

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES  
PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO  
BOLÍVAR**

Presentado ante la ilustre Universidad de Venezuela por las

Brs. Gamero M. Adriana C.

Reveti M. Marlys de los A.

para optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2011

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR**

**Tutor Académico:** Prof. Ander De Abrisqueta.

**Co-Tutor:** Prof. Ruthman Hurtado

**Tutor Industrial:** MSc. Yalimay Jiménez

Presentado ante la ilustre Universidad de Venezuela por las Brs.

Gamero M. Adriana C.

Reveti M. Marlys de los A.

para optar al título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2011



## DEDICATORIA

Dedicada a Dios,  
a mi familia y  
especialmente a mi abuela Westalia.

*Adriana Gamero*



## DEDICATORIA

A Dios  
a mis padres Gladys y Cesar,  
a mis hermanos Marjorie, Carmen, Hommi y Erick,  
a mis consentidos sobrinos  
y a mi hijo adorado Cesar José  
*Marlys Reveti*



## AGRADECIMIENTOS

Mi eterno agradecimiento a la Universidad Central de Venezuela, a la Facultad de Ingeniería y a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica por mi formación profesional en esta la mejor universidad.

Agradezco de todo corazón a Dios y a mi madre Maribel Malavé, que es una persona maravillosa, por que a través de ella me concedió la vida en este mundo, así como a mi abuela (Westalia), tíos (Carmen, Cristina, Juan Miguel, Ángel Alejandro, Jesús E.), primos, hermanos (Valeria y Carlos), padrastro (Javier Silva), suegros (Sara y Joseba), cuñados (Asier, Ainhoa, Patricia y Romy), mi esposo Alain Achutegui y a todas las personas que directa o indirectamente han tenido a bien ayudarme en forma moral y económica para mi formación como ser humano y profesional, en respuesta a esto, cuenten con una gran amiga.

A mi bella familia a quienes jamás encontraré la forma de agradecer que me hayan brindado su mano en las derrotas y logros de mi vida, haciendo de este triunfo más suyo que mío por la forma en la que guiaron mi vida con amor y energía.

A mi Tutor de Tesis Prof. Ander de Abrisqueta por el cariño y apoyo moral que siempre recibí de ti y con el cual he logrado culminar mi esfuerzo, terminando así mi carrera profesional, que es para mi la mejor prueba de cariño y agradecimiento.

A mi Co-Tutor Prof. Ruthman Hurtado porque gracias a su apoyo y consejos, he llegado a realizar una de mis grandes metas.

A mi Tutora Industrial MSc. Yalimay Jiménez, la mayor gratitud por los esfuerzos realizados, su apoyo, aliento y estímulo que posibilitaron la conquista de esta meta.

A mi querida compañera de tesis y colega Marlys Reveti por su trabajo y apoyo incondicional en todo momento. Te quiero mucho.

A todo el equipo del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) jamás encontraré la forma para agradecer su constante apoyo y confianza, en especial a Freddy, Dorfe, Ramón, Jesús, Ismael, Jorge, Juan Pablo, Oswaldo, Pablo y Maryfer.

A mi súper equipo de amigos del laboratorio Ander, Rubén, Orlando y mi primo Tepedino a quienes nunca hallaré la forma de agradecer el cariño, comprensión



y apoyo brindado en los momentos buenos y malos de esta etapa de mi vida, hago este triunfo compartido, sólo esperando que comprendan que mis ideales y esfuerzos son inspirados en cada uno de ustedes.

A mi esposo Alain por haber significado la inspiración que necesitaba para terminar mi carrera profesional, prometiendo superación y éxitos sin fin, para devolver el apoyo brindado, y la mejor de las ayudas que puede haber. Te amo!!

A mis profesores y compañeros de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, por sus palabras y sabios consejos quiero que sientan que el objetivo alcanzado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudó a conseguirlos fue su gran apoyo.

A mis grandes amigas Andrea Luongo (prima), Giselle Ramírez, María I. Acosta, Alejandra Mendoza, Elizabeth López y Vanessa Buenahora por una amistad incondicional, de la cual estaré agradecida toda mi vida. Las adoro!!

A toda la Familia Achutegui porque gracias a su apoyo e incontables consejos he llegado a realizar la más grande de mis metas. Mi más grande admiración y respeto.

Son tantas las personas que han estado a mi lado a lo largo de mi carrera, que resulta imposible nombrarlas en estas páginas pero se que están felices por mi logro y eso me llena de mucha alegría.

Quiero agradecerle a mis eternos amig@s Angel Fernández, Andrés Iriarte, Gary Curvelo, Jeyson Bracoviche, Mina Pérez, Melvín Alexandra, Yexi Estanga, Alvaro Waracao, Raúl Aguana, Alí Rodríguez, Pedro Rodríguez, Eduardo Castillo, Firas Macklad, Andrés Malavé, Luis Daniel Biondo, Kelly Pérez, Jesús Quintero (yisus), Ramon Losada (primo), Oscar González, Nelson Reyes y a todos mis chicos de la Escuela de Geofísica gracias a todos por hacer más divertida mi estadía en la universidad, los tendré siempre en mis recuerdos. Los quiero demás.

*Adriana Gamero*



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, por haberme brindado hogar durante toda mi formación académica.

A mi tutor Prof. Ander de Abrisqueta por su siempre disposición, paciencia, ayuda, consejos y amabilidad a lo largo del proyecto. A mi tutora Industrial: MSc. Yalimay Jiménez, quien tan amablemente nos apoyó y brindó mucha ayuda académica a lo largo de todo el proyecto. A mi Co-tutor Prof. Ruthman Hurtado a quien aprecio y respeto, gracias por su colaboración académica.

A el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) por abrirme las puertas y apoyarme para ser parte de este proyecto.

A mi compañera de tesis Adriana Gamero por tener paciencia, perseverancia y apoyo en todo momento.

Agradecida con todo el personal de INGEOMIN, Orlando por tan valiosos consejos, Ramón por tu paciencia, Tepedino, Freddy, Rubén, Ismael, Jesús, Juan Pablo, Oswaldo, Enio, Pablo, Maryfer, Jorge, Dorfer, Eglee, Diomelis, Yiska por todo su apoyo de manera gentil y cariñosa.

A mi hijo Cesar José por tener tanta paciencia y entender el tiempo que no le dedique para invertirlo en este logro que nos pertenece a los dos, TE AMO y todo lo que hago es por ti...

A mi madre Gladys quien siempre estuvo presente apoyándome en las buenas y malas, levantándome con sus valiosas palabras, cuidando siempre de mi hijo, gracias por tener tanta paciencia, lo que soy ahora te lo debo a ti por tus grandes valores, principios y sentimientos, TE AMO Y ERES LA MEJOR MAMI DEL MUNDO!

A mi padre Cesar quien supo darme valores y principios, gracias por apoyarme en esta etapa de mi vida. TE ADORO.

A mis hermanos Marjori por ser tan maravillosa, amable y siempre apoyándome en mis logros, Hommi que sus bellas palabras y abrazos me alientan cada vez que me siento derribada, Carmen (Canito) por ser una segunda madre para mi hijo, mil gracias por ser tan bondadosa y Erick que aunque ya no se encuentre



presente físicamente, siempre lo llevaré en mi corazón con sus bellas palabras que siempre estarán en mi mente, (nunca es tarde cuando la dicha es buena). LOS AMO Y SON MI EJEMPLO, LE DOY GRACIAS A DIOS POR TENERLOS.

A mi novio y amigo Reinaldo que siempre me apoyo en los momentos felices y triste de manera muy desinteresada, te amo y gracias, tú fuiste parte importante para que lograra esta meta de mi vida, TE AMO MI NEGRIS BELLO!

A mi tía Imara que es mi segunda madre, gracias por todo tu apoyo incondicional, a mis tíos Margarita, Zulay, Judith, Miledy, Ivette, Mildred y Nicola que siempre me dieron buenos consejos para seguir adelante, a mis primas Eglee, Glenda, yumeli, Lisbeth y Maira que me apoyaron en todo momento con sus consejos, a la abuela Dina y Sra Elsa por estar cada día apoyándome y colaborándome, a mi cuñado Ricardo por su apoyo incondicional, te quiero hermanito; a mi cuñi Oscar por contar siempre con su apoyo en las buenas y malas, a mi cuñi Ruben que siempre me hace sonreír, a mi cuñi Keyla por sus buenos consejos.

A mis amigas Nacari (mami), Gabi (mana), Yuli (Mana), Gloriana, Mi China, Mariale, Chiqui, Claudia (gracias por darnos a marianita), Johana, Isabel, Laura, Giselle, Whenddy, Marian, Maibelis, Yoxela, Paula, Kenia, Yenny, Sra. Alba, Sra. Morella, Vanessa, Yexi, Sasha, Yismari, Viki, Elisa, Carla, Sarai, Lina, Denis, y amigos Derek, Bernardo, Yordi, Aldo, Ricardo (neee), Gustavo, Fercho, Andrei, Andrés, Yonder, Benjamin, Marcos, Willians, Manzo, El Pija, Jisus, Jesús (picho), Pedro, José Luis, Jesús López, Peinado, que siempre estuvieron en todo momento apoyándome con sus buenos consejos, colaboración y cariño.

A los profesores que respeto, admiro y agradezco tanto apoyo, Prof. Jesús Hernández (Chuchú), Gracias por tanto!!!, Prof. Feliciano De Santis, Prof. Mederos, Prof. Alezones, Profa. Leyulet, Prof. Acosta y Prof. Froilan.

Agradecida eternamente con Dios por permitirme éste logro!!!

*Marlys Reveti*



Caracas, junio de 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por las bachilleres Gamero, M. Adriana C. y Reveti, M. Marlys de los A.

**“ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE  
MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL  
ESTADO BOLÍVAR”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

\_\_\_\_\_  
Prof. Enzo Caraballo

\_\_\_\_\_  
Prof. Santiago Marrero

\_\_\_\_\_  
Prof. Ander De Abrisqueta

\_\_\_\_\_  
Prof. Ruthman Hurtado



**Gamero M. Adriana C**  
**Reveti M. Marlys de los A.**

**ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES  
PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO  
BOLÍVAR**

**Tutor Académico: Prof. Ander De Abrisqueta. Co-Tutor: Prof. Ruthman  
Hurtado. Tutora Industrial: MSc. Yalimay Jiménez. Tesis. Caracas, U.C.V.  
Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología. 2011, 164 p.**

**Palabras clave:** Geoquímica, prospección, minerales pesados, anomalía, mapa geoquímico.

**Resumen:** Para el estudio geoquímico y mineralógico de minerales pesados se analizaron 47 muestras recolectadas en las cuencas de los ríos Aro, Pao, Cuchivero, Guaniamo, Suapure, Parguaza y Cataniapo, localizadas en la zona nor-occidental del estado Bolívar, con el fin de ubicar y limitar zonas de interés para la prospección minera. El análisis químico se realizó mediante la técnica de Espectrometría de Emisión Óptica para los elementos mayoritarios y minoritarios ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$ ) y por Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado para los traza (Y, Zr, Nb, Hf, La, Ce, Nd, Th, U, Cr). El tratamiento estadístico aplicado fue el Análisis Exploratorio de Datos (AED), con esta información se generaron los mapas geoquímicos de distribución de concentraciones, situando las anomalías. El análisis mineralógico se efectuó por medio de la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), para las muestras que resultaron anómalas.

Los resultados permitieron dividir el área de estudio en cuatro zonas anómalas. La Zona A presentó valores anómalos en los elementos Cr, Y, La, Ce, Nd, Th, U,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y altas concentraciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$ , y los análisis mineralógicos arrojaron como posibles fases minerales: ilmenita, magnetita, cromita, hematita e ilmenorutilo. La Zona B con anomalías en Zr, Hf, y U y altas concentraciones de Nb,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , las fases minerales propuestas son ilmenita y circón. La Zona BI con anomalías en Zr, Hf, Th, MnO y altas concentraciones de Nb,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , como fases minerales se presentaron: ilmenita (Mn), hematita y magnetita y la Zona BII con anomalías en Y, La, Ce, Nd, Th, U,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y altas concentraciones de Zr, Hf, Nb  $\text{TiO}_2$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  las fases minerales identificadas en esta zona son monacita, ilmenita (Mn) e ilmenita.



## INDICE

1. Introducción.....	1
2. Fundamentos teóricos.....	6
2.1 Geoquímica.....	6
2.2 Prospección geoquímica.....	6
2.2.1 Escalas y tipos de muestras en la exploración geoquímica.....	7
2.2.1.1 Estudios regionales.....	7
2.2.1.2 Estudios de detalle.....	8
2.2.2 Mapas geoquímicos.....	9
2.2.3 Ambiente Geoquímico.....	13
2.2.4 Dispersión geoquímica.....	15
2.2.4.1 Dispersión Mecánica.....	15
2.2.4.2 Dispersión Química.....	16
2.2.5 Relación carga iónica/ radio iónico.....	20
2.3 Datos geoquímicos en la prospección geoquímica.....	21
2.4 Minerales pesados.....	22
2.4.1 Rocas fuentes de los minerales pesados.....	23
2.4.2 Factores que afectan la abundancia de los minerales pesados en los sedimentos.....	24
2.4.3 La estabilidad química de los minerales pesados.....	27
3. Metodología.....	29
3.1 Etapa Campo.....	29
3.1.1 Selección de puntos de recolección de muestras.....	29
3.1.2 Tipo de muestra y métodos de recolección.....	30
3.2 Etapa laboratorio.....	34
3.2.1 Separación de las muestras por el sistema hidrodinámico.....	34
3.2.2 Análisis químicos.....	34
3.2.2.1 Determinación de elementos mayoritarios, minoritarios .....	34
3.2.2.2 Determinación de elementos traza .....	35



3.2.3 Exactitud y precisión del método.....	35
3.2.4 Tratamiento estadístico.....	37
3.2.5 Generación de los mapas geoquímicos de distribución de concentraciones.....	37
3.2.6 Criterios usados en la selección de las muestras anómalas para Difracción de Rayos X.....	37
3.2.7 Separación magnética de las muestras anómalas.....	38
3.2.7.1 Separación magnética manual.....	38
3.2.7.2 Separador isodinámico Frantz.....	38
3.2.8 Análisis mineralógicos.....	40
3.2.8.1 Difracción de Rayos X.....	40
3.2.9 Elaboración de mapas de zonas anómalas.....	40
4. Antecedentes.....	41
5. Geología Regional.....	52
5.1 Provincia Geológica de Imataca.....	53
5.2 Provincia Geológica de Pastora.....	55
5.2.1 Supergrupo Pastora.....	56
5.3 Provincia Geológica de Cuchivero.....	57
5.3.1 Supergrupo Cedeño.....	58
5.3.1.1 Grupo Cuchivero.....	58
5.3.1.2 Grupo Suapure.....	59
5.4 Provincia Geológica Roraima.....	60
6. Geología Local.....	62
6.1 Cuenca río Aro-Pao.....	62
6.2 Cuenca río Cuchivero-Guaniamo.....	63
6.3 Cuenca río Suapure.....	66
6.4 Cuenca río Parguaza-Cataniapo.....	69
7. Resultados y análisis de resultados.....	73
7.1 <b>Zona A</b> .....	73
7.2 <b>Zona B</b> .....	79



7.3 Zona BI.....	82
7.4 Zona BII.....	85
8. Conclusiones.....	90
9. Recomendaciones.....	91
10. Referencias Bibliográficas.....	92
APENDICES	
APENDICE A - Tratamiento estadístico.....	I
APENDICE B - Equipos e instrumentación analítica.....	VII
APENDICE C - Ubicación y datos de concentraciones de las muestras recolectadas.....	XI
APENDICE D - Cajas gráficas.....	XIII
APENDICE E - Histogramas.....	XXII
APENDICE F - Certificados.....	XXIII
APENDICE G - Coeficiente de correlación.....	XXIV
APENDICE H - Espectros de Difracción de Rayos X.....	XXV



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> - Jerarquía de los patrones geoquímicos anidados y los bloques geoquímicos.....	12
<b>Tabla 2</b> - Movilidad de elementos químicos en soluciones cercanas a la neutralidad.....	17
<b>Tabla 3</b> - Clasificación y características generales de los principales tipos de patrones de dispersión superficial.....	19
<b>Tabla 4</b> - Asociaciones de minerales pesados y procedencia.....	23
<b>Tabla 5</b> - Minerales comúnmente asociados y a los minerales pesados encontrados en depósitos de arena.....	26
<b>Tabla 6</b> - Características más resaltantes de algunos minerales pesados...	28
<b>Tabla 7</b> - Determinación del coeficiente de variación de Pearson .....	36
<b>Tabla 8</b> - Separación magnética de los minerales.....	39
<b>Tabla 9</b> - Clasificación de los minerales y elementos de TR .....	75
<b>Tabla 10</b> - Muestras anómalas y minerales asociados determinados por Difracción de Rayos X.....	88
APENDICES	
<b>Tabla A1</b> - Valores de los fondos geoquímicos de los concentrados de minerales pesados en las cuencas noroccidentales del Edo Bolívar.....	IV
<b>Tabla C1</b> - Ubicación de las muestras recolectadas.....	XI
<b>Tabla C2</b> - Datos de concentración de los elementos químicos analizados en las muestras de concentrados de minerales pesados de las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.....	XII
<b>Tabla F1</b> - Valores reportados para los certificados.....	XXIII



