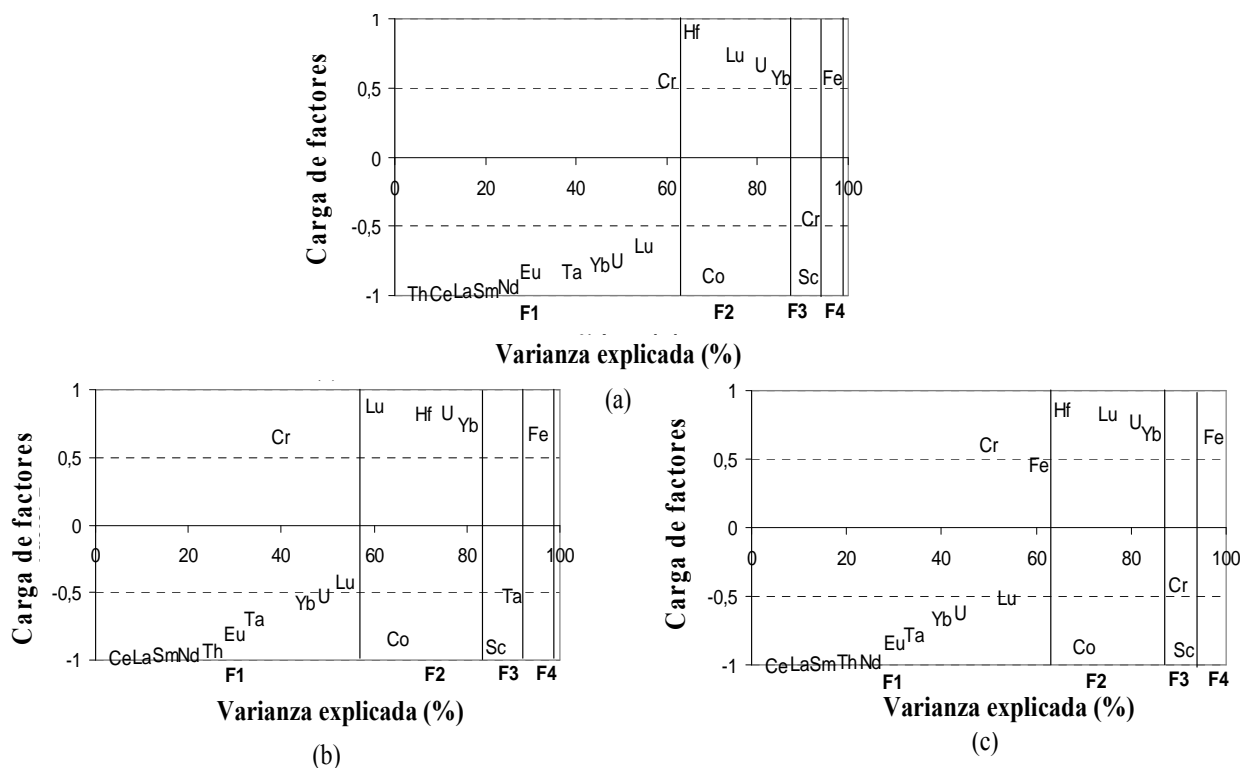


Figura 17. Ensayos de análisis de factores con datos transformados con Ln, estimación de covarianza robusta. (a) Sin rotar, (b) Varimax, y (c) Quartimax.

Tabla 7. Varianza explicada para los ensayos de datos transformados con Ln, estimación de covarianza robusta.

Subpoblación	Varianza explicada (%)				
	F1	F2	F3	F4	Total
Ln, robusta, sin rotar	61,91	25,03	8,76	4,11	99,82
Ln, robusta, Varimax	55,87	27,39	10,62	5,94	99,82
Ln, robusta, Quartimax	60,51	25,89	9,07	4,35	99,82

En algunos ensayos del análisis de factores el Ta aparece tanto en F1 como en F3, tal es el caso del ensayo de la figura 17b, mientras que en otros sólo aparece en F1 (Figura 17c), como es de esperar por ser parte de REEs. Para determinar cual de estas dos tendencias era la adecuada, se procedió a evaluar en que muestras están localizadas la anomalía de Ta encontrada por Garbán (2001) a través de diagramas de cajas (Figura 18).

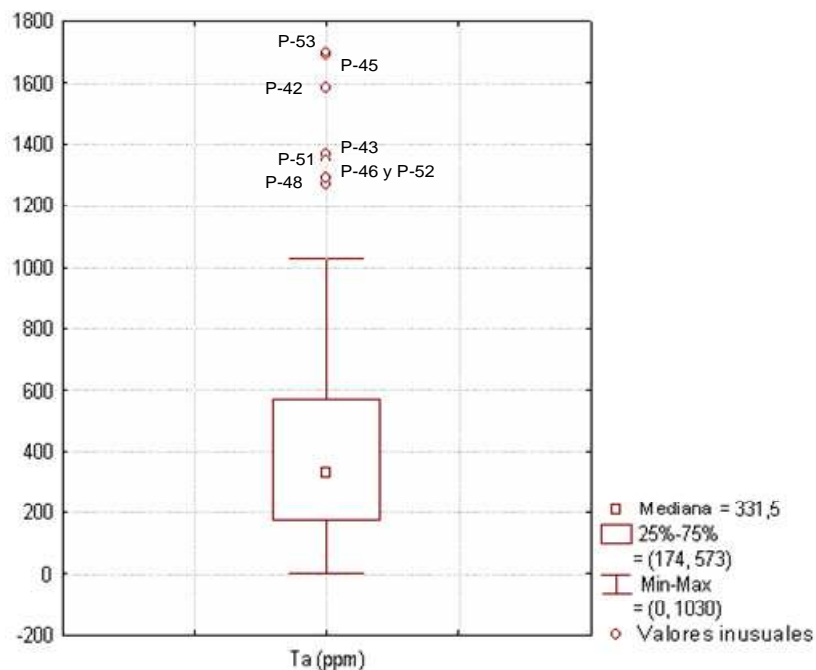


Figura 18. Digramas de caja de Ta y las muestras donde se encuentra la anomalía.

Con este análisis de estadística descriptiva se pudo apreciar que las anomalías de Ta están dentro de los cuerpos de pegmatíticos y gneiscos delimitados por Garbán (2001) mediante la geología superficial, reforzando la idea de que la rotación Quartimax es más adecuada que la Varimax.

A partir de los resultados obtenidos y tomando en cuenta criterios geoquímicos (correlaciones coherentes y agrupaciones elementales geoquímicamente explicables) y estadísticos (porcentaje de la varianza explicada, carga de los factores), se pudo establecer que, de los ensayos efectuados, el ensayo más adecuado para ser utilizado en la extracción de factores es aquel donde los datos fueron transformados con Ln, bajo una estimación de covarianza robusta, y utilizando el método de rotación ortogonal Quartimax.

Debido a lo antes mencionado, a continuación se describirán e interpretarán cada uno de los 4 factores que conforman al ensayo obtenido bajo las condiciones más adecuadas para este estudio, es decir, el ensayo realizado con los datos transformados con Ln, estimación de covarianza robusta y rotado con Quartimax.

Factor 1

Geoquímicamente F1, el cual contribuye aproximadamente con 60% de la varianza total explicada, es dominado por los elementos de las tierras raras (REEs), como Ce, Eu, La, Th, U, Sm, Nd, Yb, U y Lu. Estos elementos poseen un comportamiento litófilo y generalmente están

asociados a minerales accesorios de rocas ígneas de las últimas etapas de cristalización magmática por su condición de elementos incompatibles frente a las fases minerales que cristalizan inicialmente, tal es el caso de las pegmatitas graníticas presentes en la zona (Mason, 1960). No obstante, con la información manejada no se descartan aportes por otras litologías como granitos peraluminicos, chernoquitas, migmatitas y paragneises (Rapp y Watson, 1986). Las fases minerales en las cuales comúnmente se incorporan estos elementos son la monacita ((Ce,La,Th)PO₄) y columbita-tantalita.

La presencia de Th y U en este factor sugiere que la fase mineral que está aportando principalmente estos elementos dentro de los sedimentos estudiados es la monacita, debido a que el Th⁴⁺ (1,10Å) y el U⁴⁺ (1,05Å) pueden reemplazar por captura los iones trivalentes de los REEs, como Ce, La, Pr, Nd, y Sm. La compensación del exceso de cargas positivas provenientes de la sustitución de los iones trivalentes por cuatrivalentes antes mencionados, se da por la sustitución acoplada frecuentemente observada entre P⁵⁺ por Si⁴⁺ (Goldschmidt, 1970). Adicionalmente, Deer *et al.*, (1992) menciona que la torita, ThSiO₄, es isoestructural con la monacita y, por esto, puede darse una serie continua entre estos dos minerales con la sustitución acoplada de Th⁴⁺Si⁴⁺ ↔ Ce³⁺P⁵⁺.

Dentro de este factor se incorpora el Cr y Fe, pero mostrando una alta covarianza con una correlación negativa. Esto hace suponer que el comportamiento de estos elementos máficos (Cr y Fe) es contrario al presentado por las REEs, Th y U. Debido a la incorporación casi exclusiva del Cr en fases minerales como la cromita, la cual se encuentra geoquímicamente asociada a fuentes máficas, es posible interpretar esta alta correlación inversa (Figura 17c).

Factor 2

Este factor está conformado por los elementos Hf, Lu, U, Yb y Co, y representa aproximadamente el 26% de la varianza total explicada. Los elementos pertenecientes a este factor pueden estar siendo aportados por fases minerales como el circón (ZrSiO₄). A pesar que el Zr no fue incluido dentro del análisis de multivariado, debido a que este elemento sólo se determinó para 10 muestras de sedimentos a través de la técnica ICP-MS (Apéndice 11.14); el Zr puede extrapolarse dentro de este factor ya que, al realizar un análisis de regresión lineal entre las determinaciones de Hf y Zr, se obtuvo un coeficiente de correlación (R²) de 0,9365; confirmando

la dependencia de este factor a la presencia de circón dentro de los sedimentos estudiados (Figura 19).

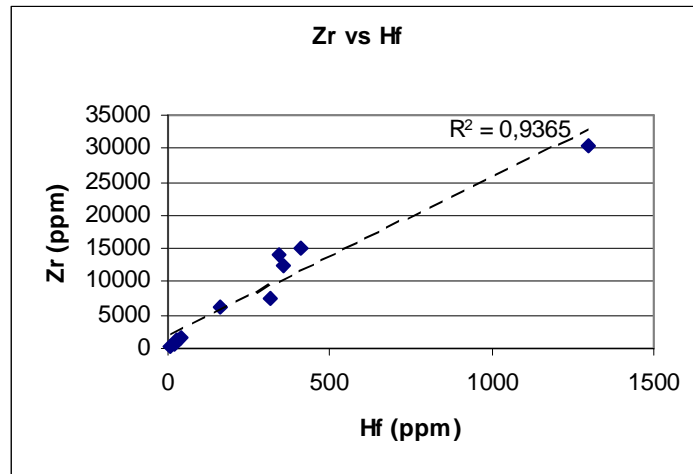


Figura 19. Regresión lineal entre las determinaciones de Hf (INAA) y Zr (ICP-MS).

Esta idea puede ser reforzada por el hecho de que el Zr^{4+} (0,87Å) y Hf^{4+} (0,86Å) presentan un potencial iónico (carga/radio) similar, el cual permite que el Hf se incorpore a todas las fases minerales del Zr, por un mecanismo de camuflaje (Faure, 1991).

Por otro lado, Deer *et al.*, (1992) han reportado que una gran cantidad de circones contienen cantidades apreciables de U y Th. Esta sustitución debe ocurrir por un mecanismo de admisión. También, han estudiado circones con incorporaciones de REEs, siendo las más dominantes las últimas REEs del grupo itrio, denominados elementos de tierras raras pesadas (HREEs), tales como el Yb y el Lu. Con estas últimas observaciones se puede decir que este factor está posiblemente reflejando una cantidad significativa de circones en las fracciones de sedimentos pesados que muestran un marcado fraccionamiento hacia las tierras raras más pesadas.

El Co está presente en este factor con una correlación inversa al resto de los elementos. El Co se caracteriza por tener un carácter más calcófilo que el Cr, no obstante, se encuentra íntimamente relacionado con los minerales máficos, especialmente con aquellos que presentan una alta concentración de Fe^{2+} y Mg^{2+} , debido a la gran similitud de radios entre el Co^{2+} (0,82Å), Fe^{2+} (0,83Å) y Mg^{2+} (0,78Å), estando más relacionado con el Fe por la similitud de su potencial iónico. El Co puede estar sustituyendo ampliamente al Fe en minerales ferromagnesianos como los olivinos, piroxenos, y algunos anfíboles, siendo más abundantes en los piroxenos rómbicos que en los monoclinicos (Goldschmidt, 1970).

El circón es un mineral accesorio corriente en toda clase de rocas ígneas (Hurlburt y Klein, 1980). La presencia del Co en este factor con una correlación inversa al resto de los elementos que conforman este factor, pueden estar indicando que la mayoría de los circones no deben ser aportados por una fuente máfica, es decir, probablemente provengan de los cuerpos félsicos presentes en la zona, litología en la cual los circones se presentan con mayor frecuencia (Deer *et al.*, 1992). Este hecho es reforzado por el posible fraccionamiento de HREEs presentes en los circones, debido a que los HREEs generalmente están asociados a minerales accesorios de rocas ígneas de las últimas etapas de cristalización magmática, por su condición de elementos incompatibles frente a las fases minerales que cristalizan inicialmente, tal es el caso de las pegmatitas graníticas, granitos peraluminicos, chernoquitas, migmatitas y paragneises (Rapp y Watson, 1986).

Factor 3

El tercer factor (9% de la varianza total explicada) agrupa los elementos Cr, Co, Sc y Ta. Este factor está reflejando la contribución de minerales máficos a los sedimentos.

El Cr posee un carácter litófilo y se presenta asociado a minerales formados en las primeras etapas de cristalización magmática (Faure, 1991). En las rocas ígneas la distribución del Cr está claramente correlacionada con la secuencia de cristalización, es decir, aparece en las primeras etapas de cristalización magmáticas en rocas ricas en magnesio, tales como rocas oliviníferas, y en menor proporción en piroxenitas, sustituyendo al Mg y al Fe, en los olivinos y piroxenos de hierro. Sin embargo, la principal fase mineral asociada al Cr, la constituye la cromita, la cual es una espinela cuya fórmula química se puede representar como $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})(\text{Cr}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2\text{O}_4$, que frecuentemente se encuentra en basaltos y gabros; también, es un mineral característico de rocas oliviníferas y piroxenitas. Las cantidades absolutas de Cr en los sedimentos residuales raramente exceden a 2000 ppm, sin embargo, estas concentraciones modestas de Cr pueden ser un valor indicativo de la concentración residual o de cuerpos cercanos de rocas ígneas magnésicas como fuentes de minerales de Cr (Goldschmidt, 1970).

Otro elemento presente en este factor que está íntimamente relacionado con los minerales ferromagnesianos es el Sc, debido a la gran similitud que existe entre el radio iónico del Sc^{3+} (0,81Å) y el Fe^{2+} (0,83Å). Adicionalmente, el Sc exhibe también una gran afinidad geoquímica con los elementos lantánidos, e incluso es considerado, al igual que el Y, como parte

de esta familia de elementos (Rayner-Canham, 2000), pudiéndose asociar a fases minerales como circones, ilmenitas, columbita-tantalita e ixiolitas. Particularmente, en las fases como la columbita-tantalita, el Sc^{3+} puede estar sustituyendo al Fe^{2+} , con una compensación de cargas lograda por una sustitución acoplada de Ta^{5+} por Ti^{4+} . Este mecanismo también se ha propuesto para explicar la presencia de Sc y Ta en algunas variedades de rutilo, como lo son el ilmenorutilo y la strüverita (Fron del, 1972). Adicionalmente, el Sc es encontrado principalmente en muchos silicatos ferromagnesianos de rocas ígneas, tales como piroxenos, anfíboles y biotitas. A lo largo de numerosos estudios se ha encontrado que la geoquímica del Sc está más relacionada con los elementos divalentes, cuatervalentes y quivalentes que con los elementos trivalentes como el Al, Fe e Y (Goldschmidt, 1970)

Factor 4

Este factor sólo presenta el 5% de la varianza total explicada. A pesar que no aporta gran información desde el punto de vista estadístico, debido al bajo valor de la varianza explicada, e incluso los criterios establecidos a partir de los autovalores sugieren que se debe descartar, en este trabajo se ha seleccionado puesto que geoquímicamente sí pudiese estar aportando información importante. Gran parte de los ensayos realizados en el análisis de factores sugieren que el Fe no está asociado al resto de los elementos máficos, como es de esperar geoquímicamente.

En la figura 20(a) se presenta un ejemplo representativo de los ensayos donde el Fe está aislado en el F4. Sin embargo, en la figura 20(b) y 20(c) se pueden observar ensayos donde el Fe está asociado con el Cr en F1 y sólo en F4, siendo la carga del factor mayor en F4 (en valor absoluto), e indicando que este elemento está más correlacionado con F4. Sin embargo, en el ensayo 20(a) refleja al Ta en el F3, mientras que el ensayo 20(c) corresponde a la subpoblación de datos transformada con Box-Cox, en la cual se observa una separación en los REEs Ce, La y Th del resto en el F1, hecho que generalmente no ocurre en la naturaleza al menos que exista una fase mineral que esté concentrando Th junto con los REEs livianas Ce y La.

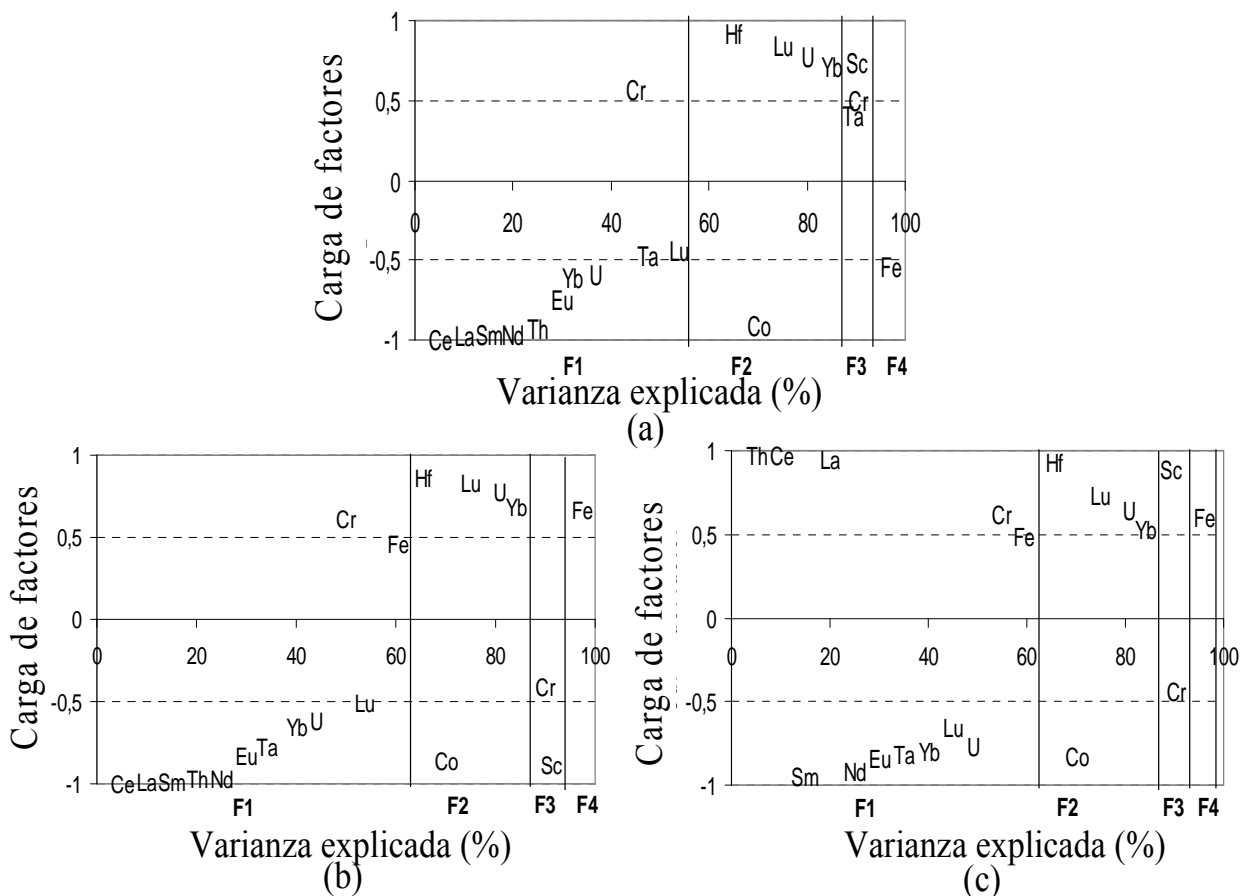


Figura 20. Ensayos de análisis de factores. (a) Datos transformados son Ln, estimación de covarianza regular, factores rotados con Quartimax; (b) datos transformados con Ln, estimación de covarianza robusta, rotados con Quartimax; y (c) datos transformados con Box-Cox, estimación de covarianza robusta, sin rotar.

Estos últimos ensayos sugieren que el aporte de Fe en los sedimentos no proviene principalmente de los cuerpos máficos presentes en la zona de estudio, sino que podría estar controlado por los cuerpos de cuarcitas ferruginosas que predominan en las zonas cercanas a la zona de estudio.

El método utilizado para separar las fases magnéticas de los minerales pesados (utilizando un imán de mano) no garantiza la separación total de fases como magnetita y hematita. Esto permite suponer que, en zonas donde existe un gran aporte de óxidos de hierro como fuente primaria, caso del aporte por parte de las cuarcitas ferruginosas, no se pueda discriminar el aporte de fases minerales ferromagnesianas, razón por la cual el control del aporte de hierro en la composición química de los sedimentos, se ve controlada principalmente por los cuerpos de cuarcitas ferruginosas presentes en la zona de estudio.

Otros diagramas de gran utilidad son los mapas de la puntuación que tiene cada muestra dentro de cada factor de los ensayo de análisis de factores, debido a que se puede visualizar de manera rápida la influencia que tiene cada una de las muestras dentro de un factor determinado y, a su vez, se puede relacionar de una manera sencilla con la ubicación geográfica y con los datos de geología superficial reportados por Garbán (2001). Con la finalidad de demostrar la utilidad de estos diagramas, a continuación se presentan los diagramas obtenido a partir de los datos transformados con Ln, estimación de covarianza robusta y rotado con Quartimax (ensayo más adecuado), para comprender cuales son las muestras específicas que contribuyen significativamente con cada factor.

En la figura 21, se puede comparar la influencia que tiene cada una de las muestras dentro del F1 con la información litológica de la zona de estudio. La mayoría de las muestras de la quebrada Los Brinquitos tienen una influencia directa con los REEs, mientras que las muestras ubicadas en la zona septentrional de la quebrada El Catire y la P-94 y algunas de la quebrada Chaparrillal, guardan una fuerte relación con el Cr. El resto de las muestras están correlacionadas levemente con el Cr y Fe.

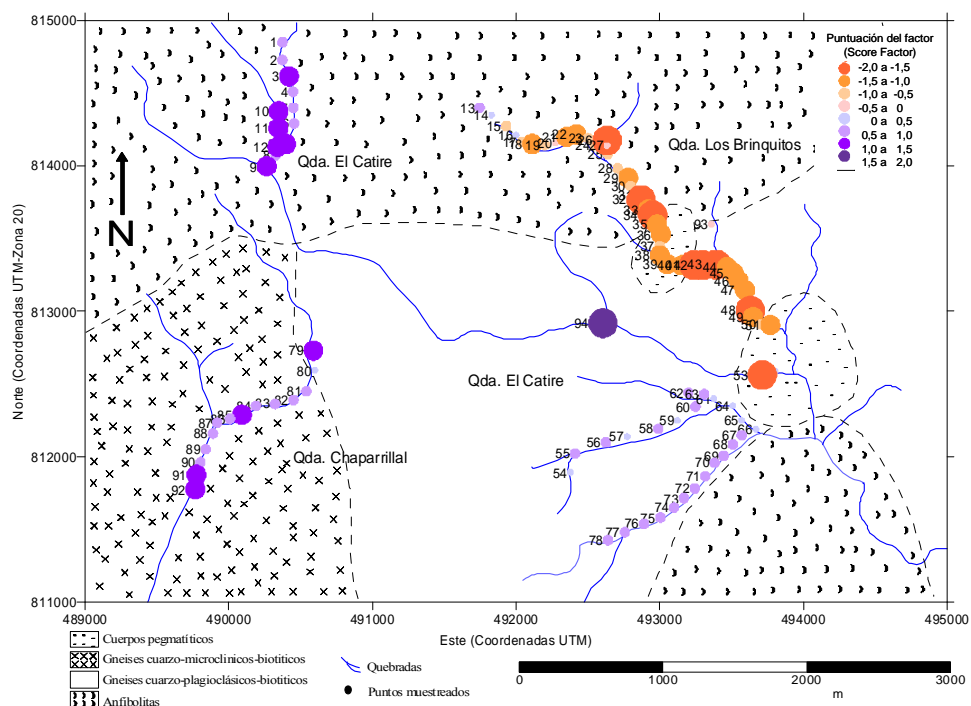


Figura 21. Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del factor 1 (Ce, Eu, La, Th, U, Sm, Nd, Yb, U, Lu, Cr y Fe).

Por otro lado, en la figura 22 se puede apreciar que las muestras de la quebrada El Catire, que guardan una fuerte relación con el Cr y Fe en F1, son las que ahora guardan una fuerte relación

con el Co, dentro del factor 2. Adicionalmente, se puede observar que las muestras de la quebrada Chaparrillal son las que guardan una fuerte relación con el Hf, Lu, Yb, U, y por ende deben de tener la mayor concentración de circones que el resto de las muestras, al igual que algunas muestras de la parte Sureste de la quebrada el Catire.

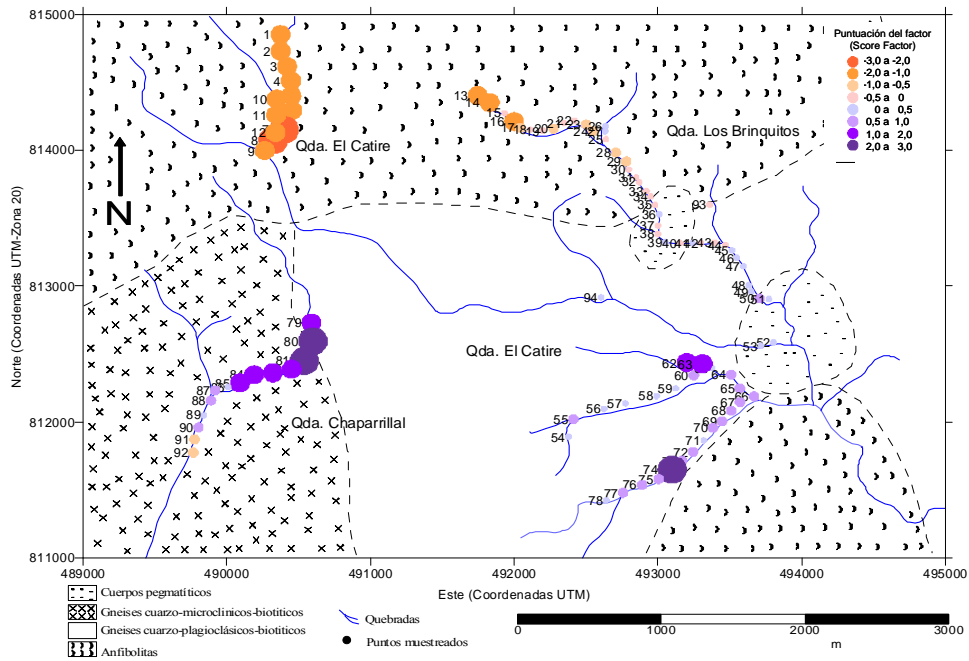


Figura 22. Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del factor 2 (Hf, Lu, Yb, U y Co).

Las muestras que tienen mayor afinidad con los constituyentes de F3 (Sc y Cr) están localizadas tanto en la parte septentrional de la quebrada El Catire como en la parte Sureste de la misma. También, están relacionadas con este factor algunas muestras de la parte Sur muestreada en la quebrada Los Brinquitos. La quebrada Chaparrillal, y la parte septentrional de la quebrada Los Brinquitos, poseen una relación inversa con los elementos de este factor, es decir, deben estar conformadas por minerales aportados principalmente por una fuente félsica (Figura 23).

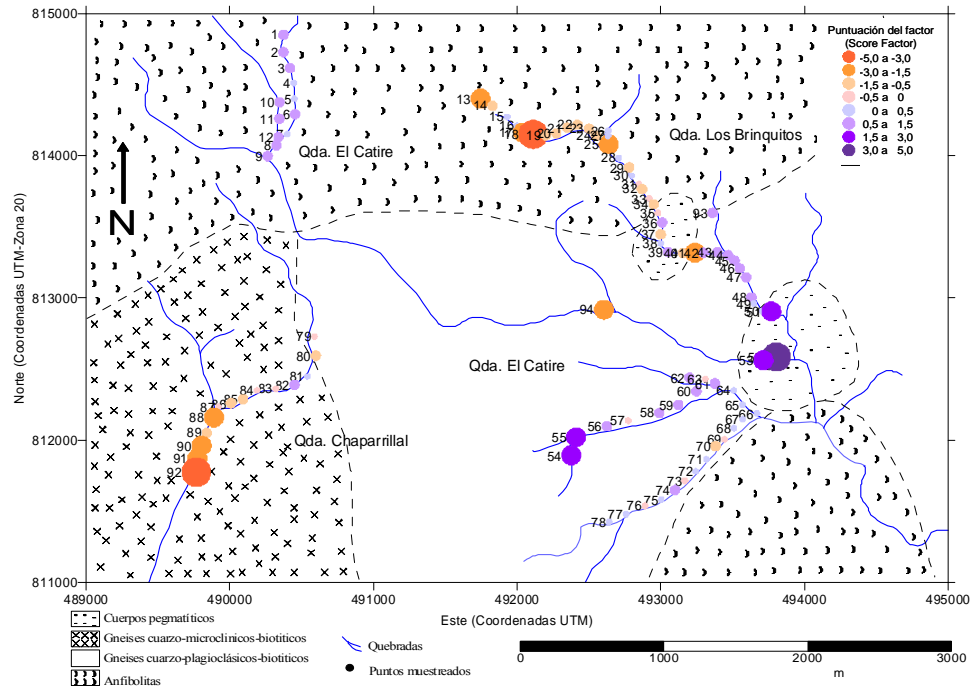


Figura 23. Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del factor 3 (Sc y Cr).

Finalmente, se tiene que el Fe no presenta una distribución en particular, él está distribuido a lo largo de las quebradas El Catire, y en la parte Sur muestreada de la quebrada Chaparrillar y Los Brinquitos (Figura 24).

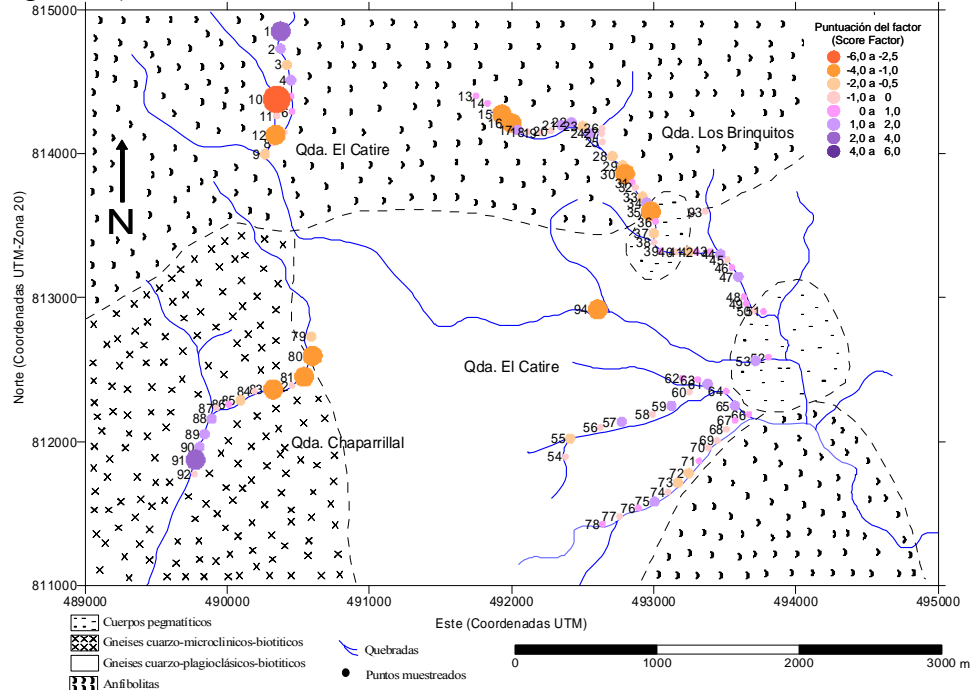


Figura 24. Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del factor 4 (Fe).

En caso de no utilizar la sustitución de ceros planteada antes de llevar a cabo los ensayos de análisis de factores realizados, el programa NCSS© 2000 ofrece dos alternativas para sustituir

aquellos datos que se encuentren por debajo del límite de detección. Estas alternativas se encuentran en la ventana de ejecución del análisis de factores, específicamente en la opción de estimación de valores perdidos. En esta opción se puede seleccionar el método del promedio, en el cual cada valor es sustituido por la media aritmética de la variable, o el método normal multivariado, en donde los valores son estimados por un análisis de regresión. Ambos métodos, son corridos únicamente por la estimación de covarianza robusta y pueden extraerse los factores sin rotar o rotándolos con Varimax y Quartimax (Figura 25). Para utilizar esta herramienta se deben introducir los datos iniciales dejando en blanco los casos cuyos valores se encuentran por debajo del límite de detección.

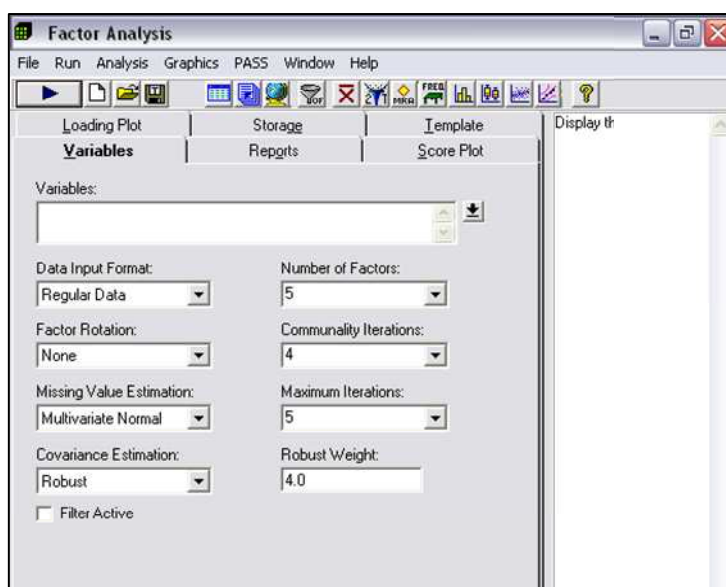


Figura 25. Ventana de los comandos del programa NCSS© 2000 para análisis de factores, con el método de normal multivariado seleccionado en la estimación de los valores perdidos.

De estos dos métodos de estimación de valores el preferido es el método de estimación de normal multivariado, debido a que el método de la media tiene como desventajas que la varianza de los valores de la variable cercanos a la media tienen un pequeño impacto en la varianza y la correlación con las otras variables puede ser incorrecta.

Con la finalidad de comparar esta herramienta con los resultados obtenidos en los ensayos donde los datos habían sido tratados con la sustitución de ceros, se realizaron tres ensayos con el método normal multivariado, extrayendo los factores sin rotar y rotándolos con Varimax y Quartimax. Los tres ensayos obtenidos resultaron no ser muy adecuado ya que, desde el punto de vista interpretativo, la estructura de los factores es más difícil de interpretar geoquímicamente, a

excepción del F1. Esto se debe a que agrupa elementos característicos de fuentes máficas y félsicas, donde una posible interpretación que se puede adjudicarle es una mezcla de fuentes (Figura 26).

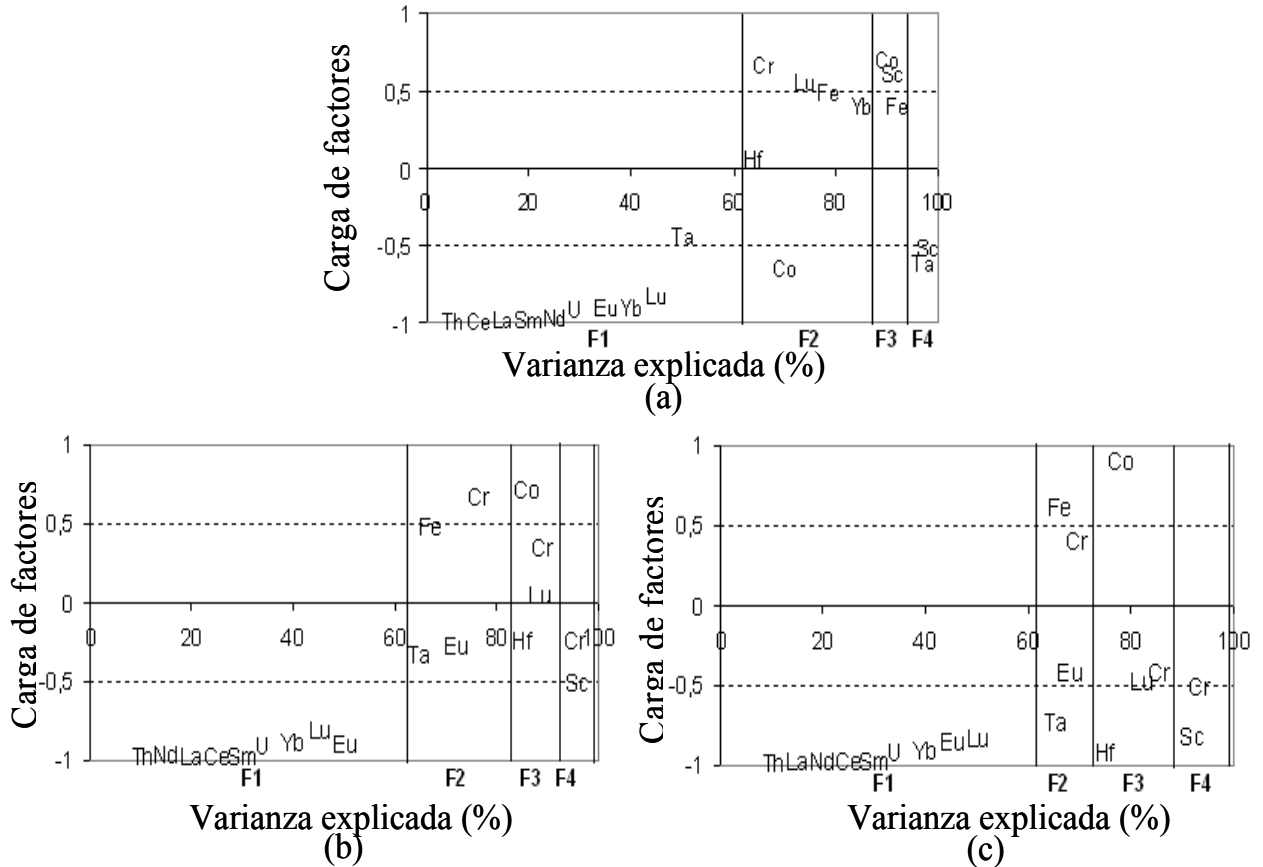


Figura 26. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales con estimación de valores perdidos (normal multivariado) y estimación de covarianza robusta, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.

Análisis de componentes principales

Al igual que la técnica de análisis de factores, el análisis de componentes principales ayuda a establecer correlaciones entre un grupo de variables independiente, sólo que, a diferencia del análisis de factores que busca que sus factores expliquen la mayor parte de la varianza común, el análisis de componentes principales trata de hallar componentes que sucesivamente expliquen la mayor parte de la varianza total (Figueras, 2000).

Los ensayos realizados en análisis de componentes principales son similares al análisis de factores, aunque presentan algunas variaciones. Entre las variaciones que presentan este análisis con respecto al análisis de factores en el programa estadístico empleado, se encuentra el tipo de

matriz el cual puede seleccionarse de correlación o de varianza-covarianza, donde la estimación de la covarianza puede estimarse con el método regular o robusto. Al seleccionar la matriz de correlación los factores pueden ser rotados al extraerlos con las rotaciones Varimax y Quartimax, mientras que en el caso de la matriz varianza-covarianza en la resolución de la matriz no se pueden rotar los componentes a extraer. Todas estas posibles variaciones y las cinco subpoblaciones empleadas en el análisis de de factores originaron 40 ensayos diferentes (Figura 27).

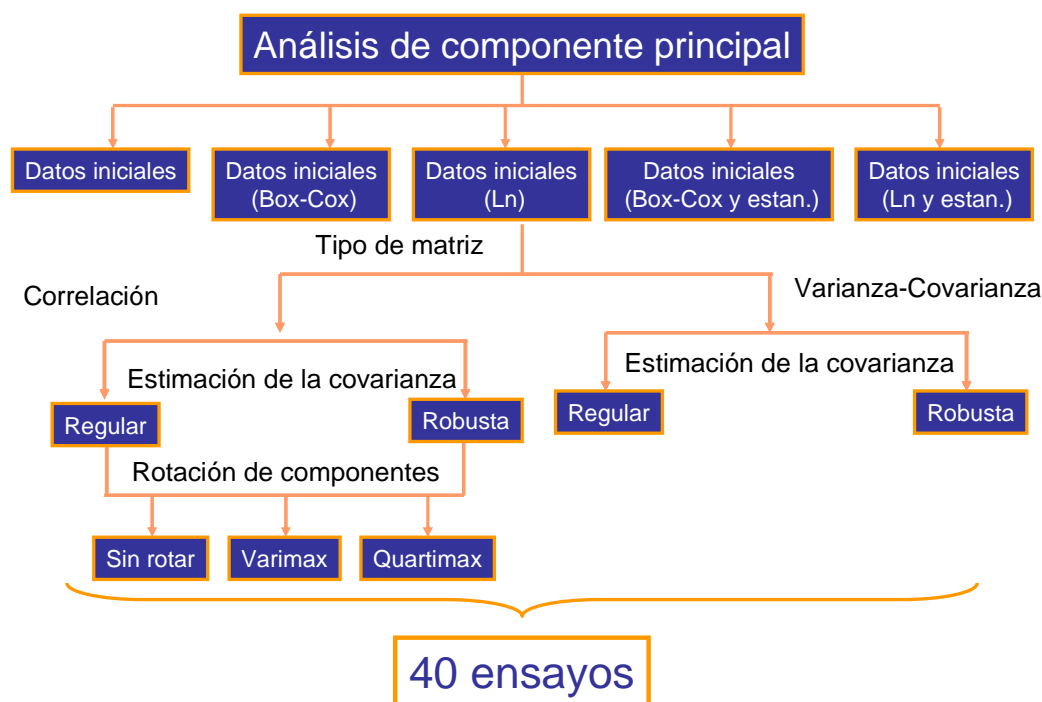


Figura 27. Variaciones dentro del análisis de componentes principales.

A lo largo de los diferentes ensayos se dejaron constante los siguientes parámetros: las iteraciones de comunalidad y el peso en la estimación robusta, las cuales siempre fueron 4, mientras el número máximo de iteraciones fue 5; estos valores son los recomendados por el programa (Figura 28). El método utilizado para determinar el número de componentes a extraer fue el de análisis exploratorio, es decir, se exploró la estructura de los componentes conformadas por las variables extrayendo 6 componentes y, en base a la información geoquímica y la aportada por los autovalores, se seleccionó un número de componentes coherentes, es decir, 4 componentes. Este proceso fue el mismo que se empleó durante la selección de los factores a extraer.

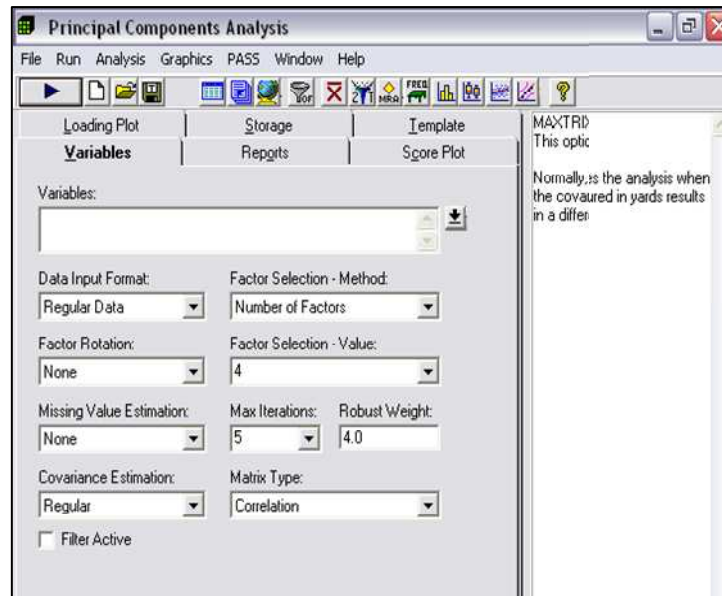


Figura 28. Ventana de los comandos del programa NCSS© 2000 para el análisis de componentes principales.

Como se apreció en la técnica multivariada anterior, la estructura de los componentes es un aspecto muy importante debido a que refleja las correlaciones interelementales. Ésta fue muy similar a la de los factores. El componente 1 está conformado por Ce, La, Sm, Nd, Th, Ta, Eu, Yb, U, Lu, Cr y Fe, donde el Cr y Fe presenta una correlación inversa con el resto de los elementos de este componente; el componente 2 agrupa al Hf, Lu, U e Yb, y al Co con una correlación inversa al resto de los elementos del componente 2; el componente 3 lo constituyen el Cr y Sc; y finalmente, el componente 4 está dominado únicamente por el Fe. Todas estas asociaciones fueron interpretadas en la sección del análisis de factores.

De las 5 subpoblaciones introducidas en el análisis de factores, la más adecuada fueron los datos transformados con Ln y los datos transformados con Ln y posteriormente estandarizados. Para estos casos no hubo diferencia ni a nivel de la estructura de los componentes (Apéndice 11.13), ni a nivel cuantitativo a través de la varianza total explicada (Tabla 8 y 9), todo esto es para un tipo de matriz de correlación.

Tabla 8. Varianza explicada para los ensayos de datos transformados con Ln y Ln estandarizados, estimación de covarianza regular.

Subpoblación	Varianza explicada (%)				
	F1	F2	F3	F4	Total
Ln y Ln (estandarizados), regular, sin rotar	50,00	22,70	9,62	5,78	88,11
Ln y Ln (estandarizado), regular, Varimax	43,93	26,49	10,59	7,1	88,11
Ln y Ln (estandarizado), regular, Quartimax	46,86	24,99	9,89	6,37	88,11

Tabla 9. Varianza explicada para los ensayos de datos transformados con Ln y Ln estandarizados, estimación de covarianza robusta.

Subpoblación	Varianza explicada (%)				
	F1	F2	F3	F4	Total
Ln yLn (estandarizado), robusta, sin rotar	54,92	22,43	9,39	5,48	92,22
Ln y Ln (estandarizado), robusta, Varimax	50,43	24,19	10,62	7,44	92,22
Ln y Ln (estandarizado), robusta, Quartimax	53,72	22,92	9,55	6,03	92,22

No obstante, en la matriz de varianza-covarianza sólo son coherentes los ensayos donde los datos estaban estandarizados, es decir, los resultados más adecuados en este tipo de ensayos son los ensayos provenientes de las subpoblaciones de datos transformadas con Ln y Box-Cox y posteriormente estandarizados (Figura 29d y e). Tanto en este caso como en el resto de los ensayos de ACP, los ensayos realizados a partir de los datos transformados con Box-Cox presentan una separación Ce, La y Th en el C1 con respecto a los otros REEs presentes en este componente. Este hecho no puede explicarse con certeza, como ya se mencionó anteriormente, existe una disyuntiva de que sea por consecuencia de la transformación matemática o por la presencia de una fase mineral que esté, por alguna razón, fraccionando a estos elementos.

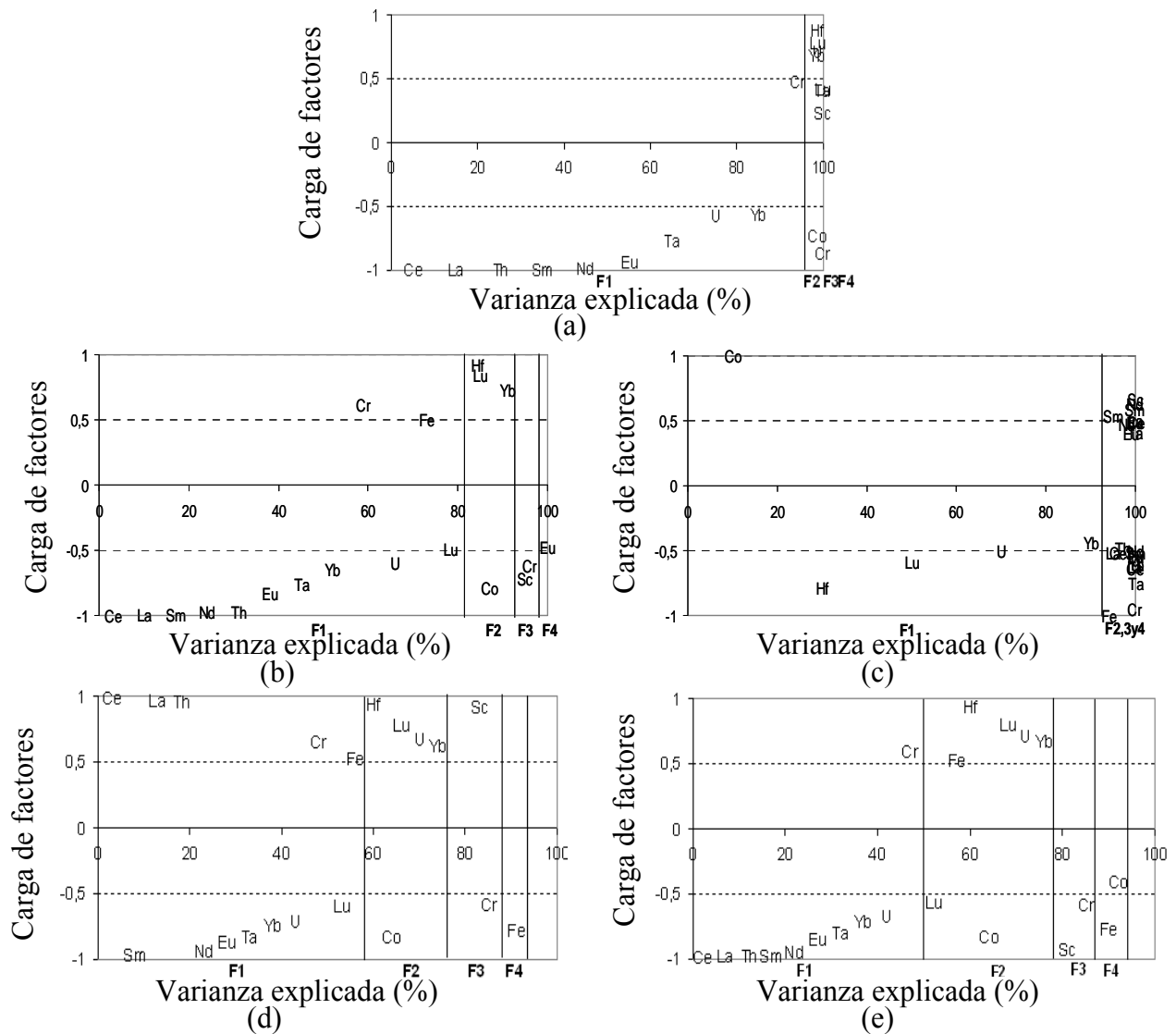


Figura 29. Diagramas resumen del ACP, estimación de covarianza: robusta, y tipo de matriz: varianza-covarianza, (a) datos iniciales (b) datos iniciales transformados con Box-Cox, (c) datos iniciales transformados con Ln, (d) datos iniciales transformados con Box-Cox estandarizados, y (e) datos iniciales transformados con Ln estandarizados.

A fin de establecer cuál ensayo es el más adecuado dentro del análisis de componentes principales, se consideró el criterio basado en la facilidad de interpretación de los resultados y la varianza total explicada. En base a estos criterios, se puede destacar que los ensayos de Ln y Ln estandarizados, de tipo de matriz de correlación y estimación de la covarianza robusta son los ensayos que presentan una estructura de los componentes más adecuada, debido a que cada componente refleja de una manera coherente la mineralogía de la (Figura 30). El efecto de la rotación para estos casos sólo varía ligeramente la estructura de los componentes, tal es el caso

de los ensayos con rotación Varimax en los cuales se puede apreciar el Ta en el C1 y C3 (Figura 30b y e).

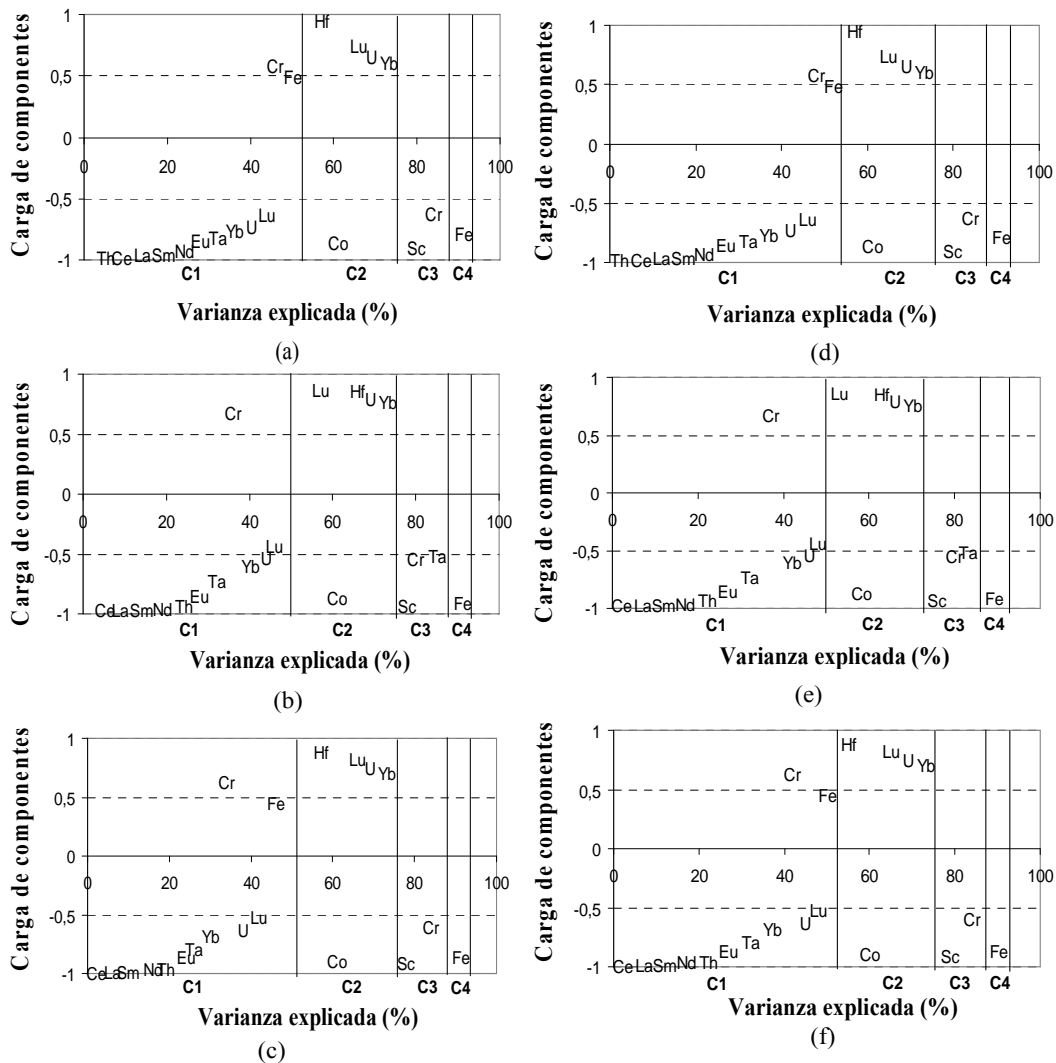


Figura 30. Ensayos de ACP, tipo de matriz: correlación, estimación de covarianza: robusta. Datos transformados con Ln (a) sin rotar, (b) Varimax, (c) Quartimax. Datos transformados con Ln y estandarizados, (d) sin rotar, (e) Varimax, (f) Quartimax.

Por otra parte, se observa que los ensayos realizados con Ln y Ln estandarizados, cuya matriz es de correlación, estimación de la covarianza robusta y extracción de componentes con rotación Quartimax posee una estructura de los componentes igual al ensayo más adecuado en el análisis de factores (Figura 20b), mientras que en los ensayos de ACP con estimación de covarianza regular, el Ta está presente en el C1 y C3. Adicionalmente, la varianza total explicada para el caso de los ensayos con estimación de covarianza robusta resultó ser de 92,22%, mayor que en los ensayos de estimación de correlación regular (Tabla 8 y 9). Por consiguiente, estos ensayos

son los más adecuados para analizar las muestras estudiadas mediante el análisis de componentes principales (Figura 31).

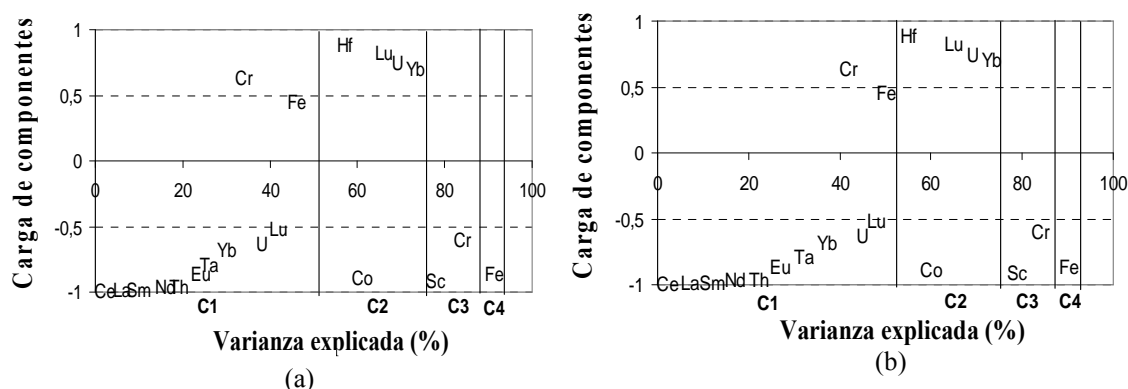
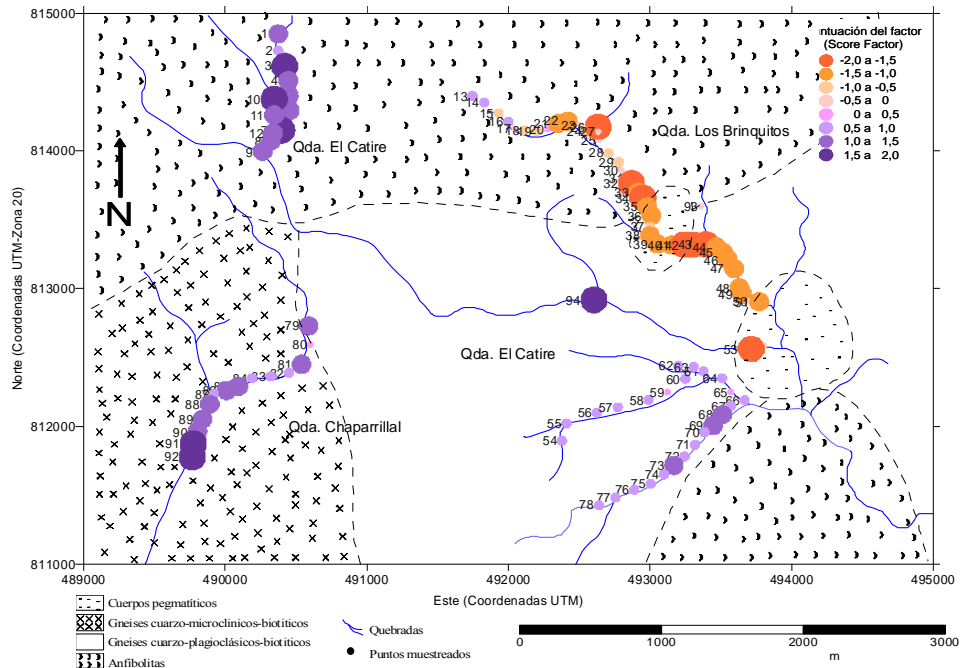


Figura 31. Ensayos de ACP, tipo de matriz: correlación, estimación de covarianza: robusta. (a) Datos transformados con Ln y rotados con Quartimax, y (b) datos transformados con Ln y posteriormente estandarizados, rotados con Quartimax.

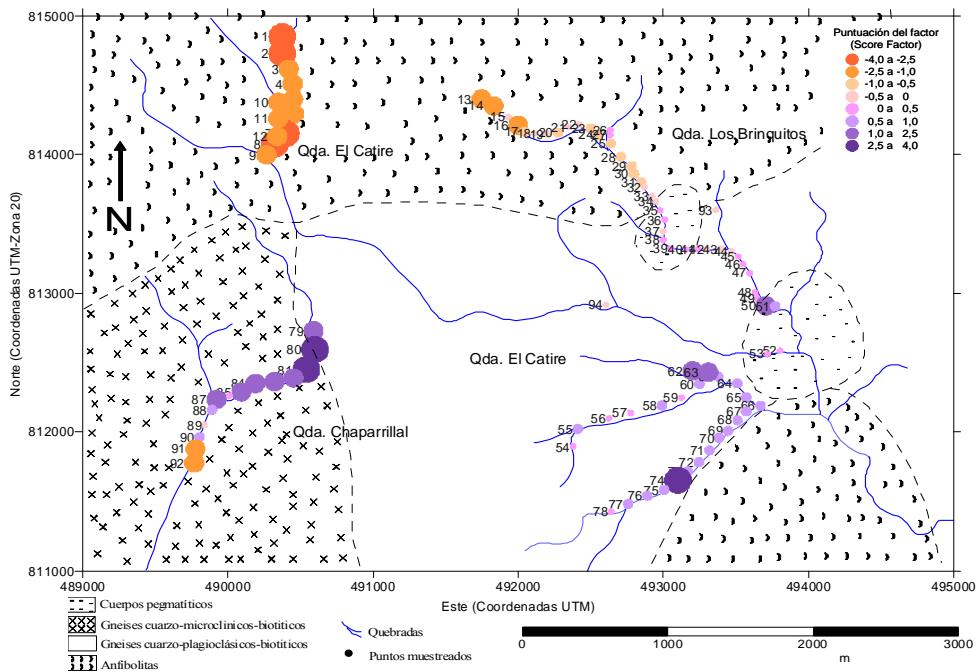
Al realizar la distribución de la puntuación las muestras dentro de cada componente, la cual permite comparar la influencia que tiene cada una de las muestras dentro de los componentes, se hallaron resultados muy similares al caso del análisis de factores.

En la distribución de la puntuación de cada muestra dentro del C1 se puede observar que mayoría de las muestras de la quebrada Los Brinquitos tienen una influencia directa con los REEs, mientras que las muestras ubicadas en la zona septentrional de la quebrada El Catire guardan una fuerte relación con el Cr y Fe. El resto de las muestras están correlacionadas levemente con el Cr y Fe (Figura 32a).

Por otra parte, en la figura 32 (b) se puede apreciar que las muestras de la quebrada El Catire que guardan una fuerte relación con el Cr y Fe en C1, son las que ahora guardan una fuerte relación con el Co. Adicionalmente, las muestras de la quebrada Chaparrillal están fuertemente correlacionadas con Hf, Lu, Yb y U, por ende estas muestras deben tener la mayor concentración de circones que el resto de las muestras, al igual que algunas muestras de la parte Sureste de la quebrada el Catire.



(a)



(b)

Figura 32. (a) Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del componente 1 (Ce, Eu, La, Th, U, Sm, Nd, Yb, U, Lu, Fe y Cr), (b) distribución de la puntuación de cada muestra dentro del componente 2 (Hf, Lu, Yb, U y Co).

Las muestras que tienen mayor afinidad con los constituyentes de C3 (Sc y Cr), están localizadas tanto en la parte septentrional de la quebrada El Catire como en la parte Sureste de la misma. También, están relacionadas con este factor algunas muestras de la parte Sur muestreada en la

quebrada Los Brinquitos. La quebrada Chaparrillar y la parte septentrional de la quebrada Los Brinquitos poseen una relación inversa con los elementos de este factor, es decir, deben estar conformadas por minerales aportados principalmente por una fuente félsica (Figura 33).

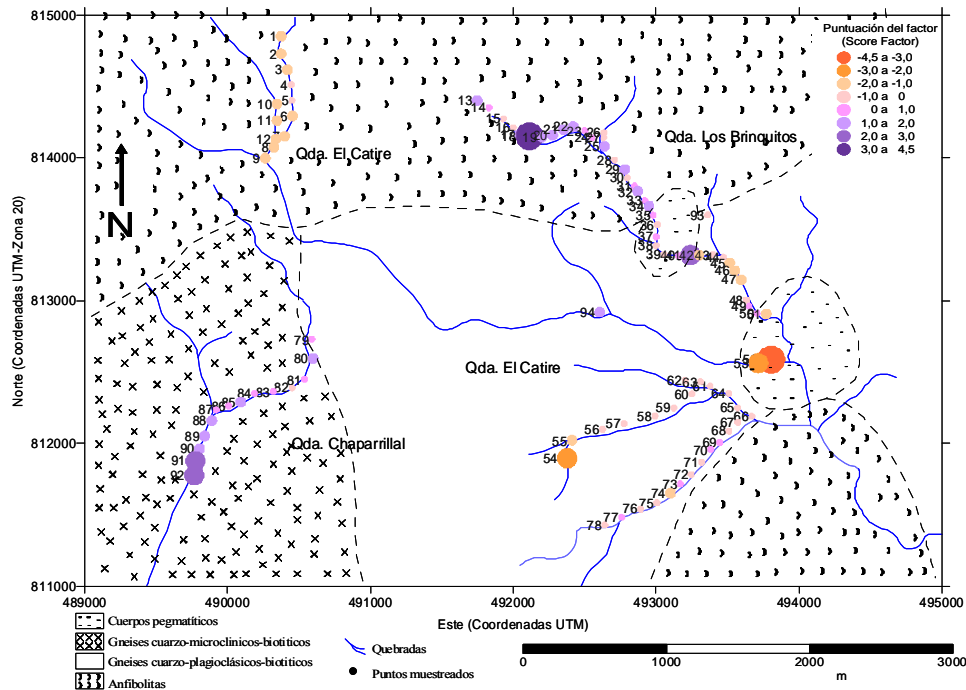


Figura 33. Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del componente 3 (Sc y Cr).

Finalmente, se tiene que el Fe no presenta una distribución en particular, él está distribuido a lo largo de las quebradas El Catire, y en la parte Sur muestreada de la quebrada Chaparrillar y Los Brinquitos (Figura 34). Esto reafirma la hipótesis de que el aporte de Fe este siendo controlado por los cuerpos de cuarcitas ferruginosas presentes en las zonas aledañas a la zona de estudio, y no necesariamente provenga principalmente de los cuerpos máficos localizados dentro de la zona de estudio.

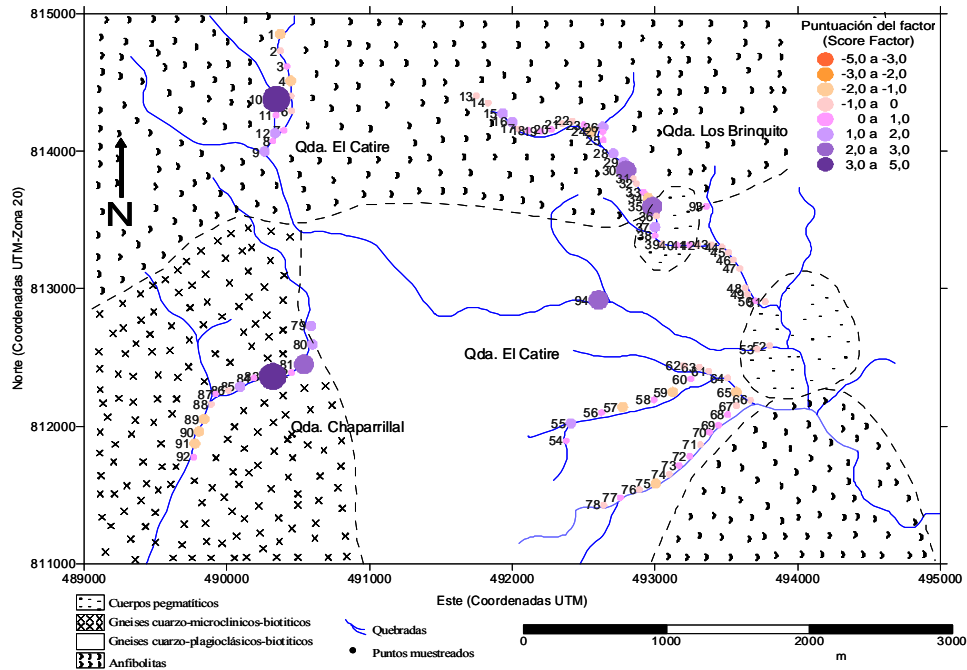


Figura 34. Distribución de la puntuación de cada muestra dentro del componente 4 (Fe).

En resumen, las dos técnicas de análisis multivariados sugieren la misma estructura de factores, y componentes, es decir, están aportando las mismas asociaciones geoquímicas. En ambas técnicas, resultó ser más favorable transformar los datos con Ln y emplear un tipo de matriz de correlación; siendo el ensayo más idóneo en análisis de factores el ensayo cuyos datos fueron transformados con Ln, donde la estimación de covarianza se realizó mediante el método robusto y los factores se rotaron con la rotación Quartimax. De manera similar, el ensayo más idóneo obtenido a partir del análisis de componentes principales fue el ensayo realizado con datos transformados con Ln, donde la herramienta de estandarización fue indiferente, la estimación de covarianza se realizó por el método robusto y los factores se rotaron con Quartimax. No obstante, desde el punto de vista cuantitativo, el análisis de factores resultó ser más adecuado puesto que la varianza total explicada del mejor ensayo establecido para las muestras estudiadas fue de 99,84%, mientras que el mejor ensayo considerado en el análisis de componentes principales logró explicar 92,22% de la varianza total.

Estimación de la proveniencia de los sedimentos

Una manera de determinar proveniencia de sedimentos fluviales es analizar la composición química de la fracción de minerales pesados contenida en las muestras de sedimentos. Para ello, se pueden utilizar relaciones interelementales como La/Sc, Th/Sc, La/Co y Cr/Th. De manera comparativa se puede saber con estas relaciones que las muestras con mayor carácter félsico deben tener valores más altos en las relaciones La/Sc, Th/Sc, La/Co, y valores bajos en la relación Cr/Th, en cambio, las muestras con afinidad máfica se deben comportar de manera inversa a las de origen félsico.

Afortunadamente, existen valores de referencias de estas relaciones, tal es el caso de los datos reportados por Yan *et al.* (2006), los cuales sirven de referencia para discriminar entre una fuente de sedimento félsica o máfica (Tabla 10). Un aspecto importante de estas relaciones es que los intervalos no se solapan entre sí.

Tabla 10. Rango de relaciones elementales de sedimentos provenientes de fuentes félsicas y máficas (Modificada de Yan *et al.*, 2006).

Relación elemental	Rango de sedimentos provenientes de fuentes félsicas	Rango de sedimentos provenientes de fuentes máficas
La/Sc	2,50-16,3	0,43-0,86
Th/Sc	0,84-20,5	0,05-0,22
La/Co	1,80-13,8	0,14-0,38
Cr/Th	4,00-15,0	25-500

Al emplear estos valores como referencia, en los datos de este trabajo, se halló que los únicos sedimentos provenientes de una fuente máfica son los localizados en la zona septentrional muestreada de la quebrada El Catire, indicando que estas muestras de sedimentos están siendo aportadas principalmente por los cuerpos de anfíbolitas que los rodeas (Figura 35).

Por otra parte, se tiene que los sedimentos de la parte Norte de la quebrada Los Brinquitos tienen una gran afinidad con una fuente félsica. Al igual que las muestras de la quebrada El Catire antes mencionadas, éstas están siendo rodeadas principalmente por una litología correspondiente a anfíbolitas, sin embargo, estos sedimentos deben estar siendo aportados principalmente por las vetas graníticas localizadas en esta parte de la quebrada (Figura 35).

El resto de las muestras presentan valores fuera de estos intervalos, puesto que posiblemente existan mezclas entre las fuentes de carácter félsicos, como los gneisis y pegmatitas graníticas, y las rocas de afinidad máfica, como lo son las anfibolitas (Figura 35).

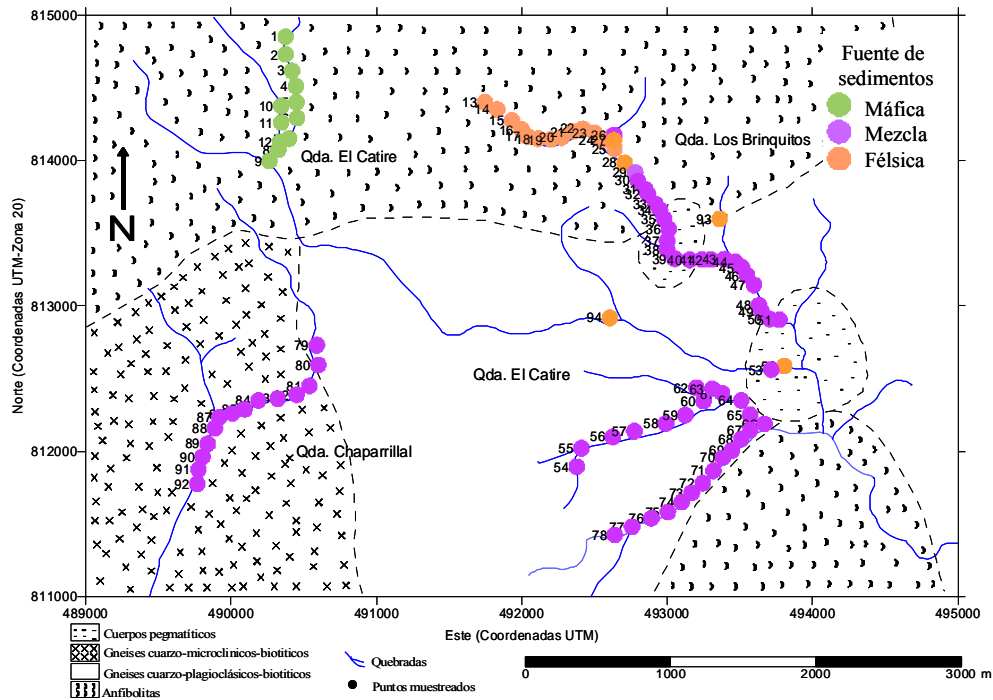


Figura 35. Determinación de proveniencia basada en los valores referenciales de las interrelaciones químicas reportadas por Yan *et al.* (2006).

Adicional a la determinación de proveniencia basada en los valores de referencias reportados por Yan *et al.* (2006), se han encontrado diagramas donde se pueden ver si las muestras de sedimentos provienen de una fuente félsica, máfica o es producto de la mezcla de estas dos fuentes, tal es el caso de los diagramas propuestos por Cullers (2002) descritos en la figura 5.

Al aplicar el diagrama triangular La-Sc-Th empleado por Cullers (2002) a las muestras de este trabajo, se obtuvo que las muestras de la parte septentrional de la quebrada El Catire probablemente son aportadas por una fuente de origen máfico, mientras que sólo la muestra P-94, ubicada en la parte central de la quebrada El Catire, es proveniente de una fuente félsica, según este diagrama la mayoría de las muestras deben producto de una mezcla de fuentes máficas y félsicas (Figura 36 a). También, se puede mencionar que la mayoría de las muestras que conforman la quebrada Los Brinquitos presenta principalmente un aporte félsico, debido a que están ubicadas en la parte superior del diagrama.

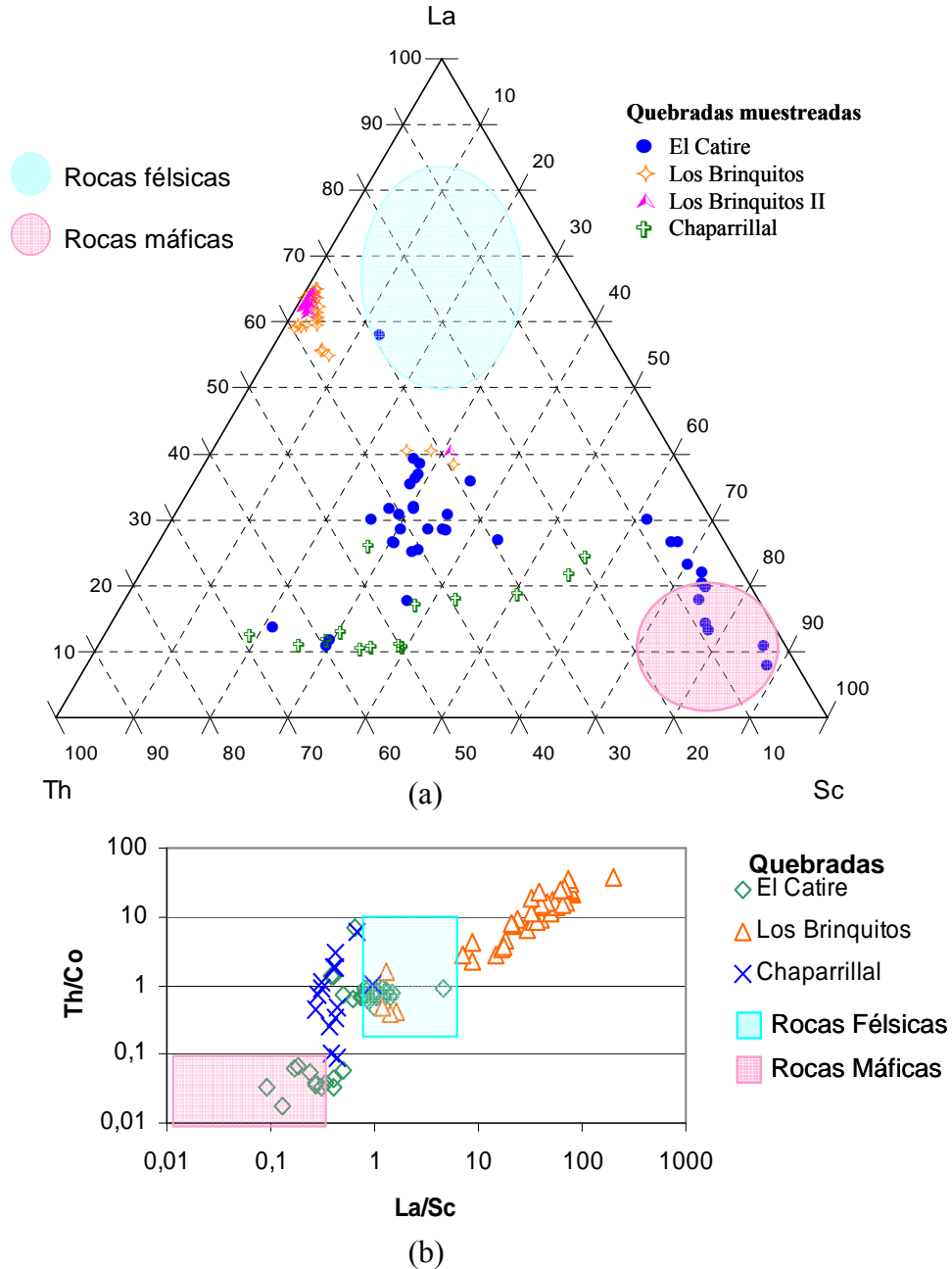


Figura 36. (a) Diagrama ternario La-Sc-Th; (b) Diagrama Th/Co vs. La/Sc, escala logarítmica.

De igual manera, se aplicó el diagrama Th/Co vs. La/Sc de escala logarítmica propuesto por Cullers (2002). Este diagrama indica que las muestras de la parte septentrional de la quebrada El Catire son aportadas por fuentes máficas, mientras que todas las muestras de la quebrada Los Brinquitos y algunas de las muestras de la parte Sur de la quebrada El Catire son provenientes de

una fuente félsica. Por otro lado, sugiere que las muestras de la quebrada Chaparrillal son producto de una mezcla entre fuentes máficas y félsicas (Figura 36 b).

Otra herramienta de gran utilidad para estimar proveniencia de sedimentos, son los diagramas de distribución de la puntuación que presenta cada una de las muestras dentro de los factores y componentes, obtenidos durante el análisis multivariado.

A partir de los diagramas de distribución de la puntuación obtenidos en el análisis de estadística multivariada, se puede mencionar que las muestras provenientes de la parte Norte de la quebrada El Catire resultaron estar altamente correlacionado con los elementos Cr y Co, reflejando que estos sedimentos deben provenir principalmente de una fuente de carácter máfico, como lo son las anfibolitas que afloran en esta parte de la quebrada (Figura 37a). Otras muestras que tienen un comportamiento similar son las P-91 y P-92, sólo que a diferencia de las muestras antes mencionadas estas pertenecen a la parte Sur de la quebrada Chaparrillal.

Por otra parte, se tiene que la mayoría de las muestras de la quebrada Los Brinquitos presentan una elevada correlación con los REEs, a excepción de las muestras P-13, P14 y P-15. En base a esto se puede interpretar que la fuente principal de sedimentos en esta zona deben ser las vetas de pegmatitas graníticas, seguidas por los gneises cuarzo–plagioclásico-biotítico por la cercanía a la quebrada (Figura 37a)

La estructura de los factores (y componentes) está reflejando que el mineral pesado predominante en las muestras de sedimentos de la quebrada Chaparrillal es posiblemente el circón, puesto que estas muestras son las que presentan la mayor puntuación dentro del factor 2, en el cual predomina el Hf. Al ser el circón un mineral accesorio corriente de rocas ígneas y félsicas, el no es útil como mineral indicador de proveniencia. No obstante, en este factor está reflejado el Co con una correlación inversa al resto de los elementos que conforman este factor, indicando que la mayoría de los circones probablemente provengan de una fuentes félsica. Este hecho es reforzado por la presencia de elementos como el Lu, U e Yb asociado al Hf, ya que estos elementos seguramente hayan sido aportado por rocas formadas en las últimas etapas de cristalización magmática (Figura 37b).