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de ubicación. Cuencas Nor-occidentales del estado Bolívar.....	4
<b>Figura 2</b> - Mapa de ubicación. Drenajes principales, carreteras y caminos.....	5
<b>Figura 3</b> - Modelo generalizado de un estudio regional a través de sedimentos fluviales y dos tipos de estudios de detalle con sedimentos o suelos.....	8
<b>Figura 4</b> - Mapa geoquímico de isoconcentraciones.....	10
<b>Figura 5</b> - Mapa geoquímico de puntos.....	11
<b>Figura 6</b> - Ciclo geoquímico.....	14
<b>Figura 7</b> - Principales tipos de patrones de dispersión.....	18
<b>Figura 8</b> - Separación de los cationes en términos de potencial iónico.....	20
<b>Figura 9</b> - Esquema de la etapa de recolección de muestras.....	31
<b>Figura 10</b> - Esquema de la etapa de laboratorio para las muestras.....	32
<b>Figura 11</b> - Mapa de ubicación de los puntos de recolección muestras los concentrados de minerales pesados.....	33
<b>Figura 12</b> - Separación magnética manual.....	38
<b>Figura 13</b> - Provincias Geológicas del Escudo de Guayana.....	52
<b>Figura 14</b> - Evolución magmática de Granito Rapakivi del Parguaza.....	60
<b>Figura 15</b> - Mapa geológico de la cuenca río Aro-Pao.....	64
<b>Figura 16</b> - Mapa geológico de las cuencas río Cuchivero-Guaniamo.....	67
<b>Figura 17</b> - Mapa geológico de las cuencas río Suapure-Parguaza-Cataniapo.....	72
<b>Figura 18</b> - Zonas anómalas determinadas en las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.....	74
<b>Figura 19</b> - Mapa geoquímico de $Fe_2O_3$ (%) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.....	77
<b>Figura 20</b> - Mapa geoquímico de Cr (ppm) en los concentrados de	



minerales pesados en las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.....	78
<b>Figura 21</b> - Mapa geoquímico de Zr (ppm) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.....	81
<b>Figura 22</b> - Mapa geoquímico de MnO (%) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.....	83
<b>Figura 23</b> - Mapa geoquímico de Nb (ppm) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.....	84
<b>Figura 24</b> - Mapa geoquímico de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.....	87
<b>Figura 25</b> - Mapa geoquímico de Th (ppm) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.....	88
 APENDICES	
<b>Figura A1</b> - Caja gráfica.....	III
<b>Figura A2</b> - Histograma de la concentración de Uranio (U).....	V
<b>Figura B1</b> - Sistema hidrodinámico.....	VIII
<b>Figura B2</b> - Espectrómetro de masa con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS).....	IX
<b>Figura B3</b> - Separador isodinámico tipo Frantz.....	IX
<b>Figura B4</b> - Difracción de Rayos X.....	X
<b>Figura D1</b> - Caja gráfica SiO <sub>2</sub> .....	XIII
<b>Figura D2</b> - Caja gráfica TiO <sub>2</sub> .....	XIII
<b>Figura D3</b> - Caja gráfica P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	XIII
<b>Figura D4</b> - Caja gráfica MnO.....	XIII



<b>Figura D5</b> - Caja gráfica $Al_2O_3$ .....	XIV
<b>Figura D6</b> - Caja gráfica MgO.....	XIV
<b>Figura D7</b> - Caja gráfica $Fe_2O_3$ .....	XIV
<b>Figura D8</b> - Caja gráfica U.....	XIV
<b>Figura D9</b> - Caja gráfica Th.....	XV
<b>Figura D10</b> - Caja gráfica Y.....	XV
<b>Figura D11</b> - Caja gráfica Hf.....	XV
<b>Figura D12</b> - Caja gráfica Cr.....	XV
<b>Figura D13</b> - Caja gráfica Nb.....	XVI
<b>Figura D14</b> - Caja gráfica Zr.....	XVI
<b>Figura D15</b> - Caja gráfica Ce.....	XVI
<b>Figura D16</b> - Caja gráfica La.....	XVI
<b>Figura D17</b> - Caja gráfica Nd.....	XVII
<b>Figura E1</b> - Histograma elemento $Fe_2O_3$ .....	XVIII
<b>Figura E2</b> - Histograma elemento $Al_2O_3$ .....	XVIII
<b>Figura E3</b> - Histograma elemento MgO.....	XVIII
<b>Figura E4</b> - Histograma elemento MnO.....	XVIII
<b>Figura E5</b> - Histograma elemento $P_2O_5$ .....	XIX
<b>Figura E6</b> - Histograma elemento $SiO_2$ .....	XIX
<b>Figura E7</b> - Histograma elemento $TiO_2$ .....	XIX
<b>Figura E8</b> - Histograma elemento U.....	XIX
<b>Figura E9</b> - Histograma elemento Ce.....	XX
<b>Figura E10</b> - Histograma elemento Cr.....	XX
<b>Figura E11</b> - Histograma elemento Hf.....	XX
<b>Figura E12</b> - Histograma elemento La.....	XX
<b>Figura E13</b> - Histograma elemento Nb.....	XXI
<b>Figura E14</b> - Histograma elemento Nd.....	XXI
<b>Figura E15</b> - Histograma elemento Th.....	XXI
<b>Figura E16</b> - Histograma elemento Y.....	XXI
<b>Figura E17</b> - Histograma elemento Zr.....	XXII



<b>Figura H1</b> - Espectro de Difracción de Rayos X muestra AM-001 (fracción no magnética).....	XXV
<b>Figura H2</b> - Espectro de Difracción de Rayos X Muestra Bo-007 (fracción pegada al electro 1,2 amp).....	XXVI
<b>Figura H3</b> - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-018 (fracción magnética manual).....	XXVII
<b>Figura H4</b> - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-029 (fracción magnética manual).....	XXVIII
<b>Figura H5</b> - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-029 (fracción magnética 1,2 amp).....	XXIX
<b>Figura H6</b> - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-020 (fracción pegada al electro 1,2 amp).....	XXX
<b>Figura H7</b> - Espectro de difracción de rayos X. Muestra Bo-063 (fracción magnética 1,2 amp).....	XXXI
<b>Figura H8</b> - Espectro de difracción de rayos X. Muestra Bo-052 (fracción magnética manual).....	XXXII



## INTRODUCCIÓN

El principal propósito de la Geoquímica es determinar la abundancia absoluta y relativa de los elementos y sus especies químicas en los diferentes sistemas naturales de la Tierra; conjuntamente establece las leyes que controlan la distribución y migración de los elementos en las diferentes partes que conforman la Tierra (corteza, manto y núcleo) (Mason, 1960). Permanentemente los seres humanos, dependen y precisan de la extraordinaria utilidad de los minerales, ya que éstos o los elementos químicos que lo forman representan la materia prima utilizada para la elaboración de objetos y artículos que contribuyen con el mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad, por lo que la prospección geoquímica juega un papel muy importante, por ser uno de los métodos de la investigación minera que se basa en la medida sistemática de las propiedades químicas de los materiales naturales (Hawkes y Webb, 1962).

En 1988, el Programa Internacional de Correlación Geológica, bajo el auspicio de la UNESCO, inició el Proyecto de Cartografía Geoquímica Internacional (IGCP 259) y planteó una serie de recomendaciones diseñadas para estandarizar los métodos de cartografía geoquímica a nivel mundial, para aproximadamente 71 elementos químicos, según la Red de Referencia Geoquímica (5000 GRN – por sus siglas en inglés). Como sucesor a este proyecto, se creó el IGCP 360 (Global Geochemical Baselines), con el objetivo de encontrar las formas de llevar a cabo los conceptos y metodologías de la cartografía global establecidas en el IGCP 259 y, así, dar comienzo a las pruebas piloto en algunas regiones del mundo. Este proyecto culminó en 1997 y su trabajo es continuado por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS – por sus siglas en inglés) estableciendo grupos de trabajo bajo el asesoramiento de la Asociación Internacional de Geoquímica y Cosmoquímica (IAGC - por sus siglas en inglés) (Xie y Cheng, 2001).

Hasta ahora, los trabajos dirigidos hacia la exploración geoquímica en Venezuela son en su mayoría de carácter local y no proporcionan una buena base de datos global sobre la geoquímica del territorio nacional, en otras palabras, Venezuela no cuenta con un mapa geoquímico a escala 1:3.000.000, por esta razón el Instituto Nacional de Geología y Minería está realizando el Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela (PMGV), que permitirá ubicar y limitar los principales cuerpos exploratorios del país, para orientar con base sólida los esfuerzos y recursos de la exploración minera. La creación del primer mapa



geoquímico a nivel nacional ofrece muchas ventajas desde las siguientes perspectivas: Geoeconómico, ambiental-salud, ordenamiento territorial, desarrollo humano e investigación y estandarización de métodos (Jiménez, et al., 2008)

Venezuela es uno de los países con un valioso potencial minero y asienta grandes yacimientos que son explotados por industrias especializadas según su región y/o ubicación. El estado Bolívar, se ubica al sureste de Venezuela y posee una extensión de 240.528 km<sup>2</sup>, allí existen importantes recursos minerales como: los depósitos de placer (C y Au), depósitos de vetas (Au, U, Fe), lateritas (Al, Fe, Mn, Th, Nb, Pb, Zn, TR), Skarn (Sn), y depósitos pegmatíticos (Nb, Ta y Sn) (Torres, 1989). De manera que, el estado Bolívar y en especial sus cuencas nor-occidentales representan una región potencial para la exploración minera y no ha sido explorado sistemáticamente; atendiendo a esto la contribución de éste trabajo, parte de determinar las concentraciones y distribución de los elementos mayoritarios, minoritarios (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO) y traza (Y, Zr, Nb, Hf, La, Ce, Nd, Th, U, Cr) en estas cuencas del estado Bolívar, ya que la distribución y concentración de algunos de estos elementos no se conoce con certeza. Sin embargo, se han presentado anomalías significativas en elementos asociados a los minerales pesados.

Los minerales pesados se definen operacionalmente, como aquellos minerales que poseen una gravedad específica mayor a 2,9 g/cm<sup>3</sup>, ellos pueden dar información que permite, reconstruir la naturaleza y características del área fuente, trazar el camino de transporte de los sedimentos, localizar los depósitos con potencial económico, entre otras (Mange y Heinz, 1992). Además, los minerales pesados concentran algunos elementos como los metales de transición, lantánidos y actínidos, que en su gran mayoría se presentan en muy bajas concentraciones en la corteza terrestre, su importancia económica se percibe en la gran cantidad de aplicaciones en los campos de la industria y la ciencia, tales como: combustible para la nucleoelectricidad, lámparas de bajo consumo, baterías eléctricas, computadoras, lentes, pantallas de plasma, celulares, convertidores catalíticos, turbinas de viento, alas de avión, interacción entre procesos de la corteza y el manto, proveniencia de sedimentos, entre otros (Chandrajith., et al., 2001).

El estudio de concentrado de minerales pesados en el estado Bolívar, se viene realizando desde hace mucho tiempo (Rodríguez, 1984; Figueredo, 1984; Torres, 1984;



Torres, 1989; Menéndez, 1992; Moreno, 1996; Garban, 1998; Garban, 2001; Herrera, 2004; Pisapia, 2004; Jiménez, 2004; Quevedo, 2009; Jiménez, 2009; Manrique, 2009), tales estudios han contribuido en el entendimiento de los procesos de meteorización en ambientes tropicales y por ende la dispersión de estos elementos en éste tipo de ambiente, permitiendo así la identificación de zonas de interés para la exploración minera. El objetivo general de la presente investigación es estudiar geoquímicamente los minerales pesados recolectados en muestras de sedimentos en las cuencas: río Aro, Pao, Cuchivero, Guaniamo, Suapure, Parguaza, Cataniapo, ubicados en la zona noroccidental del estado Bolívar (Figura 1). Esta zona abarca un área aproximada de 55000 km<sup>2</sup> entre los meridianos 67°30'0'' y 63°30'0'' de longitud oeste y los paralelos 8°0'0'' y 5°30'0'' de latitud norte (Figura 2), donde la vegetación es heterogénea, presentando geomorfológicamente desde altiplanicies, mesetas y sabanas hasta espesas selvas con árboles de hasta 40 m.

Los datos geoquímicos ofrecen gran variedad de información en temas como: geología, recursos minerales, agricultura, recursos forestales, ambientales y de salud. Además, sirven de punto de partida para la realización de estudios detallados relacionados con muchas aplicaciones de carácter técnico y científico; la identificación de fases minerales en muestras de minerales pesados, permitirá reconocer la posible fuente que esté causando la distribución. En China, por ejemplo, alrededor del 80% de los nuevos descubrimientos de yacimientos minerales están relacionados con los datos generados con su proyecto de mapa geoquímico (Xie et al., 2001; 2004).

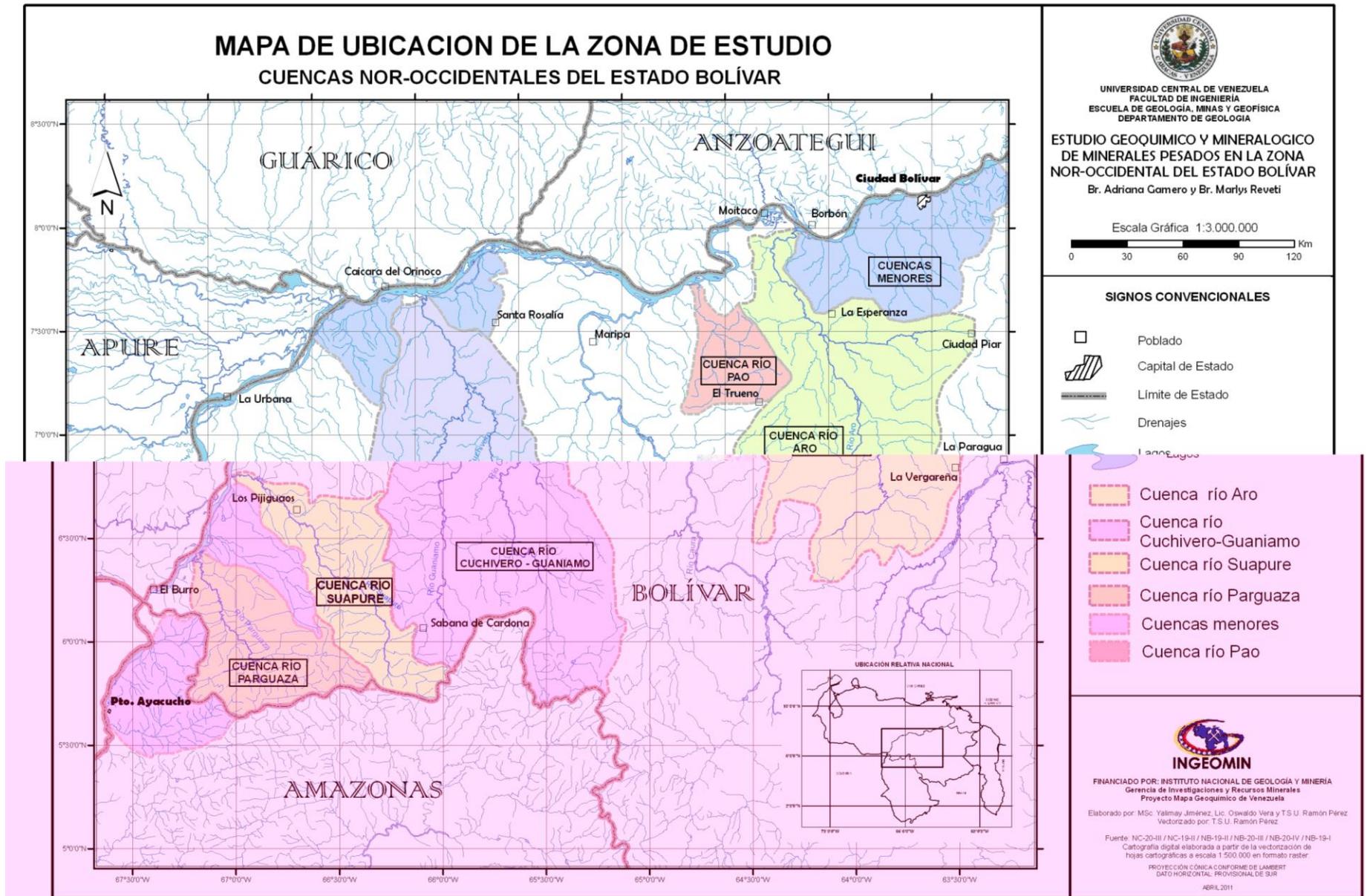


Figura 1 - Cuencas nor-occidentales del estado Bolívar. Las áreas resaltadas señalan la ubicación de la zona de estudio.