Finalmente, se tiene que las muestras localizadas en la parte Sur de la quebrada El Catire no muestran una fuerte correlación con un factor (o componente) en particular. Esto posiblemente se deba a que la principal fuente de estos sedimentos sea producto de una mezclas de diferentes

fuentes, tales como los cuerpos de pegmatitas graníticas, las anfibolitas y los gneises, principalmente los gneises cuarzo-plagioclásico-biotíticos por ser los más cercanos a los sedimentos (Figura 37).

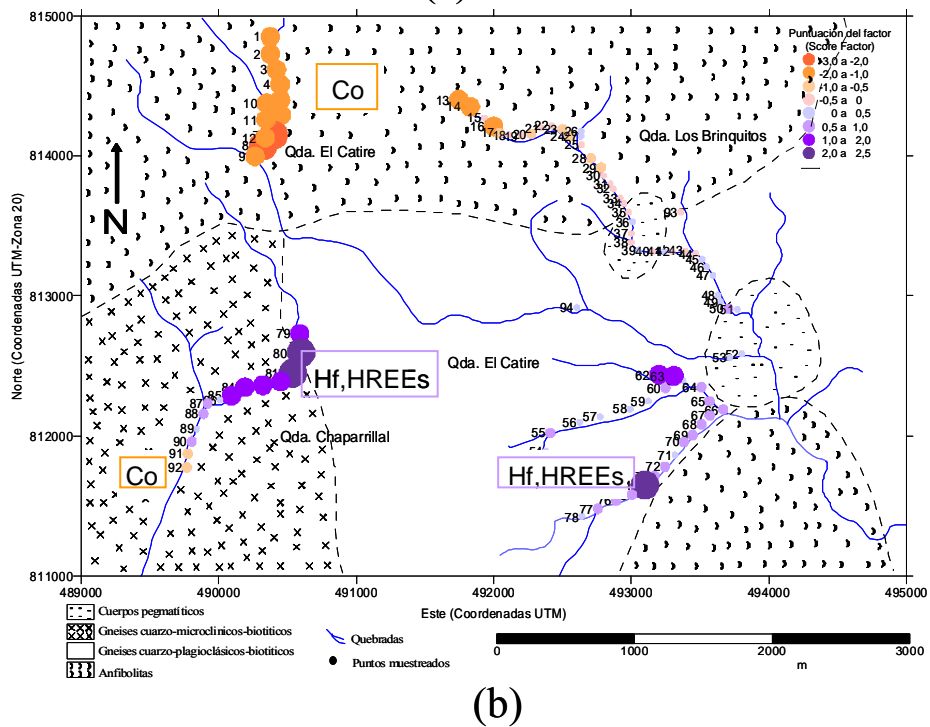
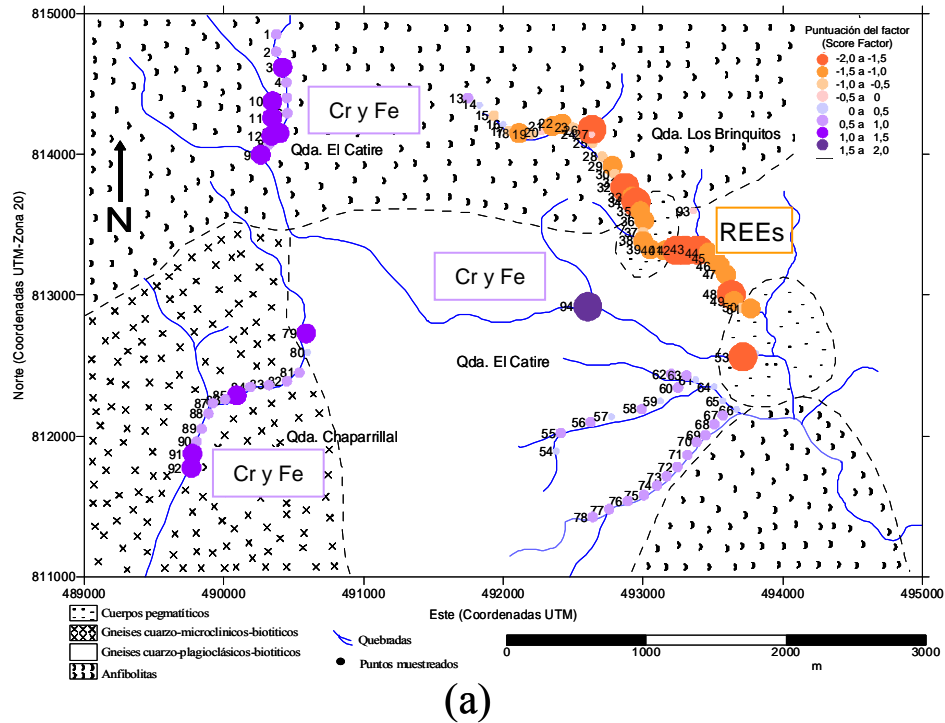
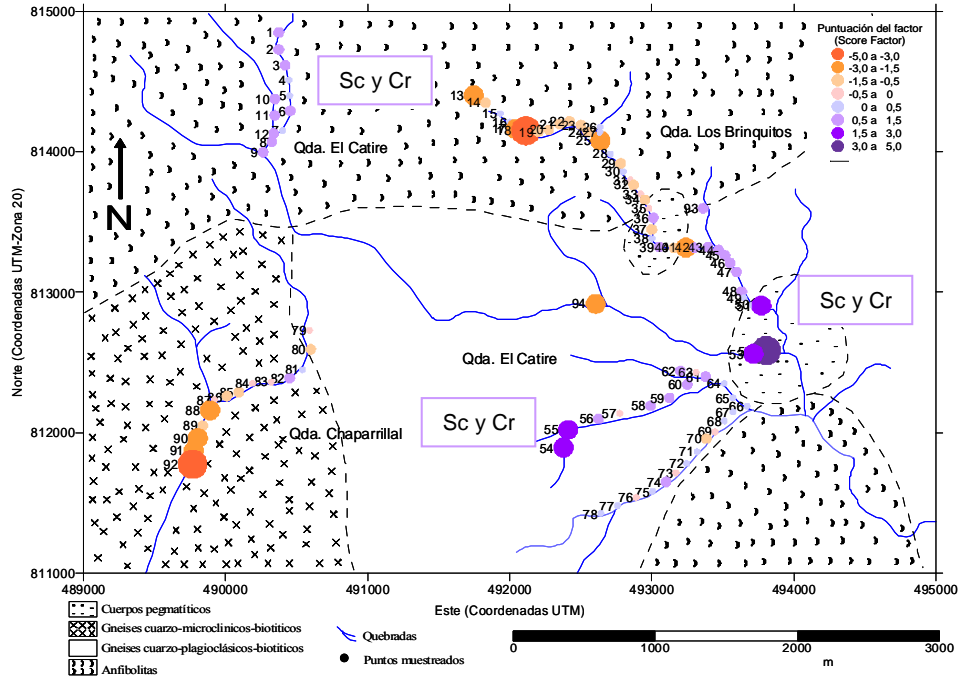
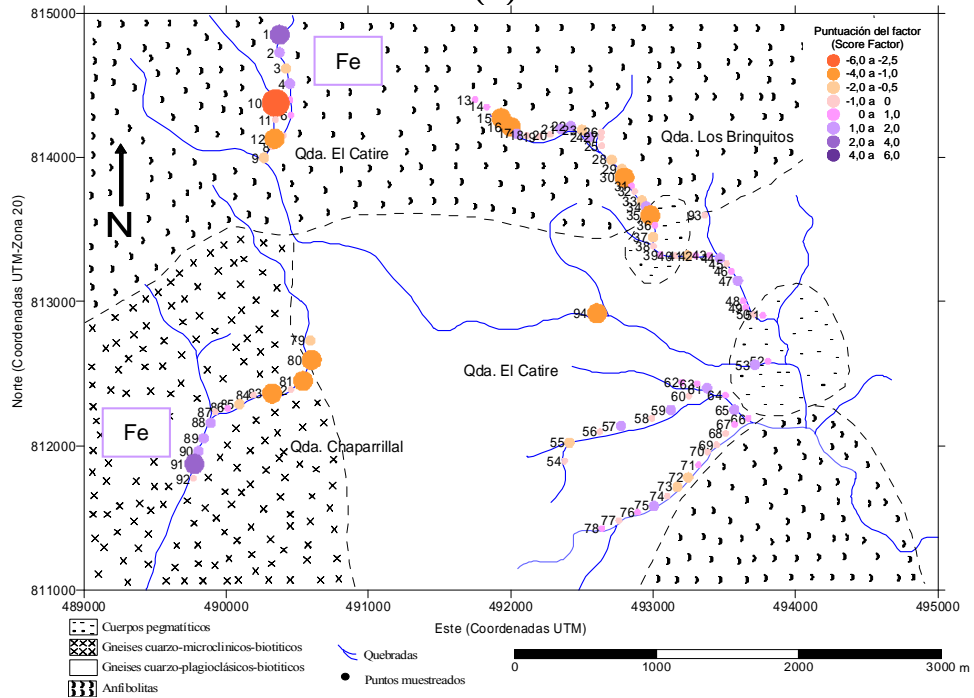


Figura 37. Influencia de cada muestra dentro de cada factor. (a) F1: REEs, Fe y Cr; (b) F2: Hf, HREEs y Co; (c) F3: Sc y Cr; y (d) F4: Fe.



(c)



(d)

Figura 37 (Continuación). Influencia de cada muestra dentro de cada factor. (a) F1: REEs, Fe y Cr; (b) F2: Hf, HREEs y Co; (c) F3: Sc y Cr; y (d) F4: Fe.

Al comparar los resultados de proveniencia basados en las relaciones interelementales y las fundamentadas en las técnicas de análisis multivariado, se puede apreciar que esta última refleja

con más detalle la proveniencia desde el punto de vista geoquímico, y permite conocer mejor la distribución de cada elemento. Además, con la proveniencia establecida a partir de las relaciones interelementales muchas muestras quedan fuera de los intervalos sugeridos, quedando como probable explicación que las muestras sean producto de una mezcla entre dos tipos diferentes de fuentes. Sin embargo, con el análisis multivariado se presentan argumentos para inferir que la fuente predominante de las muestras de la quebrada Chaparrillal es félsica e incluso aporta información sobre un posible fraccionamiento de HREEs, el cual puede ser de gran utilidad en estudios de geoquímica sedimentaria y/o petrogénesis.

Por otra parte, se pueden presentar situaciones donde las relaciones interelementales camuflen información importante de una muestra. Por ejemplo, una misma muestra puede estar conformada por un aporte altamente félsico y por un aporte moderadamente máfico; entonces, a partir de los intervalos de relaciones interelementales, probablemente sólo se pueda ver que la muestra proviene de una fuente félsica, mientras que a través del análisis multivariado muy posiblemente se pueda observar que la muestra tenga el aporte moderadamente máfico, a pesar de que principalmente la muestra provenga de una fuente félsica.

8. CONCLUSIONES

Como producto de los resultados obtenidos y de la discusión generada a partir de ellos es posible enunciar la siguiente serie de conclusiones:

- Los diagramas de cajas resultaron ser de gran utilidad en este trabajo, debido a que permitieron visualizar la distribución de los datos de una manera rápida, así como también, fueron útiles para determinar en que muestras está localizada la anomalía de Ta, creando un criterio de selección del ensayo de análisis multivariado más adecuado.
- Para el análisis multivariado realizado a las muestras del presente trabajo, resultó ser más adecuado transformar los datos iniciales con Ln, que emplear los datos iniciales o los datos transformados con Box-Cox, a pesar que la prueba Box-Cox logró normalizar un mayor número de variables.
- Tanto en el caso de la técnica de análisis de factores, como la técnica de análisis de componentes principales resultó ser más favorable transformar los datos con Ln y emplear un tipo de matriz de correlación; siendo el ensayo más idóneo en análisis de factores el ensayo cuyos datos fueron transformados con Ln, donde la estimación de covarianza se realizó mediante el método robusto y los factores se rotaron con la rotación Quartimax. De manera similar, el ensayo más idóneo obtenido a partir del análisis de componentes principales fue el ensayo realizado con datos transformados con Ln, donde la herramienta de estandarización fue indiferente, la estimación de covarianza se realizó por el método robusto y los factores se rotaron con el método Quartimax.
- Desde el punto de vista geoquímico ambas técnicas llegaron a los mismos resultados, pero desde el punto de vista cuantitativo, el análisis de factores fue más eficiente, debido a que logró explicar mayor porcentaje de la varianza total.
- Una manera rápida y sencilla de comparar e interpretar los resultados del análisis de factores y análisis de componentes principales, son los diagramas de carga de factores, o componentes vs. la varianza explicada.
- El aporte significativo de sedimentos provenientes de las cuarcitas ferruginosas presentes en el área de estudio, podrían estar afectando de manera significativa la resolución de las áreas estimadas para las fuentes propuestas en este estudio

- Las muestras de minerales pesados procedentes de la parte septentrional de la quebrada El Catire son aportadas por una fuente máfica, probablemente estén siendo aportadas por las anfibolitas circundantes. Mientras que las muestras de la parte Sur de esta quebrada son producto de una mezcla de fuentes félsicas, como los gneises cuarzo-plagioclásico-biotíticos y máficas, como las anfibolitas presentes en las zonas cercanas a esta parte de la quebrada. Por otra parte, se estima que las muestras de las quebradas Chaparrillal y las de Los Brinquitos son aportadas principalmente por fuentes félsicas, siendo probablemente los dos tipos de gneises y los cuerpos pegmatíticos las principales fuentes.
- La determinación de proveniencia de minerales pesados, a partir sus determinaciones químicas, es posible, de manera detallada y confiable, a través de las técnicas de análisis de factores y análisis de componentes principales. Este hecho es de gran utilidad en este estudio debido al alto grado de meteorización de los afloramientos.

9. RECOMENDACIONES

- Identificar las fases minerales que conforman la fracción de minerales pesados mediante la lupa, para tratar de discriminar si el fraccionamiento de Th, Ce y La, encontrado en el F1 y C1 en los ensayos realizados con datos transformados con Box-Cox, es producto de la herramienta estadística o de una posible fase cristalina en particular.
- Conocer que método en específico utiliza el programa MINITABTM para transformar los datos con la herramienta estadística Box-Cox.
- Separar magnéticamente la fracción de minerales pesados en base a su susceptibilidad magnética, para así, garantizar la separación total de fases como la magnetita y hematita, evitando que el aporte de cuarcitas ferruginosas de localidad oculte información importante de las muestras.
- Se sugiere calcular la matriz de correlaciones entre todas las variables para comprobar si sus características son adecuadas para realizar un análisis de factores; es decir, las variables deben estar altamente correlacionadas y su determinante no debe ser cero (matriz no singular), pues esto indicaría que algunas de las variables son linealmente dependientes y no se podrían realizar ciertos cálculos necesarios en el análisis de factores a través del programa NCSS© 2000. Existen diferentes métodos para comprobar el grado de asociación entre las variables, entre ellos se encuentran: el determinante de la matriz de correlaciones y la prueba de Esfericidad de Bartlett.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, R., 2007. *Identificación de minerales pesados en sedimentos fluviales del estado Bolívar*. Tesis Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 97 p.
- Arai, S., 1992. *Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry*. Mineralogy Magazine 56, 173-184.
- Boggs, S., 1992. *Petrology of sedimentary rocks*. Macmillan Publishing Company. 782 p.
- Briggs, L., 1965. *Heavy minerals correlation and provenances*. Journal of Sedimentary Petrology. 35, 4, 939-955.
- Carver, R., 1971. *Procedures in sedimentary petrology*. Nueva York. Wiley-Interscience. 653 p.
- Cox, D., Gin, J., Sidder, G., y Page, N., 1991. *Geology of Venezuela Guayana Shield. Geology and Mineral Resource assessment of the Venezuelan Guayana Shield*. U.S. Geological Survey Bulletin 2062. EE.UU. 121p.
- Cullers, R., 2002. *Implications of elemental concentration for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestone near Pueblo, Colorado, U.S.A.* Chemical Geology. 191. 305-327.
- Deer, W., Howie, R. y Zussman, J., 1992. *An introduction to the rock-forming minerals*. China. 696 p.
- Devore J., 2001. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Thomson Learning. México. 762 p.
- Dick, H., y Bullen, T. 1984. *Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas*. Contributions to Mineralogy and Petrology. 86, 54-76.
- Dytham, C., 2003. *Choosing and using statistics a Biologist's guide*. E.E.U.U. 248 p.
- Faure, G., 1991. *Principles and applications of inorganic geochemistry*. Nueva York. 626p.
- Fernández-Martín, J., Barcelo-Vidal, C. y Pawlowsky-Glahn V., 2003. *Dealing with zeros and missing value in compositional data sets using nonparametric imputation*. Mathematical geology. 35. 253-278.
- Figueras, S., 2000. *Introducción al Análisis Multivariante*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.5campus.com/leccion/anamul> [Consulta: Enero, 2009].
- Franco, J., 2006. *Estudio geoquímico de minerales pesados en sedimentos recientes de la Plataforma Continental Atlántica, Venezuela*. Tesis Especial de Grado, Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 86 p.
- Fondel, C., 1972. *The minerals of Franklin and Sterling Hill: a check list*. Nueva York, 94 p.
- Garbán, G., 1998. *Estudio geoquímico de los sedimentos pesados en el área de Santa. Bárbara-San Isidro- El Grillero, estado Bolívar, Venezuela*. Trabajo de ascenso, Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 124 p.

- Garbán, G., 2001. *Estudio de anomalías de tántalo en el área de El Grillero-El Café, estado Bolívar, Venezuela*. Trabajo de maestría, Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 121 p.
- Goldschmidt V., 1970. *Geochemistry*. Oxford, Inglaterra. 730pp.
- González de Juana, C., Iturralde De Arozena J., y Picard, X., 1980. *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Tomo I. FONINVES. Caracas. 407 p.
- Gorsuch, R., 1983. *Factor analysis*. Nueva Jersey. 425 p.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. y Black, W., 2004. *Análisis Multivariante*. España. 799 p.
- Herrera, M., 2004. *Caracterización geoquímica de los minerales pesados provenientes del río Aro, estado Bolívar*. Tesis Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 90 p.
- Jonson, D., 2000. *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. México. 566 p.
- Kaiser, H., 1960. *The application of electronic computers to factor analysis*. Educational and Psychological Measurement. 20. 141-151.
- Kieffer, K., 1998. *Orthogonal versus oblique factor rotation: a review of the literature regarding the pros and cons*. Annual Meeting of the Mid-South Educational Research Association. 1-32.
- Mange, M. y Maurer, H., 1992. *Heavy minerals in color*. London. 276 p.
- Mange, M. y Wright D., 2007. *Heavy mineral in use*. Developments in Sedimentology. 1283 p.
- Mange, M. y Morton, A. (2007). *Geochemistry of heavy minerals*. Developments in Sedimentology. 58. 345-392.
- Mason, B., 1960. *Principios de geoquímica*. Barcelona. 329 p.
- Méndez, A., 2006. *Proveniencia de los sedimentos que dieron origen a la formación Pecaya*. Tesis Especial de Grado, Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 98 p.
- Menéndez, G., 1992. *Uso de las fracciones magnéticas y no magnéticas de minerales pesados de sedimentos de río para la prospección geoquímica del Alto Paragua, estado Bolívar, Venezuela*. Tesis Especial de Grado, Instituto de Ciencias de la Tierra, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 68 p.
- Morton, A. y Hallsworth, C., 1994. *Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones*. Sedimentary Geology. 90. 241-256
- Morton, A. y Hallsworth, C., 1999. *Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones*. Sedimentary Geology. 124. 3-29.
- Morton, A, Hallsworth, C., Claoué-Long, J., y Fanning, C., 2000. *Carboniferous and provenance in the Pennine Basin, UK: constraints from heavy minerals and detrital zircon age data*. Sedimentary Geology. 137. 147-185
- Morton, A., Whitham, A. y Fanning C., 2005b. *Provenance of Late Cretaceous–Paleocene submarine fan sandstones in the Norwegian Sea: integration of heavy mineral, mineral chemical and zircon age data*. Sedimentary Geology. 182. 3–28.

PDVSA, INTEVEP. *Léxico estratigráfico*. [Documento en línea] Disponible: <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm> [Consulta: Diciembre, 2008].

Pe-Piper, G., Triantafyllidis, S. y Piper, D., 2008. *Geochemical identification of clastic sediment provenance from known sources of similar geology: the Cretaceous Scotian basin, Canada*. *Journal of Sedimentary Research*. 78. 595-607.

Pettijohn, F., Potter P. y Siever, R., 1987. *Sand and Sandstone*. Springer, New York, 553 p.

Rapp, R. y Watson, E., 1986. *Monazite solubility and dissolution kinetics: Implications for the thorium and light rare earth chemistry of felsic magmas*. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 94. 304-316.

Rayner-Canham, G., 2000. *Química inorgánica descriptiva*. México. 595 p.

Reimann, C. y Filzmoser, P., 2002. *Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data*. *Environmental Geology*. 39, 1001-1014.

Reimann, C., Filzmoser, P. y Garrett, R., 2002. *Factor analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities*. *Applied Geochemistry*. 17. 185-206.

Rodríguez, E., 1984. *Geoquímica de los resistatos del río Paragua, estado Bolívar*. Tesis Especial de Grado, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 79 p.

Torres, J., 1984. *Análisis geoquímico de los resistatos pesados de la hoya hidrográfica del río Paragua, estado Bolívar, Venezuela*. Tesis de Postgrado, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Universidad Central de Venezuela. 106 p.

Tucker, M., 2001. *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*. 262 p.

Weltje G., y von Eynatten H., 2004. *Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook*. *Sedimentary Geology*. 171. 1-11.

Yan, Z., Wang, Z., Wang, T., Yan, Q., Xiao W. y Li, J., 2006. *Provenance and tectonic setting of clastic deposits in the Devonian Xichen basin, Qinlin orogen, Central China*. *Journal of sedimentary research*. 76. 557-576.

11. APÉNDICES

11.1 Ubicación y descripción de los puntos de colección de muestras.

Tabla 11. Ubicación y descripción de los puntos de colección de muestras.

Ubicación	Estación	Muestra	Este	Norte	Observaciones
Qda. Los Briquitos	BEC-1	R-1	493006	813495	
Qda. El Catire (cabecera)	0'	P-1	490375	814850	
"	3'	P-2 y R-2	490375	814728	
"	5'	P-3	490420	814615	
"	7'	P-4	490447	814510	
"	Entre 9 y 8	P-5	490450	814400	
"	7	P-6 y R-3	490455	814292	
"	Entre 5 y 4	P-7	490400	814150	
"	Entre 2 y 1	P-8	490324	814073	
"	0	P-9	490265	813997	
"	5B	P-10 y R-4	490347	814376	
"	5B'	P-11	490346	814260	
"	6B	P-12	490339	814130	
Qda. Los Briquitos	0	P-13	491747	814400	
"	2	P-14	491830	814350	
"	6	P-15	491932	814273	
"	11	P-16	492000	814211	
"	16	P-17	492042	814163	
"	19	P-18	492113	814150	
"		P-19	492200	814144	
"	21	P-20	492275	814157	
"	25	P-21	492350	814198	Presencia de Au
"	29	P-22	492420	814217	
"	33	P-23	492500	814190	Presencia de Au
"	34 (BEC-6)		491877	814208	
"	37	P-24	492550	814140	Presencia de Au
"	42	P-25	492638	814080	Intersección de 2 Qdas. con los Brinquitos. Presencia de Au
		P-26	492635	814175	
		P-27	492633	814140	
"	47	P-28	492708	813983	Presencia de Au
"	50	P-29	492780	813918	Presencia de Au
"	53 (BEC-7)		492374	813674	
"	54	P-30	492798	813860	Presencia de Au
"	57	P-31	492849	813800	Presencia de Au
"	62	P-32	492870	813765	Presencia de Au
"	63	P-33	492920	813700	Presencia de Au
"	64	P-34	492950	813660	
"	68	P-35	492980	813597	Presencia de Au
"	70 (BEC-8)		492764	813649	
"	72	P-36 y R-5	493010	813530	Presencia de Au
"	75	P-37	493000	813447	
"	77	P-38	493000	813385	Presencia de Au
"	79	P-39	493052	813324	Presencia de Au
"	82 (BEC-9)	P-40	493155	813316	Presencia de Au; intersección con el camino

Tabla 11 (Continuación). Ubicación y descripción de los puntos de colección de muestras.

Ubicación	Estación	Muestra	Este	Norte	Observaciones
Qda. Los Briquitos	BEC-10		493215	813432	Cruce con ramal de Los Brinquitos
Qda. Los Brinquitos II	BEC-9		492275	813527	Comienzo de poligonal
"	2	P-41	493240	813318	Presencia de Au
"	6	P-42	493300	813318	
"	8	R-7			
"	9	P-43	493395	813321	Presencia de Au. Intersección con afluente.
"	12	P-44	493469	813302	Presencia de Au
"	16	P-45	493515	813263	Presencia de Au
"	18	P-46	493550	813209	
"	18'	P-47	493595	813145	
"	19	R-8			
"	21(BEC-15)	P-48	493632	813005	Presencia de Au
"	BEC-16	P-49 y R-9	493650	812961	
"	BEC-17	P-50 R-10 y R-11	493706	812910	
"	BEC-18	P-51	493771	812905	Presencia de Au
"	BEC-19		493455	812801	Afloramiento gneisico
"	BEC-20	P-52	493805	812586	Afluente que drena de Los Españoles. Presencia de cristales de roca en los Sedimentos gruesos
"	BEC-21	P-53	493715	812562	Intersección entre afluente y Los Brinquitos
"	BEC-22		494010	812401	Gneises
"	BEC-23		494037	812520	Anfibolitas
El Café (Qda. El Catire)	BEC-24	R-14	492811	812554	Afloramiento gneisico
"	BEC-25	R-13	492753	812478	Afloramiento cruce con Qda.
"	BCE-26		492749	811810	Entrada al bosque
"	BEC-27		492571	811627	Campamento minero abandonado (El Café)
"	BCE-28	P-54 R-14	492378	811895	Inicio de poligonal aguas abajo
"	5	P-55	492411	812022	Presencia de Au

Tabla 11 (Continuación). Ubicación y descripción de los puntos de colección de muestras.

Ubicación	Estación	Muestra	Este	Norte	Observaciones
El Café (Qda. El Catire)	10 (BEC-29)	P-56	492625	812099	Presencia de Au
	12 (BEC-27)	P-57	492774	812139	"
"	14	P-58	492991	812192	"
"	17	P-59	493124	812249	"
"	20 (BEC-30)	P-60	493250	812345	"
"	21	P-61	493378	812400	Intersección con afluente.
"		P-62	493201	812440	
"		P-63	493310	812431	
"		R-14			
"	23	P-64	493509	812350	
"	27	P-65	493570	812250	Presencia de Au
"	30	P-66	493669	812190	
"	34	P-67	493571	812148	
"	37	P-68	493510	812085	
"	40	P-69	493445	812007	
"	44	P-70	493383	811958	
"	48	P-71	493318	811867	
"	52	P-72	493245	811782	
"	55	P-73	493169	811716	Presencia de Au
"	58	P-74	493100	811651	"
"	61	P-75	493005	811583	
"	64	P-76	492890	811540	Cantos iguales a R-14
"	68 (BEC-31)	P-77	492758	811482	Presencia de Au
"	73 (BEC-32)	P-78	492640	811427	
"	BEC-33		493132	812303	Salida a la sabana
Qda. Chaparril	BEC-34		490243	812500	Entrada a la Qda.
"	BEC-35	P-79	490590	812730	Cabecera de la Qda.
"	BEC-36		490475	812387	Pto. En la Qda.
"	BEC-37	P-80	490600	812595	
"	2	P-81	490540	812450	Presencia de Au
"	5	P-82	490452	812390	"
"	7	P-83	490322	812363	"
"	11	P-84	490190	812350	Presencia importante de Au
"	14	P-85	490093	812289	Presencia de Au
Qda. Caparrillal	16(BEC-38)	P-86	490010	812261	Actividad minera. Presencia de Au
"	19	P-87	489921	812235	Presencia de Au
"	23	P-88	489891	812160	
"	26	P-89	489840	812052	Presencia de Au
"	33	P-90	489805	811963	
"	33	P-91	489776	811875	Presencia de Au

Tabla 11 (Continuación). Ubicación y descripción de los puntos de colección de muestras.

Ubicación	Estación	Muestra	Este	Norte	Observaciones
Qda. Caparrillal	34 (BEC-39)	P-92	489768	811777	Actividad minera, Extracción de Au en aluvión con maquinas. Presencia de Au y Hg
Qda. Los Brinquitos		P-93	493361	813598	Afluente de la Qda. Los Brinquitos
Qda. El Catire		P-94	492605	812918	

11.2. Análisis químico en muestras de minerales pesados (INAA).

Tabla 12. Análisis químico en muestras de minerales pesados (INAA).

Elemento	Au (ppb)	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Br (ppm)	Ca (%)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cs (ppm)	Fe (%)	Hf (ppm)
Muestra											
P-1	2470	n.d.	10	340	21	2	110	278	n.d.	35,8	10
P-2	n.d.	n.d.	6	n.d.	21	3	110	287	n.d.	32,6	5
P-3	n.d.	n.d.	3	n.d.	21	3	89	291	n.d.	28,2	5
P-4	41	n.d.	8	n.d.	9	2	99	297	n.d.	34,1	6
P-5	n.d.	n.d.	7	n.d.	8	n.d.	95	270	n.d.	33,1	7
P-6	6	n.d.	7	n.d.	18	1	97	265	n.d.	31,0	5
P-7	n.d.	n.d.	3	n.d.	105	4	105	299	n.d.	30,2	5
P-8	n.d.	n.d.	6	n.d.	8	n.d.	98	254	n.d.	30,6	6
P-9	n.d.	n.d.	5	n.d.	17	n.d.	90	248	n.d.	26,9	7
P-10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	20	6	80	380	n.d.	19,6	4
P-11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6	3	89	287	n.d.	31,0	11
P-12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37	2	83	286	n.d.	26,3	9
P-13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	24	n.d.	79	88	n.d.	33,3	18
P-14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10	n.d.	76	100	n.d.	32,1	17
P-15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	9	n.d.	66	114	n.d.	25,1	29
P-16	5500	n.d.	n.d.	n.d.	13	2	76	148	n.d.	26,3	12
P-17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5	n.d.	77	68	n.d.	32,9	23
P-18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	65	n.d.	n.d.	26,9	52
P-19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72	51	n.d.	28,5	47
P-20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10	n.d.	70	79	n.d.	28,1	33
P-21	n.d.	n.d.	n.d.	1500	19	n.d.	73	32	n.d.	31,2	45
P-22	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	11	n.d.	73	36	n.d.	30,9	51
P-23	48100	n.d.	n.d.	n.d.	5	n.d.	68	72	n.d.	27,6	34
P-24	17600	n.d.	n.d.	n.d.	10	n.d.	80	58	n.d.	33,1	42
P-25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	68	46	n.d.	29,6	37
P-26	45	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	88	160	n.d.	22,3	42
P-27	10100	n.d.	n.d.	400	8	n.d.	60	151	n.d.	28,7	45
P-28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	14	n.d.	70	79	n.d.	25,1	25
P-29	29600	n.d.	n.d.	n.d.	31	n.d.	65	45	2	25,4	28
P-30	n.d.	n.d.	n.d.	500	16	n.d.	63	119	n.d.	23,9	25
P-31	17300	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	70	83	n.d.	29,7	28
P-32	21100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	61	n.d.	n.d.	29,3	30
P-33	38300	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	65	80	n.d.	26,7	35
P-34	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72	n.d.	n.d.	30,7	48
P-35	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	59	46	n.d.	21,8	38
P-36	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	53	n.d.	66	113	n.d.	29,8	189
P-37	523	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	69	130	n.d.	26,2	35
P-38	118000	n.d.	n.d.	n.d.	19	n.d.	68	83	n.d.	26,8	37
P-39	207000	n.d.	n.d.	n.d.	21	n.d.	64	122	n.d.	30,3	38
P-40	226000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	65	94	n.d.	27,8	41
P-41	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	22	n.d.	52	n.d.	n.d.	27,4	39
P-42	32500	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	79	85	n.d.	29,2	33
P-43	171000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	71	83	n.d.	28,9	36
P-44	77100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	86	91	n.d.	29,5	37
P-45	120000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	60	146	n.d.	29,0	51
P-46	172000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	68	144	n.d.	30,0	45
P-47	24	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	77	97	n.d.	29,4	130

Tabla 12 (Continuación). Análisis químico en muestras de minerales pesados (INAA).

Elemento	Au	Ag	As	Ba	Br	Ca	Co	Cr	Cs	Fe	Hf
Muestra	(ppb)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)
P-48	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	69	90	n.d.	29,3	72
P-49	28500	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	66	44	n.d.	29,1	173
P-50	8290	n.d.	n.d.	n.d.	62	n.d.	60	135	n.d.	30,0	205
P-51	10300	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	67	80	n.d.	28,3	192
P-52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	31	n.d.	68	145	n.d.	33,0	153
P-53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	53	n.d.	74	72	n.d.	30,0	164
P-54	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	79	n.d.	64	270	n.d.	28,3	321
P-55	90000	n.d.	n.d.	n.d.	15	n.d.	61	266	n.d.	28,4	378
P-56	113000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	60	177	n.d.	29,0	277
P-57	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	31	n.d.	63	139	n.d.	35,4	314
P-58	11300	n.d.	n.d.	n.d.	33	n.d.	57	183	n.d.	30,6	312
P-59	89200	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	66	151	n.d.	34,4	344
P-60	60200	n.d.	n.d.	n.d.	16	n.d.	62	300	n.d.	28,9	352
P-61	14000	n.d.	n.d.	n.d.	24	n.d.	62	231	n.d.	33,6	382
P-62	22200	n.d.	n.d.	n.d.	63	n.d.	55	577	n.d.	31,4	597
P-63	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	13	n.d.	50	207	n.d.	32,2	679
P-64	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6	n.d.	57	181	n.d.	33,2	363
P-65	12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	59	141	n.d.	36,4	407
P-66	5210	n.d.	n.d.	n.d.	27	n.d.	57	138	n.d.	32,5	415
P-67	8	n.d.	n.d.	280	n.d.	n.d.	55	220	n.d.	32,4	356
P-68	9	n.d.	n.d.	n.d.	38	n.d.	55	257	n.d.	31,3	385
P-69	4070	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	53	216	n.d.	30,0	302
P-70	12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	54	202	n.d.	31,7	316
P-71	21000	n.d.	n.d.	n.d.	95	n.d.	60	284	n.d.	31,3	342
P-72	23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	54	125	n.d.	31,1	286
P-73	10100	n.d.	n.d.	280	n.d.	n.d.	51	185	n.d.	29,8	346
P-74	47800	n.d.	10	n.d.	41	n.d.	26	491	n.d.	39,9	1700
P-75	13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2	62	261	n.d.	34,6	403
P-76	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	52	145	n.d.	32,7	358
P-77	7990	n.d.	n.d.	n.d.	16	n.d.	54	175	n.d.	31,0	354
P-78	7730	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	60	217	n.d.	33,7	316
P-79	160000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	54	203	n.d.	29,5	501
P-80	28200	n.d.	n.d.	n.d.	6	n.d.	26	n.d.	n.d.	29,6	1300
P-81	110000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	32	137	n.d.	28,5	775
P-82	135000	n.d.	n.d.	n.d.	54	n.d.	44	174	n.d.	29,8	686
P-83	45200	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	35	107	n.d.	24,3	539
P-84	842	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	45	162	n.d.	31,4	399
P-85	11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	48	110	n.d.	29,0	361
P-86	64000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	64	187	n.d.	31,7	235
P-87	156000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	50	111	n.d.	30,9	354
P-88	17	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	57	101	n.d.	35,1	265
P-89	34500	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	61	64	n.d.	36,1	173
P-90	12300	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	62	97	n.d.	35,9	316
P-91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	74	75	n.d.	39,5	83
P-92	10	n.d.	n.d.	n.d.	7	n.d.	62	96	n.d.	31,9	58
P-93	99100	n.d.	n.d.	690	n.d.	n.d.	63	120	n.d.	30,3	52
P-94	804	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	52	280	n.d.	27,6	120

Tabla 12 (Continuación). Concentraciones de los minerales pesados (INAA)

Elemento	Hg (ppm)	Ir (ppb)	Mo (ppm)	Na (%)	Ni (ppm)	Rb (ppm)	Sb (ppm)	Sc (ppm)	Se (ppm)	Sr (%)	Ta (ppm)
Muestra											
P-1	n.d.	n.d.	n.d.	0,14	n.d.	n.d.	3,9	40,1	n.d.	n.d.	141
P-2	n.d.	n.d.	n.d.	0,18	n.d.	n.d.	2,2	44,7	n.d.	n.d.	133
P-3	n.d.	n.d.	n.d.	0,41	n.d.	n.d.	2,1	46,7	n.d.	n.d.	90
P-4	n.d.	n.d.	n.d.	0,13	n.d.	n.d.	2,5	39,7	n.d.	n.d.	93
P-5	n.d.	n.d.	n.d.	0,18	n.d.	n.d.	2,8	38,8	n.d.	n.d.	102
P-6	n.d.	n.d.	n.d.	0,22	n.d.	n.d.	2,6	42,7	n.d.	n.d.	161
P-7	n.d.	n.d.	n.d.	0,23	n.d.	n.d.	1,6	44,4	n.d.	n.d.	57
P-8	n.d.	n.d.	n.d.	0,20	n.d.	n.d.	1,7	43,3	n.d.	n.d.	219
P-9	n.d.	n.d.	n.d.	0,24	n.d.	n.d.	1,5	45,3	n.d.	n.d.	314
P-10	n.d.	n.d.	n.d.	0,65	n.d.	n.d.	n.d.	55,3	n.d.	n.d.	58
P-11	n.d.	n.d.	n.d.	0,25	n.d.	n.d.	n.d.	46,7	n.d.	n.d.	324
P-12	n.d.	n.d.	n.d.	0,29	n.d.	n.d.	n.d.	48,7	n.d.	n.d.	398
P-13	n.d.	n.d.	n.d.	0,09	n.d.	n.d.	n.d.	23,4	n.d.	n.d.	163
P-14	n.d.	n.d.	n.d.	0,15	n.d.	n.d.	n.d.	26,5	n.d.	n.d.	159
P-15	n.d.	n.d.	n.d.	0,23	n.d.	n.d.	n.d.	40,0	n.d.	n.d.	550
P-16	n.d.	n.d.	n.d.	0,34	n.d.	n.d.	n.d.	38,4	n.d.	n.d.	226
P-17	n.d.	n.d.	n.d.	0,09	n.d.	n.d.	n.d.	22,9	n.d.	n.d.	191
P-18	n.d.	n.d.	36	0,08	n.d.	n.d.	n.d.	28,1	n.d.	n.d.	n.d.
P-19	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	23,8	n.d.	n.d.	426
P-20	n.d.	n.d.	n.d.	0,13	n.d.	n.d.	n.d.	26,4	n.d.	n.d.	231
P-21	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	1,8	25,9	n.d.	n.d.	384
P-22	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	26,1	n.d.	n.d.	478
P-23	n.d.	n.d.	n.d.	0,09	n.d.	n.d.	n.d.	27,9	n.d.	n.d.	380
P-24	n.d.	n.d.	n.d.	0,10	n.d.	n.d.	n.d.	28,6	n.d.	n.d.	320
P-25	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	22,8	n.d.	n.d.	262
P-26	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	28,7	n.d.	n.d.	481
P-27	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	34,0	n.d.	n.d.	858
P-28	n.d.	n.d.	n.d.	0,19	n.d.	n.d.	n.d.	41,6	n.d.	n.d.	473
P-29	n.d.	n.d.	20	0,08	n.d.	n.d.	n.d.	28,0	n.d.	n.d.	537
P-30	n.d.	n.d.	n.d.	0,23	n.d.	n.d.	n.d.	41,4	n.d.	n.d.	469
P-31	n.d.	n.d.	n.d.	0,11	n.d.	n.d.	n.d.	32,3	n.d.	n.d.	627
P-32	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	38,8	n.d.	n.d.	902
P-33	n.d.	n.d.	n.d.	0,12	n.d.	n.d.	n.d.	31,2	n.d.	n.d.	557
P-34	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37,8	n.d.	n.d.	837
P-35	n.d.	n.d.	n.d.	0,12	n.d.	n.d.	n.d.	34,3	n.d.	n.d.	576
P-36	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	39,0	n.d.	n.d.	878
P-37	n.d.	n.d.	n.d.	0,12	n.d.	n.d.	n.d.	29,1	n.d.	n.d.	196
P-38	n.d.	n.d.	n.d.	0,08	n.d.	n.d.	n.d.	36,5	n.d.	n.d.	755
P-39	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38,4	n.d.	n.d.	1010
P-40	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,6	28,0	n.d.	n.d.	566
P-41	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	31,0	n.d.	n.d.	714
P-42	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	54,4	n.d.	n.d.	1590
P-43	n.d.	n.d.	n.d.	0,28	n.d.	n.d.	n.d.	46,1	n.d.	n.d.	1370
P-44	n.d.	n.d.	n.d.	0,09	n.d.	n.d.	n.d.	38,3	n.d.	n.d.	1030
P-45	n.d.	n.d.	n.d.	0,20	n.d.	n.d.	n.d.	46,5	n.d.	n.d.	1690
P-46	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	46,2	n.d.	n.d.	1290
P-47	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	48,6	n.d.	n.d.	962

Tabla 12 (Continuación). Concentraciones de los minerales pesados (INAA)

Elemento	Hg (ppm)	Ir (ppb)	Mo (ppm)	Na (%)	Ni (ppm)	Rb (ppm)	Sb (ppm)	Sc (ppm)	Se (ppm)	Sr (%)	Ta (ppm)
Muestra											
P-48	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	45,7	n.d.	n.d.	1270
P-49	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	40,6	n.d.	n.d.	648
P-50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36,0	n.d.	n.d.	388
P-51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	64,1	n.d.	n.d.	1350
P-52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	116,0	n.d.	n.d.	1290
P-53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	80,7	n.d.	n.d.	1700
P-54	n.d.	n.d.	n.d.	0,33	n.d.	n.d.	0,6	58,5	n.d.	n.d.	580
P-55	n.d.	n.d.	n.d.	0,19	n.d.	n.d.	n.d.	54,8	n.d.	n.d.	541
P-56	n.d.	n.d.	n.d.	0,10	n.d.	n.d.	n.d.	36,4	n.d.	n.d.	413
P-57	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	33,1	n.d.	n.d.	340
P-58	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	41,8	n.d.	n.d.	573
P-59	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38,7	n.d.	n.d.	500
P-60	n.d.	n.d.	n.d.	0,14	n.d.	n.d.	0,8	39,9	n.d.	n.d.	150
P-61	n.d.	n.d.	n.d.	0,08	n.d.	n.d.	0,7	39,6	n.d.	n.d.	340
P-62	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37,1	n.d.	n.d.	77
P-63	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	34,5	n.d.	n.d.	106
P-64	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5	33,4	n.d.	n.d.	324
P-65	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38,7	n.d.	n.d.	477
P-66	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	33,8	n.d.	n.d.	300
P-67	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	0,3	33,5	n.d.	n.d.	270
P-68	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	32,6	n.d.	n.d.	160
P-69	n.d.	n.d.	n.d.	0,06	n.d.	n.d.	n.d.	29,2	n.d.	n.d.	226
P-70	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,7	27,3	n.d.	n.d.	151
P-71	n.d.	n.d.	n.d.	0,06	n.d.	n.d.	n.d.	33,4	n.d.	n.d.	246
P-72	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5	34,5	n.d.	n.d.	720
P-73	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	27,6	n.d.	n.d.	201
P-74	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	58,1	n.d.	n.d.	218
P-75	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	32,5	n.d.	n.d.	206
P-76	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	32,1	n.d.	n.d.	372
P-77	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5	33,6	n.d.	n.d.	331
P-78	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	32,2	n.d.	n.d.	328
P-79	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	32,5	n.d.	n.d.	160
P-80	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,7	42,1	n.d.	n.d.	380
P-81	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37,7	n.d.	n.d.	355
P-82	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	39,7	n.d.	n.d.	296
P-83	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	32,7	n.d.	n.d.	332
P-84	25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	32,8	n.d.	n.d.	283
P-85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	26,3	n.d.	n.d.	185
P-86	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,6	23,9	n.d.	n.d.	83
P-87	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	28,4	n.d.	n.d.	275
P-88	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	22,4	n.d.	n.d.	104
P-89	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	24,4	n.d.	n.d.	174
P-90	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	22,2	n.d.	n.d.	67
P-91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18,1	n.d.	n.d.	41
P-92	10	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	0,3	16,2	n.d.	n.d.	14
P-93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	44,0	n.d.	n.d.	630
P-94	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	20,0	n.d.	n.d.	140

Tabla 12 (Continuación). Concentraciones de los minerales pesados (INAA)

Elemento	Hg (ppm)	Ir (ppb)	Mo (ppm)	Na (%)	Ni (ppm)	Rb (ppm)	Sb (ppm)	Sc (ppm)	Se (ppm)	Sr (%)	Ta (ppm)
Muestra											
P-48	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	45,7	n.d.	n.d.	1270
P-49	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	40,6	n.d.	n.d.	648
P-50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36,0	n.d.	n.d.	388
P-51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	64,1	n.d.	n.d.	1350
P-52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	116,0	n.d.	n.d.	1290
P-53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	80,7	n.d.	n.d.	1700
P-54	n.d.	n.d.	n.d.	0,33	n.d.	n.d.	0,6	58,5	n.d.	n.d.	580
P-55	n.d.	n.d.	n.d.	0,19	n.d.	n.d.	n.d.	54,8	n.d.	n.d.	541
P-56	n.d.	n.d.	n.d.	0,10	n.d.	n.d.	n.d.	36,4	n.d.	n.d.	413
P-57	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	33,1	n.d.	n.d.	340
P-58	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	41,8	n.d.	n.d.	573
P-59	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38,7	n.d.	n.d.	500
P-60	n.d.	n.d.	n.d.	0,14	n.d.	n.d.	0,8	39,9	n.d.	n.d.	150
P-61	n.d.	n.d.	n.d.	0,08	n.d.	n.d.	0,7	39,6	n.d.	n.d.	340
P-62	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37,1	n.d.	n.d.	77
P-63	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	34,5	n.d.	n.d.	106
P-64	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5	33,4	n.d.	n.d.	324
P-65	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38,7	n.d.	n.d.	477
P-66	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	33,8	n.d.	n.d.	300
P-67	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	0,3	33,5	n.d.	n.d.	270
P-68	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	32,6	n.d.	n.d.	160
P-69	n.d.	n.d.	n.d.	0,06	n.d.	n.d.	n.d.	29,2	n.d.	n.d.	226
P-70	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,7	27,3	n.d.	n.d.	151
P-71	n.d.	n.d.	n.d.	0,06	n.d.	n.d.	n.d.	33,4	n.d.	n.d.	246
P-72	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5	34,5	n.d.	n.d.	720
P-73	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	27,6	n.d.	n.d.	201
P-74	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	58,1	n.d.	n.d.	218
P-75	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	32,5	n.d.	n.d.	206
P-76	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	32,1	n.d.	n.d.	372
P-77	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5	33,6	n.d.	n.d.	331
P-78	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	32,2	n.d.	n.d.	328
P-79	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	32,5	n.d.	n.d.	160
P-80	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,7	42,1	n.d.	n.d.	380
P-81	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37,7	n.d.	n.d.	355
P-82	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	39,7	n.d.	n.d.	296
P-83	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	32,7	n.d.	n.d.	332
P-84	25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	32,8	n.d.	n.d.	283
P-85	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,4	26,3	n.d.	n.d.	185
P-86	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,6	23,9	n.d.	n.d.	83
P-87	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	28,4	n.d.	n.d.	275
P-88	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	22,4	n.d.	n.d.	104
P-89	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	24,4	n.d.	n.d.	174
P-90	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	22,2	n.d.	n.d.	67
P-91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18,1	n.d.	n.d.	41
P-92	10	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	0,3	16,2	n.d.	n.d.	14
P-93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	44,0	n.d.	n.d.	630
P-94	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	20,0	n.d.	n.d.	140

Tabla 12 (Continuación). Concentraciones de los minerales pesados (INAA)

Elemento	Th	U	W	Zn	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
Muestra	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
P-1	3,7	2,8	10	287	16	36	16	3,8	1,1	n.d.	8,4	1,20
P-2	6,2	6,5	19	273	22	54	20	4,9	1,4	n.d.	7,5	0,95
P-3	1,6	6,4	n.d.	231	6	19	n.d.	2,8	1,1	n.d.	5,9	0,96
P-4	4,3	4,9	8	334	16	36	12	3,7	1,1	n.d.	7	0,98
P-5	3,7	3,0	5	272	13	36	12	3,7	1,1	n.d.	7,7	1,05
P-6	3,2	3,7	n.d.	235	13	34	11	3,6	0,9	n.d.	6,6	0,83
P-7	3,6	n.d.	5	245	12	28	n.d.	3,7	1,0	n.d.	6	0,89
P-8	3,8	0,8	5	215	12	33	12	4,6	1,0	n.d.	6,8	0,88
P-9	4,8	4,4	12	263	11	24	n.d.	3,9	1,0	n.d.	6	0,74
P-10	2,6	1,3	n.d.	262	5	19	n.d.	4,5	1,1	n.d.	4,2	0,63
P-11	5,4	2,3	6	327	8	28	n.d.	4,4	0,8	n.d.	6	0,88
P-12	5,7	2,0	8	323	9	22	n.d.	4,8	0,7	n.d.	4,8	0,67
P-13	32,2	4,0	8	435	38	80	23	7,1	0,6	n.d.	6,9	1,08
P-14	29,4	6,2	5	412	38	82	28	7,4	0,6	n.d.	11	1,60
P-15	598	31,9	n.d.	372	934	1490	446	92,8	3,3	14	30,5	4,77
P-16	35,3	3,9	n.d.	206	46	88	37	8,2	0,9	n.d.	8,1	1,24
P-17	213	13,2	n.d.	328	345	563	168	36,8	1,7	5	26,3	4,10
P-18	1340	70,2	n.d.	517	2270	3220	757	183	8,5	26	47,6	7,53
P-19	460	25,7	n.d.	244	699	1160	391	77,5	3,6	12	31,1	4,71
P-20	155	13,0	n.d.	272	230	421	125	28,6	1,5	4	19,6	2,87
P-21	884	45,6	n.d.	396	1310	2140	668	133	5,6	17	49	7,59
P-22	676	38,3	10	256	1030	1700	506	109	4,7	14	49,1	7,53
P-23	309	19,6	n.d.	299	521	693	267	47,2	2,3	n.d.	22,7	3,11
P-24	283	22,1	9	287	472	694	224	49,4	2,6	7	30	4,22
P-25	242	13,6	n.d.	340	408	579	177	41,5	1,8	6	26,2	3,77
P-26	3290	166,0	n.d.	200	5790	7250	1950	458	13,7	72	187	28,50
P-27	164	26,4	18	203	240	353	102	28,4	1,5	5	37,8	5,33
P-28	518	21,1	9	n.d.	923	1190	356	80,1	3,6	11	28,4	3,95
P-29	756	31,1	n.d.	n.d.	1380	1650	591	109	4,3	12	23,9	3,38
P-30	500	26,7	n.d.	n.d.	865	1130	344	77	3,4	11	22,4	3,00
P-31	603	31,9	n.d.	n.d.	1110	1370	363	89,7	4,0	10	32,7	4,62
P-32	1150	64,7	n.d.	n.d.	2200	2890	833	182	7,1	23	52	6,84
P-33	931	34,3	22	n.d.	1740	2160	687	141	5,4	20	49,6	7,95
P-34	1600	79,7	n.d.	n.d.	2970	3650	1130	242	8,3	30	71,3	10,60
P-35	983	54,6	18	n.d.	1750	2380	726	153	6,0	18	44,4	6,29
P-36	936	55,0	n.d.	n.d.	1590	2050	634	142	7,0	20	55,7	8,45
P-37	603	39,0	n.d.	366	1070	1420	446	97,4	4,0	11	42,5	7,10
P-38	1130	58,5	n.d.	n.d.	1990	2490	676	164	6,8	19	62,2	9,55
P-39	1550	101,0	n.d.	n.d.	2790	3220	991	205	7,5	29	75,9	11,10
P-40	1050	50,2	n.d.	n.d.	2010	2550	702	163	5,9	21	53,6	8,42
P-41	1310	75,7	n.d.	423	2390	3220	912	205	8,1	30	64,5	9,23
P-42	2330	104,0	25	n.d.	4180	5130	1520	316	9,1	41	72,1	10,10
P-43	1880	91,4	n.d.	n.d.	3160	4150	1100	238	11,3	37	65,3	10,10
P-44	1310	73,6	14	n.d.	2440	3180	863	199	8,0	26	65,5	9,74
P-45	2060	133,0	n.d.	n.d.	3440	3870	1070	247	11,9	43	79,7	10,70
P-46	1730	90,7	n.d.	n.d.	3090	3620	912	231	11,1	38	75,7	13,10
P-47	1270	85,0	n.d.	n.d.	2200	2810	713	179	9,6	28	84,2	13,00

Tabla 12 (Continuación). Concentraciones de los minerales pesados (INAA)

Elemento	Th (ppm)	U (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Tb (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
Muestra												
P-48	1650	80,6	n.d.	n.d.	2880	3590	974	237	11,6	33	80,1	12
P-49	956	75,7	n.d.	371	1610	2470	572	138	8,7	17	80,8	11,5
P-50	702	76,1	n.d.	427	1160	1840	352	95,9	0,2	21	86,7	14,1
P-51	1230	110,0	26	n.d.	2060	3140	712	161	9,0	27	97,9	15,2
P-52	109	57,7	52	472	151	273	64	22,2	1,2	n.d.	33,9	5,94
P-53	1740	127,0	n.d.	n.d.	3050	4100	1050	232	11,4	32	95,4	13,3
P-54	39,5	32,8	55	n.d.	36	90	22	8,6	1,8	2	34,6	5,79
P-55	55	39,6	63	n.d.	44	74	16	8,2	0,2	n.d.	34,9	6,94
P-56	35,2	28,0	n.d.	n.d.	32	51	n.d.	5,1	2,3	n.d.	26,3	4,92
P-57	43,1	26,5	35	361	42	88	27	8,5	1,1	n.d.	27,7	4,96
P-58	40,9	27,5	30	n.d.	33	65	19	7,9	2,0	n.d.	28,1	5,19
P-59	31,3	30,4	62	204	39	83	25	7,9	3,7	n.d.	30,7	5,62
P-60	45	37,3	n.d.	269	34	81	21	6,7	2,0	n.d.	38	6,87
P-61	49,7	33,2	42	250	42	90	35	9	1,4	n.d.	35,1	6,5
P-62	74,5	74,6	15	n.d.	15	68	14	4	2,3	2	62,6	12,3
P-63	70,5	80,9	15	200	13	70	14	3,7	1,7	n.d.	69	13,5
P-64	50,7	37,9	25	228	39	90	31	8,6	1,6	n.d.	34,4	6,41
P-65	48,7	35,3	31	n.d.	50	107	35	8,9	1,7	3	32,4	6,4
P-66	47,2	35,2	16	n.d.	36	84	21	6,5	1,4	n.d.	35,5	6,78
P-67	48,5	31,6	44	n.d.	30	79	15	6,9	1,4	n.d.	34,6	6,69
P-68	41,2	36,8	18	n.d.	16	49	n.d.	3,7	1,4	n.d.	36	7,15
P-69	35	24,4	25	n.d.	22	55	n.d.	4	1,1	n.d.	26,1	5,27
P-70	47,1	28,0	17	n.d.	32	76	18	6,2	1,2	n.d.	27,9	5,76
P-71	41,9	26,1	16	n.d.	35	78	n.d.	7,2	1,7	2	29,1	5,92
P-72	42,4	19,3	33	n.d.	45	92	n.d.	7,9	n.d.	n.d.	21	4,17
P-73	34,6	28,1	8	n.d.	21	52	n.d.	3,7	1,2	n.d.	31	6,23
P-74	182	182,0	n.d.	240	38	180	43	9	n.d.	n.d.	175	38,1
P-75	44,5	32,2	18	n.d.	31	77	13	6,9	1,4	n.d.	35,6	6,96
P-76	45,9	31,8	23	n.d.	28	74	n.d.	5,5	1,5	n.d.	34	6,59
P-77	43,4	24,5	23	220	50	90	33	6,8	n.d.	n.d.	26,6	5,74
P-78	39,5	22,1	19	n.d.	45	89	18	6	1,6	n.d.	26,9	5,16
P-79	55,7	59,3	11	n.d.	31	47	n.d.	3,6	n.d.	n.d.	40,5	9,19
P-80	156	166,0	13	224	28	168	14	5,6	n.d.	5	153	34,1
P-81	92,9	97,5	14	228	16	87	14	3,4	n.d.	2	86,2	19,2
P-82	82	76,0	n.d.	269	16	88	n.d.	3,4	2,7	n.d.	72,4	15,6
P-83	61,7	61,3	34	251	14	78	n.d.	2,6	2,5	n.d.	57,7	12,7
P-84	50,3	45,0	19	n.d.	10	48	16	2,3	1,2	n.d.	45,9	9,49
P-85	43	40,3	16	n.d.	8	42	n.d.	2,1	n.d.	n.d.	41,7	8,64
P-86	22,1	20,5	24	286	10	32	10	1,6	1,6	n.d.	22,9	4,59
P-87	36,9	35,6	n.d.	n.d.	8	46	n.d.	1,2	2,5	n.d.	36,5	8,09
P-88	26,7	25,1	23	238	10	37	n.d.	1,7	0,9	n.d.	28,2	5,81
P-89	15,1	12,9	9	318	9	29	n.d.	1,2	1,2	n.d.	14,9	2,93
P-90	28,2	26,4	12	336	6	33	n.d.	1,6	1,0	n.d.	30,2	5,91
P-91	7,5	6,2	6	384	7	17	n.d.	1	0,6	n.d.	6,4	1,25
P-92	5,6	5,1	n.d.	305	7	18	n.d.	1,3	0,7	n.d.	5,1	0,99
P-93	270	27,0	n.d.	590	393	578	143	43	2,5	1,6	65,2	1,15
P-94	46	6,1	200	58	91	27	6	n.d.	n.d.	9,8	2,1	3,13

Tabla 13. Límite de detección de la técnica INAA y otros parámetros estadísticos ^{a,b,c}.

Elemento	LD	%<LD	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	DS
Au (ppb)	5	36	<5	226000	-	-	-
Ag (ppm)	5	100	<5	-	-	-	-
As (ppm)	2	89	<2	10	-	-	-
Ba (ppm)	100	93	<100	1500	-	-	-
Br (ppm)	1	47	<1	105	-	-	-
Ca (%)	1	88	<1	6	-	-	-
Co (ppm)	5	0	26	110	66	65	16
Cr ^b (ppm)	10	5	<10	577	156	138	103
Cs (ppm)	2	99	<2	2	-	-	-
Fe (%)	0,02	0	<0,02	39,90	30,19	30,00	3,44
Hf (ppm)	1	0	4	1700	206	65	268
Hg (ppm)	1	98	<1	25	-	-	-
Ir (ppb)	5	100	<5	-	-	-	-
Mo (ppm)	5	98	<5	36	-	-	-
Na (%)	0,05	46	<0,05	0,65	-	-	-
Ni (ppm)	50	100	<50	-	-	-	-
Rb (ppm)	30	100	<30	-	-	-	-
Sb (ppm)	0,2	71	<0,2	3,9	-	-	-
Sc (ppm)	0,1	0	16,2	116,0	37,2	35,3	13,3
Se (ppm)	5	100	<5	-	-	-	-
Sr (%)	0,1	100	<0,1	-	-	-	-
Ta ^b (ppm)	1	1	<1	1700	453	332	388
Th (ppm)	0,5	0	1,6	3290	442,80	55,35	653,05
U ^b (ppm)	0,5	1	<0,5	182,0	43,4	31,9	38,6
W (ppm)	4	41	<4	200	-	-	-
Zn (ppm)	50	45	<50	200	-	-	-
La (ppm)	1	0	5	590	747	42	1166
Ce (ppm)	3	0	3	5790	998	90	1468
Nd ^c (ppm)	5	24	17	7250	276	26	406
Sm (ppm)	0,1	1	<0,1	1950,0	63,3	8,1	90,7
Eu ^b (ppm)	0,2	9	<0,2	458,0	3,2	1,7	3,4
Tb (ppm)	0,5	53	<0,5	13,7	-	-	-
Yb (ppm)	0,2	0	2,10	72,00	42,11	34,20	33,88
Lu (ppm)	0,05	0	2,10	187,00	7,20	6,09	6,31

^a LD: Límite de detección; %<LD: porcentaje de muestras con valores de concentración inferior al límite de detección; DS: desviación estándar.

^b Se sustituyeron las muestras con valores inferiores al LD por 2/3 LD.

^c Se sustituyeron las muestras con valores inferiores al LD por 1/2LD.

11.3 Cajas gráficas de todas las variables determinadas en el análisis químico (INAA)

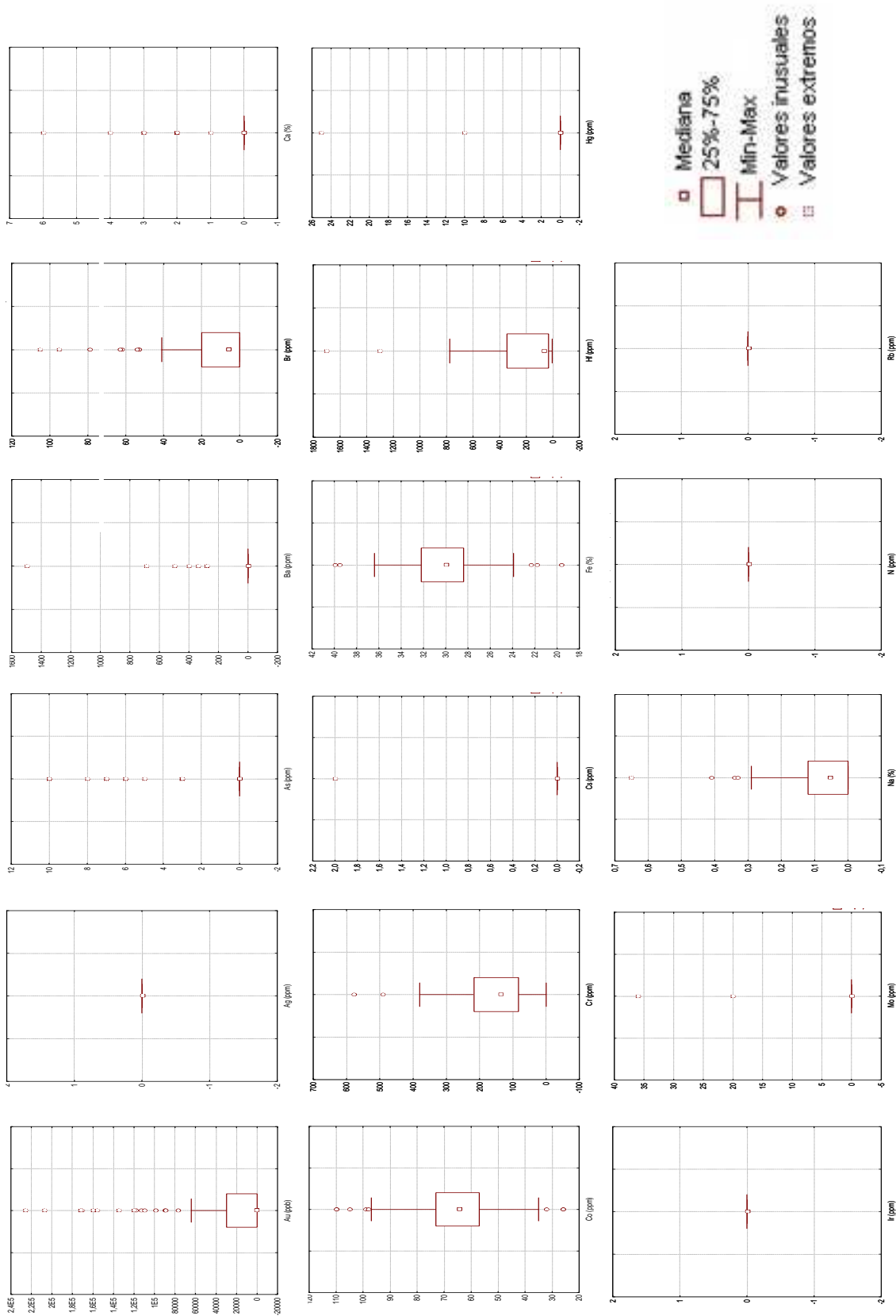


Figura 38. Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales sin tratamiento previo.

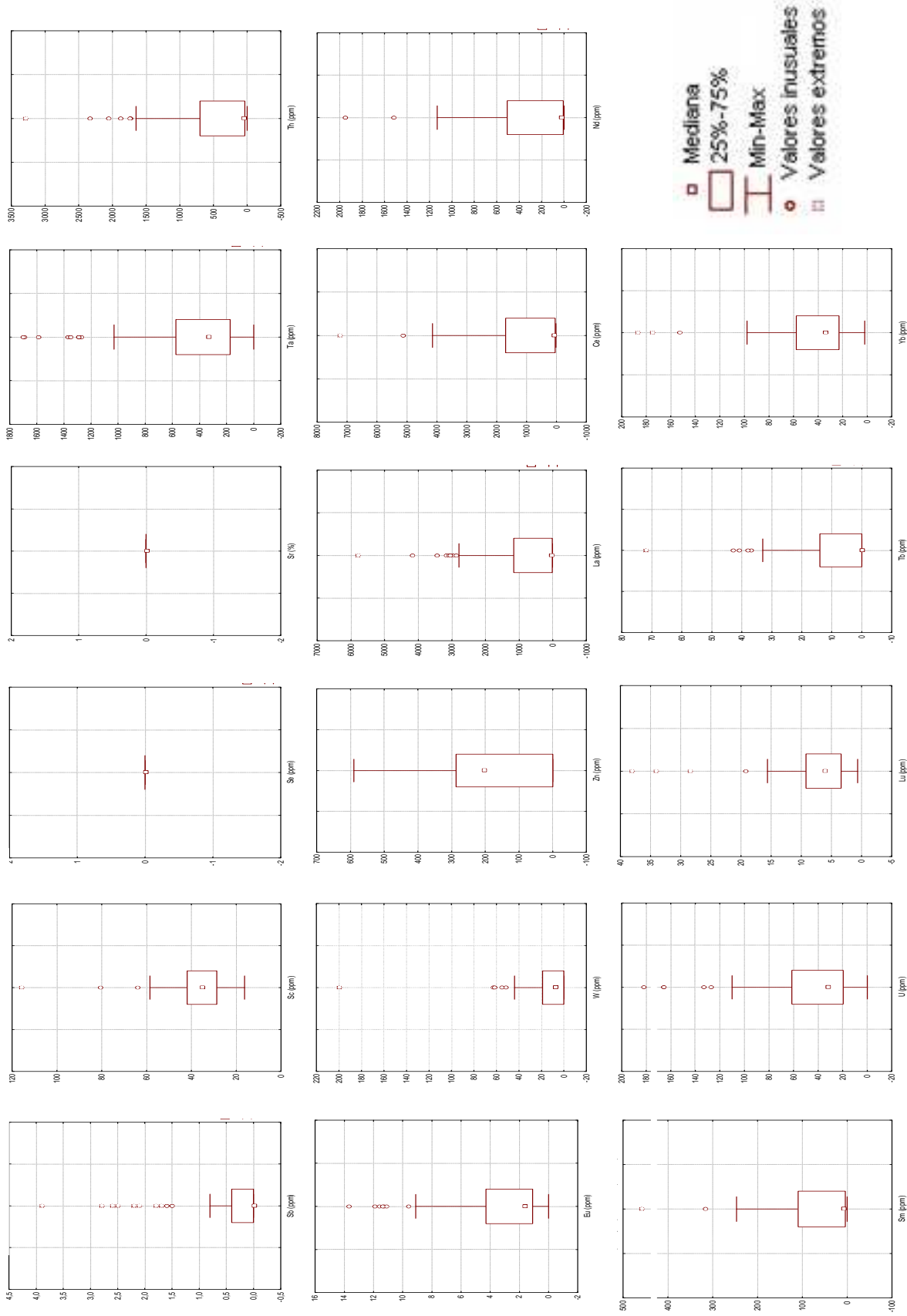


Figura 38 (Continuación) Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales sin tratamiento previo.

11.4 Variables transformadas con Box-Cox

Tabla 14. Variables transformadas con Box-Cox.

Elemento	Co	Cr	Fe	Hf	Sc	Ta	Th	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	Lu
Muestra	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
P-1	959	24	277,67	2	0,08	5,3	0,86	1,1	0,7	0,4	2,8	1,3	1,0	1,3	0,18
P-2	959	24	239,66	2	0,08	5,2	0,82	1,2	0,7	0,4	3,0	1,6	1,1	1,3	-0,05
P-3	704	24	190,79	2	0,08	4,6	0,95	1,2	0,8	0,5	1,1	1,0	1,0	1,2	-0,04
P-4	822	25	257,22	2	0,08	4,6	0,85	1,2	0,7	0,4	2,5	1,3	1,0	1,2	-0,02
P-5	774	23	245,46	2	0,09	4,8	0,86	1,1	0,7	0,4	2,5	1,3	1,0	1,3	0,05
P-6	798	23	221,42	2	0,08	5,5	0,88	1,2	0,7	0,5	2,4	1,3	1,0	1,2	-0,19
P-7	896	25	212,50	2	0,08	3,9	0,87	0,9	0,8	0,5	1,1	1,3	1,0	1,2	-0,12
P-8	810	22	216,94	2	0,08	6,2	0,86	1,0	0,8	0,5	2,5	1,5	1,0	1,2	-0,13
P-9	715	22	177,15	2	0,08	6,9	0,84	1,2	0,8	0,5	1,1	1,4	1,0	1,2	-0,30
P-10	602	28	107,68	1	0,07	3,9	0,90	1,0	0,8	0,5	1,1	1,5	1,0	1,2	-0,46
P-11	704	24	221,42	2	0,08	7,0	0,83	1,1	0,8	0,5	1,1	1,5	1,0	1,2	-0,13
P-12	636	24	170,97	2	0,07	7,5	0,82	1,1	0,8	0,5	1,1	1,6	0,9	1,2	-0,40
P-13	591	12	247,80	3	0,12	5,6	0,68	1,2	0,7	0,4	3,1	2,0	0,9	1,2	0,08
P-14	559	13	233,90	3	0,11	5,5	0,69	1,2	0,7	0,4	3,3	2,0	0,9	1,3	0,47
P-15	455	14	158,87	3	0,08	8,4	0,49	1,5	0,5	0,2	6,1	4,5	1,3	1,5	1,56
P-16	559	17	170,97	2	0,09	6,2	0,67	1,2	0,6	0,4	3,6	2,1	1,0	1,3	0,22
P-17	570	11	243,13	3	0,12	5,9	0,55	1,3	0,5	0,2	5,1	3,6	1,1	1,4	1,41
P-18	445	3	177,15	4	0,11	1,0	0,45	1,6	0,4	0,2	6,6	5,2	1,6	1,5	2,02
P-19	516	9	194,00	4	0,12	7,7	0,50	1,4	0,5	0,2	6,0	4,4	1,3	1,5	1,55
P-20	496	12	189,73	3	0,11	6,3	0,57	1,3	0,5	0,3	4,8	3,4	1,1	1,4	1,05
P-21	527	7	223,67	4	0,11	7,4	0,47	1,5	0,4	0,2	6,5	4,9	1,5	1,5	2,03
P-22	527	7	220,30	4	0,11	8,0	0,48	1,5	0,5	0,2	6,2	4,7	1,4	1,5	2,02
P-23	475	11	184,45	4	0,11	7,4	0,53	1,4	0,5	0,2	5,6	3,9	1,2	1,4	1,13
P-24	602	10	245,46	4	0,10	7,0	0,53	1,4	0,5	0,2	5,4	3,9	1,2	1,5	1,44
P-25	475	9	205,90	4	0,12	6,5	0,54	1,3	0,5	0,2	5,2	3,7	1,1	1,4	1,33
P-26	692	17	131,90	4	0,10	8,0	0,40	1,8	0,4	0,1	7,6	6,1	1,8	1,8	3,35
P-27	396	17	196,14	4	0,09	9,7	0,57	1,4	0,5	0,3	4,6	3,3	1,1	1,5	1,67
P-28	496	12	158,87	3	0,08	8,0	0,50	1,4	0,5	0,2	5,9	4,4	1,3	1,5	1,37
P-29	445	8	161,86	3	0,11	8,3	0,48	1,5	0,4	0,2	6,4	4,7	1,4	1,4	1,22
P-30	425	15	147,09	3	0,08	8,0	0,50	1,4	0,5	0,2	5,8	4,3	1,3	1,4	1,10
P-31	496	12	207,00	3	0,10	8,8	0,49	1,5	0,5	0,2	5,9	4,5	1,4	1,5	1,53
P-32	405	3	202,63	3	0,09	9,9	0,45	1,6	0,4	0,2	6,7	5,2	1,6	1,6	1,92
P-33	445	12	175,08	4	0,10	8,4	0,47	1,5	0,4	0,2	6,5	4,9	1,5	1,5	2,07
P-34	516	3	218,06	4	0,09	9,7	0,44	1,6	0,4	0,2	7,0	5,5	1,6	1,6	2,36
P-35	386	9	127,28	4	0,09	8,5	0,46	1,6	0,4	0,2	6,6	5,0	1,5	1,5	1,84
P-36	455	14	208,09	5	0,08	9,8	0,47	1,6	0,4	0,2	6,5	5,0	1,6	1,6	2,13
P-37	485	15	169,95	4	0,10	5,9	0,49	1,5	0,5	0,2	6,1	4,6	1,4	1,5	1,96
P-38	475	12	176,11	4	0,09	9,3	0,46	1,6	0,4	0,2	6,5	5,1	1,5	1,6	2,26
P-39	435	15	213,61	4	0,09	10,3	0,44	1,7	0,4	0,2	6,9	5,3	1,6	1,6	2,41
P-40	445	13	186,56	4	0,11	8,5	0,46	1,6	0,4	0,2	6,6	5,1	1,5	1,6	2,13
P-41	321	3	182,35	4	0,10	9,2	0,45	1,6	0,4	0,2	6,8	5,3	1,6	1,6	2,22
P-42	591	12	201,54	3	0,07	12,0	0,42	1,7	0,4	0,1	7,3	5,8	1,6	1,6	2,31
P-43	506	12	198,30	4	0,08	11,4	0,43	1,7	0,4	0,2	7,0	5,5	1,7	1,6	2,31
P-44	669	13	204,81	4	0,09	10,4	0,45	1,6	0,4	0,2	6,8	5,3	1,6	1,6	2,28
P-45	396	16	199,38	4	0,08	12,2	0,43	1,7	0,4	0,2	7,0	5,5	1,7	1,6	2,37
P-46	475	16	210,29	4	0,08	11,2	0,43	1,7	0,4	0,2	6,8	5,4	1,7	1,6	2,57
P-47	570	13	203,72	5	0,07	10,1	0,45	1,7	0,4	0,2	6,6	5,2	1,7	1,6	2,56

Tabla 14 (Continuación). Variables transformadas con Box-Cox.

Elemento	Co	Cr	Fe	Hf	Sc	Ta	Th	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	Lu
Muestra	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
P-48	485	13	202,63	4	0,08	11,1	0,44	1,6	0,4	0,2	6,9	5,5	1,7	1,6	2,48
P-49	455	8	200,46	5	0,08	8,9	0,46	1,6	0,4	0,2	6,3	4,9	1,6	1,6	2,44
P-50	396	16	210,29	5	0,09	7,5	0,48	1,6	0,5	0,2	5,9	4,6	0,7	1,6	2,65
P-51	465	12	191,86	5	0,06	11,4	0,45	1,7	0,4	0,2	6,6	5,1	1,6	1,7	2,72
P-52	475	16	244,30	5	0,04	11,2	0,59	1,6	0,6	0,3	4,2	3,1	1,0	1,5	1,78
P-53	537	11	210,29	5	0,05	12,3	0,43	1,7	0,4	0,2	7,0	5,4	1,7	1,7	2,59
P-54	435	23	191,86	6	0,06	8,5	0,66	1,5	0,7	0,4	3,1	2,2	1,1	1,5	1,76
P-55	405	23	192,93	6	0,07	8,3	0,64	1,5	0,7	0,4	2,8	2,1	0,7	1,5	1,94
P-56	396	18	199,38	6	0,09	7,6	0,67	1,5	0,7	0,4	1,1	1,6	1,2	1,4	1,59
P-57	425	16	272,81	6	0,09	7,1	0,66	1,4	0,7	0,4	3,3	2,1	1,0	1,4	1,60
P-58	367	19	216,94	6	0,08	8,5	0,66	1,5	0,7	0,4	2,9	2,1	1,2	1,5	1,65
P-59	455	17	260,79	6	0,09	8,1	0,68	1,5	0,7	0,4	3,2	2,1	1,3	1,5	1,73
P-60	415	25	198,30	6	0,08	5,4	0,65	1,5	0,7	0,4	3,0	1,9	1,2	1,5	1,93
P-61	415	21	251,32	6	0,08	7,1	0,65	1,5	0,7	0,4	3,6	2,2	1,1	1,5	1,87
P-62	348	36	225,93	6	0,09	4,3	0,62	1,6	0,7	0,4	2,6	1,4	1,2	1,6	2,51
P-63	303	20	235,05	7	0,09	4,8	0,62	1,6	0,7	0,4	2,6	1,3	1,1	1,6	2,60
P-64	367	19	246,63	6	0,09	7,0	0,64	1,5	0,7	0,4	3,4	2,2	1,1	1,5	1,86
P-65	386	16	285,03	6	0,09	8,0	0,65	1,5	0,6	0,4	3,6	2,2	1,1	1,5	1,86
P-66	367	16	238,50	6	0,09	6,8	0,65	1,5	0,7	0,4	3,0	1,9	1,1	1,5	1,91
P-67	348	21	237,35	6	0,09	6,6	0,65	1,5	0,7	0,4	2,7	1,9	1,1	1,5	1,90
P-68	348	23	224,80	6	0,10	5,5	0,66	1,5	0,7	0,4	1,1	1,3	1,1	1,5	1,97
P-69	330	20	210,29	6	0,10	6,2	0,67	1,4	0,7	0,4	1,1	1,4	1,0	1,4	1,66
P-70	339	20	229,33	6	0,11	5,4	0,65	1,5	0,7	0,4	2,9	1,8	1,0	1,5	1,75
P-71	396	24	224,80	6	0,09	6,4	0,66	1,4	0,7	0,4	1,1	2,0	1,1	1,5	1,78
P-72	339	15	222,54	6	0,09	9,2	0,66	1,4	0,7	0,4	1,1	2,1	0,6	1,4	1,43
P-73	312	19	208,09	6	0,11	6,0	0,67	1,5	0,7	0,4	1,1	1,3	1,0	1,5	1,83
P-74	117	32	329,29	7	0,06	6,1	0,56	1,8	0,7	0,3	3,8	2,2	0,6	1,8	3,64
P-75	415	23	263,18	6	0,10	6,0	0,65	1,5	0,7	0,4	2,6	1,9	1,1	1,5	1,94
P-76	321	16	240,81	6	0,10	7,4	0,65	1,5	0,7	0,4	1,1	1,7	1,1	1,5	1,89
P-77	339	18	221,42	6	0,09	7,1	0,66	1,4	0,6	0,4	3,5	1,9	0,6	1,4	1,75
P-78	396	21	252,49	6	0,10	7,0	0,66	1,4	0,7	0,4	2,9	1,8	1,1	1,4	1,64
P-79	339	20	204,81	6	0,10	5,5	0,64	1,6	0,7	0,4	1,1	1,3	0,6	1,5	2,22
P-80	117	3	205,90	7	0,08	7,4	0,57	1,8	0,7	0,3	2,6	1,7	0,6	1,8	3,53
P-81	158	16	194,00	7	0,09	7,2	0,60	1,7	0,7	0,4	2,6	1,2	0,6	1,6	2,95
P-82	252	18	208,09	7	0,08	6,8	0,61	1,6	0,7	0,4	1,1	1,2	1,3	1,6	2,75
P-83	180	14	150,98	6	0,10	7,1	0,63	1,6	0,7	0,4	1,1	1,0	1,2	1,6	2,54
P-84	260	17	225,93	6	0,10	6,7	0,65	1,5	0,8	0,4	2,8	0,8	1,0	1,5	2,25
P-85	286	14	199,38	6	0,11	5,8	0,66	1,5	0,8	0,4	1,1	0,7	0,6	1,5	2,16
P-86	435	19	229,33	5	0,12	4,4	0,71	1,4	0,8	0,5	2,3	0,5	1,1	1,4	1,52
P-87	303	14	220,30	6	0,10	6,6	0,67	1,5	0,8	0,4	1,1	0,2	1,2	1,5	2,09
P-88	367	13	269,18	6	0,12	4,8	0,69	1,4	0,8	0,4	1,1	0,5	1,0	1,5	1,76
P-89	405	10	281,34	5	0,12	5,7	0,74	1,3	0,8	0,5	1,1	0,2	1,0	1,4	1,08
P-90	415	13	278,89	6	0,12	4,1	0,69	1,4	0,8	0,5	1,1	0,5	1,0	1,5	1,78
P-91	537	11	324,12	4	0,14	3,5	0,80	1,2	0,8	0,5	1,1	0,0	0,9	1,2	0,22
P-92	415	13	231,61	4	0,15	2,4	0,82	1,2	0,8	0,5	1,1	0,3	0,9	1,2	-0,01
P-93	425	15	213,61	4	0,08	8,8	0,53	1,5	0,5	0,2	5,0	3,8	1,2	1,6	0,14
P-94	321	24	184,45	5	0,13	5,3	0,65	1,2	0,6	0,5	1,8	-2,3	0,6	1,1	1,20

11.5 Cajas gráficas de las variables transformadas con Box-Cox

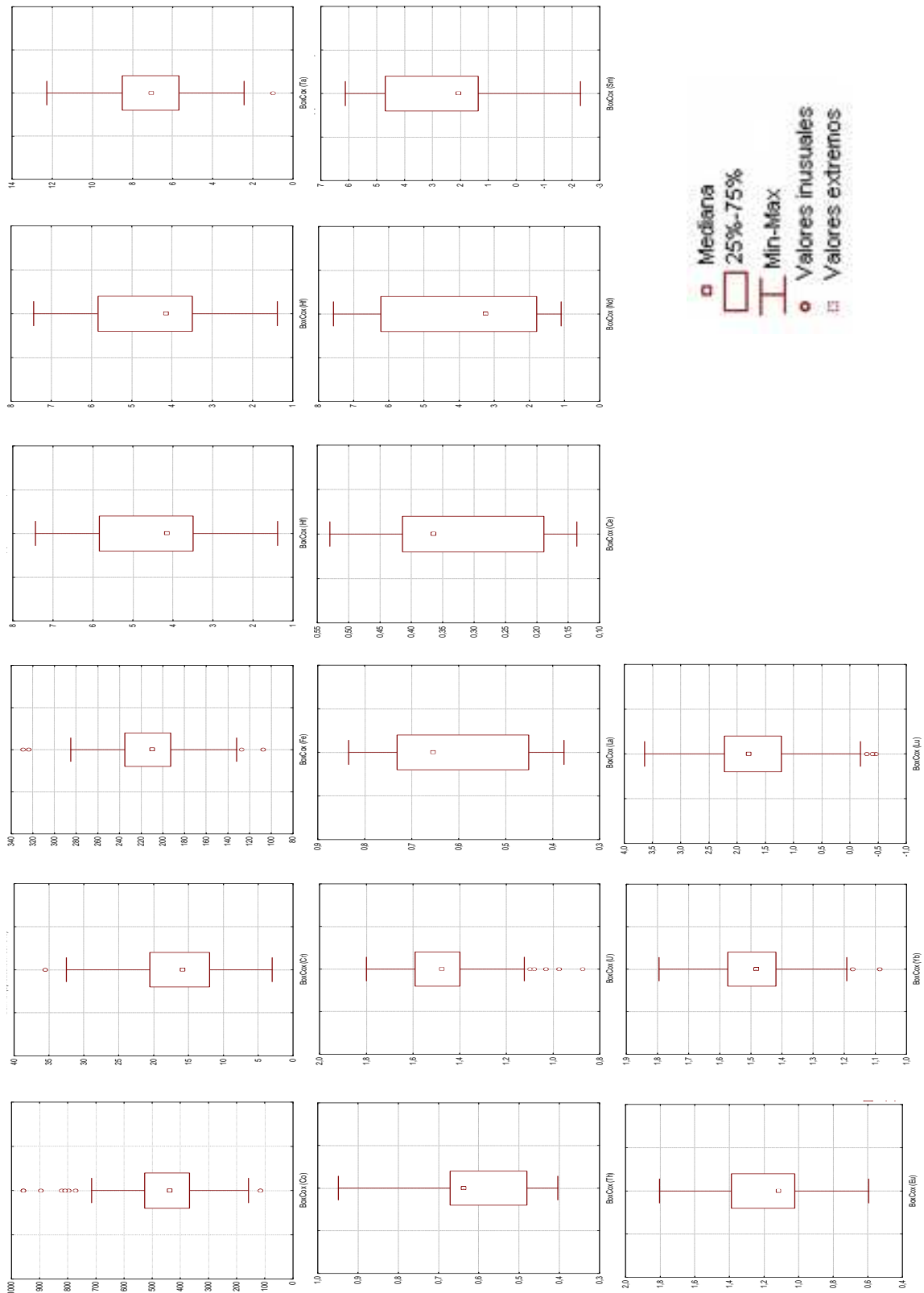


Figura 39. Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales transformados con Box-Cox.