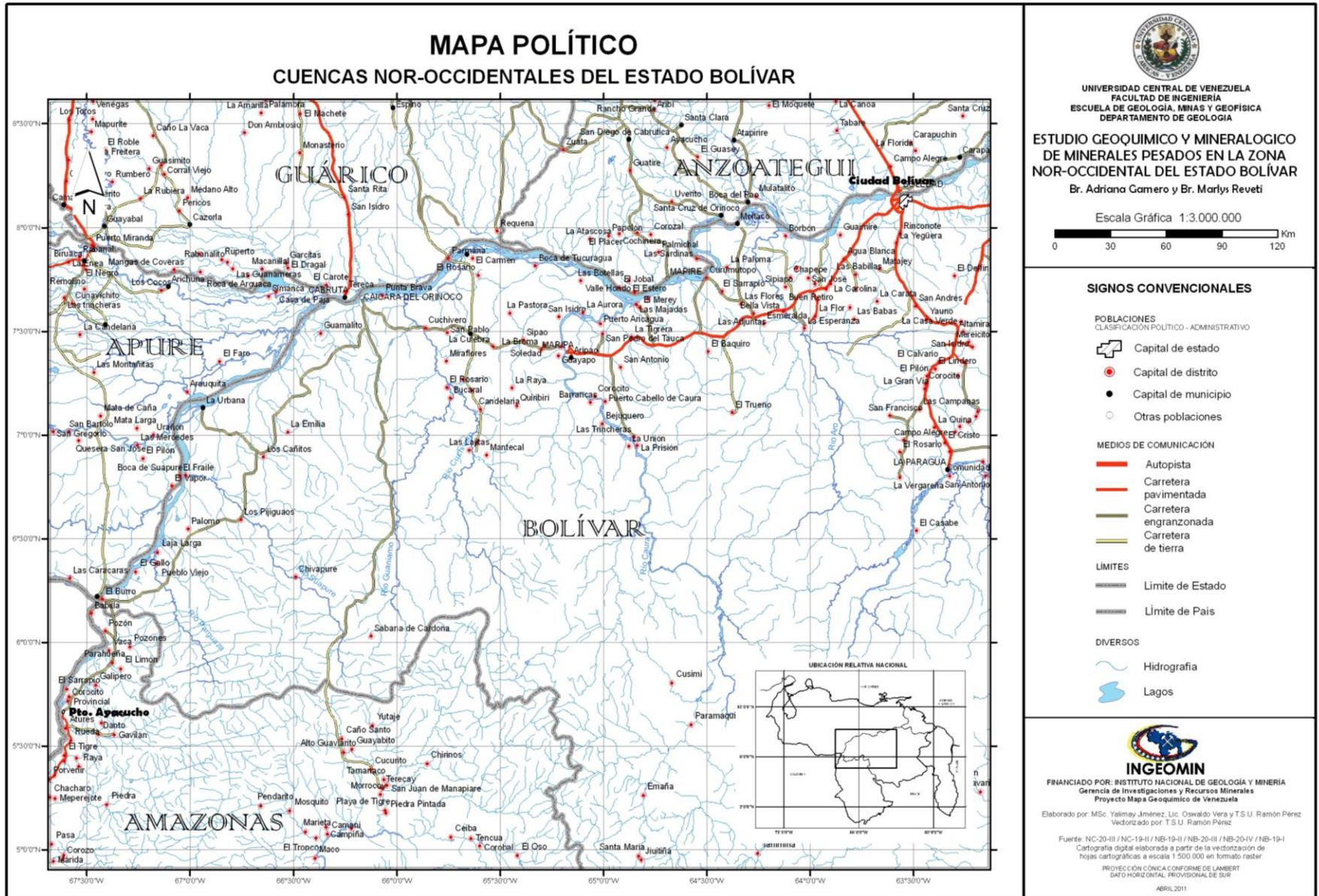


Figura 2 - Drenajes principales, carreteras y caminos de las cuencas. Para ver más detalle ver anexo.



## 2. Fundamentos Teóricos

Los fundamentos teóricos en esta investigación proporcionarán una idea más clara acerca del tema. Se encontrarán conceptos básicos, complementarios y específicos. Estos conceptos servirán para establecer la metodología de trabajo que se lleva a cabo para los distintos tipos de prospección geoquímica, análisis de muestras y tratamiento de datos.

### 2.1. Geoquímica

El principal propósito de la Geoquímica es determinar la abundancia absoluta y relativa de los elementos y sus especies químicas en los diferentes sistemas naturales de la Tierra, conjuntamente establece las leyes que controlan la distribución y migración de los elementos en las diferentes partes que conforman la Tierra (corteza, manto y núcleo). Para resolver estos problemas el geoquímico requiere una colección de datos analíticos de materiales terrestres, tales como rocas, sedimentos, suelos, aguas y gases, también utiliza datos del análisis de meteoritos, datos cosmoquímicos sobre la composición de otros cuerpos espaciales, y datos geofísicos sobre el interior de la Tierra (Mason, 1960).

### 2.2. Prospección Geoquímica

La prospección geoquímica es uno de los métodos de la investigación minera que se basa en la medida sistemática de las propiedades químicas de los materiales naturales. El fin de dichas medidas sería la localización de variaciones geoquímicas o de áreas cuya estructura, hiciera pensar en la presencia de un cuerpo mineralizado en sus alrededores. Estas variaciones podrían estar generadas por la presencia de cuerpos ígneos en profundidad, procesos metamórficos o procesos superficiales tales como agentes de la alteración, erosión o transporte superficial (Hawkes y Webb, 1962).

La prospección geoquímica comprende un conjunto de métodos y procedimientos, que estudian las concentraciones de elementos y compuestos químicos en distintos materiales naturales, como son:

- Los *litogeoquímicos* o de *aureolas primarias*, estudian las concentraciones en muestras de rocas para distinguir entre provincias o formaciones de rocas de



carácter productivo o estéril en el concepto de los recursos minerales, usando los resultados analíticos como valores absolutos para delinear anomalías.

- La *geoquímica de suelos*, estudia la composición de suelos residuales o redepositados.
- *Horizontes del suelo*, el estudio del perfil del suelo permite conocer la evolución del contenido metálico en profundidad y de esta manera seleccionar el horizonte más adecuado.
- *De sedimentos fluviales activos*, estudian la composición de los sedimentos activos en las redes fluviales, se utilizan con frecuencia en la exploración por su manejo sencillo, por sus bajos costos por unidad de área y por su alto grado de confiabilidad;
- Los *hidrogeoquímicos*, estudian la composición de las aguas de ríos, arroyos, lagos, manantiales, pozos entre otros.
- Los *atmogequímicos*, estudian la composición del aire, del suelo, rocas o de la atmósfera.
- Los *biogeoquímicos*, estudian la composición de las plantas o la presencia de determinadas especies vivientes, fundamentalmente microscópicas (Levinson, 1974; Hawkes y Webb, 1962, Iriondo, 2007).

Los métodos de prospección minera varían en las diferentes etapas del proceso, dependiendo del tamaño del área a explorar, así como la densidad y el tipo de información buscada.

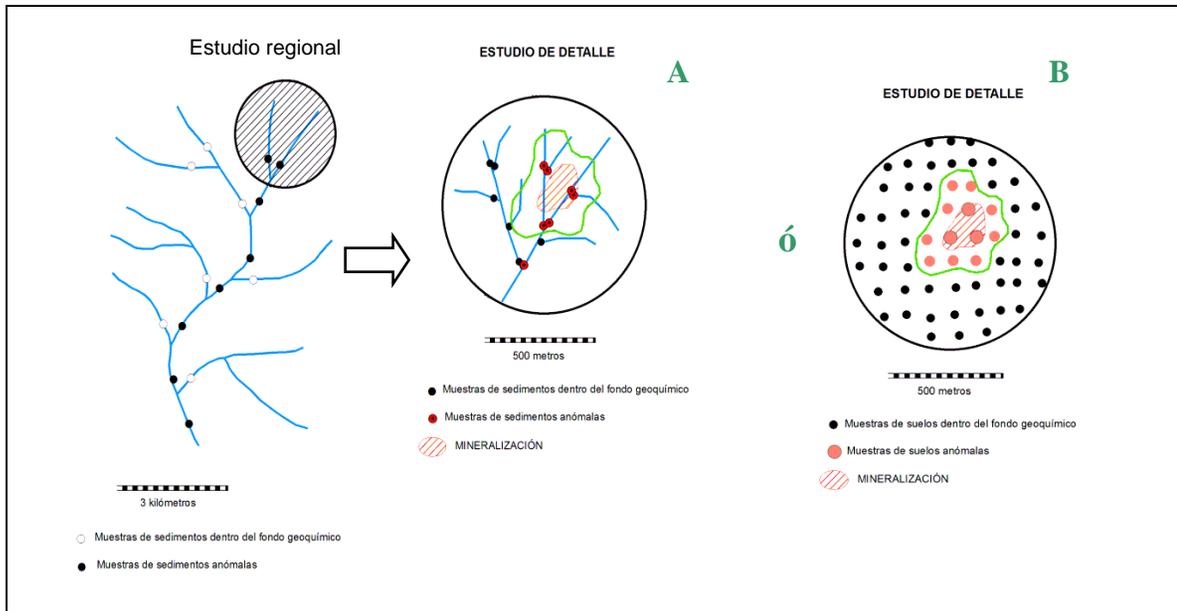
### **2.2.1 Escalas y tipos de muestras en la exploración geoquímica**

La selección de la mejor zona, en la región geológica, ayuda a que no sólo sea posible encontrar depósitos minerales, sino que su hallazgo sea fácil, económico y rápido, por esta razón las escalas y tipos de muestras que son utilizados en la prospección geoquímica están totalmente conectadas.

#### **2.2.1.1 Estudios regionales**

Los estudios regionales se utilizan mayormente para la determinación de valores de fondo, la detección de mineralizaciones amplias, el efecto contaminante de zonas industriales, o causas de la distribución de enfermedades endémicas (Pasquali,

2000). Los elementos indicadores de anomalías a escala regional (100-1.000 km<sup>2</sup>) están relacionados a procesos singenéticos, aquellos originados al mismo tiempo que las rocas que le rodean. La prospección geoquímica de rocas a esta escala contribuye a la determinación de provincias geoquímicas de alto potencial metalogénico; su estudio está respaldado por la presencia de elementos químicos distribuidos en rangos de valores atípicos y se hallan vinculados a depósitos minerales de interés económico, el término atípico se refiere a aquellos valores que difieren significativamente del promedio global de abundancia de los elementos químicos (Mason, 1960; Hawkes y Webb, 1962; Rose et al., 1979). El estudio de muestras de sedimentos fluviales activos y de aguas en las redes fluviales son los más utilizados para esta etapa de exploración (Figura 3) (Govett et al., 1975).



**Figura 3** - Modelo generalizado de un estudio regional a través de sedimentos fluviales y dos tipos de estudios de detalle con sedimentos (A) o suelos (B). Tomado de Rose et al, 1979.

### 2.2.1.2 Estudios de detalle:

El objetivo de un reconocimiento detallado es la delineación y caracterización geoquímica del cuerpo mineralizado de la manera más profunda; para localizar este cuerpo mineralizado se requiere un espaciamiento relativamente estrecho, usualmente entre 1 y 100m (Figura 3), esto genera altos costos, por esta razón los estudios



geoquímicos detallados se deben basar en antecedentes geoquímicos, geológicos y geofísicos disponibles (Rose et al., 1979).

Los estudios de rocas y suelos son las técnicas geoquímicas más usadas en la exploración detallada. Se emplean redes de perfiles espaciados 100-300 m con intervalos de muestreo en los perfiles de 20-80 m (Govett et al., 1975).

La prospección geoquímica no localiza directamente a los yacimientos, pero es suficiente para indicar la presencia de anomalías. Tan pronto como los resultados analíticos se han obtenido, ya sea por determinaciones en campo o realizadas en un laboratorio, esta información puede ser clasificada visualmente y después graficada en un mapa, para posteriormente realizar estudios de detalle y evaluación del depósito mineral con fines de determinar si es o no un yacimiento.

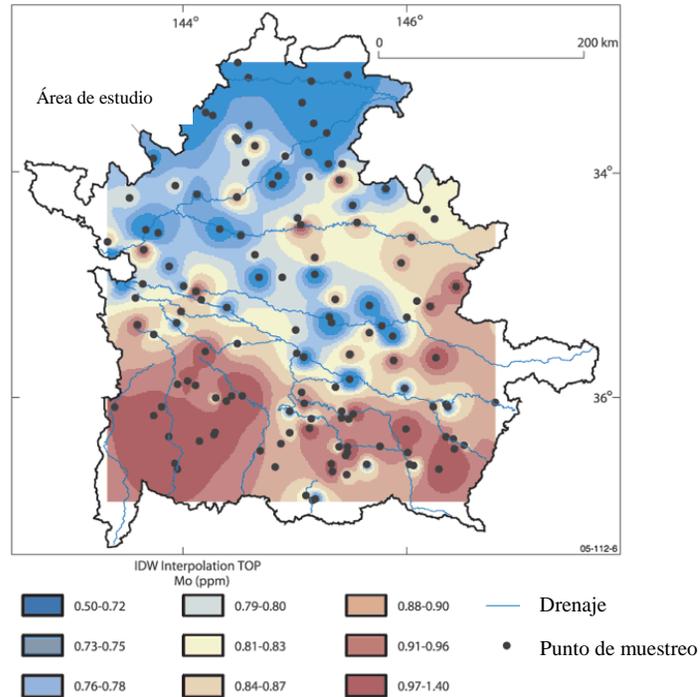
### **2.2.2. Mapas Geoquímicos**

Un mapa geoquímico es una representación gráfica que contiene información sobre la concentración de elementos químicos distribuidos en una región ya sea geográfica ó geológica. Para su determinación se utilizan diversas técnicas analíticas convencionales o nucleares; entre éstas últimas se tiene el análisis por Activación Neutrónica, Fluorescencia de Rayos X, Absorción Atómica. Así como también, las técnicas de Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (por sus siglas en inglés ICP-OES) y Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado (por sus siglas en inglés ICP-MS) entre otras (Reimann et al., 2008).

Lo más importante en un mapa geoquímico es establecer la distribución espacial de los elementos químicos estudiados, esto implica que la geoquímica es la que debe presidir en el mapeo y no la información geológica, geográfica o cualquier información auxiliar. Sin embargo, al momento de hacer las interpretaciones es conveniente plasmar la información geológica y geográfica, para discernir si alguna de las características geológicas está determinando la distribución (Reimann et al., 2008). Existen distintos modelos de mapas geoquímicos, entre estos se pueden mencionar los llamados de isoconcentraciones (isolíneas) (Figura 4), de puntos (símbolos proporcionales, Figura 5), estos últimos se utilizan para obtener una

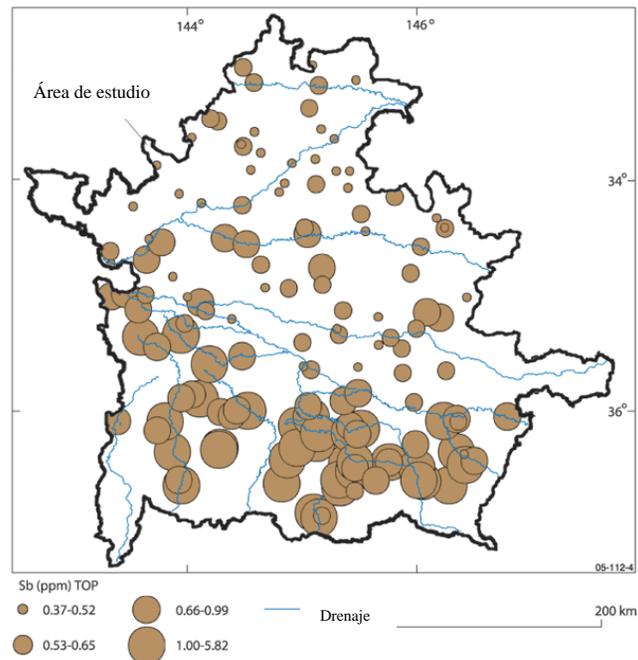


estimación de las variaciones relativas de concentración de cada uno de los elementos, de unos puntos a otros dentro de la zona analizada, donde el tamaño del punto es proporcional a lo que se quiere representar.



**Figura 4** – Mapa Geoquímico de isoconcentraciones de Mo (ppm) en muestras de sedimentos. Australia. (Caritat et al., 2005).

Los mapas geoquímicos son de gran utilidad en la prospección de minerales, determinación de riesgos a la población por la presencia de elementos con concentración por encima de los límites permitidos, riesgos ambientales debido al posible mal uso de suelo en zonas de recarga de acuíferos, evolución de acciones ambientales de restauración de una región dada y otros datos. Los datos que generan los mapas geoquímicos deben ser utilizados como uno de los principales criterios para la toma de decisiones, en la exploración geoquímica (Taisser, 2008).



**Figura 5** – Mapa Geoquímico de puntos de Sb (ppm) en muestras de sedimentos. Australia. (Caritat et al., 2005)

En vista de las múltiples ventajas que ofrecen los mapas geoquímicos, en el período comprendido entre los años 1988 a 1992, el Proyecto Internacional de Mapa Geoquímico (por sus siglas en inglés IGCP 259) bajo el auspicio de la UNESCO, planteó una serie de recomendaciones diseñadas para estandarizar los métodos de cartografía geoquímica a nivel mundial (Salminen et al., 1998). Actualmente, veinticinco países europeos están participando en el proyecto FOREGS, del mismo modo países como China, Canadá y Rusia, los cuales han desarrollado grandes avances, incluyendo un estudio del muestreo apropiado, el desarrollo de un sistema analítico multielemental, entre otros (Xie et al., 2008, Yao, 2011).

En Finlandia y Suecia, por ejemplo, se llevan a cabo los proyectos de cartografía geoquímica desde 1980. La metodología aplicada por ambos países fue similar, lo que ha hecho posible la representación gráfica de los datos; fueron analizados 14 elementos (Al, Au, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, P, Ti y Zn) en una superficie de 470.000 km<sup>2</sup> no obstante, algunos elementos no se lograron representar debido a las diferencias en la abundancia del nivel de fondo causado por



discrepancias muy pequeñas en los procedimientos analíticos. La información que ofrecen los mapas han establecido las bases a la hora de realizar proyectos de exploración geoquímica a detalle (Gustavsson et al., 1993, Salminen et al., 1998).

En China, el 80% de sus yacimientos han sido localizados gracias a su proyecto mapa geoquímico. En la actualidad, continúan realizando estudios en los bloques geoquímicos, concepto utilizado por primera vez, por Doe en 1991, para designar una gran masa de roca con alto contenido en ciertos metales, que dará lugar a la formación de depósitos minerales; se clasifican según el área que cubren (Tabla 1). Con la introducción de este concepto, la filosofía y estrategias de exploración en China, han venido cambiando y están concentrando sus estudios en grandes depósitos dentro o cerca de estos bloques geoquímicos, logrando grandes descubrimientos, en tan solo pocos años (Xie, et al, 2004).