11.6 Variables transformadas con Ln.

Tabla 15. Variables transformadas con Ln.

Elemento	Co	Cr	Fe	Hf	Sc	Ta	Th	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	Lu
Muestra	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
P-1	4,7	5,6	3,6	2,3	3,7	5,0	1,3	1,0	2,8	3,6	2,8	1,3	0,1	2,13	0,18
P-2	4,7	5,7	3,5	1,6	3,8	4,9	1,8	1,9	3,1	4,0	3,0	1,6	0,3	2,01	-0,05
P-3	4,5	5,7	3,3	1,6	3,8	4,5	0,5	1,9	1,8	2,9	1,2	1,0	0,1	1,77	-0,04
P-4	4,6	5,7	3,5	1,8	3,7	4,5	1,5	1,6	2,8	3,6	2,5	1,3	0,1	1,95	-0,02
P-5	4,6	5,6	3,5	2,0	3,7	4,6	1,3	1,1	2,6	3,6	2,5	1,3	0,1	2,04	0,05
P-6	4,6	5,6	3,4	1,6	3,8	5,1	1,2	1,3	2,6	3,5	2,4	1,3	-0,1	1,89	-0,19
P-7	4,7	5,7	3,4	1,6	3,8	4,0	1,3	-1,1	2,5	3,3	1,2	1,3	0,0	1,79	-0,12
P-8	4,6	5,5	3,4	1,8	3,8	5,4	1,3	-0,2	2,5	3,5	2,5	1,5	0,0	1,92	-0,13
P-9	4,5	5,5	3,3	2,0	3,8	5,8	1,6	1,5	2,4	3,2	1,2	1,4	0,0	1,79	-0,30
P-10	4,4	5,9	3,0	1,4	4,0	4,1	1,0	0,3	1,6	2,9	1,2	1,5	0,1	1,44	-0,46
P-11	4,5	5,7	3,4	2,4	3,8	5,8	1,7	0,8	2,1	3,3	1,2	1,5	-0,2	1,79	-0,13
P-12	4,4	5,7	3,3	2,2	3,9	6,0	1,7	0,7	2,2	3,1	1,2	1,6	-0,4	1,57	-0,40
P-13	4,4	4,5	3,5	2,9	3,2	5,1	3,5	1,4	3,6	4,4	3,1	2,0	-0,5	1,93	0,08
P-14	4,3	4,6	3,5	2,8	3,3	5,1	3,4	1,8	3,6	4,4	3,3	2,0	-0,5	2,40	0,47
P-15	4,2	4,7	3,2	3,4	3,7	6,3	6,4	3,5	6,8	7,3	6,1	4,5	1,2	3,42	1,56
P-16	4,3	5,0	3,3	2,5	3,7	5,4	3,6	1,4	3,8	4,5	3,6	2,1	-0,1	2,09	0,22
P-17	4,3	4,2	3,5	3,1	3,1	5,3	5,4	2,6	5,8	6,3	5,1	3,6	0,5	3,27	1,41
P-18	4,2	1,9	3,3	4,0	3,3	-0,4	7,2	4,3	7,7	8,1	6,6	5,2	2,1	3,86	2,02
P-19	4,3	3,9	3,4	3,9	3,2	6,1	6,1	3,3	6,6	7,1	6,0	4,4	1,3	3,44	1,55
P-20	4,3	4,4	3,3	3,5	3,3	5,4	5,0	2,6	5,4	6,0	4,8	3,4	0,4	2,98	1,05
P-21	4,3	3,5	3,4	3,8	3,3	6,0	6,8	3,8	7,2	7,7	6,5	4,9	1,7	3,89	2,03
P-22	4,3	3,6	3,4	3,9	3,3	6,2	6,5	3,7	6,9	7,4	6,2	4,7	1,6	3,89	2,02
P-23	4,2	4,3	3,3	3,5	3,3	5,9	5,7	3,0	6,3	6,5	5,6	3,9	0,8	3,12	1,13
P-24	4,4	4,1	3,5	3,7	3,4	5,8	5,7	3,1	6,2	6,5	5,4	3,9	1,0	3,40	1,44
P-25	4,2	3,8	3,4	3,6	3,1	5,6	5,5	2,6	6,0	6,4	5,2	3,7	0,6	3,27	1,33
P-26	4,5	5,1	3,1	3,7	3,4	6,2	8,1	5,1	8,7	8,9	7,6	6,1	2,6	5,23	3,35
P-27	4,1	5,0	3,4	3,8	3,5	6,8	5,1	3,3	5,5	5,9	4,6	3,4	0,4	3,63	1,67
P-28	4,3	4,4	3,2	3,2	3,7	6,2	6,3	3,1	6,8	7,1	5,9	4,4	1,3	3,35	1,37
P-29	4,2	3,8	3,2	3,3	3,3	6,3	6,6	3,4	7,2	7,4	6,4	4,7	1,5	3,17	1,22
P-30	4,1	4,8	3,2	3,2	3,7	6,2	6,2	3,3	6,8	7,0	5,8	4,3	1,2	3,11	1,10
P-31	4,3	4,4	3,4	3,3	3,5	6,4	6,4	3,5	7,0	7,2	5,9	4,5	1,4	3,49	1,53
P-32	4,1	1,9	3,4	3,4	3,7	6,8	7,1	4,2	7,7	8,0	6,7	5,2	2,0	3,95	1,92
P-33	4,2	4,4	3,3	3,6	3,4	6,3	6,8	3,5	7,5	7,7	6,5	5,0	1,7	3,90	2,07
P-34	4,3	1,9	3,4	3,9	3,6	6,7	7,4	4,4	8,0	8,2	7,0	5,5	2,1	4,27	2,36
P-35	4,1	3,8	3,1	3,6	3,5	6,4	6,9	4,0	7,5	7,8	6,6	5,0	1,8	3,79	1,84
P-36	4,2	4,7	3,4	5,2	3,7	6,8	6,8	4,0	7,4	7,6	6,5	5,0	2,0	4,02	2,13
P-37	4,2	4,9	3,3	3,6	3,4	5,3	6,4	3,7	7,0	7,3	6,1	4,6	1,4	3,75	1,96
P-38	4,2	4,4	3,3	3,6	3,6	6,6	7,0	4,1	7,6	7,8	6,5	5,1	1,9	4,13	2,26
P-39	4,2	4,8	3,4	3,6	3,7	6,9	7,4	4,6	7,9	8,1	6,9	5,3	2,0	4,33	2,41
P-40	4,2	4,5	3,3	3,7	3,3	6,3	7,0	3,9	7,6	7,8	6,6	5,1	1,8	3,98	2,13
P-41	4,0	1,9	3,3	3,7	3,4	6,6	7,2	4,3	7,8	8,1	6,8	5,3	2,1	4,17	2,22
P-42	4,4	4,4	3,4	3,5	4,0	7,4	7,8	4,6	8,3	8,5	7,3	5,8	2,2	4,28	2,31
P-43	4,3	4,4	3,4	3,6	3,8	7,2	7,5	4,5	8,1	8,3	7,0	5,5	2,4	4,18	2,31
P-44	4,5	4,5	3,4	3,6	3,7	6,9	7,2	4,3	7,8	8,1	6,8	5,3	2,1	4,18	2,28
P-45	4,1	5,0	3,4	3,9	3,8	7,4	7,6	4,9	8,1	8,3	7,0	5,5	2,5	4,38	2,37
P-46	4,2	5,0	3,4	3,8	3,8	7,2	7,5	4,5	8,0	8,2	6,8	5,4	2,4	4,33	2,57
P-47	4,3	4,6	3,4	4,9	3,9	6,9	7,2	4,4	7,7	7,9	6,6	5,2	2,3	4,43	2,56

Tabla 15 (Continuación). Variables transformadas con Ln.

Elemento	Co	Cr	Fe	Hf	Sc	Ta	Th	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	Lu
Muestra	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
P-48	4,2	4,5	3,4	4,3	3,8	7,2	7,4	4,4	8,0	8,2	6,9	5,5	2,5	4,38	2,48
P-49	4,2	3,8	3,4	5,2	3,7	6,5	6,9	4,3	7,4	7,8	6,4	4,9	2,2	4,39	2,44
P-50	4,1	4,9	3,4	5,3	3,6	6,0	6,6	4,3	7,1	7,5	5,9	4,6	-1,6	4,46	2,65
P-51	4,2	4,4	3,3	5,3	4,2	7,2	7,1	4,7	7,6	8,1	6,6	5,1	2,2	4,58	2,72
P-52	4,2	5,0	3,5	5,0	4,8	7,2	4,7	4,1	5,0	5,6	4,2	3,1	0,2	3,52	1,78
P-53	4,3	4,3	3,4	5,1	4,4	7,4	7,5	4,8	8,0	8,3	7,0	5,5	2,4	4,56	2,59
P-54	4,2	5,6	3,3	5,8	4,1	6,4	3,7	3,5	3,6	4,5	3,1	2,2	0,6	3,54	1,76
P-55	4,1	5,6	3,4	5,9	4,0	6,3	4,0	3,7	3,8	4,3	2,8	2,1	-1,6	3,55	1,94
P-56	4,1	5,2	3,4	5,6	3,6	6,0	3,6	3,3	3,5	3,9	1,2	1,6	0,8	3,27	1,59
P-57	4,1	4,9	3,6	5,8	3,5	5,8	3,8	3,3	3,7	4,5	3,3	2,1	0,1	3,32	1,60
P-58	4,0	5,2	3,4	5,7	3,7	6,4	3,7	3,3	3,5	4,2	2,9	2,1	0,7	3,34	1,65
P-59	4,2	5,0	3,5	5,8	3,7	6,2	3,4	3,4	3,7	4,4	3,2	2,1	1,3	3,42	1,73
P-60	4,1	5,7	3,4	5,9	3,7	5,0	3,8	3,6	3,5	4,4	3,0	1,9	0,7	3,64	1,93
P-61	4,1	5,4	3,5	6,0	3,7	5,8	3,9	3,5	3,7	4,5	3,6	2,2	0,3	3,56	1,87
P-62	4,0	6,4	3,5	6,4	3,6	4,3	4,3	4,3	2,7	4,2	2,6	1,4	0,8	4,14	2,51
P-63	3,9	5,3	3,5	6,5	3,5	4,7	4,3	4,4	2,6	4,3	2,6	1,3	0,5	4,23	2,60
P-64	4,0	5,2	3,5	5,9	3,5	5,8	3,9	3,6	3,7	4,5	3,4	2,2	0,5	3,54	1,86
P-65	4,1	5,0	3,6	6,0	3,7	6,2	3,9	3,6	3,9	4,7	3,6	2,2	0,5	3,48	1,86
P-66	4,0	4,9	3,5	6,0	3,5	5,7	3,9	3,6	3,6	4,4	3,0	1,9	0,3	3,57	1,91
P-67	4,0	5,4	3,5	5,9	3,5	5,6	3,9	3,5	3,4	4,4	2,7	1,9	0,3	3,54	1,90
P-68	4,0	5,6	3,4	6,0	3,5	5,1	3,7	3,6	2,8	3,9	1,2	1,3	0,3	3,58	1,97
P-69	4,0	5,4	3,4	5,7	3,4	5,4	3,6	3,2	3,1	4,0	1,2	1,4	0,1	3,26	1,66
P-70	4,0	5,3	3,5	5,8	3,3	5,0	3,9	3,3	3,5	4,3	2,9	1,8	0,2	3,33	1,75
P-71	4,1	5,7	3,4	5,8	3,5	5,5	3,7	3,3	3,6	4,4	1,2	2,0	0,5	3,37	1,78
P-72	4,0	4,8	3,4	5,7	3,5	6,6	3,8	3,0	3,8	4,5	1,2	2,1	-2,0	3,04	1,43
P-73	3,9	5,2	3,4	5,9	3,3	5,3	3,5	3,3	3,0	4,0	1,2	1,3	0,2	3,43	1,83
P-74	3,3	6,2	3,7	7,4	4,1	5,4	5,2	5,2	3,6	5,2	3,8	2,2	-2,0	5,16	3,64
P-75	4,1	5,6	3,5	6,0	3,5	5,3	3,8	3,5	3,4	4,3	2,6	1,9	0,3	3,57	1,94
P-76	4,0	5,0	3,5	5,9	3,5	5,9	3,8	3,5	3,3	4,3	1,2	1,7	0,4	3,53	1,89
P-77	4,0	5,2	3,4	5,9	3,5	5,8	3,8	3,2	3,9	4,5	3,5	1,9	-2,0	3,28	1,75
P-78	4,1	5,4	3,5	5,8	3,5	5,8	3,7	3,1	3,8	4,5	2,9	1,8	0,5	3,29	1,64
P-79	4,0	5,3	3,4	6,2	3,5	5,1	4,0	4,1	3,4	3,9	1,2	1,3	-2,0	3,70	2,22
P-80	3,3	1,9	3,4	7,2	3,7	5,9	5,1	5,1	3,3	5,1	2,6	1,7	-2,0	5,03	3,53
P-81	3,5	4,9	3,4	6,7	3,6	5,9	4,5	4,6	2,8	4,5	2,6	1,2	-2,0	4,46	2,95
P-82	3,8	5,2	3,4	6,5	3,7	5,7	4,4	4,3	2,8	4,5	1,2	1,2	1,0	4,28	2,75
P-83	3,6	4,7	3,2	6,3	3,5	5,8	4,1	4,1	2,6	4,4	1,2	1,0	0,9	4,06	2,54
P-84	3,8	5,1	3,5	6,0	3,5	5,7	3,9	3,8	2,3	3,9	2,8	0,8	0,2	3,83	2,25
P-85	3,9	4,7	3,4	5,9	3,3	5,2	3,8	3,7	2,1	3,7	1,2	0,7	-2,0	3,73	2,16
P-86	4,2	5,2	3,5	5,5	3,2	4,4	3,1	3,0	2,3	3,5	2,3	0,5	0,5	3,13	1,52
P-87	3,9	4,7	3,4	5,9	3,4	5,6	3,6	3,6	2,1	3,8	1,2	0,2	0,9	3,60	2,09
P-88	4,0	4,6	3,6	5,6	3,1	4,6	3,3	3,2	2,3	3,6	1,2	0,5	-0,1	3,34	1,76
P-89	4,1	4,2	3,6	5,2	3,2	5,2	2,7	2,6	2,2	3,4	1,2	0,2	0,2	2,70	1,08
P-90	4,1	4,6	3,6	5,8	3,1	4,2	3,3	3,3	1,8	3,5	1,2	0,5	0,0	3,41	1,78
P-91	4,3	4,3	3,7	4,4	2,9	3,7	2,0	1,8	2,0	2,8	1,2	0,0	-0,5	1,86	0,22
P-92	4,1	4,6	3,5	4,1	2,8	2,6	1,7	1,6	2,0	2,9	1,2	0,3	-0,4	1,63	-0,01
P-93	4,1	4,8	3,4	4,0	3,8	6,5	5,6	3,3	6,0	6,4	5,0	3,8	0,9	4,18	0,14
P-94	4,0	5,6	3,3	4,8	3,0	4,9	3,8	1,8	4,5	3,3	1,8	-2,7	-2,0	0,74	1,20

11.7 Cajas gráficas de las variables transformadas con Ln.

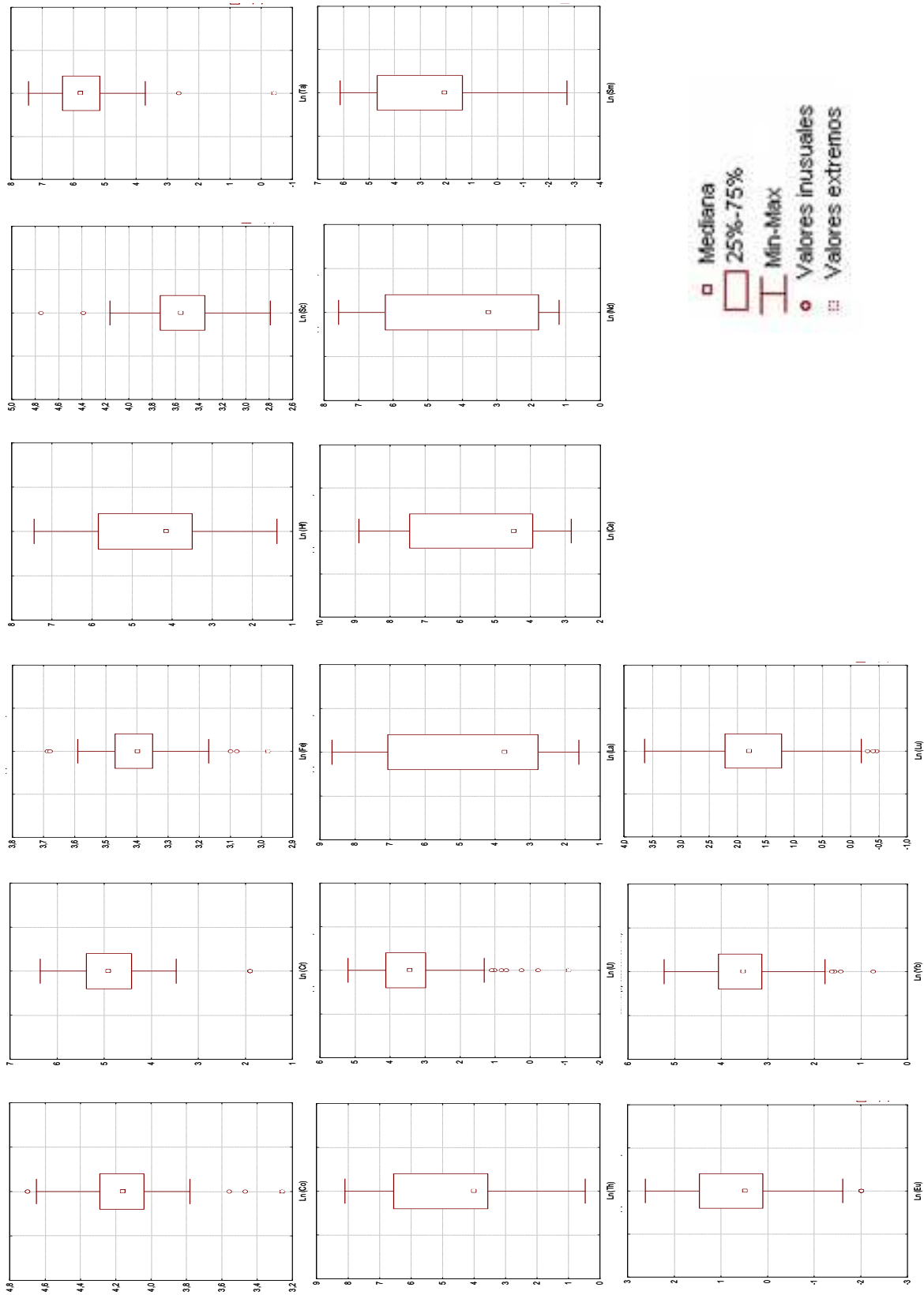


Figura 40. Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales transformados con Ln.

11.8 Variables transformadas con Box-Cox, y posteriormente estandarizada

Tabla 16. Variables transformadas con Box-Cox, y posteriormente estandarizada.

Elemento	Co	Cr	Fe	Hf	Sc	Ta	Th	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	Lu
Muestra	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
P-1	3,0	1,2	1,7	-1,4	-0,5	-0,9	1,9	-1,8	0,9	1,1	-0,5	-0,8	-0,5	-1,4	-1,5
P-2	3,0	1,3	0,7	-1,9	-0,8	-0,9	1,5	-1,2	0,7	0,7	-0,4	-0,7	-0,3	-1,5	-1,8
P-3	1,5	1,3	-0,6	-1,9	-0,9	-1,2	2,5	-1,2	1,5	1,6	-1,2	-1,0	-0,5	-1,7	-1,8
P-4	2,2	1,3	1,2	-1,8	-0,5	-1,2	1,8	-1,4	0,9	1,1	-0,6	-0,8	-0,5	-1,6	-1,7
P-5	1,9	1,1	0,8	-1,7	-0,4	-1,1	1,9	-1,7	1,0	1,1	-0,6	-0,8	-0,5	-1,5	-1,7
P-6	2,0	1,1	0,2	-1,9	-0,7	-0,8	2,0	-1,6	1,0	1,1	-0,7	-0,8	-0,6	-1,6	-1,9
P-7	2,6	1,3	0,0	-1,9	-0,8	-1,5	1,9	-3,1	1,1	1,3	-1,2	-0,8	-0,6	-1,7	-1,8
P-8	2,1	1,0	0,1	-1,8	-0,7	-0,5	1,8	-2,6	1,1	1,1	-0,6	-0,7	-0,6	-1,6	-1,9
P-9	1,5	1,0	-1,0	-1,7	-0,8	-0,1	1,7	-1,5	1,1	1,4	-1,2	-0,8	-0,6	-1,7	-2,0
P-10	0,8	1,9	-2,8	-2,0	-1,4	-1,5	2,1	-2,3	1,6	1,6	-1,2	-0,7	-0,5	-2,0	-2,2
P-11	1,5	1,3	0,2	-1,4	-0,9	-0,1	1,6	-1,9	1,3	1,3	-1,2	-0,7	-0,7	-1,7	-1,9
P-12	1,0	1,2	-1,1	-1,5	-1,0	0,1	1,6	-2,0	1,2	1,5	-1,2	-0,7	-0,8	-1,9	-2,1
P-13	0,8	-0,6	0,9	-1,0	1,5	-0,8	0,5	-1,5	0,4	0,5	-0,3	-0,5	-0,9	-1,6	-1,6
P-14	0,6	-0,4	0,5	-1,1	1,0	-0,8	0,5	-1,2	0,4	0,4	-0,2	-0,4	-0,9	-1,1	-1,2
P-15	-0,1	-0,3	-1,4	-0,7	-0,5	0,5	-0,9	0,1	-1,0	-1,0	1,0	1,0	0,4	0,0	-0,1
P-16	0,6	0,1	-1,1	-1,3	-0,4	-0,5	0,4	-1,5	0,3	0,4	-0,1	-0,4	-0,6	-1,4	-1,5
P-17	0,6	-0,9	0,8	-0,9	1,6	-0,6	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	0,6	0,4	-0,2	-0,2	-0,2
P-18	-0,1	-2,1	-1,0	-0,3	0,7	-2,8	-1,2	0,8	-1,3	-1,3	1,3	1,3	1,4	0,5	0,4
P-19	0,3	-1,1	-0,5	-0,4	1,4	0,2	-0,8	-0,1	-0,9	-1,0	1,0	0,9	0,5	0,0	-0,1
P-20	0,2	-0,7	-0,6	-0,6	1,0	-0,4	-0,3	-0,6	-0,4	-0,5	0,4	0,3	-0,3	-0,5	-0,6
P-21	0,4	-1,4	0,3	-0,4	1,0	0,1	-1,0	0,4	-1,1	-1,2	1,2	1,1	1,0	0,5	0,4
P-22	0,4	-1,4	0,2	-0,3	1,0	0,3	-0,9	0,3	-1,0	-1,1	1,1	1,0	0,8	0,5	0,4
P-23	0,1	-0,8	-0,8	-0,6	0,8	0,1	-0,6	-0,3	-0,8	-0,7	0,8	0,6	0,1	-0,4	-0,5
P-24	0,8	-1,0	0,8	-0,5	0,7	-0,1	-0,6	-0,2	-0,7	-0,7	0,7	0,6	0,2	-0,1	-0,2
P-25	0,1	-1,2	-0,2	-0,5	1,6	-0,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7	0,6	0,5	-0,1	-0,2	-0,3
P-26	1,4	0,2	-2,2	-0,5	0,6	0,4	-1,5	1,7	-1,6	-1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	1,9
P-27	-0,4	0,1	-0,5	-0,4	0,0	1,1	-0,3	-0,1	-0,5	-0,4	0,4	0,3	-0,3	0,2	0,1
P-28	0,2	-0,7	-1,4	-0,8	-0,6	0,3	-0,8	-0,2	-1,0	-1,0	0,9	0,9	0,5	-0,1	-0,3
P-29	-0,1	-1,2	-1,4	-0,7	0,7	0,5	-1,0	0,1	-1,1	-1,1	1,1	1,0	0,7	-0,3	-0,4
P-30	-0,3	-0,2	-1,8	-0,8	-0,6	0,3	-0,8	0,0	-1,0	-0,9	0,9	0,8	0,4	-0,4	-0,5
P-31	0,2	-0,7	-0,2	-0,7	0,2	0,7	-0,9	0,1	-1,1	-1,0	0,9	0,9	0,6	0,0	-0,1
P-32	-0,4	-2,1	-0,3	-0,7	-0,4	1,2	-1,1	0,8	-1,3	-1,3	1,3	1,3	1,2	0,6	0,3
P-33	-0,1	-0,7	-1,0	-0,6	0,3	0,5	-1,1	0,2	-1,2	-1,2	1,2	1,2	0,9	0,5	0,5
P-34	0,3	-2,1	0,1	-0,4	-0,3	1,1	-1,3	1,0	-1,4	-1,3	1,4	1,5	1,4	1,0	0,8
P-35	-0,5	-1,2	-2,3	-0,5	0,0	0,6	-1,1	0,6	-1,2	-1,2	1,2	1,2	1,0	0,4	0,2
P-36	-0,1	-0,3	-0,1	0,5	-0,4	1,2	-1,1	0,6	-1,2	-1,2	1,2	1,2	1,2	0,7	0,6
P-37	0,1	-0,1	-1,2	-0,6	0,6	-0,6	-0,9	0,3	-1,0	-1,0	1,0	1,0	0,6	0,3	0,4
P-38	0,1	-0,7	-1,0	-0,5	-0,2	0,9	-1,1	0,7	-1,3	-1,2	1,2	1,3	1,2	0,8	0,7
P-39	-0,2	-0,2	0,0	-0,5	-0,4	1,4	-1,2	1,2	-1,4	-1,3	1,4	1,4	1,3	1,0	0,8
P-40	-0,1	-0,5	-0,7	-0,5	0,7	0,6	-1,1	0,5	-1,3	-1,2	1,2	1,3	1,0	0,6	0,6
P-41	-0,9	-2,1	-0,8	-0,5	0,4	0,9	-1,2	0,9	-1,3	-1,3	1,3	1,4	1,4	0,8	0,7
P-42	0,8	-0,6	-0,3	-0,6	-1,3	2,2	-1,4	1,2	-1,5	-1,4	1,6	1,6	1,5	1,0	0,7
P-43	0,2	-0,7	-0,4	-0,6	-0,9	1,9	-1,3	1,1	-1,4	-1,4	1,4	1,5	1,8	0,9	0,7
P-44	1,2	-0,6	-0,2	-0,5	-0,3	1,4	-1,2	0,9	-1,3	-1,3	1,3	1,4	1,3	0,9	0,7
P-45	-0,4	0,1	-0,4	-0,3	-0,9	2,3	-1,3	1,5	-1,4	-1,4	1,4	1,5	1,8	1,1	0,8
P-46	0,1	0,0	-0,1	-0,4	-0,9	1,8	-1,3	1,1	-1,4	-1,3	1,3	1,5	1,7	1,0	1,0
P-47	0,6	-0,5	-0,3	0,3	-1,0	1,3	-1,2	1,0	-1,3	-1,3	1,2	1,3	1,6	1,2	1,0

Tabla 16 (Continuación). Variables transformadas con Box-Cox, y posteriormente estandarizada.

Elemento	Co	Cr	Fe	Hf	Sc	Ta	Th	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	Lu
Muestra	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
P-48	0,1	-0,6	-0,3	-0,1	-0,9	1,8	-1,3	1,0	-1,4	-1,3	1,4	1,5	1,8	1,1	0,9
P-49	-0,1	-1,2	-0,3	0,5	-0,5	0,7	-1,1	0,9	-1,2	-1,2	1,1	1,2	1,4	1,1	0,9
P-50	-0,4	-0,1	-0,1	0,6	-0,2	0,1	-1,0	0,9	-1,1	-1,1	0,9	1,0	-1,5	1,2	1,1
P-51	0,0	-0,7	-0,6	0,5	-1,7	1,9	-1,2	1,3	-1,3	-1,3	1,2	1,3	1,5	1,4	1,2
P-52	0,1	0,0	0,8	0,4	-2,8	1,8	-0,1	0,6	-0,3	-0,3	0,1	0,2	-0,4	0,1	0,2
P-53	0,4	-0,8	-0,1	0,4	-2,2	2,3	-1,3	1,4	-1,4	-1,4	1,4	1,5	1,8	1,3	1,0
P-54	-0,2	1,1	-0,6	0,9	-1,5	0,6	0,4	0,1	0,4	0,4	-0,3	-0,4	-0,1	0,1	0,2
P-55	-0,4	1,1	-0,5	1,0	-1,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,5	-0,5	-0,4	-1,5	0,1	0,3
P-56	-0,4	0,3	-0,4	0,8	-0,2	0,2	0,4	0,0	0,5	0,8	-1,2	-0,6	0,1	-0,2	0,0
P-57	-0,3	0,0	1,6	0,9	0,1	-0,1	0,3	-0,1	0,4	0,4	-0,3	-0,4	-0,5	-0,1	0,0
P-58	-0,6	0,4	0,1	0,9	-0,6	0,6	0,4	0,0	0,5	0,6	-0,4	-0,4	0,0	-0,1	0,0
P-59	-0,1	0,1	1,2	0,9	-0,4	0,4	0,5	0,1	0,4	0,4	-0,3	-0,4	0,5	0,0	0,1
P-60	-0,3	1,3	-0,4	0,9	-0,5	-0,8	0,3	0,2	0,5	0,4	-0,4	-0,5	0,0	0,2	0,3
P-61	-0,3	0,8	1,0	1,0	-0,5	-0,1	0,3	0,1	0,4	0,4	-0,1	-0,3	-0,3	0,1	0,3
P-62	-0,7	3,1	0,3	1,3	-0,2	-1,3	0,1	0,9	0,9	0,6	-0,5	-0,8	0,1	0,8	1,0
P-63	-1,0	0,6	0,6	1,4	0,0	-1,1	0,1	1,0	1,0	0,6	-0,5	-0,8	-0,2	0,9	1,1
P-64	-0,6	0,4	0,9	1,0	0,1	-0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	-0,2	-0,4	-0,2	0,1	0,3
P-65	-0,5	0,0	1,9	1,0	-0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	-0,1	-0,3	-0,2	0,0	0,3
P-66	-0,6	0,0	0,7	1,1	0,1	-0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	-0,4	-0,5	-0,3	0,1	0,3
P-67	-0,7	0,7	0,6	0,9	0,1	-0,3	0,3	0,1	0,5	0,5	-0,5	-0,5	-0,3	0,1	0,3
P-68	-0,7	1,0	0,3	1,0	0,2	-0,8	0,4	0,2	0,9	0,8	-1,2	-0,8	-0,3	0,2	0,4
P-69	-0,8	0,7	-0,1	0,8	0,6	-0,5	0,5	-0,1	0,7	0,7	-1,2	-0,8	-0,5	-0,2	0,1
P-70	-0,8	0,6	0,4	0,9	0,8	-0,8	0,3	0,0	0,5	0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,1	0,1
P-71	-0,4	1,2	0,3	0,9	0,1	-0,4	0,4	-0,1	0,5	0,5	-1,2	-0,4	-0,2	-0,1	0,2
P-72	-0,8	-0,2	0,2	0,8	0,0	0,9	0,3	-0,3	0,3	0,4	-1,2	-0,4	-1,9	-0,4	-0,2
P-73	-0,9	0,4	-0,1	0,9	0,8	-0,6	0,5	0,0	0,7	0,8	-1,2	-0,8	-0,4	0,0	0,2
P-74	-2,1	2,6	3,1	2,0	-1,5	-0,5	-0,4	1,8	0,4	-0,1	0,0	-0,3	-1,9	2,1	2,2
P-75	-0,3	1,1	1,3	1,0	0,2	-0,6	0,3	0,1	0,5	0,5	-0,6	-0,5	-0,3	0,1	0,4
P-76	-0,9	0,0	0,7	1,0	0,2	0,0	0,3	0,1	0,6	0,5	-1,2	-0,6	-0,3	0,1	0,3
P-77	-0,8	0,3	0,2	0,9	0,1	-0,1	0,3	-0,1	0,3	0,4	-0,2	-0,5	-1,9	-0,2	0,1
P-78	-0,4	0,7	1,0	0,9	0,2	-0,1	0,4	-0,2	0,3	0,4	-0,4	-0,5	-0,2	-0,2	0,0
P-79	-0,8	0,6	-0,2	1,2	0,2	-0,8	0,2	0,7	0,5	0,9	-1,2	-0,8	-1,9	0,3	0,6
P-80	-2,1	-2,1	-0,2	1,8	-0,6	0,1	-0,3	1,7	0,6	0,0	-0,5	-0,6	-1,9	2,0	2,0
P-81	-1,9	0,0	-0,5	1,5	-0,3	0,0	-0,1	1,2	0,9	0,4	-0,5	-0,9	-1,9	1,2	1,4
P-82	-1,3	0,3	-0,1	1,4	-0,5	-0,2	0,0	0,9	0,9	0,4	-1,2	-0,9	0,2	1,0	1,2
P-83	-1,8	-0,4	-1,7	1,2	0,2	-0,1	0,1	0,7	1,0	0,5	-1,2	-1,0	0,2	0,7	1,0
P-84	-1,3	0,2	0,3	1,0	0,2	-0,2	0,3	0,4	1,2	0,8	-0,5	-1,1	-0,4	0,4	0,7
P-85	-1,1	-0,3	-0,4	1,0	1,0	-0,7	0,3	0,3	1,3	0,9	-1,2	-1,1	-1,9	0,3	0,6
P-86	-0,2	0,4	0,4	0,7	1,4	-1,3	0,7	-0,3	1,2	1,2	-0,7	-1,3	-0,2	-0,3	-0,1
P-87	-1,0	-0,3	0,2	0,9	0,7	-0,3	0,4	0,2	1,3	0,9	-1,2	-1,4	0,2	0,2	0,5
P-88	-0,6	-0,4	1,5	0,8	1,7	-1,1	0,6	-0,1	1,2	1,0	-1,2	-1,2	-0,6	-0,1	0,2
P-89	-0,4	-0,9	1,8	0,5	1,3	-0,7	0,9	-0,7	1,2	1,3	-1,2	-1,4	-0,4	-0,8	-0,6
P-90	-0,3	-0,5	1,7	0,9	1,7	-1,4	0,6	-0,1	1,5	1,1	-1,2	-1,3	-0,6	0,0	0,2
P-91	0,4	-0,8	2,9	0,0	2,7	-1,7	1,4	-1,2	1,4	1,8	-1,2	-1,5	-0,9	-1,6	-1,5
P-92	-0,3	-0,5	0,5	-0,3	3,3	-2,2	1,6	-1,4	1,4	1,7	-1,2	-1,4	-0,8	-1,9	-1,7
P-93	-0,3	-0,2	0,0	-0,3	-0,8	0,7	-0,6	0,0	-0,7	-0,7	0,5	0,5	0,2	0,9	-1,6
P-94	-0,9	1,2	-0,8	0,2	2,2	-0,9	0,3	-1,2	0,0	1,3	-0,9	-2,8	-1,9	-2,6	-0,4

11.9 Cajas gráficas de las variables transformadas con Box-Cox, y posteriormente estandarizadas.

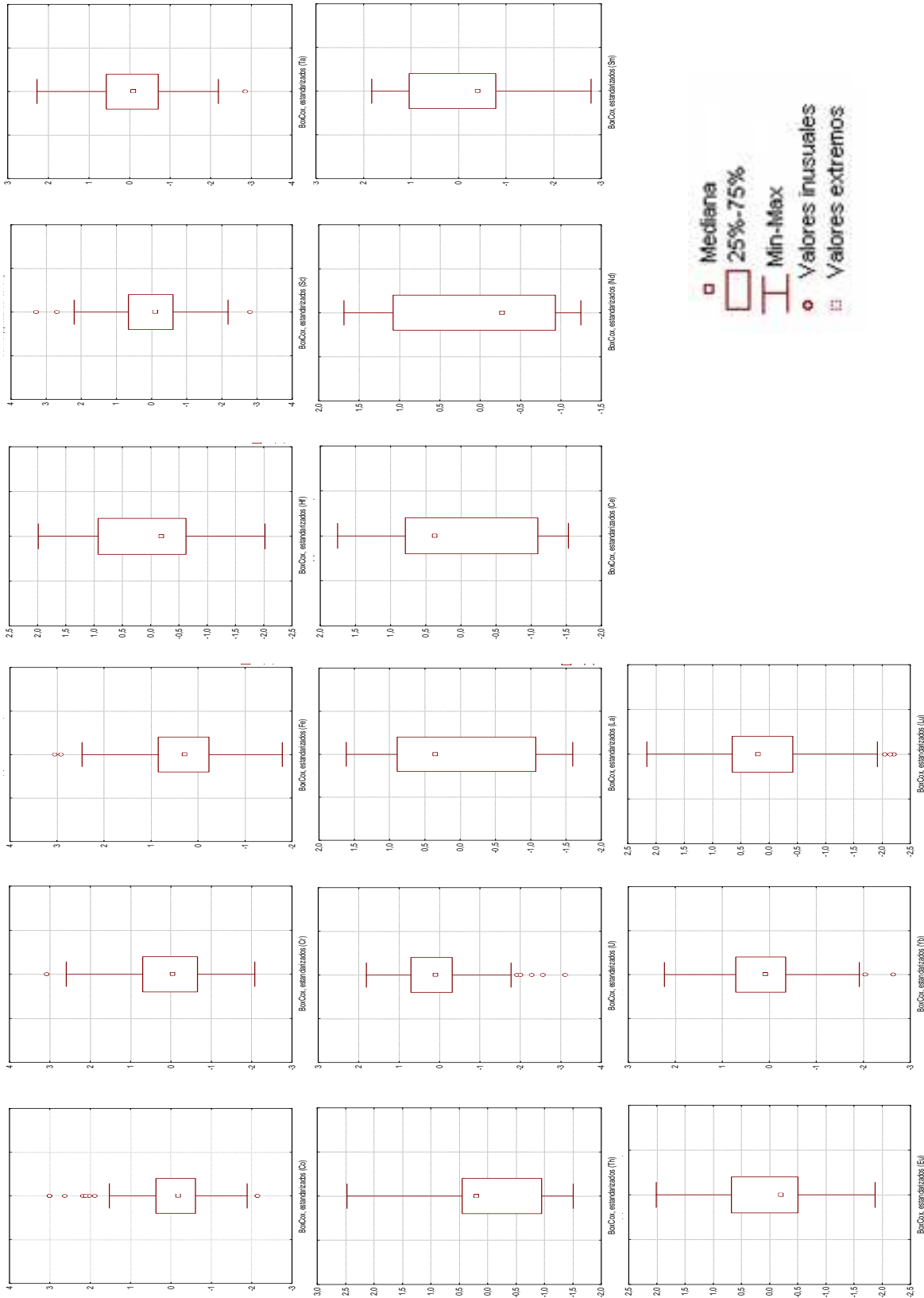


Figura 41. Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales transformados con Box-Cox.

11.10 Variables transformadas con Ln y posteriormente estandarizadas.

Tabla 17. Variables transformadas con Ln y posteriormente estandarizada.

Elemento	Co	Cr	Fe	Hf	Sc	Ta	Th	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	Lu
Muestra	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
P-1	2,1	1,0	1,5	-1,4	0,4	-0,7	-1,7	-1,8	-0,9	-1,0	-0,5	-0,8	-0,4	-1,4	-1,5
P-2	2,1	1,0	0,7	-1,9	0,8	-0,7	-1,4	-1,1	-0,7	-0,8	-0,4	-0,7	-0,2	-1,5	-1,8
P-3	1,3	1,0	-0,5	-1,9	0,9	-1,1	-2,1	-1,1	-1,3	-1,3	-1,2	-1,0	-0,4	-1,8	-1,8
P-4	1,7	1,0	1,1	-1,8	0,4	-1,1	-1,6	-1,4	-0,9	-1,0	-0,6	-0,8	-0,4	-1,6	-1,7
P-5	1,5	0,9	0,8	-1,7	0,3	-1,0	-1,7	-1,8	-1,0	-1,0	-0,6	-0,8	-0,4	-1,5	-1,7
P-6	1,6	0,9	0,3	-1,9	0,6	-0,6	-1,8	-1,6	-1,0	-1,0	-0,7	-0,8	-0,6	-1,6	-1,9
P-7	1,9	1,0	0,1	-1,9	0,7	-1,5	-1,7	-3,5	-1,0	-1,1	-1,2	-0,8	-0,5	-1,8	-1,8
P-8	1,6	0,9	0,2	-1,8	0,7	-0,3	-1,7	-2,8	-1,0	-1,0	-0,6	-0,7	-0,5	-1,6	-1,9
P-9	1,3	0,8	-0,9	-1,7	0,8	0,0	-1,5	-1,4	-1,1	-1,2	-1,2	-0,8	-0,5	-1,8	-2,0
P-10	0,9	1,3	-3,6	-2,0	1,5	-1,5	-1,9	-2,4	-1,4	-1,3	-1,2	-0,7	-0,4	-2,1	-2,2
P-11	1,3	1,0	0,3	-1,4	0,9	0,1	-1,5	-2,0	-1,2	-1,1	-1,2	-0,7	-0,7	-1,8	-1,9
P-12	1,0	1,0	-1,1	-1,5	1,1	0,3	-1,5	-2,1	-1,1	-1,3	-1,2	-0,7	-0,8	-2,0	-2,1
P-13	0,8	-0,3	0,9	-1,0	-1,4	-0,6	-0,6	-1,5	-0,5	-0,6	-0,3	-0,5	-0,9	-1,6	-1,6
P-14	0,7	-0,2	0,6	-1,1	-0,9	-0,6	-0,6	-1,2	-0,5	-0,6	-0,2	-0,4	-0,9	-1,1	-1,2
P-15	0,1	0,0	-1,5	-0,7	0,4	0,5	0,9	0,2	1,0	1,0	1,0	0,9	0,5	0,0	-0,1
P-16	0,7	0,3	-1,1	-1,3	0,3	-0,3	-0,5	-1,5	-0,4	-0,5	-0,1	-0,4	-0,6	-1,4	-1,5
P-17	0,7	-0,6	0,8	-0,9	-1,4	-0,4	0,4	-0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,0	-0,1	-0,2
P-18	0,0	-3,2	-0,9	-0,3	-0,7	-5,6	1,3	0,8	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	0,5	0,4
P-19	0,5	-0,9	-0,4	-0,4	-1,3	0,3	0,8	0,0	0,8	0,9	1,0	0,8	0,6	0,0	-0,1
P-20	0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-1,0	-0,2	0,2	-0,6	0,3	0,3	0,4	0,3	-0,1	-0,5	-0,6
P-21	0,5	-1,4	0,3	-0,4	-1,0	0,2	1,1	0,5	1,1	1,2	1,2	1,1	0,9	0,5	0,4
P-22	0,5	-1,3	0,3	-0,3	-1,0	0,4	1,0	0,3	1,0	1,1	1,1	1,0	0,8	0,5	0,4
P-23	0,2	-0,5	-0,7	-0,6	-0,8	0,2	0,6	-0,2	0,7	0,6	0,8	0,6	0,2	-0,3	-0,5
P-24	0,9	-0,8	0,8	-0,5	-0,7	0,1	0,5	-0,1	0,6	0,6	0,7	0,6	0,3	0,0	-0,2
P-25	0,2	-1,0	-0,1	-0,6	-1,4	-0,1	0,4	-0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,0	-0,1	-0,3
P-26	1,2	0,3	-2,6	-0,5	-0,7	0,4	1,7	1,5	1,8	1,9	1,7	1,8	1,7	2,0	1,9
P-27	-0,3	0,3	-0,3	-0,4	-0,1	0,9	0,2	0,0	0,3	0,2	0,3	0,3	-0,1	0,3	0,1
P-28	0,3	-0,4	-1,5	-0,8	0,5	0,4	0,8	-0,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	-0,1	-0,3
P-29	0,0	-1,1	-1,5	-0,7	-0,8	0,5	1,0	0,1	1,1	1,1	1,2	1,0	0,7	-0,3	-0,4
P-30	-0,1	0,0	-2,0	-0,8	0,5	0,4	0,8	0,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	-0,3	-0,5
P-31	0,3	-0,4	-0,1	-0,7	-0,3	0,7	0,9	0,2	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7	0,1	-0,1
P-32	-0,2	-3,2	-0,2	-0,7	0,3	1,0	1,2	0,7	1,3	1,4	1,3	1,3	1,1	0,6	0,3
P-33	0,0	-0,4	-1,0	-0,6	-0,4	0,6	1,1	0,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,5	0,5
P-34	0,5	-3,2	0,2	-0,4	0,2	0,9	1,4	0,9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	0,9	0,8
P-35	-0,3	-1,0	-2,7	-0,5	-0,1	0,6	1,1	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	0,4	0,2
P-36	0,1	0,0	-0,1	0,5	0,3	1,0	1,1	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	0,7	0,6
P-37	0,3	0,1	-1,1	-0,6	-0,6	-0,4	0,9	0,3	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,4	0,4
P-38	0,2	-0,4	-0,9	-0,6	0,1	0,8	1,2	0,7	1,3	1,3	1,2	1,3	1,1	0,8	0,7
P-39	0,0	0,0	0,1	-0,5	0,3	1,1	1,4	1,1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,2	1,0	0,9
P-40	0,0	-0,3	-0,6	-0,5	-0,8	0,6	1,2	0,5	1,3	1,3	1,2	1,3	1,0	0,6	0,6
P-41	-0,8	-3,2	-0,8	-0,5	-0,5	0,8	1,3	0,9	1,4	1,4	1,4	1,4	1,2	0,8	0,6
P-42	0,8	-0,4	-0,3	-0,6	1,4	1,5	1,6	1,1	1,6	1,7	1,6	1,6	1,3	1,0	0,7
P-43	0,4	-0,4	-0,3	-0,6	0,9	1,4	1,5	1,0	1,5	1,6	1,4	1,5	1,5	0,9	0,7
P-44	1,1	-0,3	-0,2	-0,6	0,3	1,1	1,3	0,8	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	0,9	0,7
P-45	-0,3	0,2	-0,3	-0,3	0,9	1,6	1,5	1,3	1,5	1,5	1,4	1,5	1,6	1,1	0,8
P-46	0,2	0,2	0,0	-0,4	0,9	1,3	1,4	1,0	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,0	1,0
P-47	0,7	-0,2	-0,2	0,3	1,0	1,1	1,3	1,0	1,3	1,3	1,2	1,3	1,4	1,1	1,0

Tabla 17 (Continuación). Variables transformadas con Ln y posteriormente estandarizada

Elemento	Co	Cr	Fe	Hf	Sc	Ta	Th	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Yb	Lu
Muestra	(ppm)	(ppm)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
P-48	0,26	-0,30	-0,17	-0,11	0,83	1,31	1,40	0,92	1,46	1,48	1,38	1,46	1,55	1,07	0,93
P-49	0,11	-1,10	-0,26	0,47	0,43	0,69	1,12	0,87	1,20	1,27	1,14	1,16	1,30	1,08	0,88
P-50	-0,29	0,16	0,00	0,58	0,04	0,23	0,97	0,87	1,05	1,12	0,91	0,96	-1,82	1,16	1,11
P-51	0,15	-0,43	-0,51	0,54	1,94	1,37	1,25	1,17	1,31	1,40	1,24	1,25	1,34	1,29	1,18
P-52	0,23	0,24	0,85	0,39	3,88	1,32	0,03	0,65	0,13	0,09	0,13	0,17	-0,34	0,13	0,18
P-53	0,54	-0,54	0,00	0,44	2,70	1,58	1,42	1,28	1,49	1,55	1,42	1,45	1,53	1,27	1,04
P-54	-0,01	0,92	-0,51	0,88	1,65	0,59	-0,48	0,19	-0,52	-0,51	-0,36	-0,35	0,00	0,15	0,16
P-55	-0,21	0,90	-0,43	0,99	1,42	0,53	-0,31	0,34	-0,43	-0,62	-0,51	-0,37	-1,82	0,16	0,35
P-56	-0,29	0,46	-0,26	0,78	0,07	0,28	-0,54	0,06	-0,57	-0,82	-1,23	-0,63	0,20	-0,14	-0,02
P-57	-0,09	0,18	1,44	0,87	-0,22	0,11	-0,44	0,02	-0,45	-0,52	-0,26	-0,35	-0,40	-0,09	-0,01
P-58	-0,48	0,49	0,17	0,86	0,53	0,58	-0,47	0,04	-0,56	-0,69	-0,43	-0,39	0,09	-0,07	0,04
P-59	0,11	0,28	1,19	0,93	0,30	0,46	-0,60	0,12	-0,49	-0,55	-0,30	-0,39	0,60	0,02	0,13
P-60	-0,13	1,03	-0,34	0,94	0,40	-0,64	-0,42	0,29	-0,54	-0,57	-0,38	-0,48	0,09	0,26	0,34
P-61	-0,13	0,75	0,93	1,00	0,37	0,11	-0,37	0,20	-0,45	-0,51	-0,14	-0,32	-0,20	0,17	0,28
P-62	-0,60	1,77	0,42	1,29	0,14	-1,24	-0,16	0,85	-0,92	-0,66	-0,57	-0,76	0,20	0,81	0,96
P-63	-0,99	0,62	0,59	1,38	-0,09	-0,95	-0,19	0,92	-0,98	-0,64	-0,57	-0,80	-0,05	0,91	1,05
P-64	-0,48	0,48	0,85	0,96	-0,19	0,07	-0,36	0,30	-0,49	-0,51	-0,20	-0,35	-0,10	0,15	0,26
P-65	-0,32	0,20	1,61	1,04	0,30	0,42	-0,38	0,24	-0,37	-0,42	-0,14	-0,33	-0,05	0,09	0,26
P-66	-0,48	0,18	0,68	1,05	-0,16	-0,01	-0,40	0,24	-0,52	-0,55	-0,38	-0,50	-0,20	0,19	0,32
P-67	-0,60	0,69	0,68	0,95	-0,19	-0,10	-0,38	0,15	-0,60	-0,58	-0,53	-0,47	-0,20	0,15	0,31
P-68	-0,60	0,87	0,34	1,00	-0,29	-0,57	-0,46	0,28	-0,89	-0,84	-1,23	-0,80	-0,20	0,20	0,38
P-69	-0,76	0,68	0,00	0,84	-0,65	-0,26	-0,54	-0,06	-0,74	-0,77	-1,23	-0,76	-0,40	-0,15	0,05
P-70	-0,68	0,60	0,51	0,87	-0,85	-0,63	-0,40	0,06	-0,57	-0,60	-0,45	-0,53	-0,34	-0,08	0,15
P-71	-0,29	0,98	0,34	0,92	-0,19	-0,18	-0,45	0,00	-0,53	-0,58	-1,23	-0,44	-0,05	-0,03	0,18
P-72	-0,68	0,07	0,34	0,81	-0,09	0,79	-0,45	-0,24	-0,42	-0,50	-1,23	-0,39	-2,15	-0,39	-0,19
P-73	-0,91	0,50	-0,09	0,93	-0,81	-0,37	-0,55	0,07	-0,77	-0,80	-1,23	-0,80	-0,34	0,03	0,23
P-74	-3,55	1,59	2,47	1,99	1,62	-0,30	0,28	1,58	-0,49	-0,14	-0,05	-0,32	-2,15	1,92	2,16
P-75	-0,13	0,88	1,19	1,03	-0,29	-0,34	-0,42	0,17	-0,59	-0,59	-0,60	-0,47	-0,20	0,19	0,35
P-76	-0,83	0,24	0,76	0,95	-0,32	0,19	-0,41	0,16	-0,64	-0,62	-1,23	-0,59	-0,15	0,14	0,30
P-77	-0,68	0,44	0,25	0,95	-0,19	0,08	-0,44	-0,05	-0,37	-0,51	-0,17	-0,47	-2,15	-0,13	0,15
P-78	-0,29	0,68	1,02	0,87	-0,32	0,07	-0,48	-0,13	-0,42	-0,51	-0,45	-0,54	-0,10	-0,12	0,03
P-79	-0,68	0,60	-0,17	1,18	-0,29	-0,57	-0,31	0,67	-0,59	-0,86	-1,23	-0,82	-2,15	0,33	0,65
P-80	-3,55	-3,18	-0,09	1,81	0,56	0,21	0,21	1,50	-0,64	-0,18	-0,57	-0,58	-2,15	1,78	2,04
P-81	-2,72	0,17	-0,43	1,46	0,20	0,15	-0,05	1,07	-0,89	-0,52	-0,57	-0,85	-2,15	1,16	1,43
P-82	-1,50	0,44	-0,09	1,38	0,37	-0,02	-0,11	0,87	-0,89	-0,52	-1,23	-0,85	0,34	0,96	1,21
P-83	-2,37	-0,11	-1,79	1,22	-0,26	0,09	-0,26	0,70	-0,95	-0,58	-1,23	-0,99	0,28	0,72	0,99
P-84	-1,38	0,36	0,42	1,03	-0,26	-0,05	-0,36	0,45	-1,10	-0,85	-0,51	-1,06	-0,34	0,47	0,68
P-85	-1,15	-0,08	-0,26	0,96	-0,98	-0,44	-0,44	0,36	-1,20	-0,92	-1,23	-1,11	-2,15	0,36	0,58
P-86	-0,01	0,51	0,51	0,67	-1,31	-1,17	-0,77	-0,19	-1,10	-1,06	-0,72	-1,26	-0,10	-0,30	-0,10
P-87	-0,99	-0,06	0,25	0,95	-0,72	-0,08	-0,52	0,25	-1,20	-0,87	-1,23	-1,42	0,28	0,22	0,51
P-88	-0,48	-0,16	1,36	0,75	-1,50	-0,97	-0,68	-0,03	-1,10	-0,99	-1,23	-1,23	-0,58	-0,07	0,16
P-89	-0,21	-0,67	1,61	0,47	-1,24	-0,50	-0,97	-0,57	-1,15	-1,12	-1,23	-1,42	-0,34	-0,77	-0,57
P-90	-0,13	-0,22	1,53	0,87	-1,54	-1,37	-0,65	0,01	-1,33	-1,05	-1,23	-1,26	-0,48	0,01	0,18
P-91	0,54	-0,50	2,38	-0,01	-2,19	-1,82	-1,32	-1,17	-1,26	-1,41	-1,23	-1,52	-0,91	-1,68	-1,48
P-92	-0,13	-0,23	0,51	-0,25	-2,55	-2,79	-1,47	-1,32	-1,26	-1,37	-1,23	-1,37	-0,78	-1,93	-1,73
P-93	-0,09	0,02	0,08	-0,33	0,70	0,67	0,49	0,03	0,56	0,49	0,50	0,53	0,28	0,85	-1,57
P-94	-0,83	0,96	-0,68	0,23	-1,86	-0,70	-0,41	-1,18	-0,10	-1,15	-0,96	-2,99	-2,15	-2,91	-0,44

11.11 Cajas gráficas de las variables transformadas con Ln, y posteriormente estandarizadas.

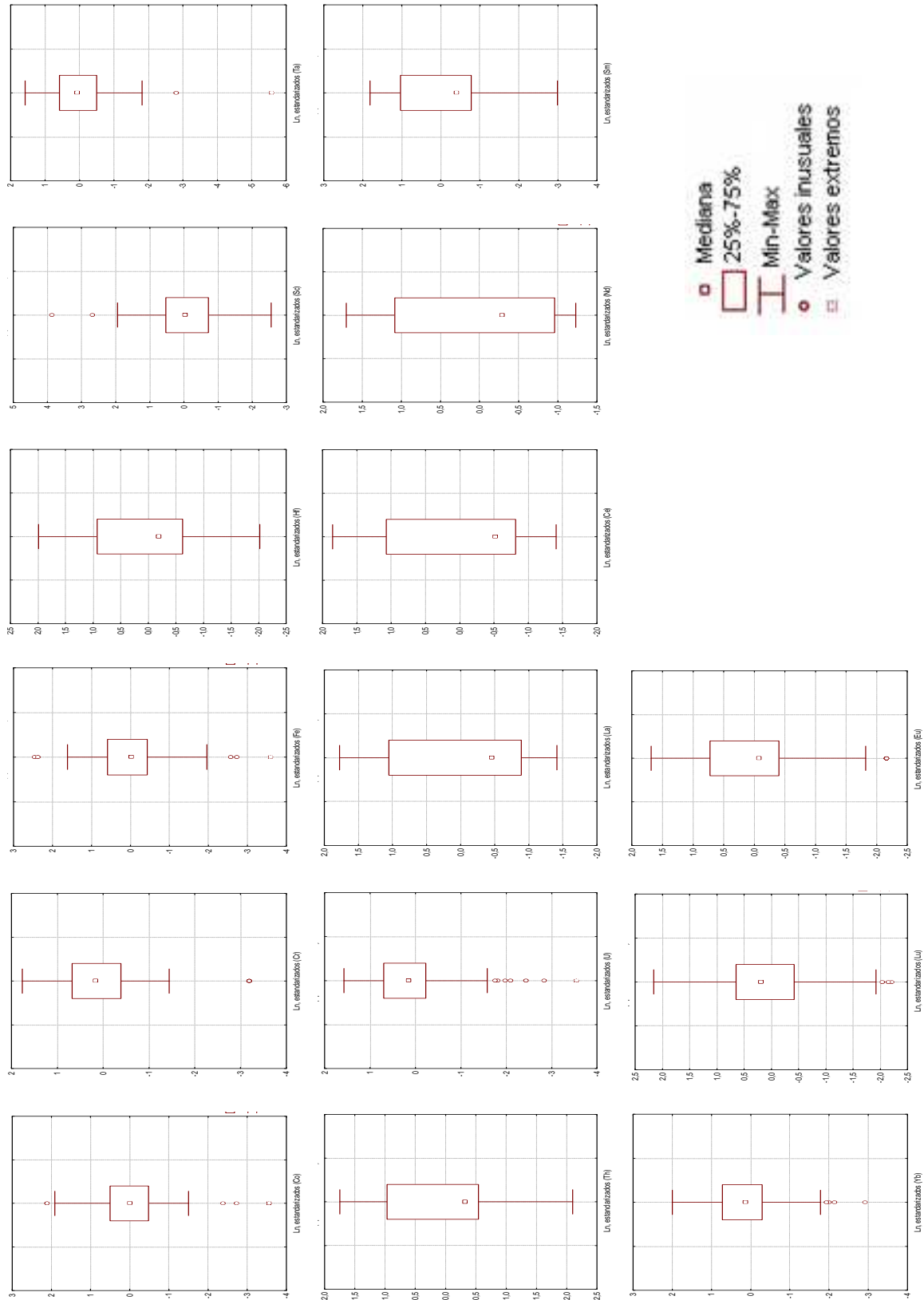
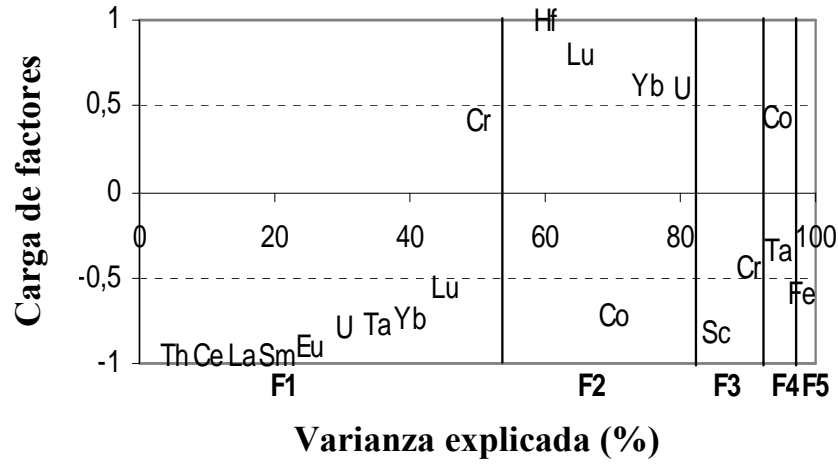
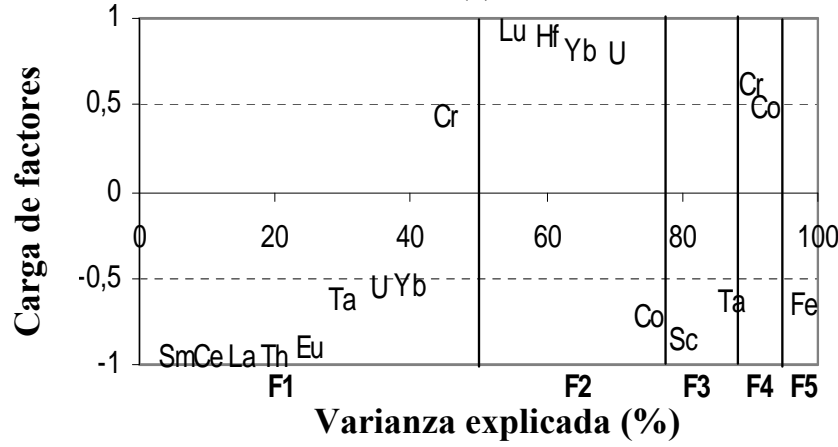


Figura 42. Diagramas de cajas correspondientes a los datos iniciales transformados con Ln, y posteriormente estandarizados.

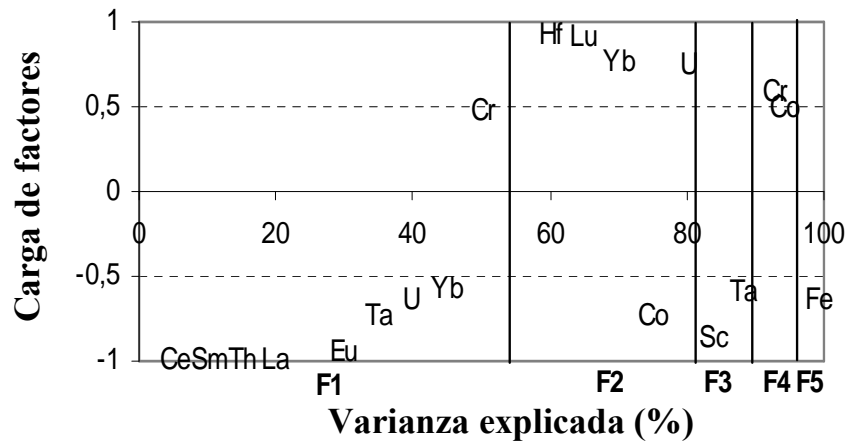
11.12 Ensayos del análisis de factores.



(a)

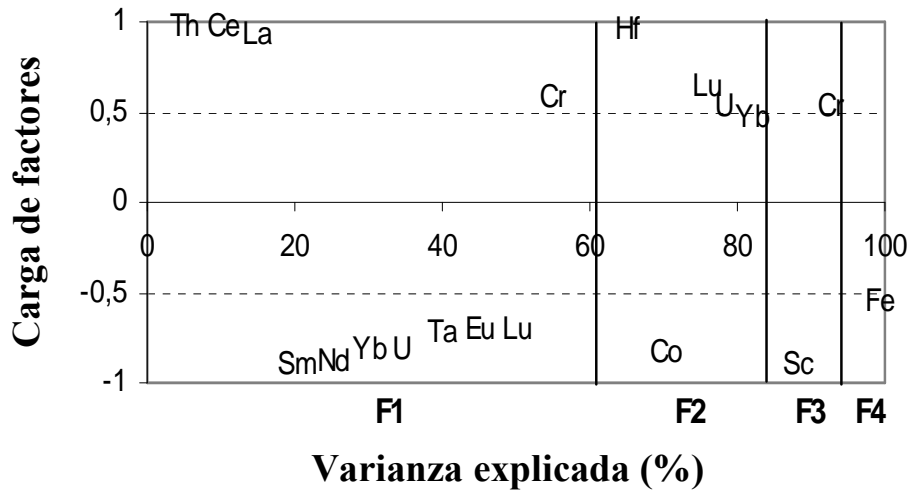


(b)

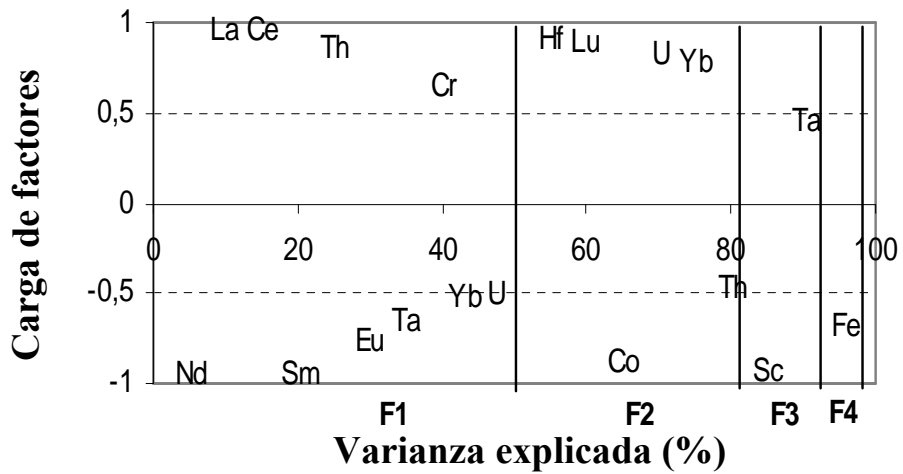


(c)

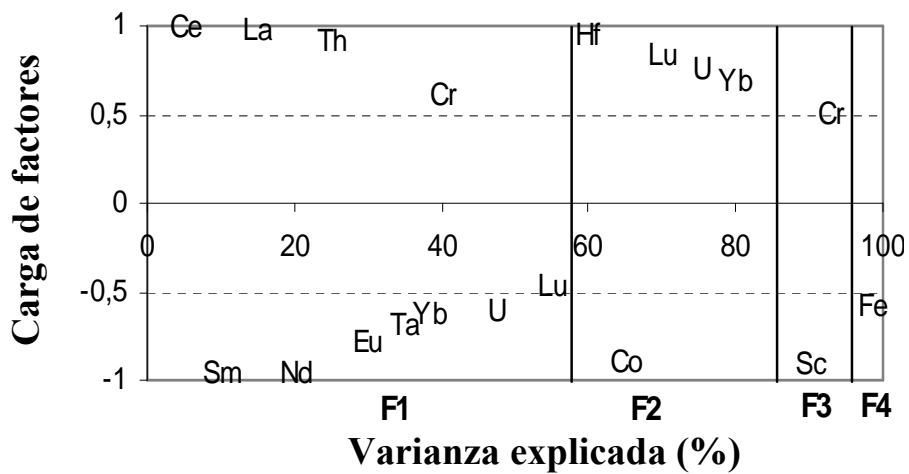
Figura 43. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

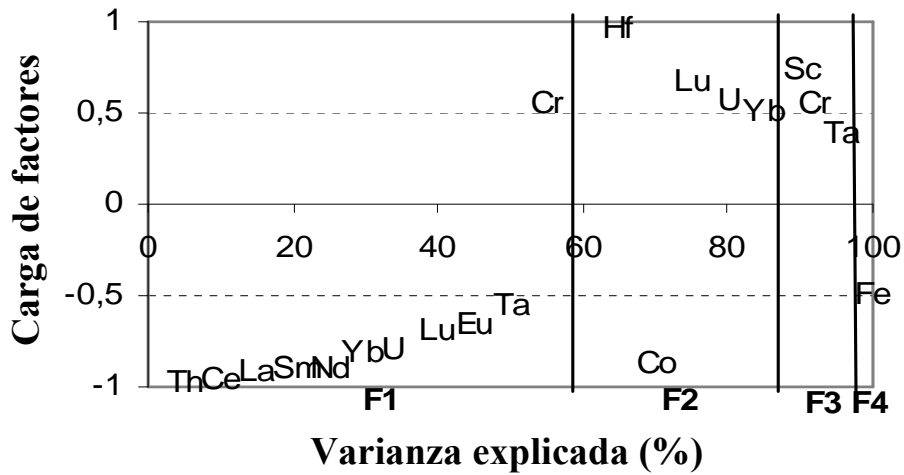


(b)

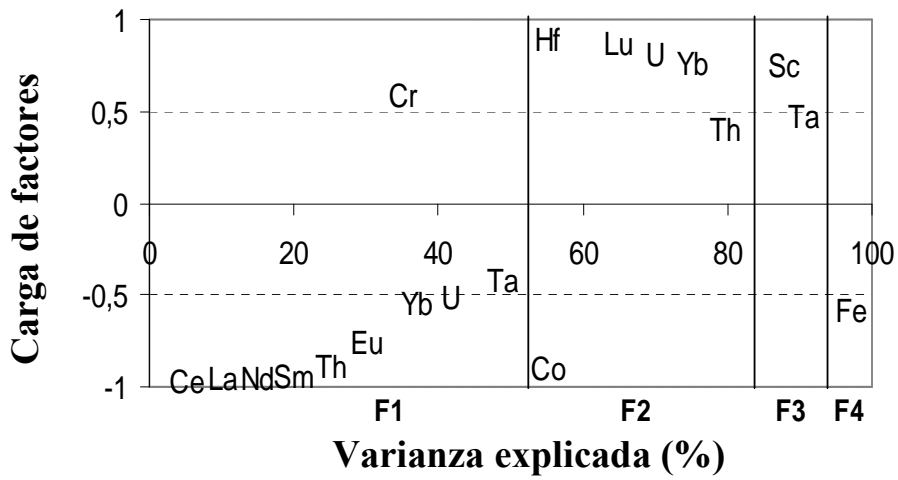


(c)

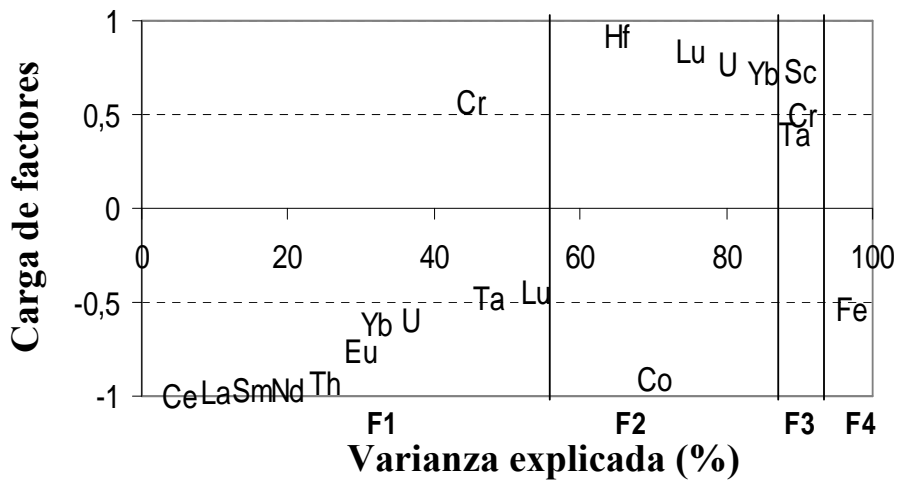
Figura 44. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Box-Cox, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

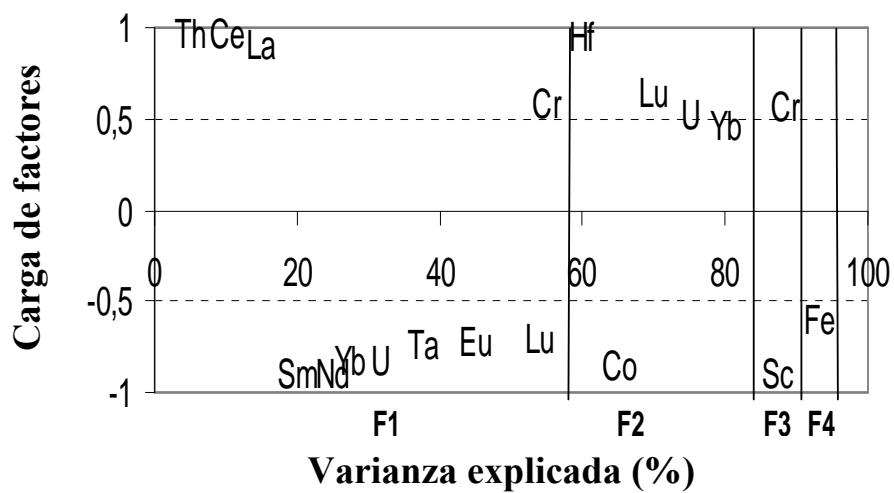


(b)

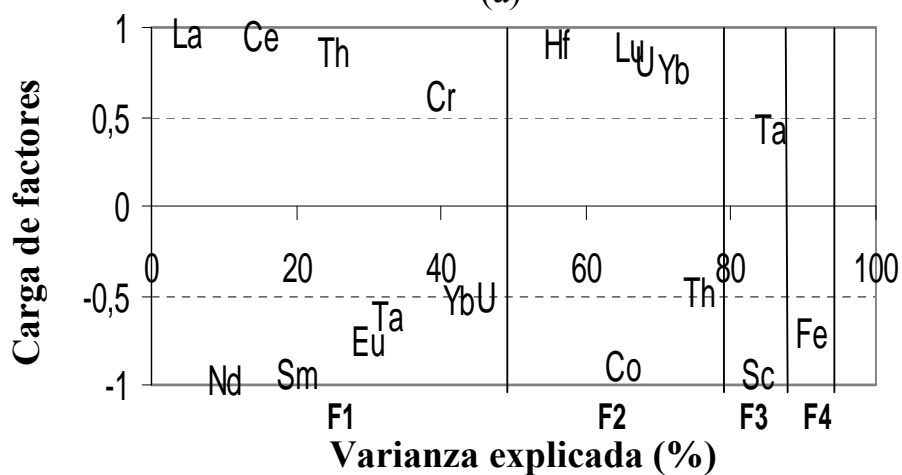


(c)

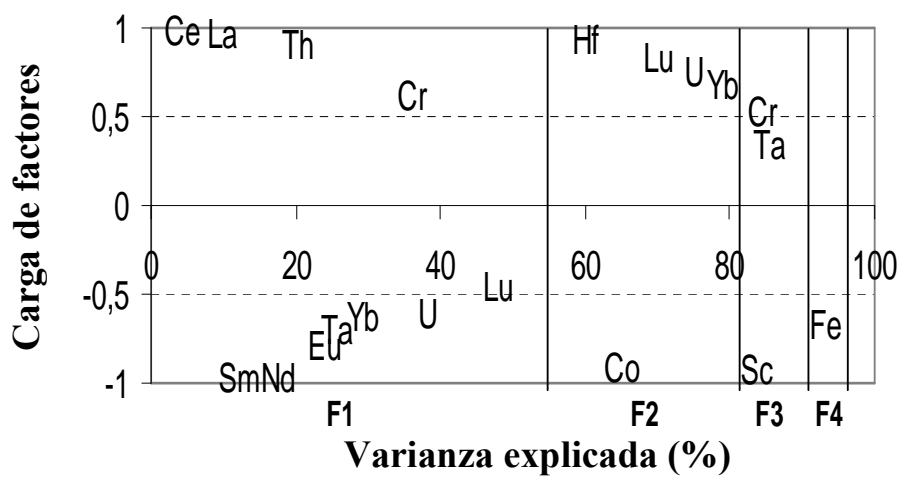
Figura 45. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Ln, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

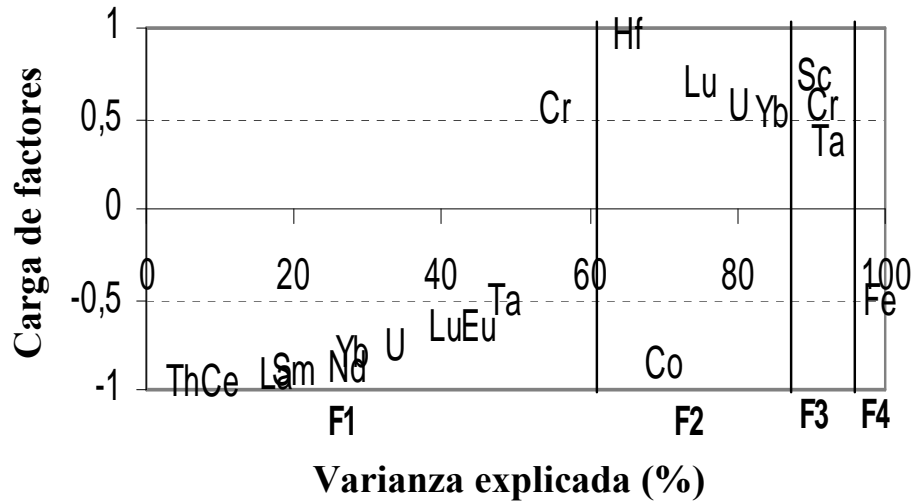


(b)

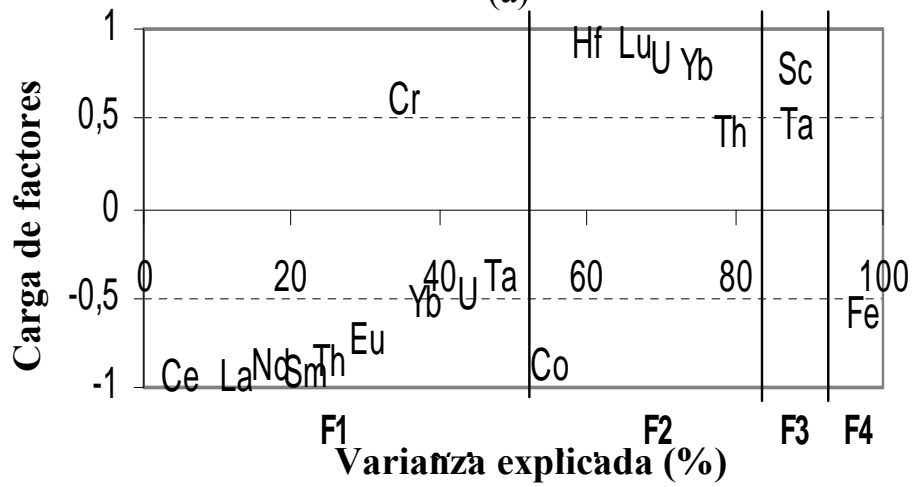


(c)