**Tabla 1 - Jerarquía de los patrones geoquímicos establecidos y los bloques geoquímicos**

Área de anomalía (km <sup>2</sup> )	Patrones Geoquímicos
<100	Anomalía local
100-1000	Anomalía regional (Región geoquímica)
1.000-10.000	Provincia geoquímica
10.000-100.000	Megaprovincia geoquímica
100.000-1.000.000	Dominio geoquímico
>1.000.000	Continente geoquímico
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="font-size: 3em; margin-right: 10px;">}</div> <div style="text-align: center;"> <p>Expresión superficial de los bloques geoquímicos (dado un espesor de 1.000 m)</p> </div> </div>	

Tomado de Xie et al, 2004

Las Provincias Geoquímicas son útiles en la exploración, porque delimitan amplias áreas (de dispersiones primarias) en las cuales existen ocurrencias probadas de un metal, por consiguiente, representan lugares ideales para comenzar programas de exploración. La ocurrencia por encima del fondo geoquímico de cualquier elemento, sugiere que es probable encontrar un depósito mineral dentro de la provincia. Las áreas que comprenden las Provincias Geoquímicas generalmente están



compuestas de por diferentes tipos de roca, a veces de diferentes edades, las cuales presentan características geoquímicas similares de disminución o enriquecimiento de ciertos elementos (Xie y Yin, 1993).

### **2.2.3 Ambiente Geoquímico**

La estructura interna de la Tierra dividida en corteza, manto y núcleo permite imaginar a la parte externa de la tierra como un sistema físicoquímico distinto. La migración de materiales en la corteza se puede estudiar como un fenómeno independiente que se efectúa mecánicamente; por medio de movimientos orogénicos o fuerzas gravitatorias y procesos geoquímicos. En la litósfera el ciclo geoquímico (Figura 6) comienza con la cristalización de un magma, exposición de la roca, prosigue con la meteorización de la misma, el transporte y sedimentación del material, continúa después en la diagénesis y litificación hasta el metamorfismo de grado cada vez más alto, y eventualmente, por anatexis y palingénesis, se regenera el magma (Mason, 1960).

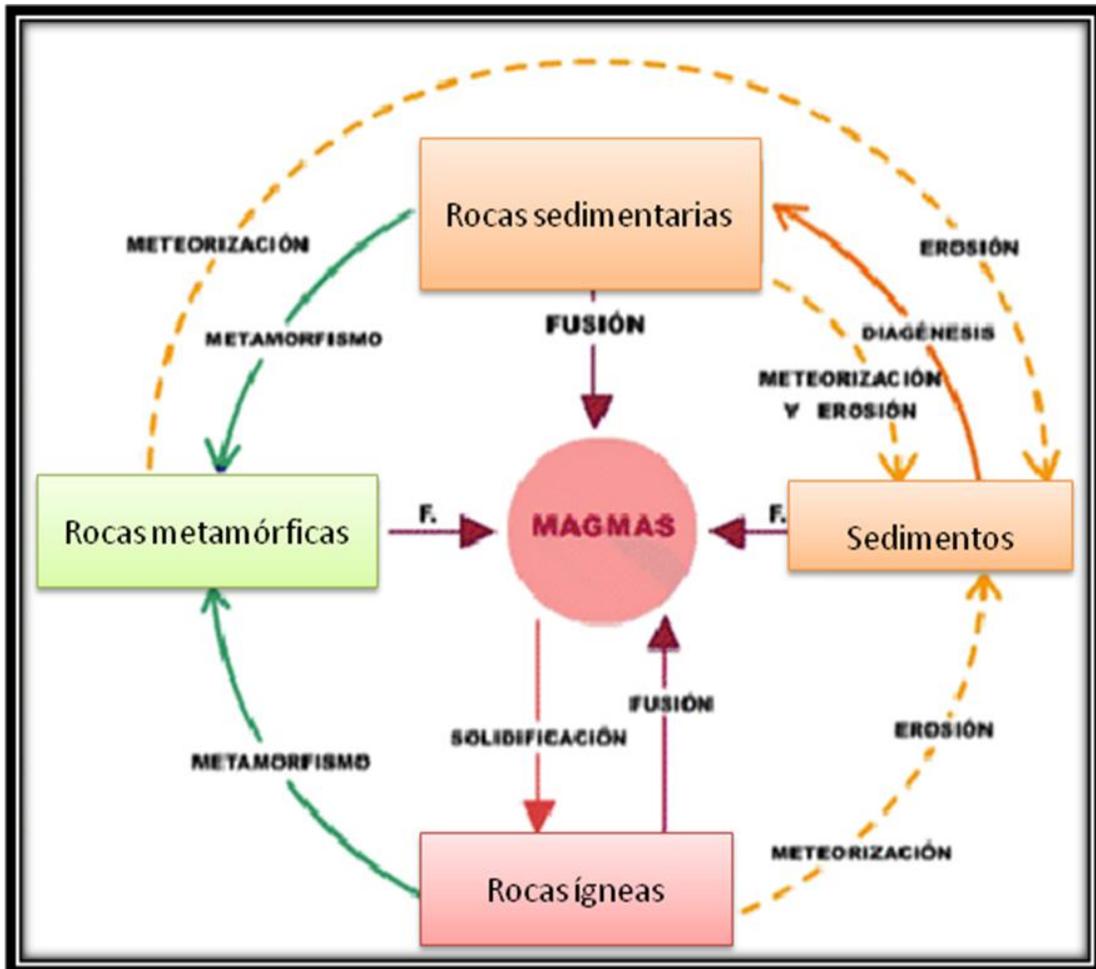
El Ambiente Geoquímico es un sistema que posee ciertas condiciones físico-químicas por las que transcurren todos los procesos naturales del Planeta (Mason, 1960). Un elemento puede tender a concentrarse en cierto tipo de depósito en una etapa dada, o puede permanecer disperso a través del ciclo entero. Teniendo en cuenta estas diferencias, puede establecerse una gran división en dos zonas principales:

- Ambiente profundo o Primario
- Ambiente superficial o Secundario

El ambiente profundo o primario abarca aquellas áreas que se extienden por debajo de los niveles de circulación de aguas meteóricas, hasta aquellos procesos de origen profundo como son el magmatismo (fusión, cristalización, disolución y precipitación) y el metamorfismo; las condiciones presentes generalmente son: temperatura y presión relativamente alta, escasez de oxígeno, movimientos limitados de fluidos.

El ciclo geoquímico (Figura 6) indica que el ambiente superficial o secundario esta caracterizado por los procesos de meteorización, erosión, sedimentación y diagénesis y se caracteriza por condiciones de presión y temperatura bajas, casi

constantes, movimiento libre de soluciones acuosas, abundante oxígeno, agua y CO<sub>2</sub> (Hartman, 1992).



**Figura 6** - Ciclo geoquímico de las rocas. Tomado de Mason, 1960. Editado por Gamero y Reveti, 2011.

La meteorización es un conjunto de procesos que disgregan y alteran las rocas y minerales cuando quedan expuestos a la acción de agentes meteóricos. La meteorización física consiste en la disgregación de rocas y minerales por efecto de la dilatación y compresión producida por los cambios de temperatura, sin modificación de su composición química; la meteorización química, es la alteración de los minerales que pierden algunos elementos y se enriquecen en otros, debido a la acción del agua meteórica cargada de sales disueltas (Méndez, 2006). La dispersión de los



elementos químicos en los materiales naturales, está relacionada principalmente a procesos de meteorización.

#### **2.2.4 Dispersión geoquímica**

Cuando un material migra por el ciclo geoquímico, sufre cambios, por lo general es distribuido, fraccionado y mezclado con otros materiales. Todo este proceso suele denominarse “dispersión geoquímica”. La dispersión puede ser causada por agentes mecánicos como inyección de magma, erupción volcánica, arrastre por una corriente de agua o por procesos químicos o bioquímicos. La migración supergénica de los elementos, es decir su movilidad y dispersión, dependen en gran parte de factores naturales como: las propiedades físicas y químicas de los elementos, su historia geológica y su mineralización, la historia geomorfológica, la vegetación, la topografía y las condiciones climáticas (Rose et al, 1979; Hartman, 1992).

Barrera geoquímica: Este término implica un cambio abrupto en las condiciones físico-químicas, en el medio por el cual se desplazan los elementos durante su migración. Estos cambios abruptos causan la precipitación de ciertos elementos en solución, lo que en condiciones ideales resultaría la formación de un nuevo depósito mineral, o el enriquecimiento de un depósito mineral ya formado (ambiente secundario). Las barreras geoquímicas importantes y de interés en la exploración geoquímica son: temperatura, presión (descompresión), pH (acidez-alcalinidad), Eh (oxidación-reducción), evaporación y elementos mecánicos (cambios en la velocidad de flujos de agua) (Mason, 1960).

La dispersión geoquímica se puede clasificar en: dispersión mecánica y dispersión química.

##### **a) Dispersión Mecánica**

La dispersión geoquímica se produce siempre, gracias a la existencia de un agente movilizador o de transporte, como soluciones acuosas, agentes volátiles entre otros, que encuentran la posibilidad de tomar la carga de un ambiente de movilización, transportarla espacialmente hasta un ambiente de dispersión donde por alguna causa de carácter físico y/o físico-química, deposita total o parcialmente parte de la carga movilizada.



Este tipo de dispersión es aplicada a la investigación de algunas especies minerales (ejemplo: oro (Au), platino (Pt), cromita (Cr)) los cuales están relativamente estables bajo el ambiente que prevalece en la superficie, donde las condiciones climáticas limitan la meteorización química. El factor principal responsable de la dispersión mecánica es la fuerza de la gravedad, actuando directamente sobre fragmentos de suelo o de roca, o mediante la acción del agua y el hielo. (Méndez, 2006).

### **b) Dispersión Química**

La contribución de procesos químicos a través de la meteorización, comprende sobre todo una diferenciación del material en varias fracciones de movilidad (Tabla 2). En la dispersión química, el factor más importante es la estabilidad química de los elementos (minerales) en las fases sólidas inmóviles, con respecto a las fases fluidas móviles coexistentes. Los elementos se pueden dividir en: elementos inmóviles; que son insolubles y los móviles que son solubles (Mason, 1960).

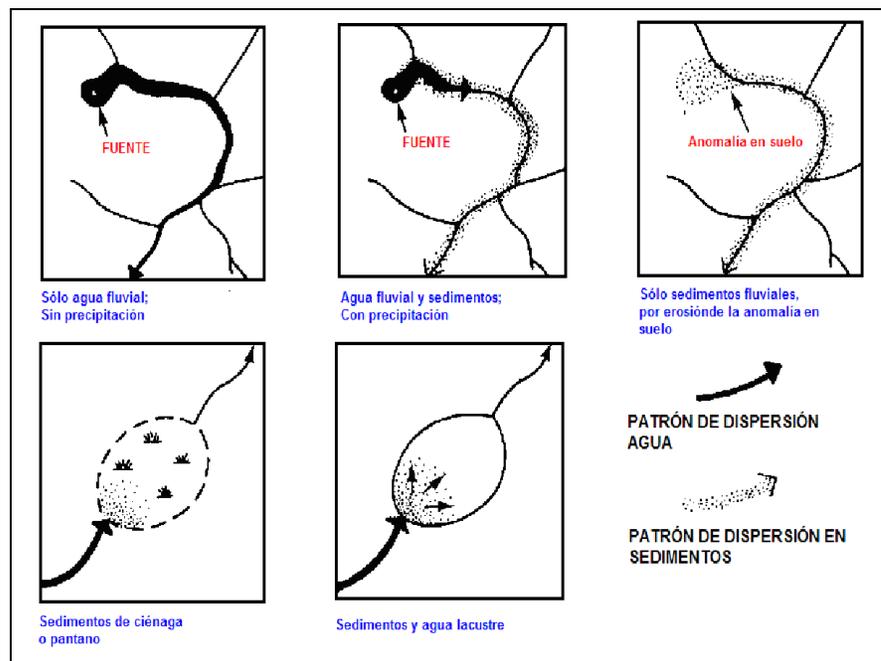
La dispersión también se puede clasificar en:

*Dispersión primaria:* Ocurre en el ambiente primario (temperatura y presión elevada). Son resultantes de procesos genéticos endógenos, se generan al mismo tiempo que una mineralización, afectando a su vez, a las rocas que los rodea, por lo tanto, yacimiento y dispersión tienen una procedencia común. La dispersión tiene lugar mientras las rocas en las que se registra estén en equilibrio y no sean expuestas a alteraciones (meteorización, metamorfismo). Las aberturas que las soluciones siguen y los sitios de precipitación son las fracturas, fallas y aberturas intergranulares de la roca (Hawkes y Webb, 1962). Estas dispersiones pueden ser (tabla 2): dispersiones singenéticas, son aquellas que han ocurrido al mismo tiempo que la roca caja, y las dispersiones epigenéticas originadas sobre rocas preexistentes en las que se introducen determinados elementos, que además de una mineralización forman una “aureola” (Rose et al, 1979).



presentan en el caso que los agentes dinámicos sean soluciones acuosas (agua superficial y aguas subterráneas) y las dispersiones biogénicas, son las que resultan de la actividad biológica. Una clasificación según el origen de las dispersiones no puede ser aplicada con mucha rigidez ya que las dispersiones secundarias son a veces el resultado de una combinación de procesos (Hawkes y Webb, 1962; Rose et al., 1979).

Conjuntamente es introducida otro tipo de clasificación, esta se encuentra representada por la forma de los patrones superficiales, es decir, es totalmente descriptiva; sin embargo, resulta muy útil a la hora de interpretar los datos en cuanto a las posibles causas de las anomalías. Los patrones “supra-yacentes” se desarrollan aproximadamente sobre la fuente rocosa, estos se distinguen de los “patrones laterales” que se localizan hacia un lado. Los “halos” por su parte, tienen una configuración o aspecto simétrico alrededor de la fuente, cuando la dispersión refleja asimetría, los patrones toman la forma de abanico disperso desde la fuente, o si la dispersión se desarrolla longitudinalmente en un canal restringido se tendrá como forma un halo (Rose et al 1979). La figura 7 presenta un ejemplo de los principales tipos de patrones de dispersión en los drenajes superficiales.



**Figura 7** - Principales tipos de patrones de dispersión en los drenajes superficiales.  
(Tomado de Rose et al 1979, editado por Jiménez, 2009)



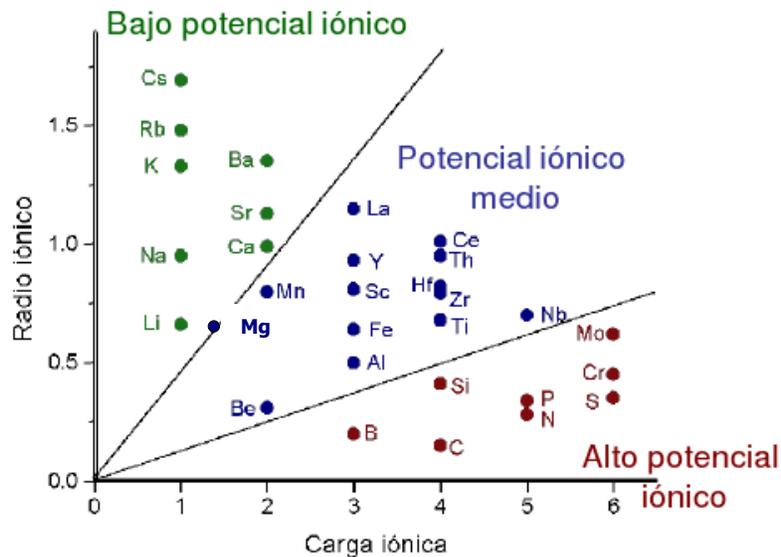
**Tabla 3 - Clasificación y características generales de los principales tipos de patrones de dispersión superficial**

Clasificación genética		Procesos de dispersión	Principal agente de transporte	Matriz	Modo de ocurrencia de los elementos dispersos	Forma del patrón de dispersión
Patrones singenéticos	Clástico	Meteorización in situ		Roca meteorizada Recubrimiento residual Gossan	Minerales resistentes primarios y secundarios; constituyentes menores de minerales de arcillas y oxi-hidróxidos secundarios	Patrones suprayacentes
		Movimiento de las partículas sólidas:	Gravedad	Recubrimiento residual Gossan Coluvial		Abanicos y patrones suprayacentes asimétricos
			Hielo	Morrena Depósitos glacio-fluvial		Abanicos Halos y patrones irregulares
			Agua	Depósitos en capas Sedimentos fluviales		Abanicos Halos
				Sedimentos lacustres		Deltas-abanicos
		Viento	Depósitos eólicos	Abanicos		
		Hidromórfico	Movimiento de soluciones	Agua subterránea		Solución de agua subterránea
	Agua superficial			Solución de agua superficial Precipitados y depósitos evaporíticos	Sales precipitadas	Patrones laterales
	Biogénico	Metabolismo de las plantas	Respuesta por plantas vivientes	Tejido de plantas vivientes	Componentes organometálicos	Patrones laterales y suprayacentes
				Restos orgánicos		
Patrones epigenéticos	Hidromórfico	Movimiento de soluciones seguido de precipitación	Agua subterránea	Cualquier recubrimiento clástico	Iones sorbidos en minerales de arcillas y materia orgánica; iones coprecipitados y ocluidos en oxi-hidróxidos, componentes metalo – orgánicos y sales precipitadas	Patrones suprayacentes, Abanicos
				Suelos de las áreas de emanación		Patrones laterales
			Agua superficial	Sedimentos fluviales		Halos
	Biogénico	Metabolismo de la planta seguido de redistribución por productos de descomposición orgánica	Nutrientes en solución; humedad del suelo	Cualquier recubrimiento clástico		Patrones laterales y suprayacentes

Tomado de Rose et al., 1979

### 2.2.5 Relación carga iónica/ radio iónico

Goldschmidt realizó estudios sobre el comportamiento de los elementos químicos en ambientes superficiales, que contribuyen con estudios de exploración geoquímica y de geoquímica ambiental, y además propuso que una primera evaluación de este comportamiento podía hacerse mediante un factor que designó Potencial Iónico y que define por  $Z/r$  (la relación carga/radio). El concepto de potencial iónico explica el comportamiento de los elementos en la meteorización, señalando cuales serán eliminados y cuales concentrados en este proceso. Los datos empíricos que Goldschmidt tuvo a disposición apoyaron este concepto. Los iones menos reactivos en medios acuosos mantienen sus caracteres iónicos en solución y tienen valores de  $Z/r$  hasta 3; otros iones con potencial iónico intermedios (entre 3 y 12) se unen  $(OH)^-$  y son elementos relativamente inmóviles y por lo general están asociados con las arcillas y los óxidos/hidróxidos de Fe y de Mn (hidrolizados). Los elementos con potencial iónico superior a 12 forman complejos iónicos solubles (con el oxígeno) (Figura 8). El uso de radios iónicos más exactos, según cálculos de Whittaker y Muntus (1970), cambió hasta cierto punto la posición de los campos de reactividad, pero no cambió el concepto original de Goldschmidt (Mason, 1960).