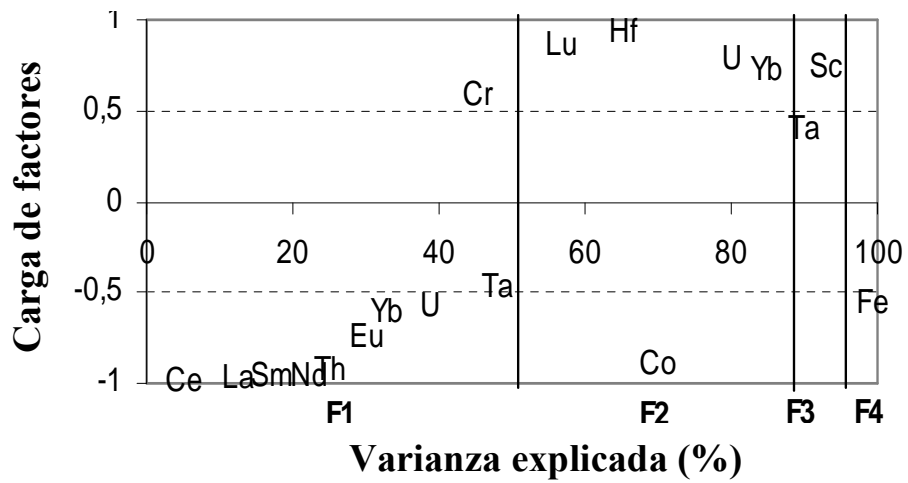
Figura 46. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Box-Cox y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

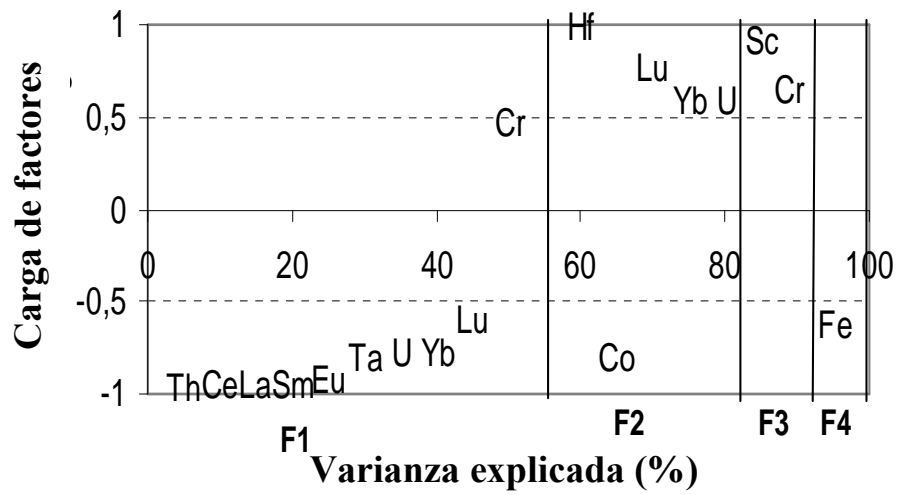


(b)

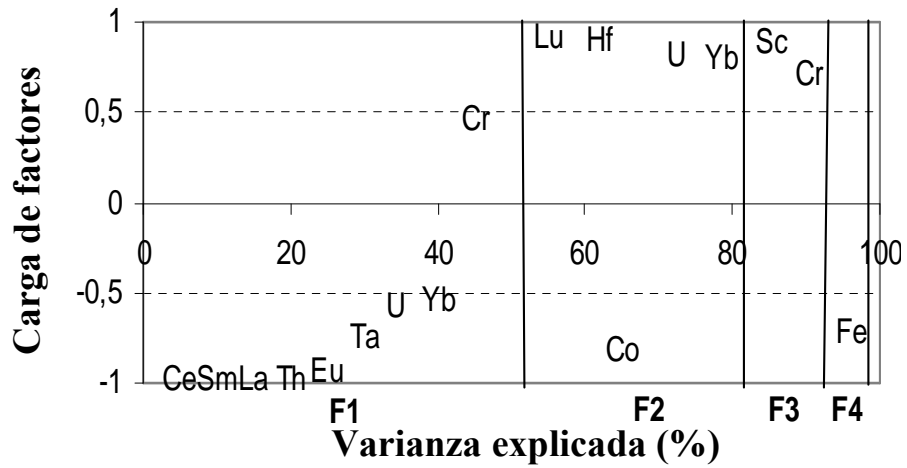


(c)

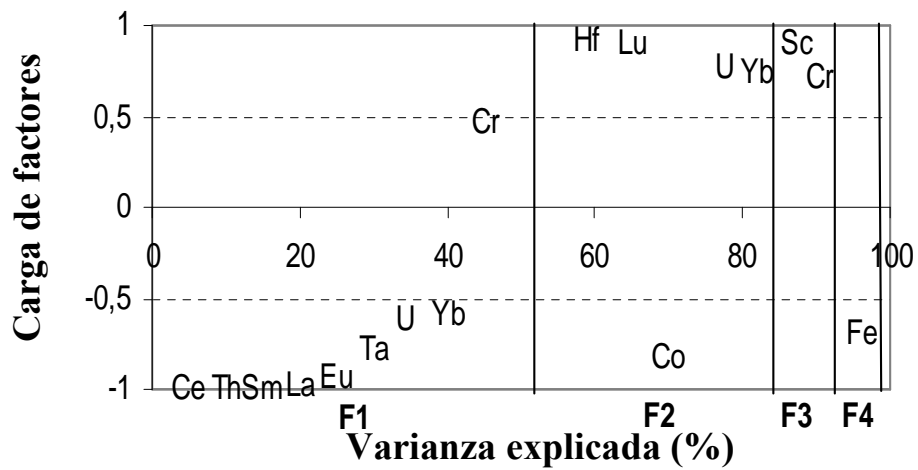
Figura 47. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Ln y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: regular; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

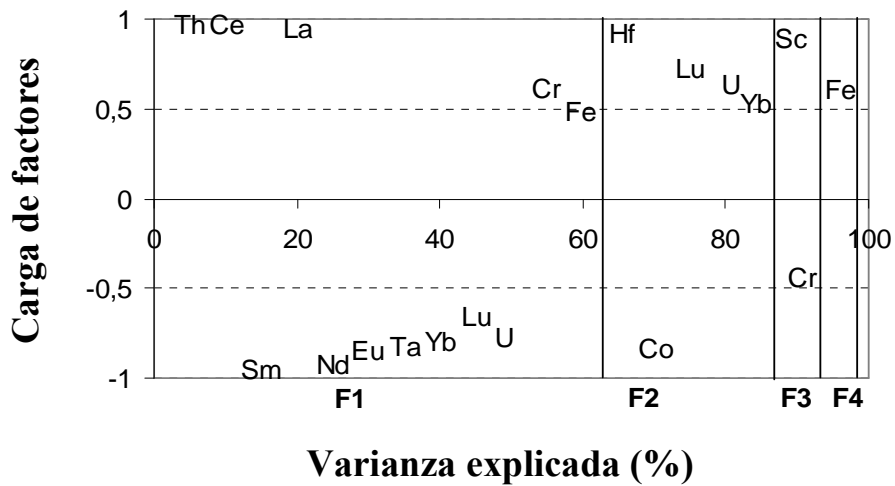


(b)

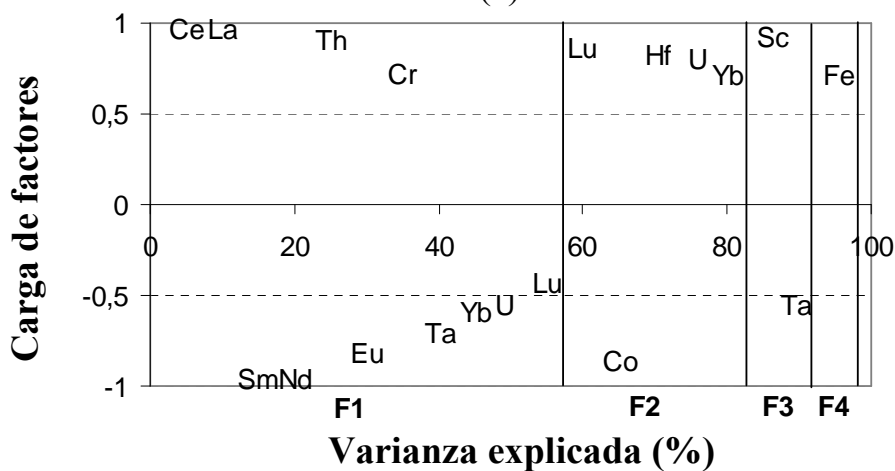


(c)

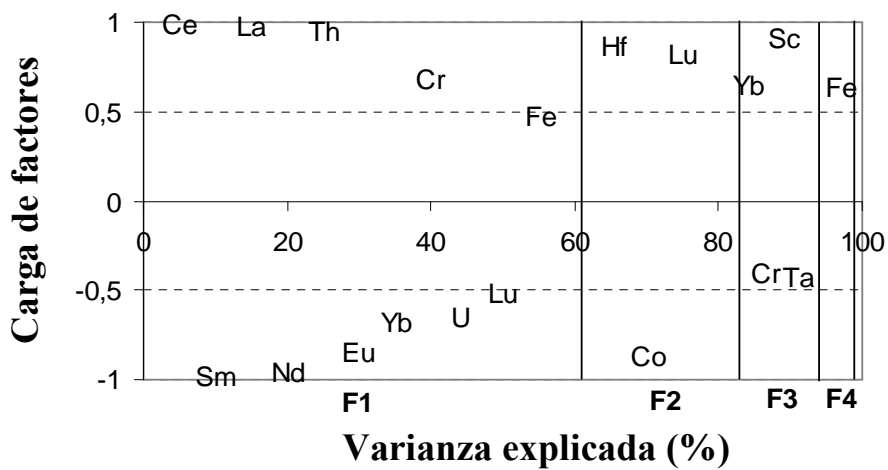
Figura 48. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

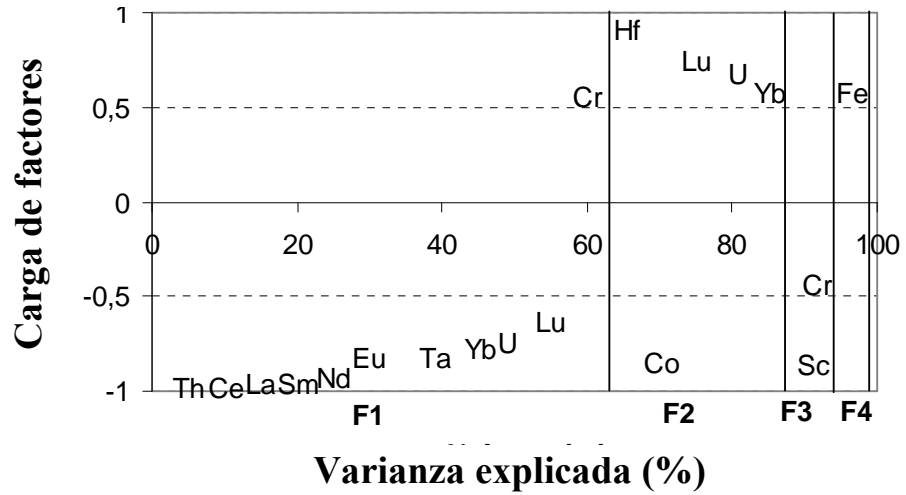


(b)

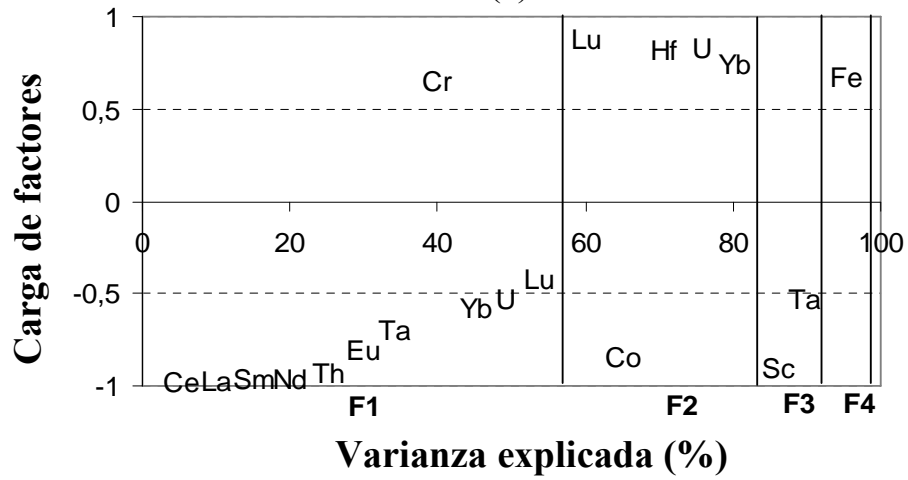


(c)

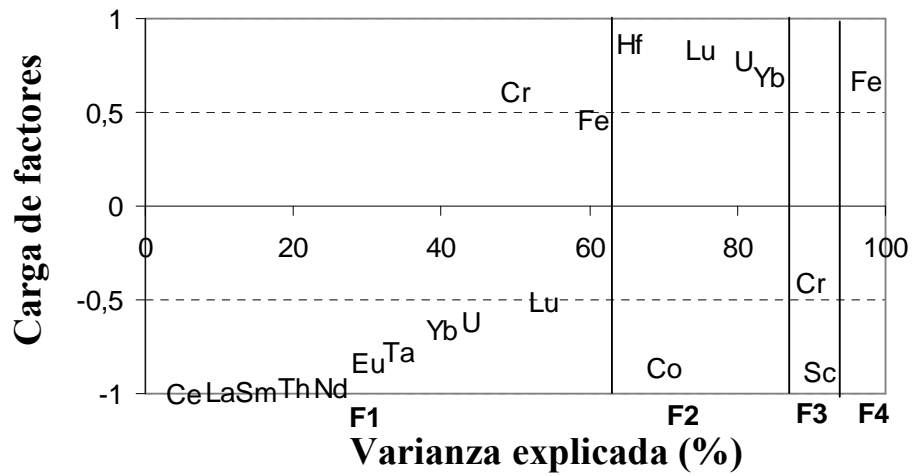
Figura 49. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Box-Cox, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

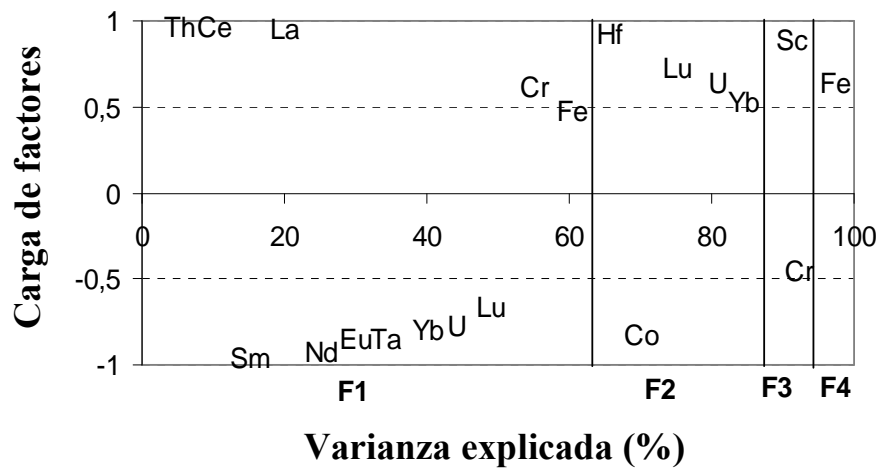


(b)

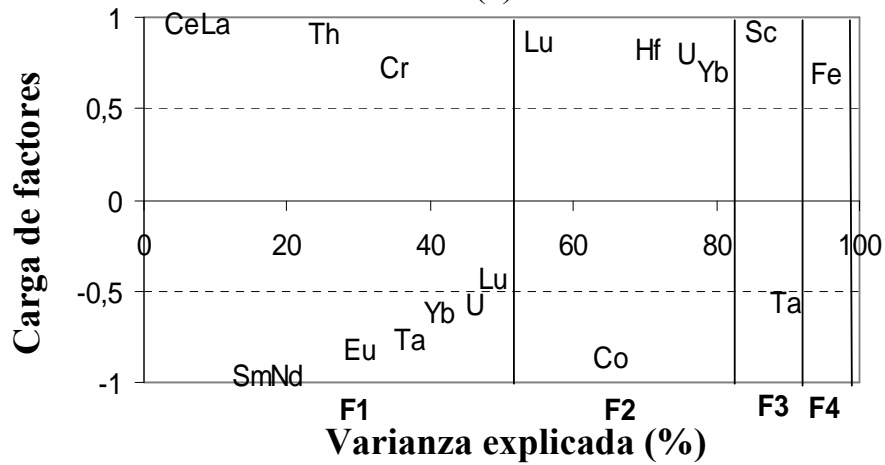


(c)

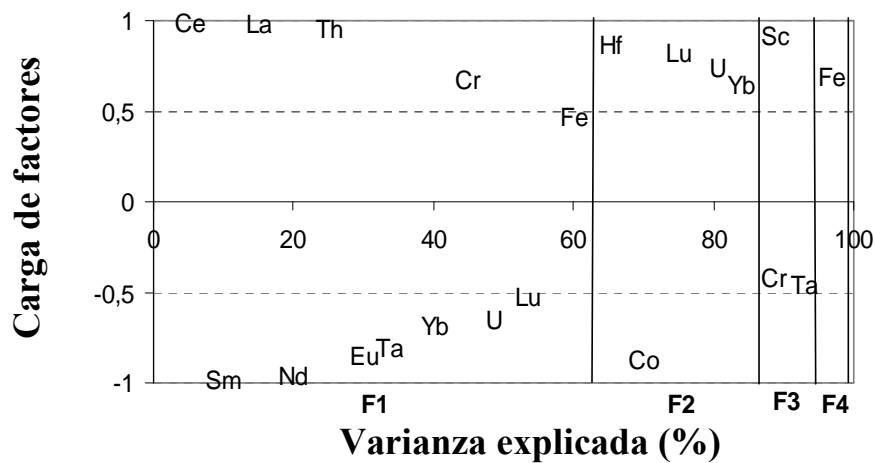
Figura 50. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Ln, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

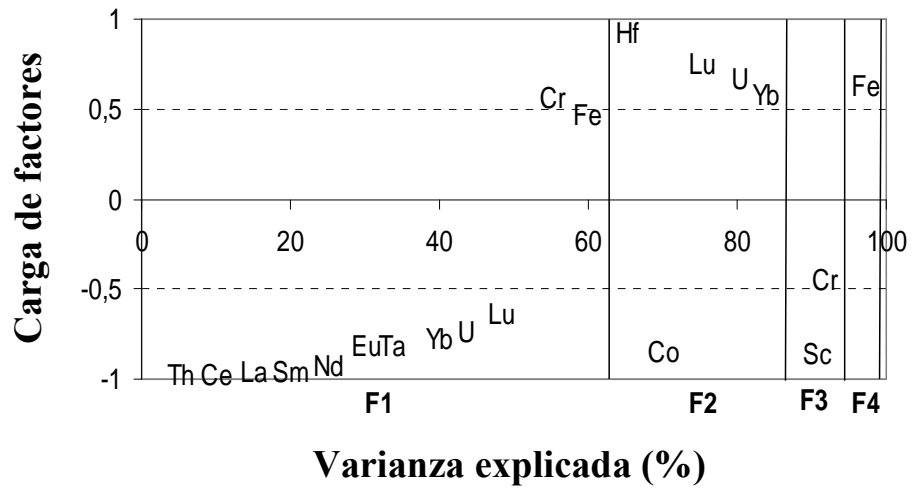


(b)

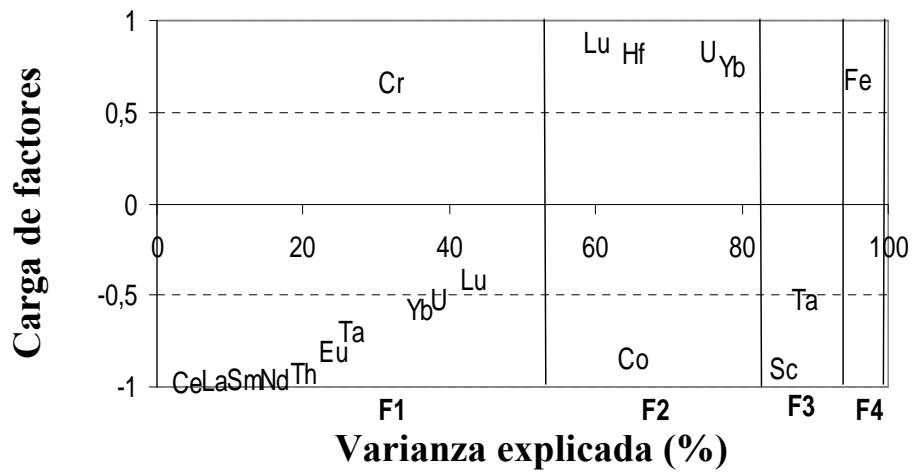


(c)

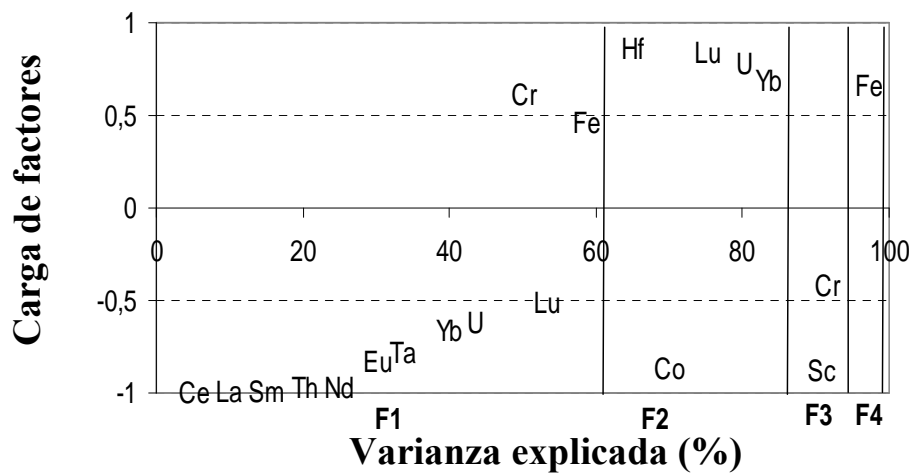
Figura 51. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Box-Cox y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)



(b)



(c)

Figura 52. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales transformados con Ln y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: robusta; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.

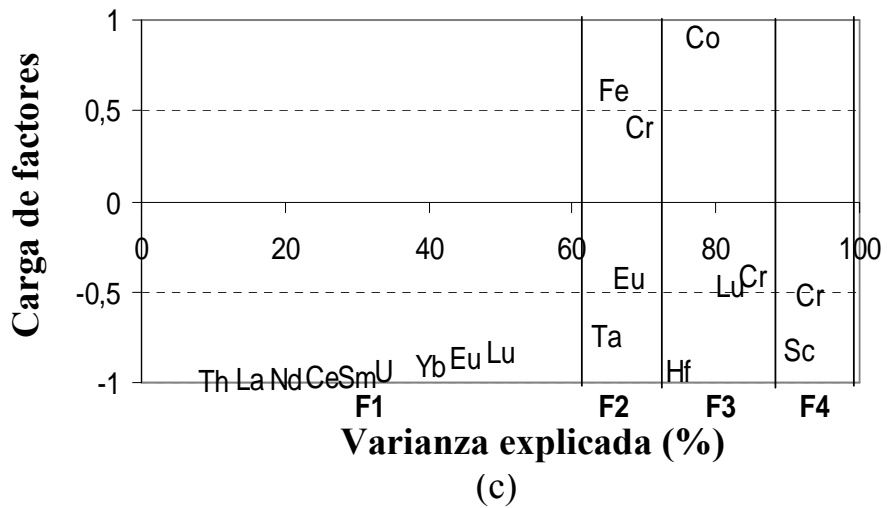
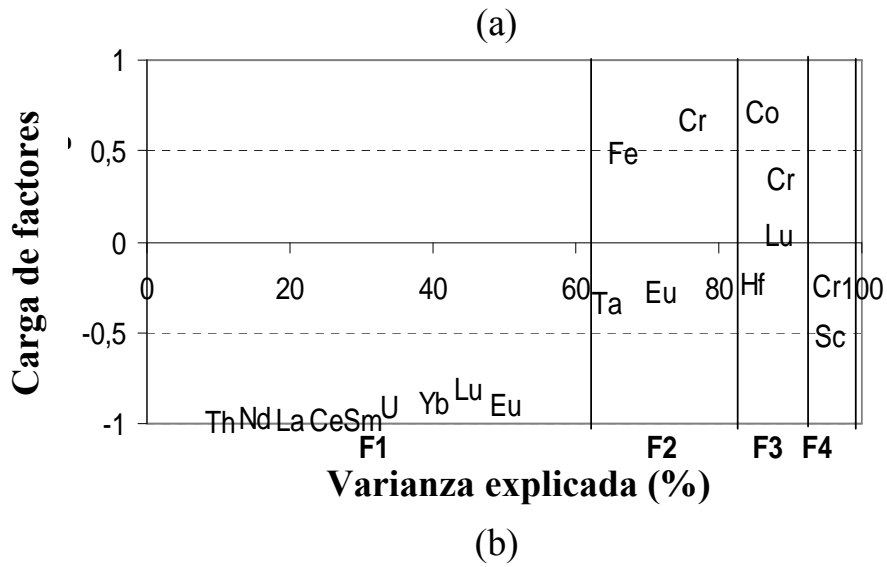
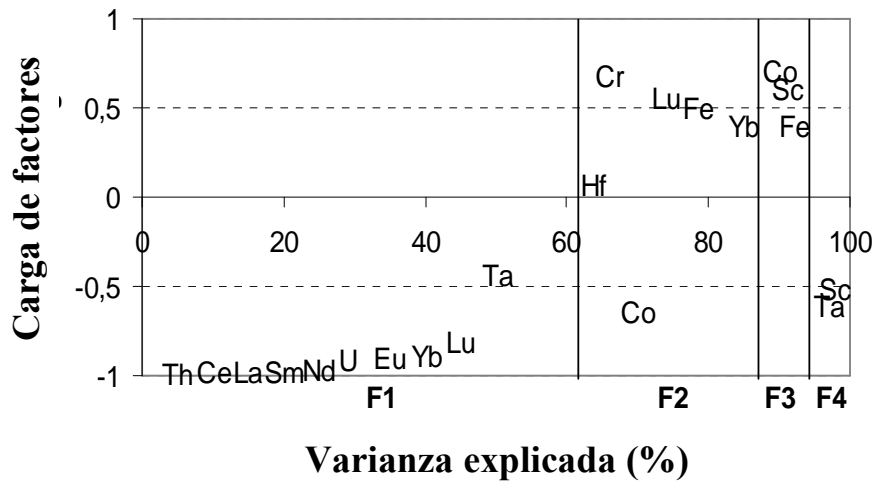
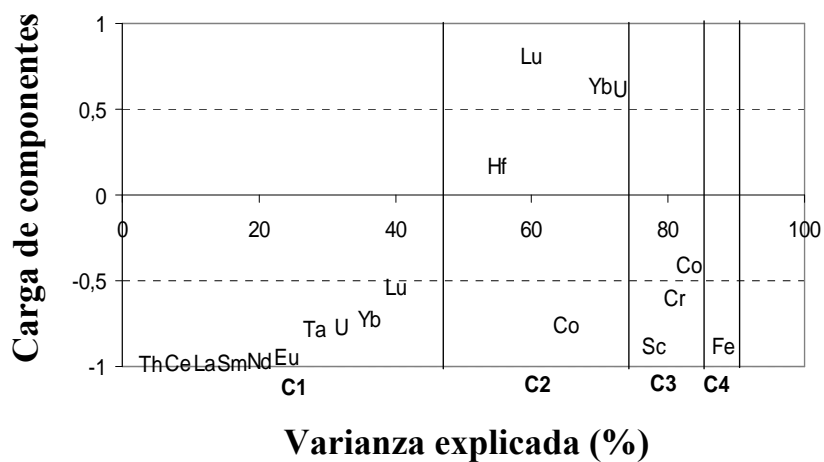
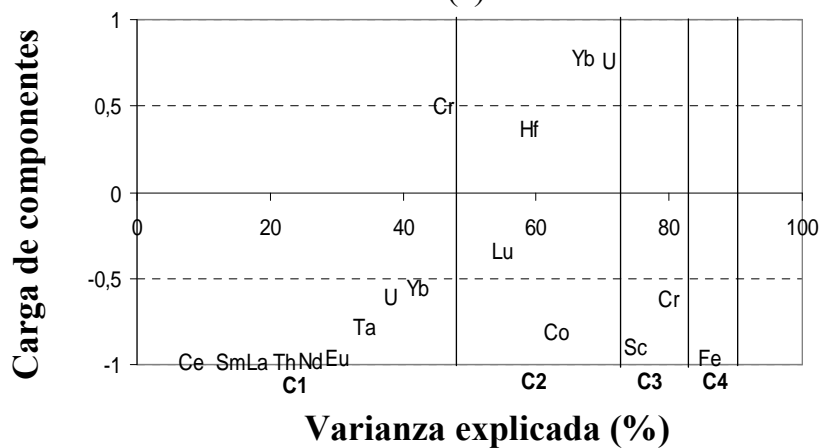


Figura 53. Diagramas resumen del AF de los datos iniciales con estimación de valores perdidos (normal multivariado) y estimación de covarianza robusta, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.

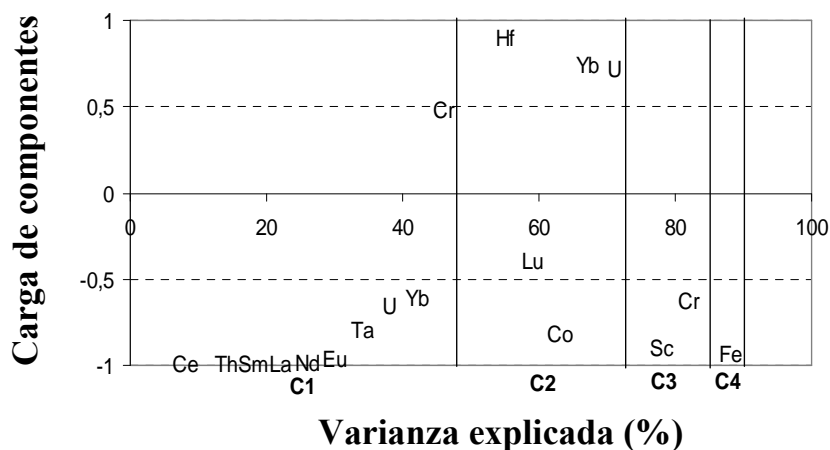
11.13 Ensayos del análisis de componentes principales



(a)



(b)



(c)

Figura 54. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales, estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.

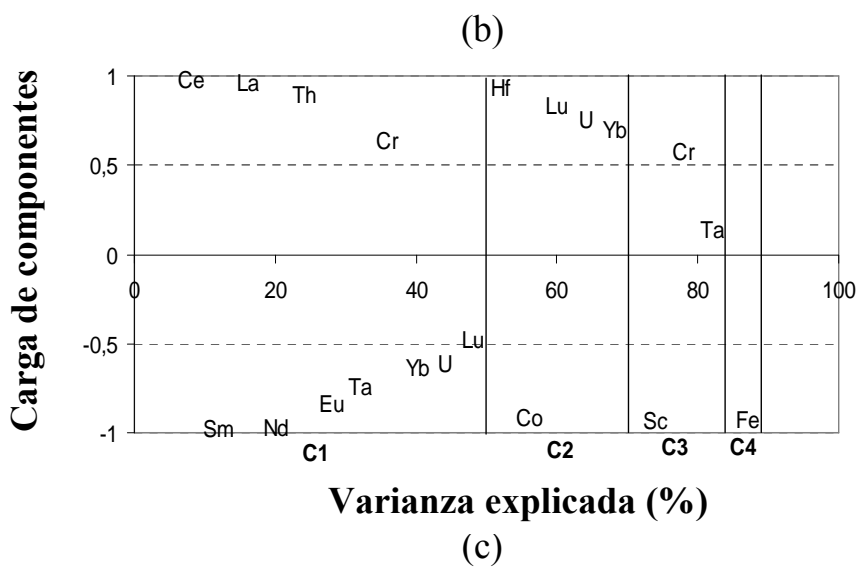
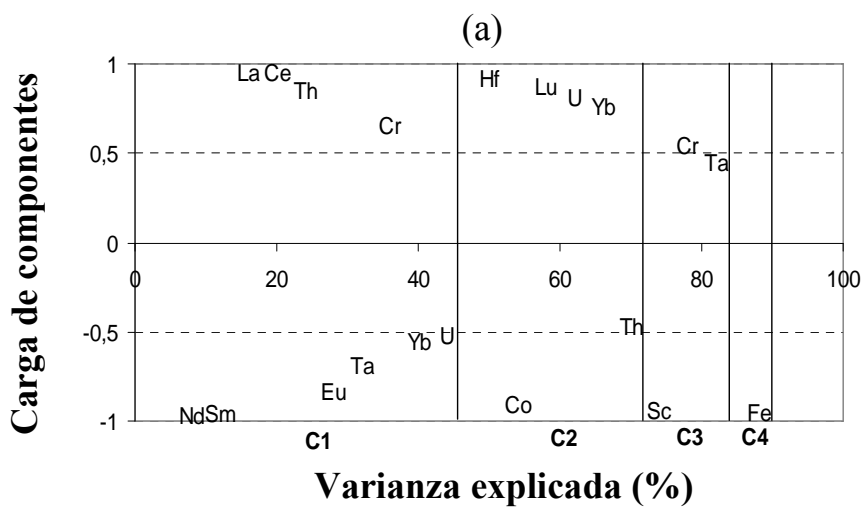
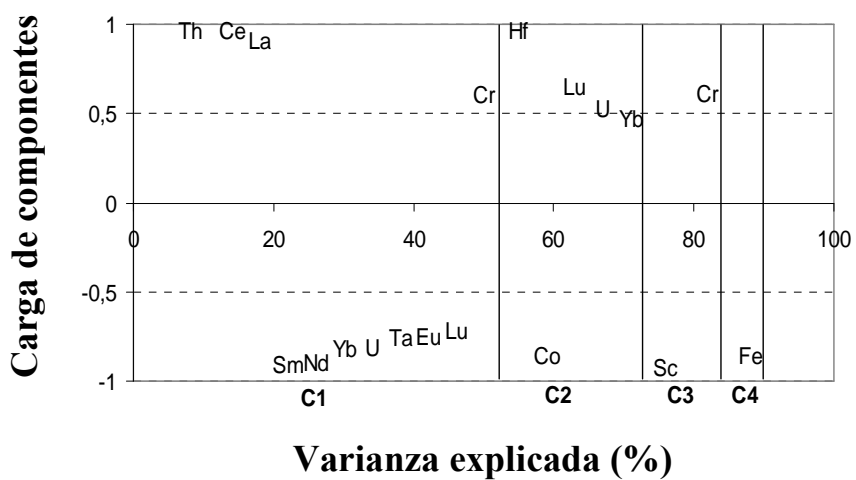
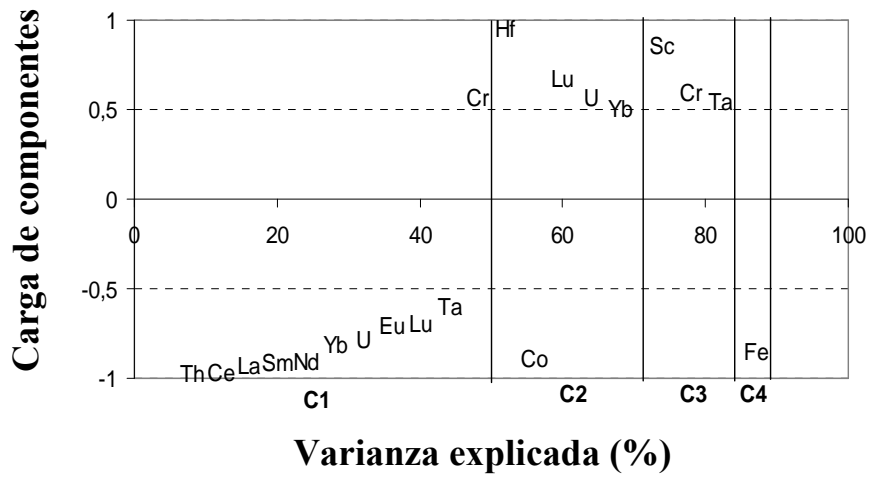
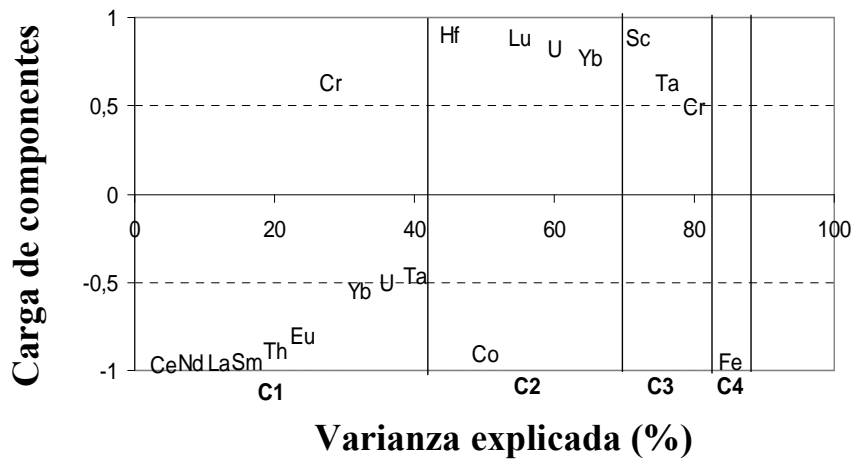


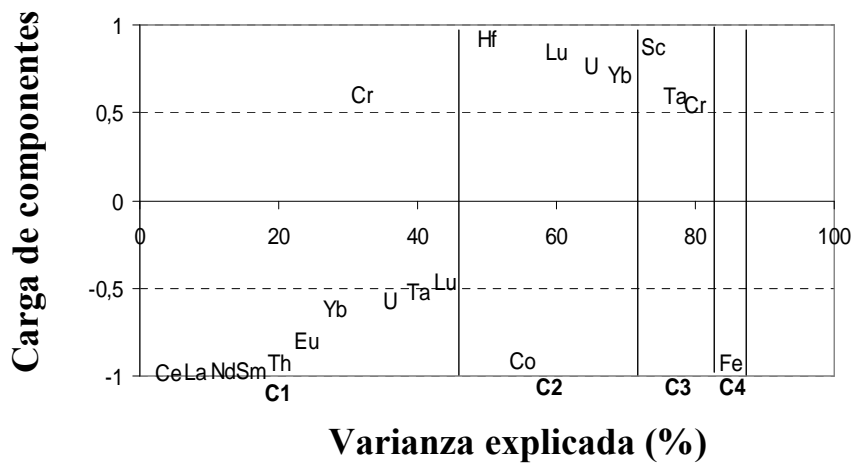
Figura 55. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Box-Cox, estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

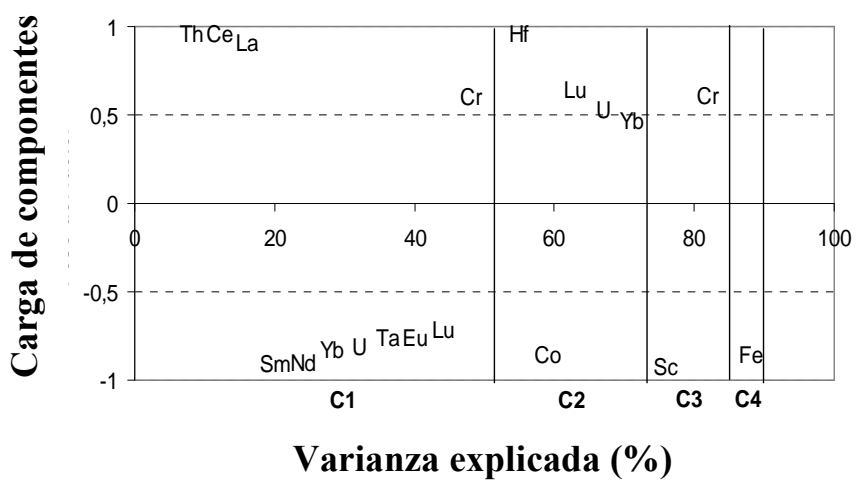


(b)

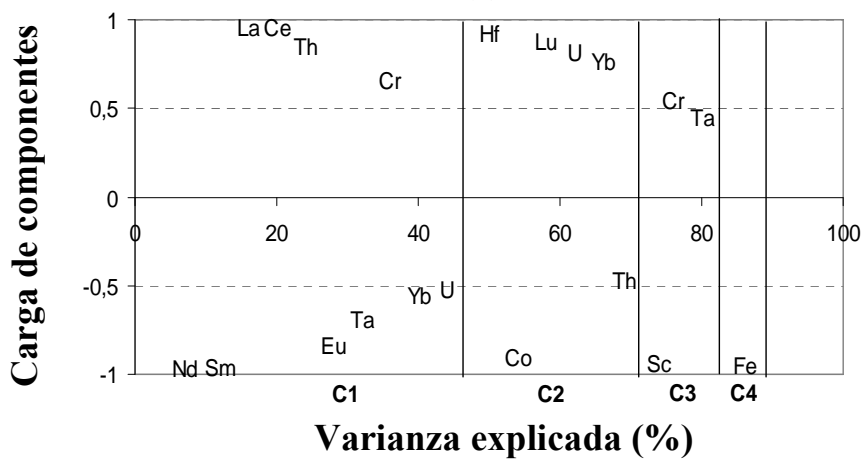


(c)

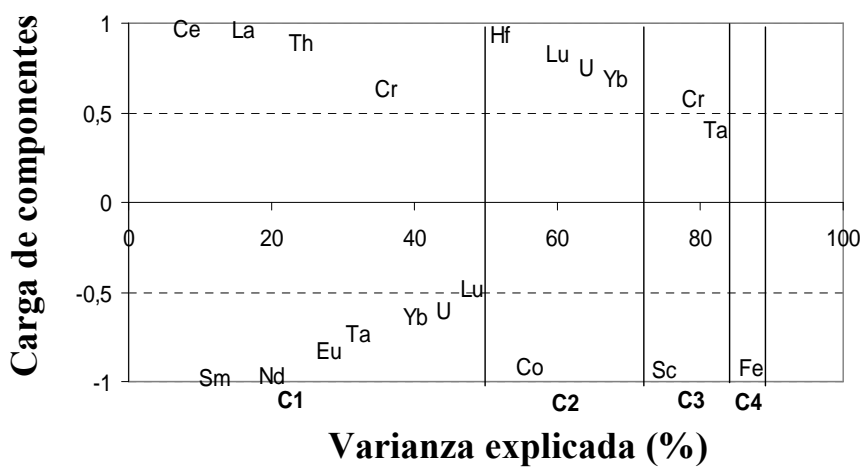
Figura 56. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Ln, estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

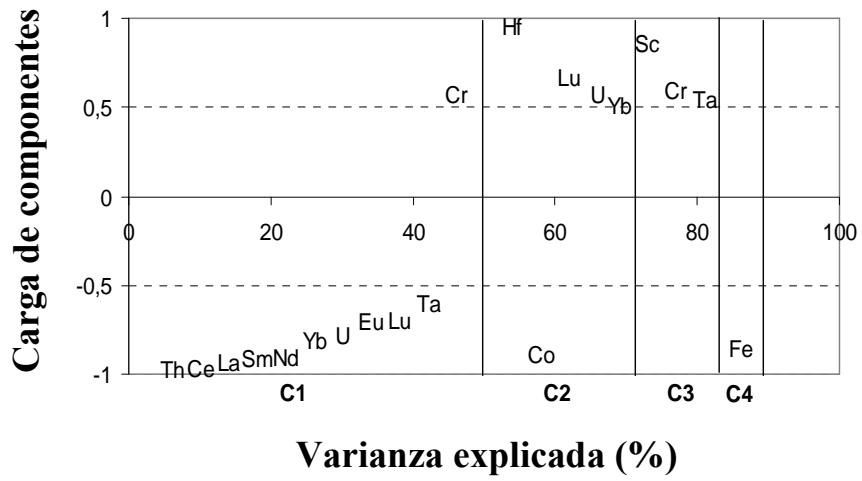


(b)

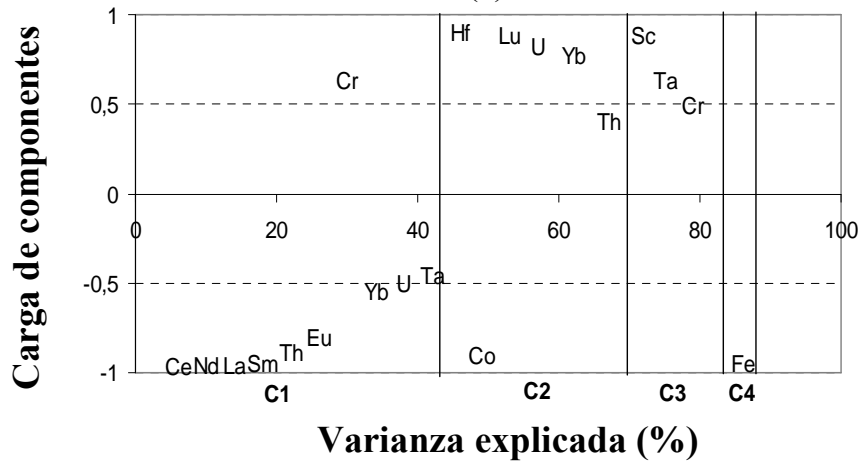


(c)

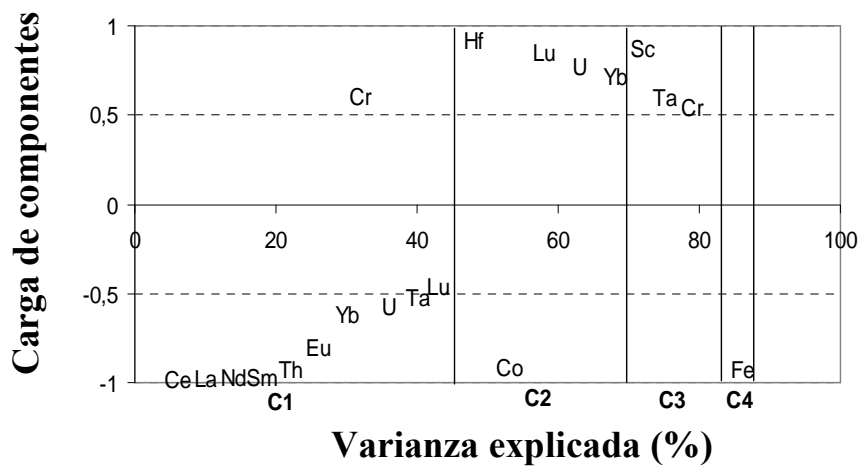
Figura 57. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Box-Cox (estandarizados), estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

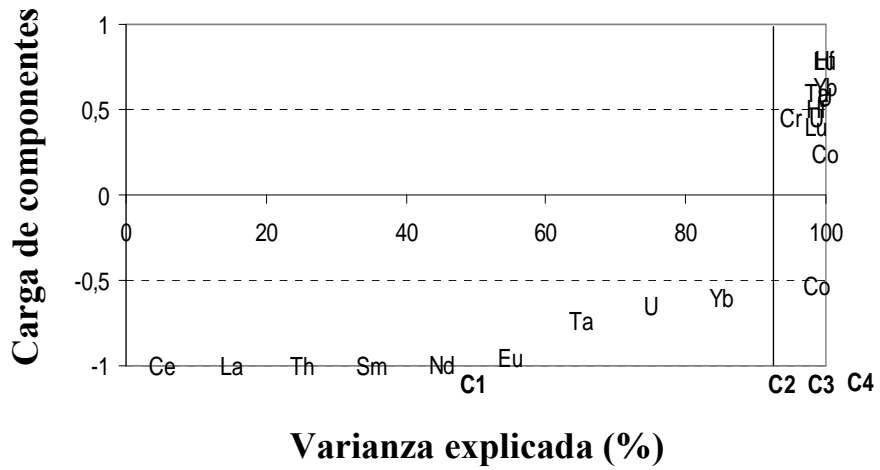


(b)

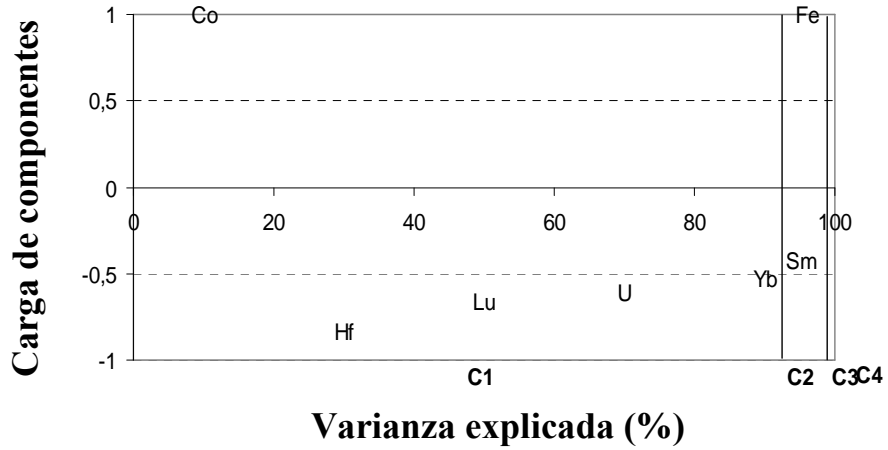


(c)

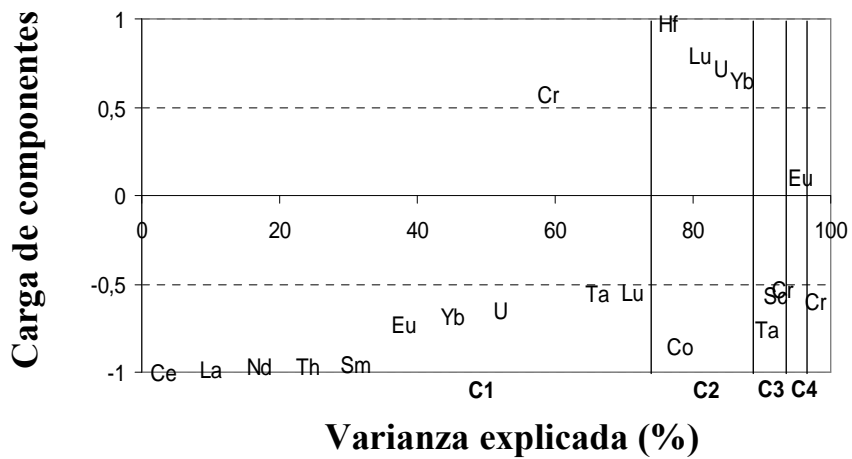
Figura 58. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Ln (estandarizados), estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

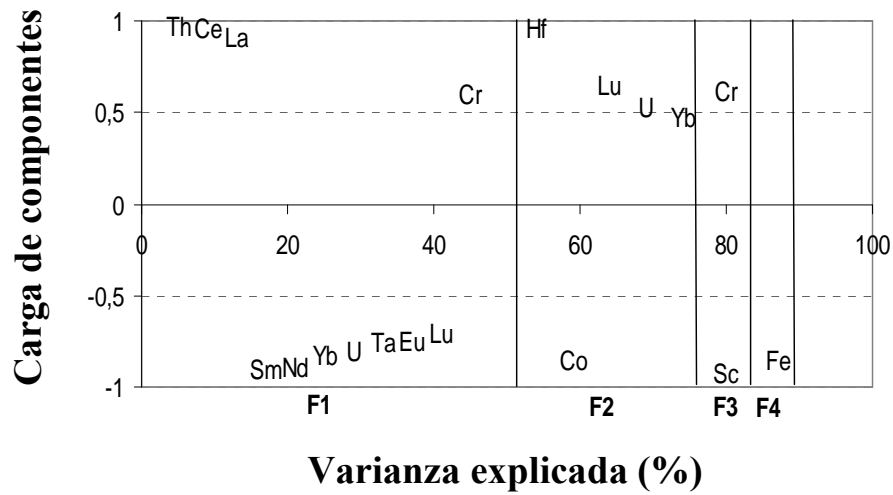


(b)

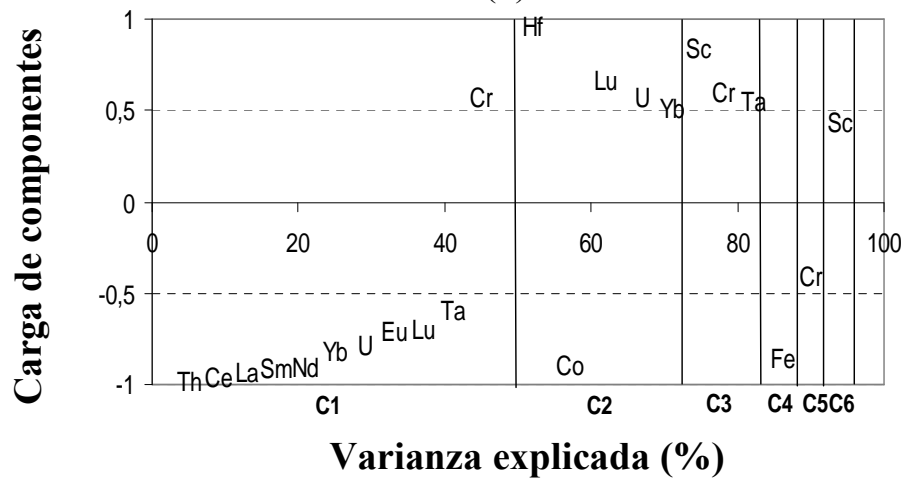


(c)

Figura 59. Diagramas resumen del ACP, estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: varianza-covarianza, (a) datos iniciales (b) datos iniciales transformados con Box-Cox, (c) datos iniciales transformados con Box-Cox, (d) datos iniciales transformados con Box-Cox y estandarizados, y (e) datos iniciales transformados con Ln y estandarizados.

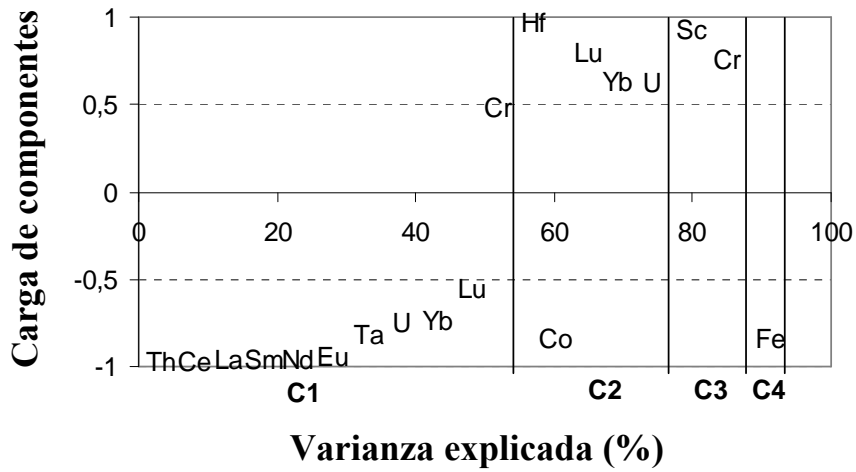


(d)

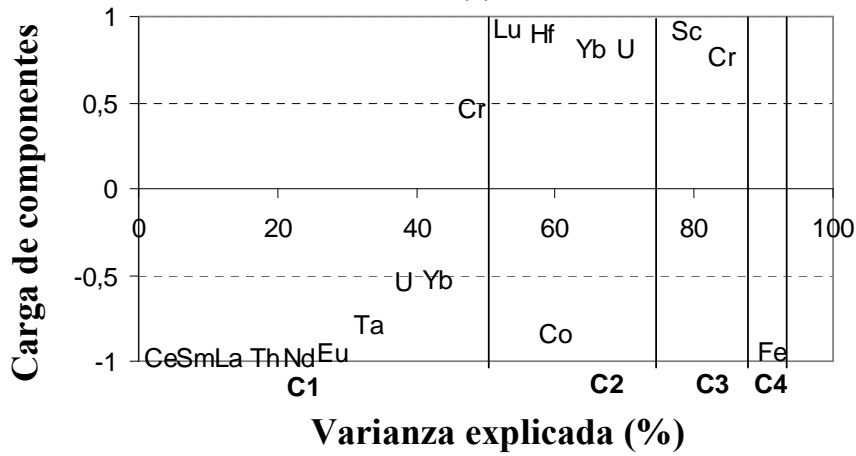


(e)

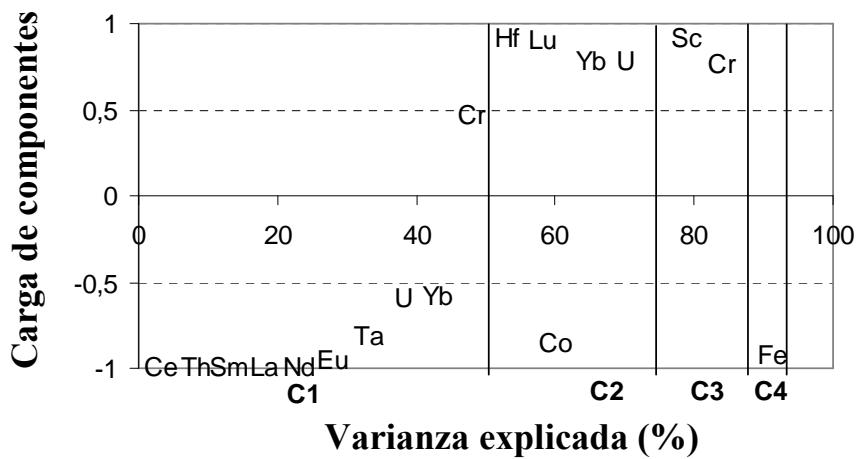
Figura 59. (Continuación). Diagramas resumen del ACP, estimación de covarianza: regular y tipo de matriz: varianza-covarianza, (a) datos iniciales (b) datos iniciales transformados con Box-Cox, (c) datos iniciales transformados con Box-Cox, (d) datos iniciales transformados con Box-Cox y estandarizados, y (e) datos iniciales transformados con Ln y estandarizados.



(a)

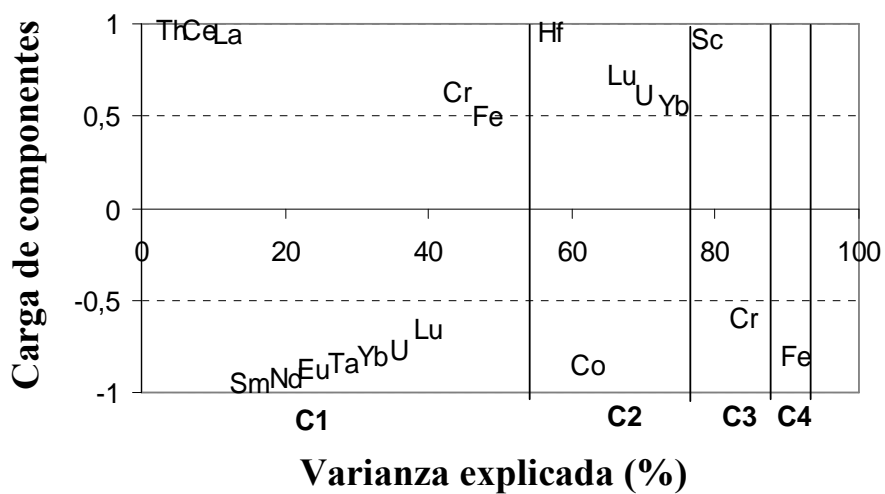


(b)

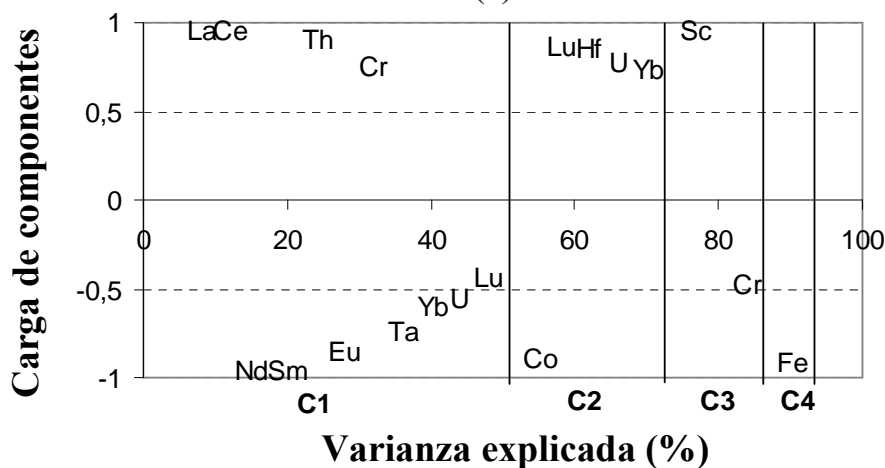


(c)

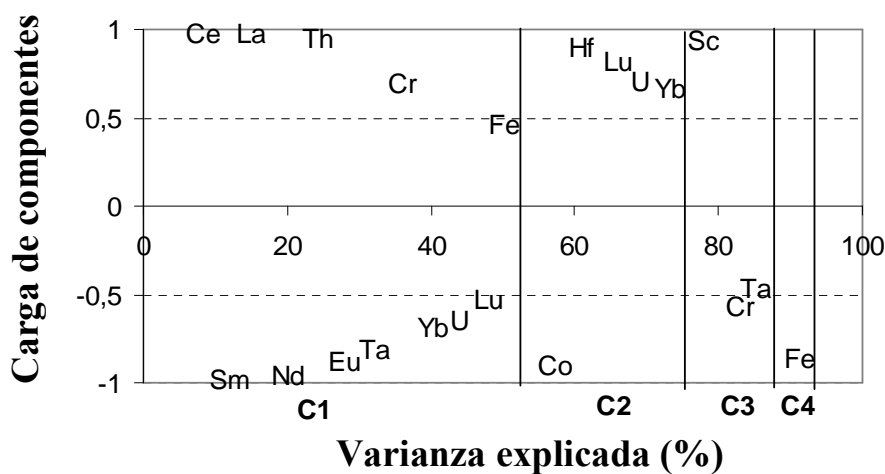
Figura 60. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales, con estimación de covarianza: robusta y tipo de matriz: correlación, (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

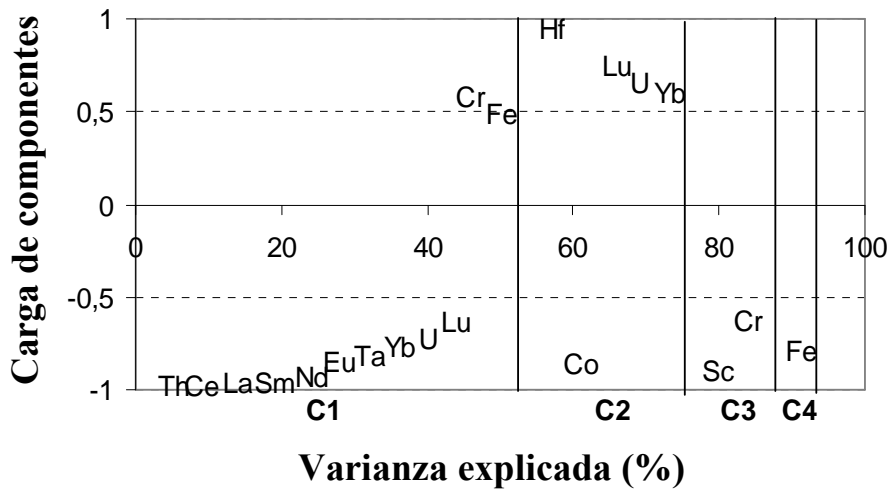


(b)

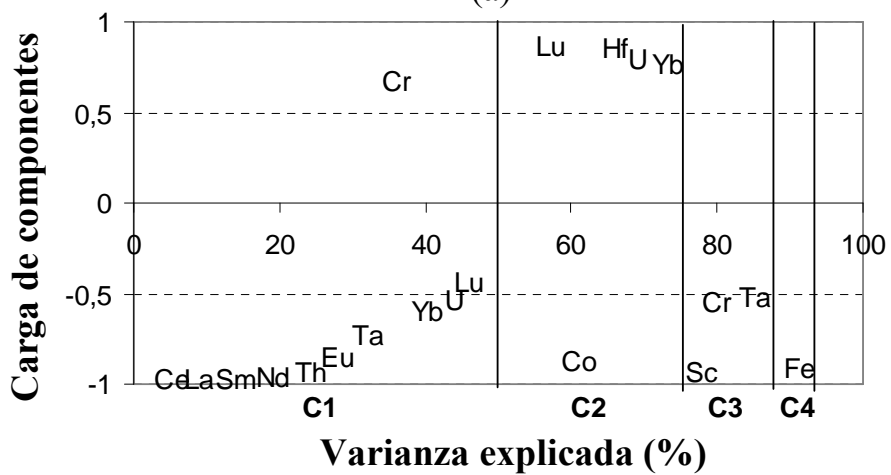


(c)

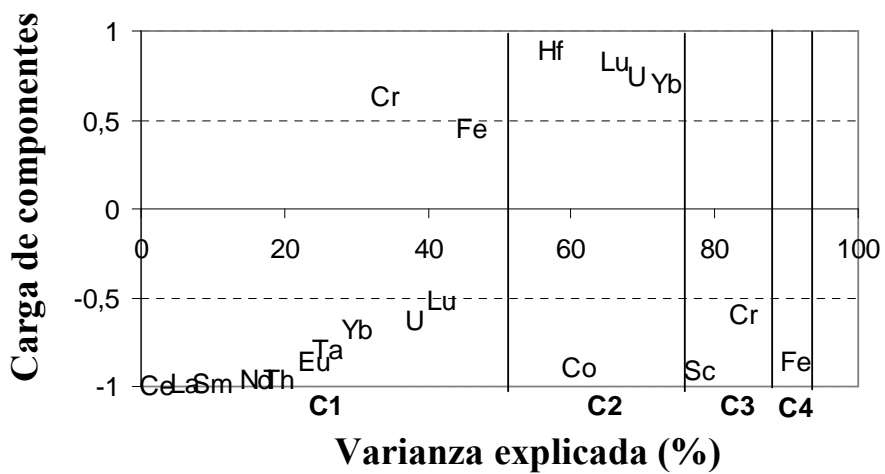
Figura 61. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Box-Cox, con estimación de covarianza: robusta y tipo de matriz: correlación; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

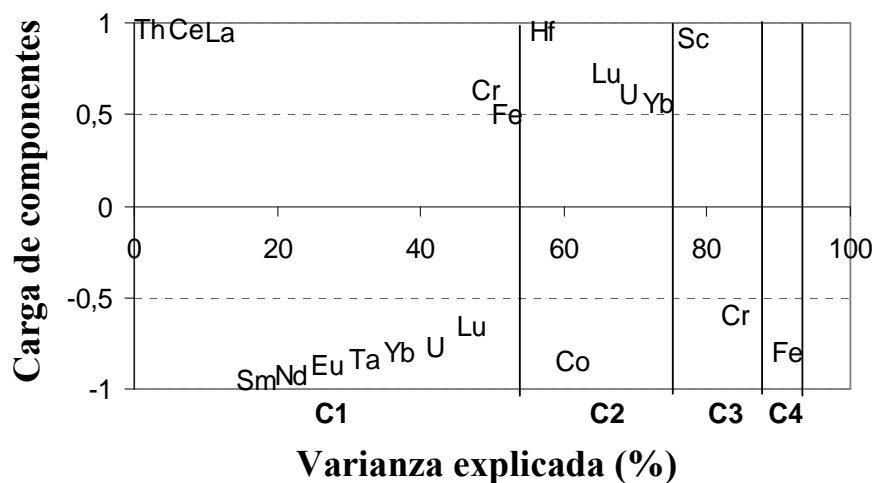


(b)

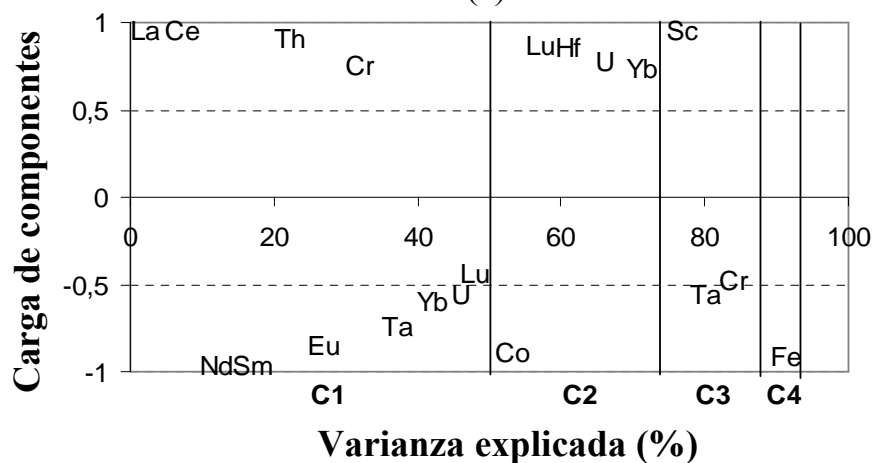


(c)

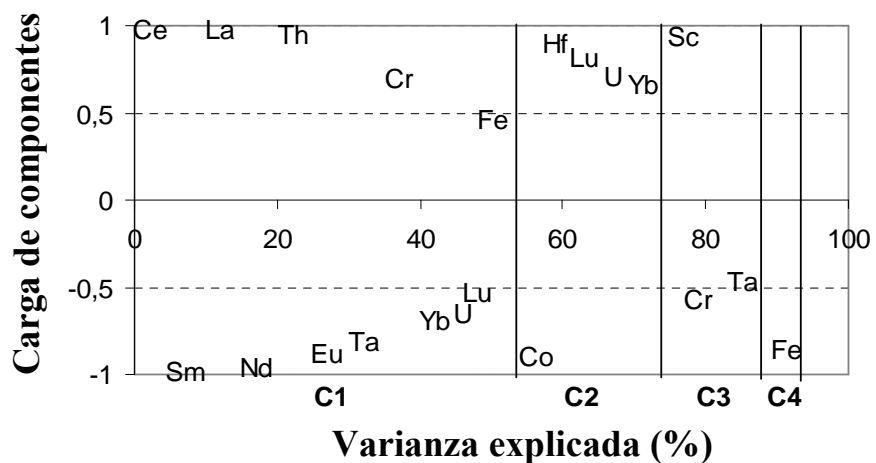
Figura 62. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Ln, con estimación de covarianza: robusta y tipo de matriz: correlación; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

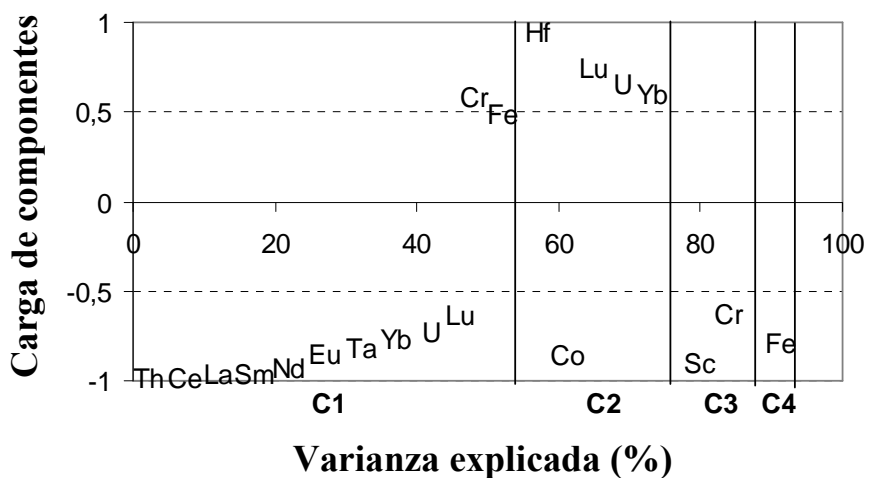


(b)

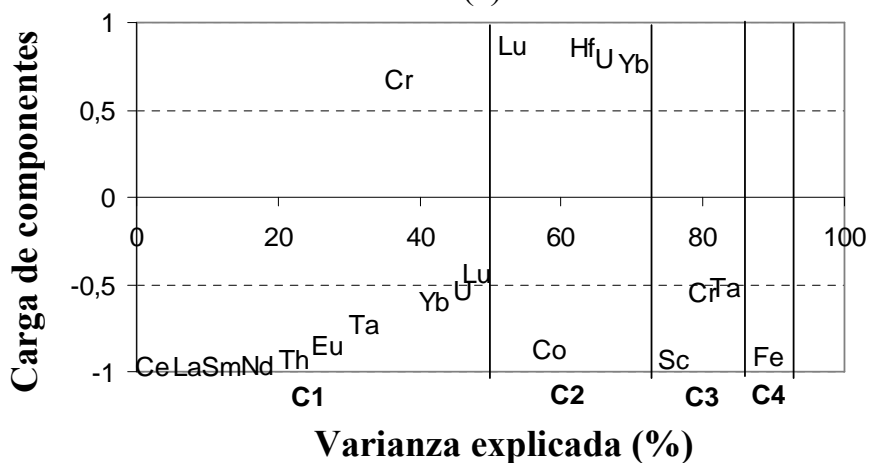


(c)

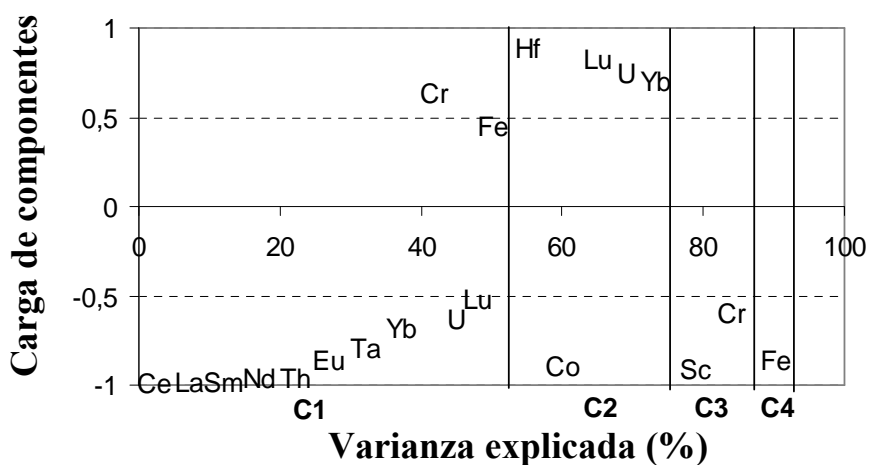
Figura 63. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Box-Cox y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: robusta, y tipo de matriz: correlación; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

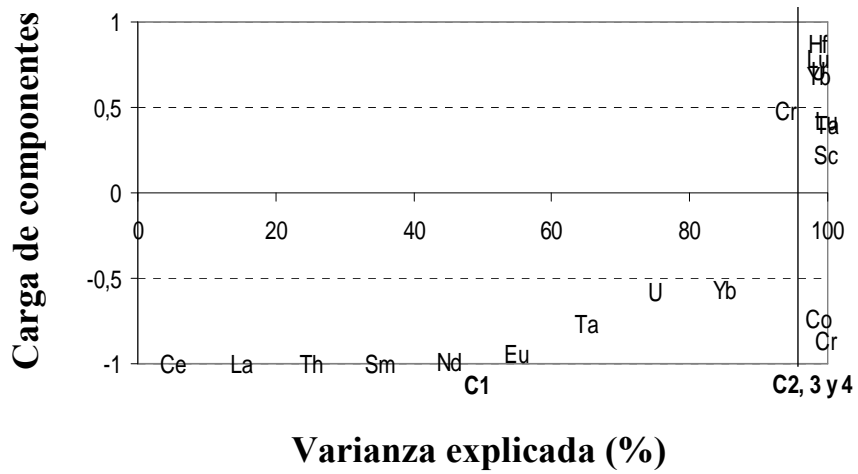


(b)

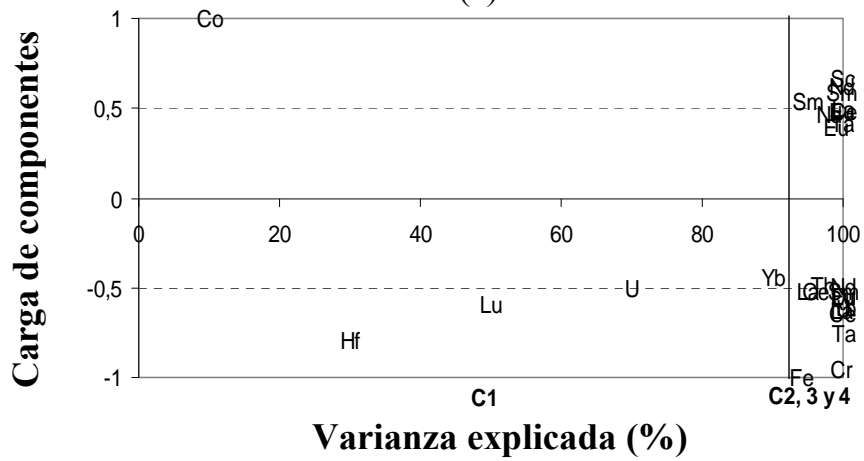


(c)

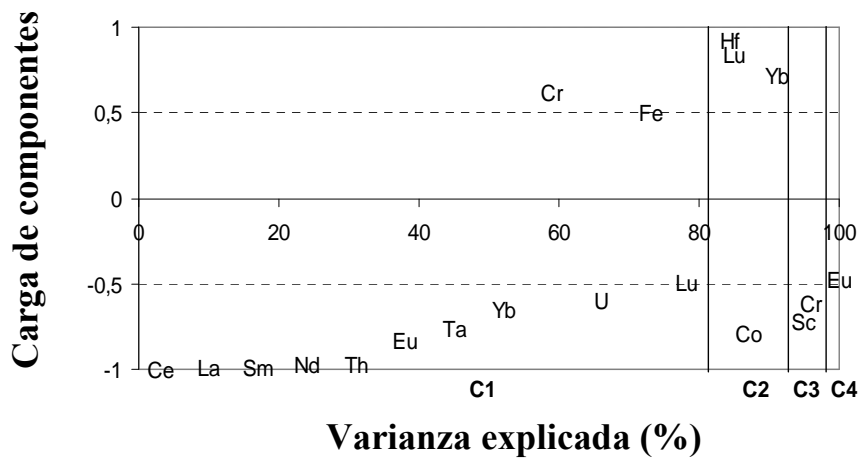
Figura 64. Diagramas resumen del ACP de los datos iniciales transformados con Ln y posteriormente estandarizados, estimación de covarianza: robusta, y tipo de matriz: correlación; (a) sin rotar, (b) rotados con Varimax y (c) rotados con Quartimax.



(a)

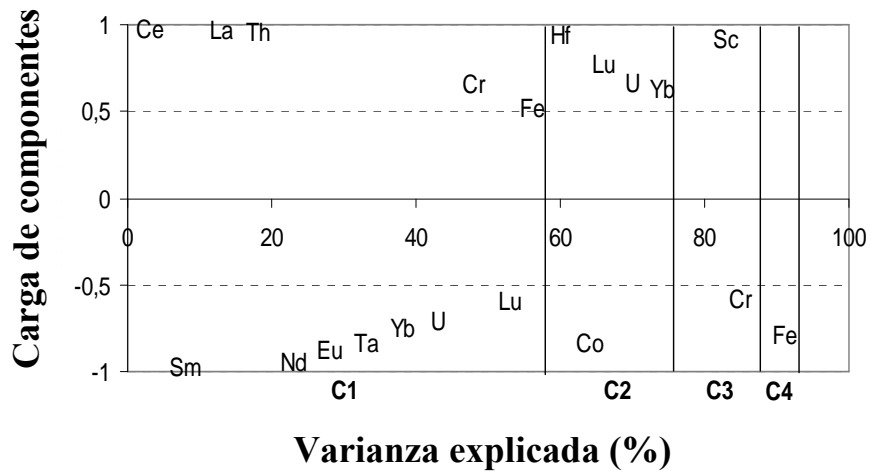


(b)

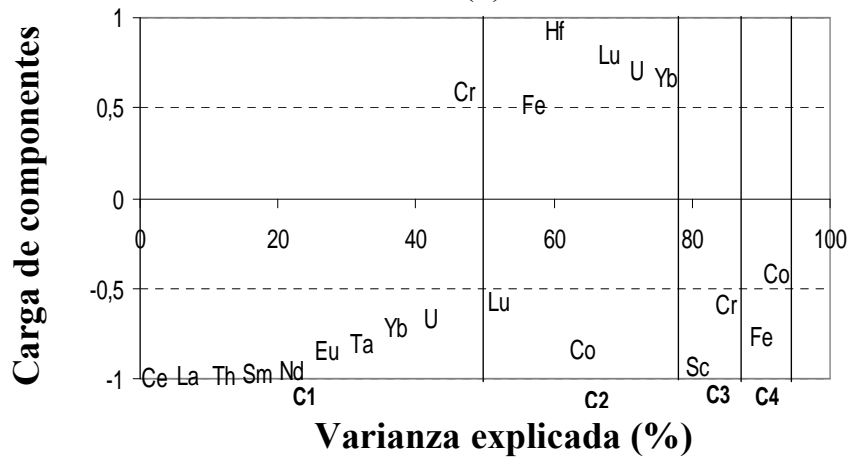


(c)

Figura 65. Diagramas resumen del ACP, estimación de covarianza: robusta y tipo de matriz: varianza-covarianza, (a) datos iniciales (b) datos iniciales transformados con Box-Cox, (c) datos iniciales transformados con Box-Cox, (d) datos iniciales transformados con Box-Cox y estandarizados, y (d) datos iniciales transformados con Ln y estandarizados.



(d)



(e)

Figura 65 (Continuación). Diagramas resumen del ACP, estimación de covarianza: robusta y tipo de matriz: varianza-covarianza, (a) datos iniciales (b) datos iniciales transformados con Box-Cox, (c) datos iniciales transformados con Box-Cox, (d) datos iniciales transformados con Box-Cox y estandarizados, y (e) datos iniciales transformados con Ln y estandarizados.

11.14 Determinaciones de Zr con ICP-MS

Tabla 16. Determinaciones de Zr con ICP-MS

Muestras	Zr (ppm)
P-3	200
P-14	595
P-29	1454
P-40	1481
P-53	6221
P-59	14129
P-65	15123
P-77	12450
P-80	30547
P-90	7597