**Figura 8** - Separación de los cationes en términos de potencial iónico (carga/radio) (Mason, 1960).



### **2.3 Datos geoquímicos en la prospección geoquímica**

En los estudios de prospección geoquímica, es fundamental la determinación de los intervalos de valores de concentración “normal” para un elemento o elementos, en materiales no mineralizados de un área específica. Dichos valores se conocen como valores de fondo, igualmente se deben determinar los valores umbrales y anomalías (Hartman, 1992).

Ahora bien, desde el punto de vista geoquímico, el término fondo fue introducido por los geoquímicos de exploración con la finalidad de destacar diferencias entre las concentraciones de elementos (o compuestos) dentro de una matriz rocosa ausente de enriquecimiento, de aquellas rocas con valores anómalos (Reimann y Garret, 2005). El fondo geoquímico es un intervalo y no un valor específico (Matschullat, 2000).

El umbral es descrito como el límite superior del valor de fondo, por encima del cual se encuentran los valores anómalos. Una anomalía, por tanto, se refiere a una variación en la abundancia de un elemento en comparación a su abundancia normal en un área definida o un ambiente geoquímico, sin embargo, existen casos en los cuales se presenta una anomalía, pero la misma puede que no esté relacionada con un verdadero depósito mineral, es probable que: existan rocas caracterizadas por concentraciones relativamente elevadas de ciertos elementos, el área esté intervenida por actividades antrópicas, o existan errores en el muestreo o en el análisis. Estas anomalías están representadas por aquellos valores por encima del umbral (Hakwes y Webb, 1962).

Las anomalías relacionadas con un depósito mineral, que se pueden usar como guías para el depósito mineral se denominan anomalías significantes o positivas. Las anomalías negativas, cuyos valores son menores que aquellos del fondo, apenas sirven para la búsqueda de depósitos minerales (Rose et al, 1979).

Para la determinación de tendencias centrales y grados de dispersión en poblaciones con presencia de datos que no se adaptan a una distribución normal, como es el caso de la mayoría de las poblaciones de muestras geoquímicas, es necesario utilizar parámetros estadísticos que no se vean afectados por el tipo de



distribución que presente la población debido a la presencia de valores anómalos dentro de ella. La aplicación de la estadística no paramétrica permite el tratamiento de los datos sin que estos se vean afectados (APENDICE A) (Tukey, 1977).

#### **2.4 Minerales Pesados**

Los minerales pesados se definen operacionalmente, como aquellos minerales que poseen una gravedad específica mayor  $2,9 \text{ g/cm}^3$  (Carver, 1971). Los minerales pesados pueden dividirse convencionalmente en tres grupos: ligeros (hasta  $3,0 \text{ g/cm}^3$ ), medios (de  $3,0$  a  $4,0 \text{ g/cm}^3$ ) y pesados (más de  $4,0 \text{ g/cm}^3$ ) (Milovski et al., 1982).

Los minerales pesados estables o resistentes pesados sufren los procesos de meteorización y transporte, permaneciendo más o menos intactos sin sufrir cambios químicos y tienden a acumularse en forma de material granular. Entre estos resistentes se encuentran: circón ( $\text{ZrSiO}_4$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), rutilo ( $\text{TiO}_2$ ), entre otros (Garbán, 2001).

La agrupación de los minerales pesados en fracciones diferentes en función, de la susceptibilidad magnética, facilita su identificación. La susceptibilidad magnética es una medida que relaciona la facilidad con la que los sedimentos en particular se magnetizan al someterse a un campo magnético, esta facilidad a la magnetización se refiere con la concentración y composición (tamaño, forma y mineralogía) del material magnetizable presente en la muestra. Este parámetro se puede expresar como la razón entre la magnetización inducida en el material  $M$  y la intensidad del campo magnético  $H$  ( $\chi = M/H$ ), de esto se tiene que los minerales pueden clasificarse según, el valor de su susceptibilidad magnética en tres grupos principales: Diamagnéticos  $\chi < 0$ , Paramagnéticos  $\chi > 0$  y Ferromagnesianos  $\chi \rightarrow \infty$  entre estos últimos se encuentran por ejemplo, el hierro (Fe), el cobalto (Co) y el níquel (Ni) así como la aleación de éstos con otros elementos y son reconocidos como precursores del magnetismo en la materia y de las aplicaciones potenciales de estas familias de minerales. Por tanto, la separación magnética, por medio de un separador magnético, agrupará varias fracciones magnéticas según su susceptibilidad,



para facilitar la identificación de los minerales (Bermúdez et al., 2007; Mange et al., 2007).

#### 2.4.1 Rocas fuentes de los minerales pesados

Los minerales pesados en su gran mayoría son indicadores de roca madre, es decir, si provienen de una fuente ígnea, metamórfica o sedimentaria (Tabla 4 y 5), también revelan procesos en el ambiente depositacional y el potencial minero de una región (Amelinck, 1971; Torres, 1984; Moreno, 1996)

Muchos de los minerales inestables y angulares pueden ser indicativos de un origen ígneo o metamórfico directo, mientras que los estables bien redondeados proponen haberse derivado de una fuente sedimentaria pre-existente (Feo-Codecido, 1956).

**Tabla 4** -Asociaciones de minerales pesados y procedencia

Asociación	Fuente
Apatito, biotita, brookita, circón, hornblenda, monacita, moscovita, rutilo, titanita, turmalina (variedad rosada)	Rocas ígneas félsicas
Casiterita, dumortierita, fluorita, granate, monacita, moscovita, topacio, turmalina (variedad azul), wolframita, xenotima	Pegmatitas graníticas
Augita, diópsido, hipersteno, cromita, ilmenita, magnetita, olivino, pleonasto	Rocas ígneas máficas
Andalucita, condrodita, corindon, granate, estaurolita, flogopita, topacio, vesuvianita, wollastonita, zoisita	Rocas producto de metamorfismo de contacto
Andalucita, cianita, cloritoide, epidoto, estaurolita, glaucofano, granate, silimanita, titanita, zoisita-clinozoisita	Rocas producto de metamorfismo dinamotermal
Barita, circón (fragmentos redondeados), leucoxena, minerales de hierro, rutilo, turmalina (fragmentos redondeados)	Rocas sedimentarias

(Tomado de Feo-Codecido, 1956)

Distintos grupos de minerales pesados pueden indicar su procedencia de diferentes fuentes primarias, como muestra de esto, se encuentra la asociación de andalucita, turmalina, anfíbol, granate, estaurolita, circón y apatito, estos minerales provienen de rocas ígneas y metamórficas, mientras que la asociación de



ortopiroxeno, clinopiroxeno y olivino sugiere como fuente rocas ultramáficas, por su parte los granos móviles como la barita y los anfíboles más tabulares, son trazadores sedimentarios del transporte dinámico (Cascalho y Fradique, 2007) .

#### **2.4.2 Factores que afectan la abundancia de los minerales pesados en los sedimentos**

Los minerales pesados desde que son liberados desde su roca fuente, se ven afectados por distintos factores, hasta que son extraídas de un sedimento para su estudio. Estos factores son los siguientes:

- a) Concentración de minerales pesados en la roca fuente: dependiendo de esta concentración existirá una mayor o menor disponibilidad de los minerales pesados en los sedimentos generados por los procesos de meteorización y transporte (Morton y Hallsworth, 1994; 1999).
- b) Marco fisiográfico y clima del área fuente: en áreas tropicales, las asociaciones de minerales pesados son bastante reducidas en comparación con las zonas templadas, producto de la alta tasa de meteorización. Estos factores controlan la preselección de los granos minerales durante la meteorización de la roca fuente de tal manera que determinan la entrada original de las especies minerales pesados en un sistema sedimentario (Gupta, 2005).
- c) Abrasión y destrucción mecánica durante el transporte: los minerales experimentan una alteración física a través de la erosión, esto se refleja en el tamaño, la fracturación y la redondez de los granos, no obstante sus repercusiones están ligadas a la estabilidad mecánica de los mismos. A pesar de que algunas especies de minerales pesados pueden ser destruidas durante el transporte y diagénesis, el remanente resulta algunas veces la única guía de procedencia (Carver, 1971).
- d) Meteorización química: si la meteorización no afecta la estabilidad química de los minerales, permitirá que se mantengan los mismos sedimentos que están en la roca fuente, si por el contrario, los sedimentos son transportados después que la meteorización química haya afectado esta estabilidad, la relación de éstos



con los que están presentes en la roca fuente, será distinta (Morton y Hallsworth, 1994).

- e) Factor hidráulico: aplica durante el transporte y está controlado por las características del régimen del flujo presente. Sus efectos se manifiestan en la clasificación selectiva de los granos en función de su tamaño, forma y densidad, es por esto que la disponibilidad relativa de los pesados varía con la distancia de transporte debido a su comportamiento hidráulico (Gupta, 2005).
- f) Post-depositacional, diagenético: los minerales pesados que ya han sido depositados experimentan los efectos de disolución o crecimiento en los estratos, provocando la corrosión y descomposición química de los mismos, lo cual provee información de diagénesis, esto viene porque los minerales cambian sus características originales al ser sometidos a procesos de disolución. La solución que interacciona en los estratos puede destruir por completo los minerales que indican proveniencia (ejemplo piroxeno, hornblenda), lo que crea inconvenientes para la identificación del origen de los mismos. Las aguas meteóricas que percolan en el ambiente de depositación pueden causar la disolución, así como también el agua expulsada de los poros del sedimento debido a la compactación del mismo (Morton y Hallsworth, 1994; 1999). Al incrementar el soterramiento de los sedimentos aumenta la temperatura de los fluidos y, por tanto, puede disminuir la estabilidad química de los minerales pesados generando la pérdida total o parcial de estos. (Morton, 1984; Morton y Hallsworth, 1994 y 1999).



**Tabla 5 - Minerales comúnmente asociados a los minerales pesados encontrados en depósitos de arena**

Mineral	Fórmula ideal	Principales impurezas	Gravedad específica
Ilmenita	$\text{Fe}^{+2}\text{TiO}_3$	Mg, Mn, V, Nb, $\text{Fe}^{+3}$	4,7 – 4,8
Rutilo (Anatasa – polimorfo de baja T)	$\text{TiO}_2$	Nb, Ta, Sn, Fe	4,2 – 5,5 (3,8 – 4,0)
Pseudorutilo	$\text{Fe}^{+3}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$	Mg, Mn, $\text{Fe}^{+3}$ , Cr, $\text{OH}^-$ , ( $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{SiO}_2$ ) <sup>a</sup>	3,3 – 3,8
“Leocoxeno” (no válido como especie mineral)	Un producto de alteración y mezcla de óxidos de Fe – Ti. La mayoría del “Leucocoxeno” es anatasa o rutilo	Mg, Mn, $\text{Fe}^{+3}$ , Cr, V, Nb, Ca, P ( $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{SiO}_2$ )	4,3 – 4,6
Circón	$\text{ZrSiO}_4$	Hf, Fe, Al, U, Th	4,6 – 4,7
Monacita	(Ce,La,Th) $\text{PO}_4$	La, Y, Ca, Th, U, Th	5,0 – 5,3
“Espinela” (Nombre general para el grupo mineral con la fórmula $\text{AB}_2\text{O}_4$ )			
Cromita	$\text{Fe}^{+2}\text{Cr}_2\text{O}_4$	Mn, Zn, $\text{Fe}^{+3}$	5,1
Hercinita	$\text{Fe}^{+2}\text{Al}_2\text{O}_4$		4,4
Magnesiocromita	$\text{MgCr}_2\text{O}_4$		4,4
Espinela	$\text{MgAl}_2\text{O}_4$		3,5
Ulvoespinela	$\text{Fe}^{+2}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$		4,8
Magnetita	$\text{Fe}^{+2}\text{Fe}^{+3}_2\text{O}_4$		5,2
Granate	$\text{Fe}^{+2}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ - Almandino	Ca, Mn, Mg, Ti, Cr, $\text{Fe}^{+3}$ , $\text{OH}^-$	3,5 – 4,3
Estaurolita	$\text{Fe}^{+2}_2\text{Al}_9\text{Si}_4\text{O}_{23}$ (OH)	$\text{Fe}^{+3}$ , Mg, $\text{OH}^-$	3,7 – 3,8
Turmalina	$\text{NaFe}^{+3}_3\text{Al}_6\text{Si}_6\text{B}_3\text{O}_{27}$ (OH) <sub>4</sub>	Mg, Mn, Li, F <sup>-</sup>	3,0 – 3,2
Silimanita (Cianita – polimorfo de alta P)	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$	$\text{Fe}^{+3}$	3,2 - 3,3 (3,5 – 3,6)
Goethita	$\text{FeO.OH}$	Si, $\text{Mn}^{+3}$ , Al	~ 4,3
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$		5,26
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	Al, $\text{Fe}^{+3}$ , Ti	2,6 – 2,7*
Esfena	$\text{CaTiSiO}_4$		3,4 – 3,55*
Apatito	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{Cl})$		3,15 – 3,20*
Columbita	(Fe, Mn)(Nb, Ta) <sub>2</sub> $\text{O}_6$		5,2 – 7,9*
Wolframita	(Fe, Mn) $\text{WO}_4$		
Casiterita	$\text{SnO}_2$		6,8 – 7,1*
Monacita	(Ce,La,Pr,Nd,Th,Y) $\text{PO}_4$		4,8 – 5,5
Xenotima	$\text{YPO}_4$		4,4 – 5,1

Fuente: Tomado de Powceby et al. (2008). \*Datos extraídos de Hurbult y Klein (1991). Compilado por Jiménez (2009).

### 2.4.3 La estabilidad química de los minerales pesados

La estabilidad de los minerales es su resistencia a la alteración. Ésta puede llamarse estabilidad mecánica (resistencia a la abrasión) o estabilidad química, la cual está representada por los procesos de disolución y de descomposición de los minerales (Pettijohn, 1975).

La estabilidad de un mineral pesado depende del pH del ambiente químico, sin embargo el Eh y la composición iónica del fluido de poro también influyen en la estabilidad de los minerales pesados. La estabilidad relativa de los minerales pesados varía en los ambientes ácidos extremos y en los ambientes alcalinos (Tabla 6). Esta diferencia en el comportamiento, es ilustrada por la respuesta del apatito y el granate bajo condiciones ácidas; durante la meteorización ácida el apatito es altamente inestable, de igual manera el granate es sensible a las condiciones de pH ácidos y su estabilidad depende del tipo de granate; los que tienen una alta concentración de Fe y Mn tienden a ser los más inestables (Pettijohn, 1975).

Pettijohn, (1941), consideró que la inexistencia general de muchas especies de minerales pesados en sedimentos antiguos puede atribuirse a la remoción de minerales inestables por solución en los estratos, el autor razonó que la edad es un factor destacado en la supervivencia de los minerales en los sedimentos y esto fue expresado como el “orden de persistencia” de los minerales pesados.

Morton, (1985), sintetizó los trabajos previos sobre la estabilidad química de los minerales pesados y apoyando sus estudios principalmente en secuencias del Mar del Norte, estableció un orden de estabilidad de los minerales pesados en los ambientes geoquímicos ácidos y básicos.

Una gran variedad de series de minerales pesados contienen solo minerales muy estables, la ausencia de inestables en ciertos casos puede ser atribuido a:

- a) Litología del área fuente (terrenos de metamorfismo de bajo grado, rocas carbonáticas, sedimentos policíclicos maduros – ninguno de los cuales contiene concentraciones representativas de minerales inestables).
- b) Pérdida pre-soterramiento (meteorización química intensa en la región seleccionada, bajo relieve, baja tasa de depositación, pedogénesis avanzada, aguas subterráneas corrosivas; cualquiera de estos factores



podría resultar en la ausencia de minerales inestables antes de llegar al lugar de sedimentación)

- c) Disolución post-soterramiento que podría repercutir en la pérdida diagenética de minerales inestables. (Mange y Heinz, 1992).

**Tabla 6** - Características más resaltantes de algunos minerales pesados

Mineral	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad	Ocurrencia - Asociaciones
Rutilo	4,30	Muy estable	Granitos, sienitas, anfibolitas, eclogitas
Circón	4,60	Muy estable	Granito, granodiorita, sienita-monacita
Apatito	3,10	Estable	Pegmatitas y filones de origen hidrotermal
Granate	3,60	Estable	Gneises, kimberlitas, pegmatitas, granitos, peridotitas, serpentinitas
Biotita	5,10	Estable	Granitos, granitoides en general
Esfena	3,50	Moderada	Granitos, gneises, anfibolitas y filones
Olivino	3,80	Muy inestable	Rocas intrusivas máficas-ultramáficas
Casiterita	6,80	No definida	Granitos, microgranitos, pegmatitas, riolitas, filones hidrotermales
Cromita	4,60	No definida	Accesorios en peridotitas
Hematita	5,30	Estable	FBH*, granitos, sienitas, riolitas, traquitas
Ilmenita	4,70	Estable – Moderado	Gneises, gabros, noritas, anortositas. Accesorio en pegmatitas y sienitas
Oro	19,30	Estable	Nativo y filones hidrotermales
Magnetita	5,20	Estable	Accesorio en dioritas, peridotitas
Pirita	5,02	Estable	Sulfuros y filones hidrotermales

\*FBH – Formaciones bandeadas de hierro. Tomado de: Deer et al. (1970) y Hulburt y Klein (1991)

### 3. METODOLOGÍA

La metodología planteada en esta investigación constó de varias etapas: planificación, etapa de campo, análisis químicos, tratamiento estadístico, análisis mineralógicos y elaboración de mapas geoquímicos. En primer lugar, se realizó la planificación del trabajo de campo donde se recolectaron tres tipos de muestras (aguas superficiales, sedimentos finos y concentrados de minerales pesados), luego en los laboratorios del Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), Región Capital se realizaron los análisis químicos según las características de la muestra (concentrado de minerales pesados). Una vez obtenidos los datos de concentraciones se procedió a la aplicación del tratamiento estadístico, posteriormente los análisis mineralógicos y por último la elaboración de los mapas geoquímicos. Un resumen de las metodologías empleadas se presenta en las figuras 9 y 10.

#### 3.1 Etapa Campo

El estudio regional consistió en la colección de muestras de sedimentos fluviales activos (sedimentos finos depositados y concentrados de minerales pesados) en los principales afluentes de las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar (río Aro, Pao, Cuchivero, Guaniamo, Suapure, Parguaza, Cataniapo) con la finalidad de realizar análisis químicos y mineralógicos, para ubicar aquellas áreas que posiblemente están relacionadas con enriquecimientos o mineralizaciones importantes. El desarrollo de esta etapa se describe a continuación:

##### 3.1.1 Selección de los puntos de recolección de muestras

La metodología usada para la selección de los puntos de recolección de muestras fue similar a la empleada por la EPA en el Programa de Evaluación y Monitoreo Ambiental (por sus siglas en inglés EMAP). Esta metodología consiste en la clasificación de los ríos, en la cual se estiman los órdenes según el método de Strahler-Horton, ésta clasificación es usada para comparar, una vez obtenidos los resultados de los análisis, ríos que se encuentran bajo las mismas condiciones hidrológicas y ecológicas (Horton, 1945; Strahler, 1969). Inicialmente, fueron pre-establecidos cuarenta y siete puntos de muestreo, donde la densidad de muestreo para este tipo de estudio regional fue de 1 muestra/ 1.000 km<sup>2</sup> (Figura 11). La ubicación de

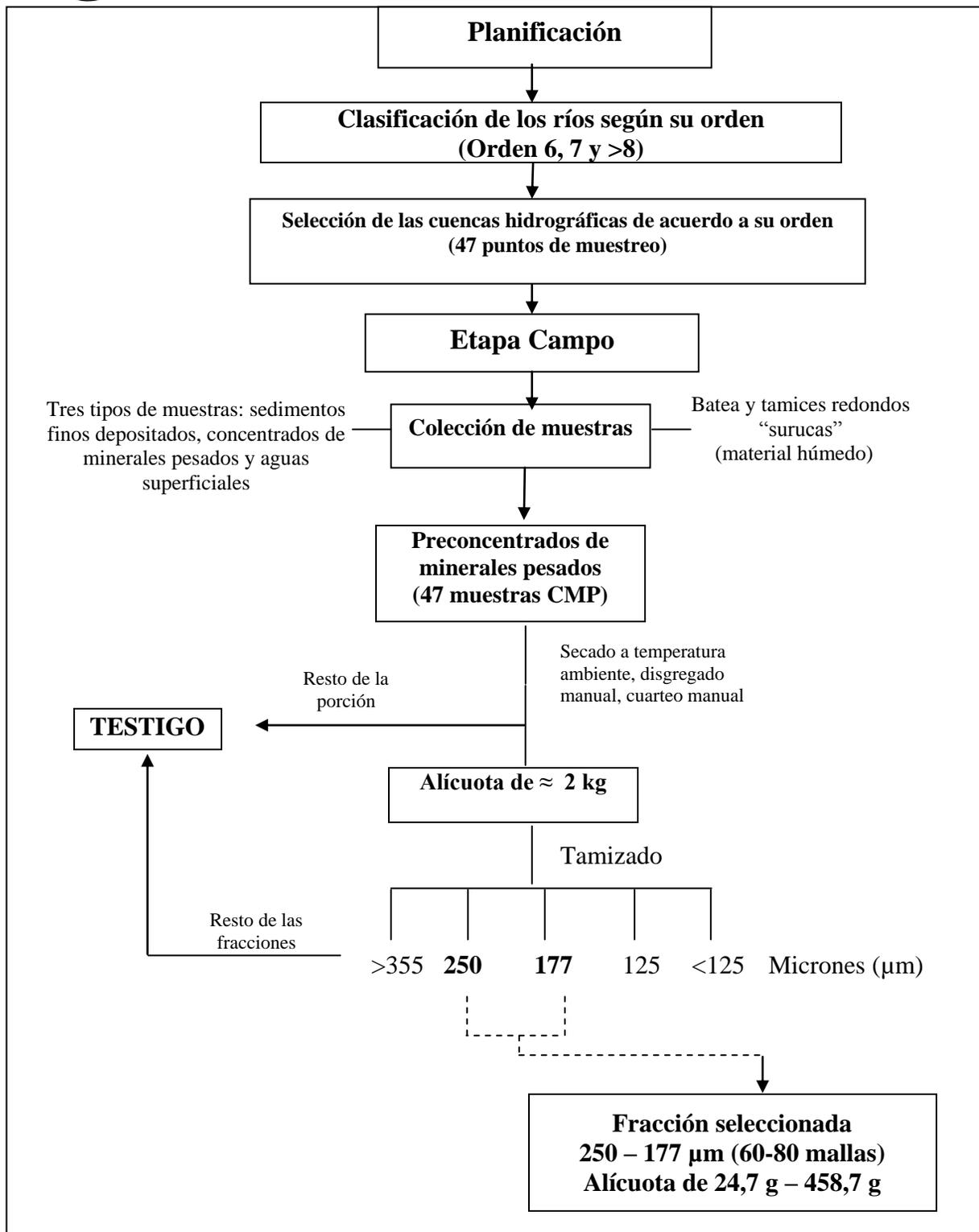


la muestras se puede ver en el APENDICE A, Tabla A1. Las muestras utilizadas para este trabajo fueron proporcionadas por el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN) tomadas en dos campañas. La primera de ellas se efectuó entre los meses abril y mayo de 2007 y la segunda fue desarrollada entre los meses marzo y abril de 2008, cabe destacar que estos meses son de sequía, condición idónea para la colección de muestras de río (Jiménez et al., 2008).

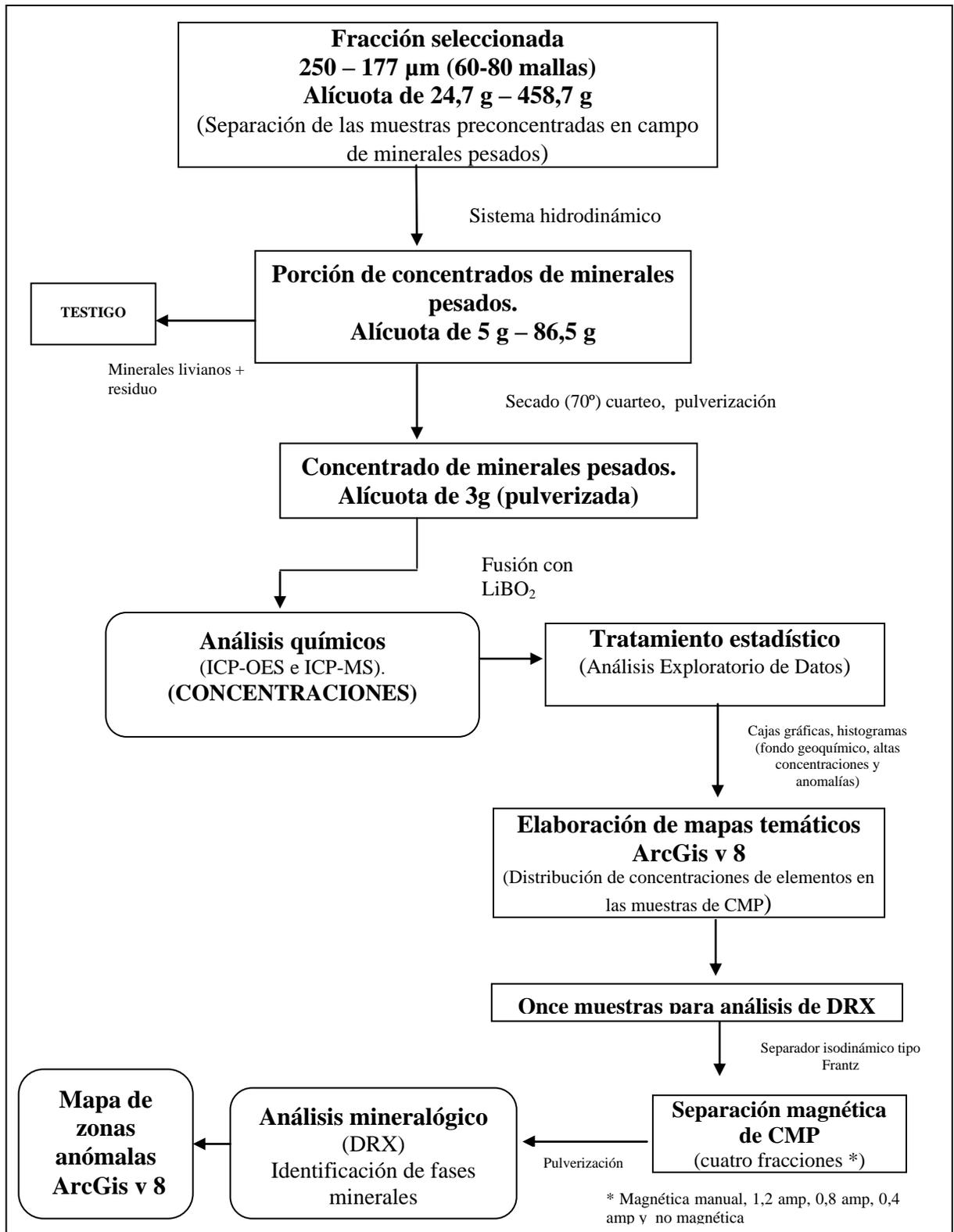
### **3.1.2 Tipo de muestra y metodología de recolección**

Se recolectaron tres tipos de muestras en cada punto seleccionado, siguiendo las recomendaciones generales de los diferentes programas a nivel mundial (IGCP 259/360, entre otros), coordinado con la experiencia y estudios preliminares realizados en zonas tropicales: Sedimentos finos depositados, concentrados de minerales pesados (CMP) y aguas superficiales; el tipo de muestra para este trabajo son los concentrados de minerales pesados, estos minerales son tomados en las zonas del río donde la alta energía permite su concentración, estando asociados generalmente a sedimentos ricos en arena o grava, aunque también se les puede encontrar atrapados en materiales finos. Estos minerales pesados se concentran mediante el uso de un conjunto de tamices llamado “surucas” y bateas, para obtener la muestra enriquecida que se conoce como “concentrado de minerales pesados”.

La preparación física para las muestras de sedimentos sigue los siguientes pasos: el secado, disgregado y cuarteo. El secado se realizó a temperatura ambiente durante 72 horas, luego el material fue sometido a un proceso de homogenización, que consistió en el disgregado manual (Hartman, 1992), y finalmente las muestras se cuartearon manualmente almacenando el resto como testigo; la alícuota obtenida para los concentrados de minerales pesados fue de aproximadamente 2 kg. El tamizado establecido para los CMP fue de 250-177  $\mu\text{m}$  (60-80 mallas) esta fracción se escogió por el contenido de minerales pesados observados, el resto de las fracciones se reservó como testigo. La cantidad de muestra obtenida fue de 24,7g – 458,1g.



**Figura 9** - Esquema de la etapa de recolección de las muestras



**Figura 10** - Esquema de la etapa de laboratorio para las muestras de concentrado de minerales pesados

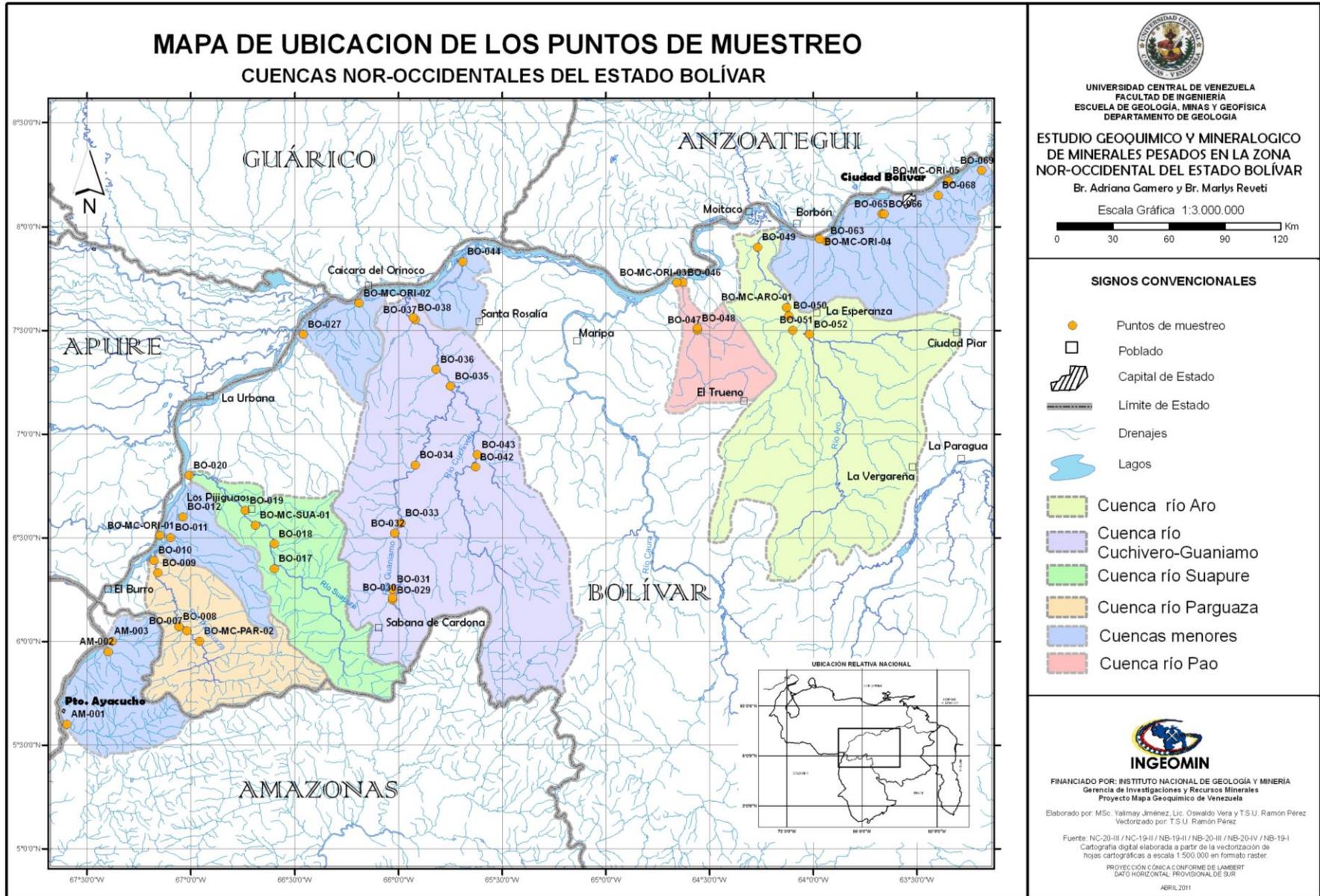


Figura 11 - Mapa de ubicación de los puntos de recolección de muestras de concentrados de minerales pesados.



## **3.2 Etapa laboratorio**

### **3.2.1 Separación de las muestras por el sistema hidrodinámico**

Este sistema consiste de un equipo hecho en vidrio que consta de tres partes: una superior, donde se agrega la muestra, el tubo intermedio. Este tipo de método utiliza la diferencia de densidades entre las partículas y el agua para efectuar la separación. El principio reside en crear, por efecto hidrodinámico, una aceleración superior a la que presenta el campo de la gravedad, esa aceleración se obtiene dándole al agua un movimiento circular rápido, incrementando el flujo de agua. El procedimiento consiste, inicialmente en agregar una porción de muestra en la abertura de la esfera superior (APENDICE B, Figura B1), y luego regulando el flujo de agua, comenzaran a descender los minerales más densos, hasta el fondo, mientras que los livianos permanecerán en la zona de reflujo (esfera superior). La última porción obtenida de este proceso, son los livianos que escapan de la zona de reflujo, a través de una manguera y llegan a un tamiz de 63  $\mu\text{m}$  (malla 230) donde son retenidos. De la separación se obtiene la porción de concentrado de minerales pesados (CMP) y sedimentos livianos. Cada fracción obtenida fue secada en un horno a 40°C. La cantidad de sedimentos livianos fue de aproximadamente (7,4 - 193,1 g) y de pesados (5 - 86,5 g).

### **3.2.2 Análisis químico**

Los análisis químicos de las cuarenta y siete muestras se realizaron mediante las técnicas de Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) para los elementos mayoritarios y minoritarios y Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS) para los elementos traza, en los Laboratorios de INGEOMIN, Región Capital.

#### **3.2.2.1 Determinación de elementos mayoritarios, minoritarios**

Las concentraciones de los siguientes óxidos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$  fueron determinadas mediante el ICP-OES con condiciones de operación: flujo del gas nebulizador 0,95 L/min; flujo del gas plasmógeno 15 L/min; potencia del ICP 1100 Watts; voltaje analógico -1850 Volts; voltaje de pulso 950 Volts.



Para esta técnica las muestras de concentrados de minerales pesados se cuartearon y homogenizaron obteniendo una alícuota de 3 g que luego es pulverizada en un mortero de ágata. El siguiente paso es secar las muestras en la estufa a 70 °C durante una hora, posteriormente se pesan 0,15 g de la muestra pulverizada, y se mezcla con 1,5 g metaborato de Litio ( $\text{LiBO}_2$ ), a esta mezcla se le agregan cuatro gotas de una solución al 25 % de bromuro de Litio ( $\text{LiBr}$ ) para humectar la muestra y así evitar que se adhiera a los crisoles de platino, luego se funde. La perla formada en la fusión se disuelve en un vaso precipitado con 100 ml de una solución de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) a una concentración 0,7 M, con agitación magnética automática; una vez finalizada la disolución completa de la muestra, se agrega en un balón aforado de 250 ml con 25 ml de una solución 1:9 de ácido nítrico para luego ser enrasada con agua destilada, la concentración final de la muestra es 0,7 M. Por último, la muestra es medida, según las concentraciones estimadas. Los resultados de concentraciones se muestran en la (APENDICE C, Tabla C2).

### **3.2.2.2 Determinación de elementos traza**

Los elementos traza analizados fueron: Y, La, Ce, Nd, U, Th, Zr, Hf, Nb, Cr mediante la técnica ICP-MS con condiciones de operación: flujo del gas nebulizador 0,80 L/min; flujo del gas plasmógeno 15 L/min; potencia del ICP 1300 Watts; velocidad de la bomba peristáltica 1,5 L/min, realizando una dilución 1:10 de la solución anteriormente descrita, para posteriormente realizar las medidas, según las concentraciones estimadas. Los resultados de concentraciones se muestran en la (APENDICE C, Tabla C2).

### **3.2.3 Exactitud y precisión del método.**

Para comprobar la exactitud del método se analizaron tres materiales de referencia certificados (GEOLABS): Riolita (PER-1-242), Andesita (CHA-2-409) y Basalto (BAMAP-01-326) (APENDICE F) además fue corroborada con cuatro muestras analizadas en los laboratorios de ACTLAB (Canadá). La precisión del método fue comprobada mediante la norma NRBI/269 (1985), mejorada y aplicada en los laboratorios geocientíficos de Cuba y Venezuela actualmente.

### Variabilidad intrínseca de las muestras

La calidad de los datos, esta asociada al coeficiente de variación (CV):  $CV = S/X \times 100$  (S = desviación estandar, X = promedio) (Tabla 7). Este coeficiente fue usado para estimar la variabilidad de las muestras réplicas tomadas en un mismo punto de muestreo en campo, esta variabilidad se refiere a la variación debida a las diferencias naturales de las muestras que fueron tomadas en un mismo sitio al mismo tiempo.

**Tabla 7** - Determinación del coeficiente de variación de Pearson

Elemento químico	Coeficiente de variación en porcentaje	
	Año 2007 (Bo-032)	Año 2008 (Bo-051)
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	22	29
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	20	23
<b>MgO</b>	66	20
<b>MnO</b>	68	21
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	56	38
<b>TiO<sub>2</sub></b>	13	20
<b>SiO<sub>2</sub></b>	72	24
<b>Cr</b>	27	24
<b>Y</b>	53	27
<b>Zr</b>	72	42
<b>Nb</b>	90	42
<b>La</b>	78	23
<b>Hf</b>	62	42
<b>Ce</b>	73	25
<b>Nd</b>	77	24
<b>Th</b>	108	26
<b>U</b>	56	25

Al analizar estos datos se puede señalar que la variabilidad intrínseca promedio estimada para la muestra Bo-032 es de alrededor de 55 % y para la muestra Bo-051 de 25 %. Estos datos son de importancia para las consideraciones, extrapolaciones e inferencias que se realizarán en las interpretaciones.

### **3.2.4 Tratamiento estadístico**

El tratamiento estadístico aplicado, en esta investigación fue el Análisis Exploratorio de Datos (AED). Los detalles de este tratamientos y su relación con la construcción de los mapas geoquímicos se encuentran en el APENDICE A. Los datos presentaron diversos comportamientos, lo que requirió la aplicación de ciertos criterios de selección o modificaciones de los datos para la aplicación del tratamiento estadístico seleccionado (APENDICE A).

### **3.2.5 Generación de los mapas geoquímicos**

El modelo de mapa geoquímico establecido fue el de puntos (proporcionales) por su fácil elaboración e interpretación. El símbolo seleccionado fue el círculo; cada círculo es diferente en cuanto a tamaño y color, por ejemplo, los valores de fondo están representados por el color negro y son los más pequeños, las altas concentraciones fueron representadas en un círculo un poco más grande y de color azul y las anomalías con el círculo más grande y de color rojo. Cada punto revela la ubicación geográfica de cada muestra.

Para la elaboración de los histogramas, la información fue procesada por el software Statistica edición '99 y para la creación de las cajas gráficas, se utilizó una herramienta de aplicación adicional de Microsoft Excel 2003, llamada PTS Charts. Con esta información se elaboraron mapas temáticos de distribución de concentraciones para cada elemento analizado, para esto se utilizó el programa ArcGis v.8.0.

### **3.2.6 Criterios usados en la selección de las muestras anómalas para DRX.**

Tomando como referencia los contrastes entre los valores de fondo, altas concentraciones y anomalías que mostraron los mapas, se escogieron nueve muestras de las veinticinco que resultaron anómalas para Difracción de Rayos X (DRX), esta selección tomó como referencia la tabla de correlaciones elementales (APENDICE G, Tabla G1), para establecer asociaciones geoquímicas y también la ubicación geográfica de éstas dentro de la zona de estudio. La cantidad aproximada de muestra de concentrados de minerales pesados utilizada fue de 0,2 – 0,5g.

### 3.2.7 Separación magnética de las muestras anómalas.

Haciendo uso de las propiedades magnéticas de los minerales pesados se procedió a separarlos magnéticamente. Esta separación es de gran importancia debido a que al introducir varias fracciones la discriminación de minerales es más fácil. Para ello se utilizó la tabla de calibración del separador magnético Frantz dada por Hess en 1959 (Tabla 8) y se decidió separar en cinco fracciones (magnética manual, 1,2 amp, 0,8 amp, 0,4 amp, y la no magnética) no obstante, la cantidad de muestra, en algunos casos, fue una limitación y esas muestras solo se separaron en tres fracciones (magnética manual, 1,2 amp y no magnética) las técnicas aplicadas se exponen a continuación.

#### 3.2.7.1 Separación magnética manual

Consiste en acercar un imán a la muestra (Figura 12), protegido con un papel parafinado, para evitar que los granos se adhieran directamente al imán y facilitar la recolección de la fracción obtenida, en esta fracción se encuentran regularmente la magnetita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), la ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) y la pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$  con  $x$  entre 0 y 0,2 esto es debido a una solución sólida por omisión).



**Figura 12** - Separación magnética manual

#### 3.2.7.2 Separador isodinámico tipo Frantz

El equipo está compuesto por un riel con dos canales. En uno de ellos pasan los minerales no magnéticos o de menor susceptibilidad magnética y en el otro los minerales con mayor susceptibilidad magnética. Este riel se encuentra entre dos bobinas que generan un campo magnético variable controlado por un amperímetro.

La muestra se introduce por la parte superior del aparato en pequeñas porciones, los granos son interceptados por un borde que divide y dirige las dos fracciones en recipientes separados (magnéticos y no magnéticos); Este proceso se realiza varias veces cambiando el amperaje para cada fracción.

Existen diferentes maneras de utilizar el separador magnético Frantz ya que también se puede variar su inclinación de funcionamiento ( $20^\circ - 5^\circ$ ) y así aprovechar tanto el campo magnético del aparato como la fuerza de atracción de la Tierra, en la tabla de calibración dada por Hess (1959) Tabla 8 se puede verificar el ángulo de inclinación para cada fracción que se desee separar.

**Tabla 8** - Minerales separados por el Frantz de acuerdo a Hess (1959).

Pendiente del equipo $20^\circ$				Pendiente del equipo $5^\circ$	
A	B	C	D	E	F
<b>Magnéticos (Amperaje)</b>					
<b>Altamente magnéticos</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>
Magnetita	Ilmenita	Horblenda	Diopsido	Esfena	Circón
Pirrotita	Granate	Hipersteno	Tremolita	Leucoxeno	Rutilo
	Olivino	Augita	Enstantita	Apatito	Anatasa
	Cromita	Actinolita	Espinela	Andalucita	Brookita
	Cloritoide	Estaurolita	Estaurolita	Monacita	Pirita
		Epidoto	(Clara)	Xenotima	Corindon
		Biotita	Moscovita		Topacio
		Clorita	Zoisita		Fluorita
			Clinozoisita		Cianita
		(Oscura)	Turmalina		Sillimanita
			(Clara)		Anhidrita
					Berilo

Tomado de Bermúdez y Anaya, 2007.

### **3.2.8 Análisis mineralógicos**

El análisis mineralógico se realizó para nueve muestras anómalas.

#### **3.2.8.1 Difracción de Rayos X**

El montaje de las muestras dentro del instrumental se realiza mediante el método de la lámina de vidrio, en el cual las muestras una vez tamizadas, son pulverizadas de nuevo en un mortero de ágata, para luego ser esparcidas en un portaobjetos de vidrio, obteniendo finalmente una capa fina y homogénea de la muestra. Inicialmente las muestras son corridas en condiciones de rutina, utilizando radiación de lámpara de cobalto ( $\lambda=1,7902 \text{ \AA}$ ), con un rango de barrido entre (4 - 90)°, a una velocidad constante de 0,08 °/seg, sin filtros, en condiciones operativas estándar de 40 KV y 20 mA. El paso fue 0,02 ° y el tiempo por paso igual a 0,25 seg (métodos INGEOMIN). Los resultados obtenidos serán discutidos en el capítulo V de este trabajo.

#### **3.2.9 Elaboración de mapas de zonas anómalas**

Para la elaboración de los mapas de zonas anómalas, se utilizó el programa ArcGis v.8.0; la base de los mapas fueron vectorizadas previamente por el equipo del Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela de INGEOMIN. El mapa de zonas anómalas fue construido sobre la base de tres intervalos definidos por las cajas gráficas: fondo geoquímico, altas concentraciones y anomalías.

En esta etapa se consideraron las anomalías y altas concentraciones de los elementos analizados para cada muestra distribuida en la zona de estudio, utilizando como referencia la tabla de correlaciones elementales (APENDICE G) y en ciertos casos, los histogramas; se formularon asociaciones geoquímicas y espaciales y su posible correspondencia con la litología dominante en cada área anómala. Los análisis mineralógicos realizados, fueron correlacionados con las asociaciones establecidas en cada caso, lo que reforzó la delimitación de las zonas anómalas. La delimitación de las zonas anómalas, serán clasificadas según Xie, et al., 2004.



#### 4. ANTECEDENTES

A continuación se presentará una compilación de estudios relacionados con esta investigación:

**a) Bangerter, Gabrille. “Estudio sobre la petrogénesis de las mineralizaciones de Niobio, Tántalo y Estaño en el Granito Rapakivi de Parguaza y sus diferenciaciones, Venezuela, 1981.**

El estudio trata sobre las mineralizaciones de Nb-Ta-Sn y procesos de diferenciación del granito de Parguaza, el cual se encuentra ubicado la región noroccidental del Escudo de Guayana en Venezuela. En la clasificación petrográfica a base de estudios microscópicos se distinguieron dos tipos de granito rapakivi, el primero fue el clásico granito rapakivi de tipo viborgita, y la segunda variedad del granito de rapakivi, del tipo peterlita. En ambas variedades del granito rapakivi el principal mineral máfico es biotita, rica en hierro y titanio, frecuentemente cogenética e intercrecida con anfíbol hastingsítico verde. Los minerales accesorios más frecuentes son apatito, fluorita, circón y esfena, los minerales opacos son magnetita e ilmenita, frecuentemente intercrecidas con anfíbol y esfena. La diferenciación de granitos alcalinos y sienitas inmediatamente al norte de los cerros Boquerones hay afloramientos locales de rocas alcaligraníticas y sieníticas que constituyen una facies de borde de granito Rapakivi.

**b) Rodríguez, Eunice. “Geoquímica de los resistatos pesados del río Paragua, Edo Bolívar”. Caracas, 1984**

El objeto de este trabajo fue estudiar las características geoquímicas de las diferentes fases mineralógicas presentes en los resistatos pesados de la cuenca del río Paragua. El análisis mineralógico se realizó mediante la técnica Difracción de Rayos X (DRX), la composición química por medio de la técnica Fluorescencia de Rayos X (FRX) y las fracciones más pequeñas por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

Las fases mineralógicas que se encontraron en estos resistatos pesados presentan un tamaño de grano de fino a muy fino; se pudieron identificar los minerales presentes en cada fase mineralógica separada magnéticamente, destacándose principalmente ilmenorutilos, con un mayor contenido de Ti que de Fe,

en las fracciones magnéticas (0,2 A y 0,4 A) y circón con presencia de Hf, como accesorios se distinguen: rutilo, anatasa constituida principalmente de Ti, gahnita y la variedad ilmenítica magnesiánica. Las fracciones ligeras o no magnéticas (0,4 A y 0,8 A) presentaron señales de espinela de cinc  $Al_2O_4Zn$  que se conoce como gahnita.

**c) Torres, Juan. “Análisis geoquímico de los resistatos pesados de la hoya hidrográfica del río Paragua, estado Bolívar”, Venezuela. Caracas, 1984.**

En este trabajo se realizó un estudio sedimentológico de muestras relacionadas con la hoya hidrográfica del río Paragua (Bolívar), que involucra la granulometría, la textura y la mineralogía. El resultado global de estudio indica que los minerales livianos corresponden a arenas medias, formadas básicamente por cuarzo-anguloso-subanguloso y los minerales pesados corresponden a arenas finas, formada por una fase mineral correspondiente a una ilmenita alterada (ilmenorutilo o pseudorutilo), angulosa-subangulosa; en proporción mucho menor se encuentra circón.

Los análisis químicos de los resistatos pesados se realizaron por la técnica de espectrometría de Fluorescencia de rayos X, se analizaron los siguientes elementos Ti, Mn, Fe, Zr y Nb en 125 muestras del río Paragua; el tratamiento estadístico aplicado fue el Análisis Exploratorio de Datos y las fases minerales se analizaron por medio de Difracción de Rayos X. Sobre la base de los resultados obtenidos de la composición general de los resistatos pesados se tomaron los valores representativos (medianos) del sistema fluvial Ti (33,5%), Mn (1,05%), Fe (32,0%), Zr (0,60%) y Nb (0,022%). El estudio mineralógico indicó que la fase mineral liviana corresponde a cuarzo (Qz) y la fase mineral pesada a ilmenita (il) concluyendo que existe un equilibrio hidráulico entre las fases minerales de los sedimentos del río Paragua.

**d) Figueredo, Norma “Caracterización geoquímica de sedimentos fluviales provenientes de la zona septentrional del estado Bolívar”. Caracas, 1984**

Este trabajo contempla un estudio sedimentológico y geoquímico de muestras de sedimentos fluviales (limos-resistatos pesados) provenientes de las principales



hoyas hidrográficas de la zona septentrional del estado Bolívar, con fines de prospección geoquímica regional. Los elementos que se analizaron son los siguientes: mayoritarios, minoritarios (Si, Al, Fe, Mn, Ti, Na, K, Mg, Ca) y traza (Cu, Zn, Zr, Nb, Sr, Au). El análisis textural en los resistatos se llevó a cabo mediante un estereomicroscopio y la mineralogía por Difracción de rayos X (DRX), los análisis químicos por las técnicas de espectrometría de absorción atómica y fluorescencia de Rayos X.

Los resultados para los minerales livianos desde el punto de vista sedimentológico corresponden a arenas medianas-finas, angulosos-subangulosos mostrando un cierto grado de inmadurez textural y mineralógicamente presenta una sola fase: cuarzo esencialmente. En cuanto a los resistatos pesados, estos presentaron de igual manera una morfología subangulosa-angulosa y las fases mineralógicas mayoritarias son ilmenita e ilmenorutilo y en menor proporción circón, los elementos Fe (24,4 %), Ti (18 %) (estos valores se encuentran por debajo del valor de fondo) y Mn (1,20-2,71 %) son mayoritarios, el Zr (8 %) es minoritario y su mediana es 1,63 % y el Nb (44-194 ppm) se encontró como traza.

**e) Torres, Juan. “Exploración geoquímica regional de la Guayana Oriental, estado Bolívar, Venezuela”. Caracas, 1989.**

El objetivo de su trabajo fue establecer una información básica regional en la Guayana venezolana, a partir de la cual se pudieran diseñar programas de exploración de depósitos y reducir a un mínimo la inversión exploratoria. Se tomaron muestras de limos y resistatos pesados, la densidad de muestreo fue de una muestra cada 100 a 200 Km<sup>2</sup> tanto en la cuenca del río Cuyuní como en la del río Kukenan. Analizó para los limos depositados Cu, Pb, Zn por la técnica absorción atómica, mientras que en los resistatos pesados se analizó: Nb, Ta, Cr, Zn, Y, Hf, Th y U por medio de la técnica de Fluorescencia de Rayos X, también se realizó un estudio sedimentológico para completar la descripción de los diferentes tipos de muestras.

Estas dos cuencas (Cuyuní y Kukenan) presentaron en sus arenas fluviales, limos 90-99% de cuarzo, con el complemento mineralógico de la goethita y la caolinita, los minerales accesorios son la ilmenita y el circón, donde estos últimos



presentan forma irregular y son poco redondeados. Con respecto a los resistatos pesados se reveló que en la parte sur de la Provincia Geológica Roraima existen concentraciones anómalas provenientes posiblemente de diques de diabasa (Formación Cuchivero, Provincia Pastora) y en la cuenca del río Cuyuní, en su parte baja y alta, de forma análoga se consiguen anomalías de resistatos pesados, cuya proveniencia puede estar relacionada con rocas volcánicas máficas y félsicas, rocas sedimentarias, así como la presencia de cuerpos graníticos. En ambas cuencas se detectaron varias zonas anómalas. La mineralogía para los minerales pesados está esencialmente representada por la fase ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) (90-100%) y por la fase circón ( $\text{ZrSiO}_4$ ) (0-10%); también pueden encontrarse fases como magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) y concreciones de óxidos de hierro.

**f) Menéndez, G. Gonzalo. A. “Uso de fracciones magnéticas y no magnéticas de minerales pesados en sedimentos de río para la prospección geoquímica del Alto Paragua Estado Bolívar Venezuela”. Caracas, 1992.**

El objetivo de esta investigación fue evaluar el uso de fracciones magnéticas y no magnéticas de sedimentos de río. Se recolectaron 29 muestras entre los ríos Paragua, Carún y Antabará en el estado Bolívar. Los análisis cualitativos se llevaron a cabo por medio de la técnica de Fluorescencia de Rayos X determinando la presencia de Ti, Zr, Mn, Sr, Zn, Y, Fe y Nb en las fracciones: Muy magnética (MT), magnética (M), poco magnética (PM), muy poco magnética (MPM) y no magnética (NM), adicional a estos elementos se encontraron Sn, U, Th, Pb, Hf, La, P, Sb y Al en la fracción NM.

Los valores de concentración revelaron que se trata de una matriz ilmenítica. Mayoritarios Fe (24,7%), Ti (27 %), Mn (0,66%), en ilmenita pura Fe (36,8%) y Ti (31,57%) minoritarios y traza Zr (0,16%), Si (0,17%), Nb (285 ppm), Y (<150 ppm), Zn (195 ppm), Sr (<50 ppm). Los elementos U y Th se muestran en pocos cientos de ppm, el La (350 ppm) se considera una alta concentración.



**g) Moreno R. Jorley, “Estudio geoquímico de los minerales pesados de los ríos que drenan las rocas del Complejo de Cuchivero, de los estados Bolívar y Amazonas”, Venezuela, Caracas 1996.**

En este trabajo se realizó la caracterización mineralógica y granulométrica de los minerales pesados presentes en los sedimentos de los ríos que drenan las rocas del Complejo Cuchivero, de los estados Bolívar y Amazonas. Se recolectaron muestras de sedimentos con batea en los ríos, las muestras de minerales pesados fueron fraccionadas y separadas por bromoformo, las muestras de sedimentos total fueron separadas solo aquellas fracciones que contenían alto porcentaje (>90%) de minerales pesados que corresponden a la fracción 35-60 mallas, 120-230 $\mu$ m, y <230mallas. Los resultados obtenidos arrojaron que el sedimento total contiene una concentración de minerales pesados entre 0,60% y 6,41%, el análisis granulométrico mostró que más del 90% de la masa de concentraciones de minerales pesados se encuentra en las fracciones 35-60 mallas, cabe destacar que esta fracción se obtuvo a través de un separador isodinámico tipo Frantz. El análisis mineralógico se realizó por Difracción de Rayos X y permitió identificar los minerales de las diferentes fracciones magnéticas: magnetita, hematita (0,05 amp), ilmenita, pseudorutilo (0,4 amp), hastingsita, pseudorutilo, ilmenita (0,8 amp), monacita, rutilo, circón (1.2 amp y 1.6 amp) y circón no magnético. La distribución mineralógica determinó que la zona del estado Bolívar tiene concentraciones de hastingsita mayores y de pseudorutilo menores y el estado Amazonas se observó la desaparición del anfíbol y también el incremento considerable de pseudorutilo.

**h) Garban g. Grony. “Estudio geoquímico de los sedimentos pesados en el área de Santa Bárbara- San Isidro-El Grillero, estado Bolívar, Venezuela”. Caracas, 1998.**

Se llevó a cabo un estudio geoquímico sobre sedimentos pesados procedentes de drenajes sedimentológicamente activos, pertenecientes al área de las ciudades Piar-Santa Bárbara-San Isidro-El Grillero en el estado Bolívar, con el fin de determinar mineralizaciones auríferas u otras y establecer la relación que guarda con la litología predominante. Para la interpretación de los resultados se estableció dos poblaciones



de sedimentos pesados distinguibles por la litología, se le denominó población A, a la litología de anfibolitas y gneises cuarzo-feldespático-piroxénicos y población B a las cuarcitas ferruginosas-gneises cuarzo-feldespáticos. Por medio de la técnica de Activación Neutrónica se logró estimar los valores de las concentraciones de los elementos y por medio del Análisis Exploratorios de Datos se obtuvo el valor umbral superior (US), con esto se tiene: Fe, US (41,7%) resultando cuatro muestras anómalas con valores (44,4-48,9%) para la población A y US (62,3%) para la población B, donde no hay muestras anómalas; Hf, US (450ppm) con valores de (3-660ppm) y para la población B el 25% de las muestras estaban por debajo del límite de detección; Ta para la población A US (1200ppm), resultando cinco muestras anómalas con valores (1400-2400ppm) y para la población B el 50% de las muestras estaban por debajo del límite de detección; Th para la población A, US (720ppm) resultando cuatro muestras anómalas con valores (950-2100ppm) y para la población B US (1400ppm) resultando ocho muestras anómalas con valores (1800-6000ppm); Ce para la población A, US (1480ppm) mostrando cuatro muestras anómalas con valores (2250-4700ppm) y para la población B, US (6000ppm) resultando once muestras con valores (1740-9800ppm); La para este se tomó la población total y el US (2260ppm) resultando nueve muestras anómalas con valores (2930-5990ppm); Nd para la población total el US (881ppm) donde resultaron cuatro muestras anómalas con valores (881-2410ppm). Para el análisis mineralógico se escogieron 20 muestras de sedimentos pesados de la población A y 12 de la población B, con el imán de mano se separó una fracción no magnética y otra magnética, a las cuales se le efectuó la descripción visual por medio de la lupa y un microscopio petrográfico, para luego ser analizadas por el equipo de difracción de rayos x, resultando de la fracción no magnética minerales como: monacita, circón y cuarzo; y para la fracción magnética los minerales reconocidos fueron hematita y magnetita.

- i) Pasquali Z. Jean. “Cartografía Geoquímica de Venezuela. Parte I. Elementos Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, Mn Y S en Sedimentos Fluviales Finos, Venezuela 2000.**



El estudio se refiere a la cartografía geoquímica de Venezuela de los elementos Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, Mn y S en sedimentos fluviales finos, con el objetivo de determinar la composición química de los sedimentos acarreados por los ríos de orden 8, para así examinar dicha composición con relación a su distribución geográfica y otras variables. Se recolectaron 102 muestras que representan el 75% de la superficie de la nación, la fracción menor de 120 mallas, los elementos fueron analizados por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma con Argón Inductivamente Acoplado (ICP-OES) ( $\text{SiO}_2$ ), Absorción Atómica ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ) y analizador de azufre (S). Los resultados analíticos son presentados en forma de tablas, mapas de distribución e histogramas. Las concentraciones promedio encontradas son:  $\text{SiO}_2$  72,2%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  13,7%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  4,12%,  $\text{MgO}$  0,53%,  $\text{CaO}$  1,08%,  $\text{Na}_2\text{O}$  0,98%,  $\text{K}_2\text{O}$  1,78%,  $\text{TiO}_2$  1,22%,  $\text{MnO}_2$  0,11% y S 280 ppm, estos datos permitieron encontrar anomalías en la zona oeste del estado Bolívar en Fe, Ti, K y Mn. También se encontraron altas concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y S que pueden ser indicios de la actividad humana.

**j) Garban, Grony. “Estudio de anomalías de tántalo en el área del Grillero-El Café, estado Bolívar, Venezuela” Caracas, 2001.**

El objetivo principal de esta investigación es el estudio geoquímico de diversos tipos de muestras (fracción de resistatos pesados, suelos y muestras en rocas) con la intención de delimitar y establecer las rocas que le dieron origen a las anomalías de tántalo presentes en una área de  $30 \text{ km}^2$  ubicada en las cercanías de los caseríos de El Grillero-El Café, estado Bolívar. A través de la técnica de análisis instrumental por activación neutrónica (INAA), Espectroscopia de Emisión con Plasma Inductivamente Acoplado (por sus siglas en inglés ICP-OES) y Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado por Inducción (por sus siglas en inglés ICP-MS), se obtuvo el valor mínimo y máximo en ppm para elementos de resistatos pesados como: Ce (<3-7250 ppm), Hf (4-1700 ppm), La (5-5790 ppm), Nb (157-2430 ppm), Nd (<10-1950 ppm), Th (1,6-3290 ppm), U (<0,5-182 ppm), Zr (200-30547 ppm), Y (<2-55,5 ppm), Ta (14-1700 ppm), Cr (<10-577 ppm); valores mínimos y máximos en % Fe (19,6-47,6 %), P (0,001-0,187 %), Ti (7,29-11,84 %).



De los resultados obtenidos se pudo establecer que los resistatos pesados muestran un valor de fondo local, para las concentraciones de tántalo de alrededor de 300 ppm, con un valor de fondo regional de 1,5 ppm, esto permite proponer el área estudiada como zona anómala. Por medio de la técnica de Fluorescencia de Rayos X, se pudo establecer que las principales fases que están aportando las anomalías de Tántalo, están constituida por una mezcla de óxidos de Nb-Ta pertenecientes al grupo de la columbita-tantalita, los cuales muestran signo de alto grado de fraccionamiento.

**k) Herrera, María A. “Caracterización geoquímica de los minerales pesados provenientes de la cuenca del río Aro, estado Bolívar, Venezuela”, Caracas, 2004.**

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar geoquímicamente los minerales pesados, tomados en la cuenca del río Aro, estado Bolívar, Venezuela, con la finalidad de generar información sobre su distribución, textura y composición mineralógica. Utilizó el método hidrodinámico para separar los minerales pesados, realizó la separación en fracciones magnéticas por el separador isodinámico tipo Frantz y los análisis mineralógicos por Difracción de Rayos X. La composición mineralógica incluye ilmenita, hematita, magnetita, casiterita, circón, edenita, hornablenda, granate, rutilo, oro, diamante, gorceixita, monacita, anatasa y titanita. La madurez de los minerales pesados en términos de esfericidad y redondez es de poco avanzada a moderada.

**l) Jiménez, Yalimay “Cartografía geoquímica de las cuencas de los ríos Caura y Aro, a través de sedimentos fluviales, con fines prospectivos”. Caracas, 2004.**

Este trabajo se realizó con el propósito de contribuir con la exploración del Escudo de Guayana, mediante el estudio geoquímico de 55 muestras de sedimentos finos depositados en las cuencas de los ríos Caura y Aro, con el fin de determinar áreas potenciales, que pudieran estar asociadas a depósitos minerales. Se analizaron los elementos Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Ba, Mo, Fe y Mn, en la fracción correspondiente a los limos y arcillas ( $< 63 \mu\text{m}$ ), la técnica utilizada fue Espectrometría de Emisión

Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado ICP-EAS y la caracterización mineralógica de nueve muestras por la técnica de Difracción de Rayos X (DRX).

Los resultados del análisis químico indicaron que, en la cuenca media del río Caura, existen cinco áreas potenciales, asociadas posiblemente a depósitos de sulfuros masivos, depósitos de cobre y níquel y a mineralizaciones hidrotermales de barita o carbonatitas enriquecidas en Ba. Los valores de las concentraciones son los siguientes Mn (16-2750 ppm), Cu (4-206 ppm), Cr (1-105 ppm), Zn (14-197 ppm), Mo (3-26 ppm), Ba (4-252 ppm), Co (8-166 ppm), Fe (1-19 %), Ni (<7-39 ppm).

Por su parte, la cuenca norte del río Aro, presentó tres áreas importantes, la primera se encuentra cerca del cerro La Esperanza, posiblemente relacionada con depósitos de cobre y níquel, mientras que las otras dos: río Arizo, y la cuenca sur del río Aro, presentan depósitos asociados a rocas félsicas y máficas (dado la presencia de anomalías de Ba y Cr), y de depósitos de Fe-Mn, respectivamente. Los valores de las concentraciones son los siguientes Mn (239-1904 ppm), Cu (12-58 ppm), Cr (21-98 ppm), Zn (27-115 ppm), Mo (4-16 ppm), Ba (37-407 ppm), Co (14-50 ppm), Fe (2-15%), Ni (<7-52 ppm). La composición mineralógica predominante para todas las muestras, es cuarzo y caolinita; la cuenca del río Caura presentó minerales como la gibbsita, lo que indicó que los estados de meteorización a los que han sido sometidas las muestras, son intensos, reflejando, en general, un empobrecimiento en los elementos analizados, en comparación con la cuenca del río Aro.

**m) Jiménez, Yalimay. “Prospección geoquímica de la cuenca del río Hato Sucio, municipio Heres estado Bolívar, Venezuela”. Caracas, 2009.**

El objetivo principal del trabajo fue la realización de un estudio de prospección, a través de sedimentos finos depositados, concentrados de minerales pesados y muestras de rocas en la cuenca del río Hato Sucio, tributario del río Carapo, afluente del río Aro, estado Bolívar, Venezuela. Los análisis químicos fueron realizados por la técnica de Activación de Neutrones, para los tres tipos de muestras recolectadas. Los resultados obtenidos arrojaron seis zonas anómalas relacionadas posiblemente con mineralizaciones de Mn, segregaciones de sulfuros, vetas de Au-



cuarzo bajas en sulfuro y enriquecidas en elementos de Tierras Raras (TR). Los minerales pesados en drenajes presentan un enriquecimiento en elementos de Tierras Raras Ligeras (TRL) Ce (77-7740ppm), La (6-7740ppm) y Nd (34-2720ppm), Th (5-5800ppm) y U (13,6-1210ppm) cuya naturaleza podría estar relacionada con la presencia de rocas alcalinas (granitos albitizados, albititas y fenitas). La fase mineral estimada ha sido el apatito, la esfena y probablemente la monacita.

**n) Manrique C. John. “Determinación de torio y uranio por espectrometría gamma en minerales pesados de sedimentos del río Arizo, estado Bolívar, Venezuela”. Caracas, 2009.**

El trabajo consistió en la determinación de Torio y Uranio en muestras de minerales pesados del río Arizo, estado Bolívar, la técnica utilizada fue Espectrometría Gamma, los isótopos detectados fueron: Pa <sup>234</sup>, Pb <sup>214</sup>, Bi <sup>214</sup> para la serie de U<sup>238</sup> y Ac<sup>228</sup>, Pb<sup>212</sup>, Bi<sup>212</sup> y Ti<sup>208</sup> para la serie del Th<sup>232</sup>. Se detectó que la serie del Th<sup>232</sup> se encuentra en equilibrio secular en las muestras de minerales pesados; la actividad del U<sup>238</sup> no se pudo determinar al no poder establecerse la existencia del equilibrio secular en la serie, para todas las muestras. Por medio, de Difracción de Rayos X en los minerales pesados, se pudieron identificar dos grupos, los minerales magnéticos conformados por óxidos de hierro y titanio como: ilmenita, rutilo, magnetita, hematita, goethita, lipscombite y crosita; y los minerales no magnéticos en su mayoría fosfatos de tierras raras, torio y uranio, en monacita y xenotima; óxido de circonio y torio en el circón y la torita; feldespatos como microclino y otros minerales como tremolita, clinocloro y cuarzo.

**o) Pisapia G., Alessandra. “Estudio petrográfico de las rocas metamórficas de la Provincia Imataca, en la parte norte de la cuenca del río Aro, estado Bolívar, Venezuela”. Caracas, 2004.**

El presente trabajo está basado en el estudio petrográfico de las rocas metamórficas de la Provincia de Imataca en la parte norte de la cuenca del río Aro, estado Bolívar, con el fin de establecer las distintas unidades litoestratigráficas que la integran, así como su descripción. Mediante el estudio petrográfico se encontraron siete unidades litológicas: 1) gneises cuarzo-feldespático, ocupa un 26% de la

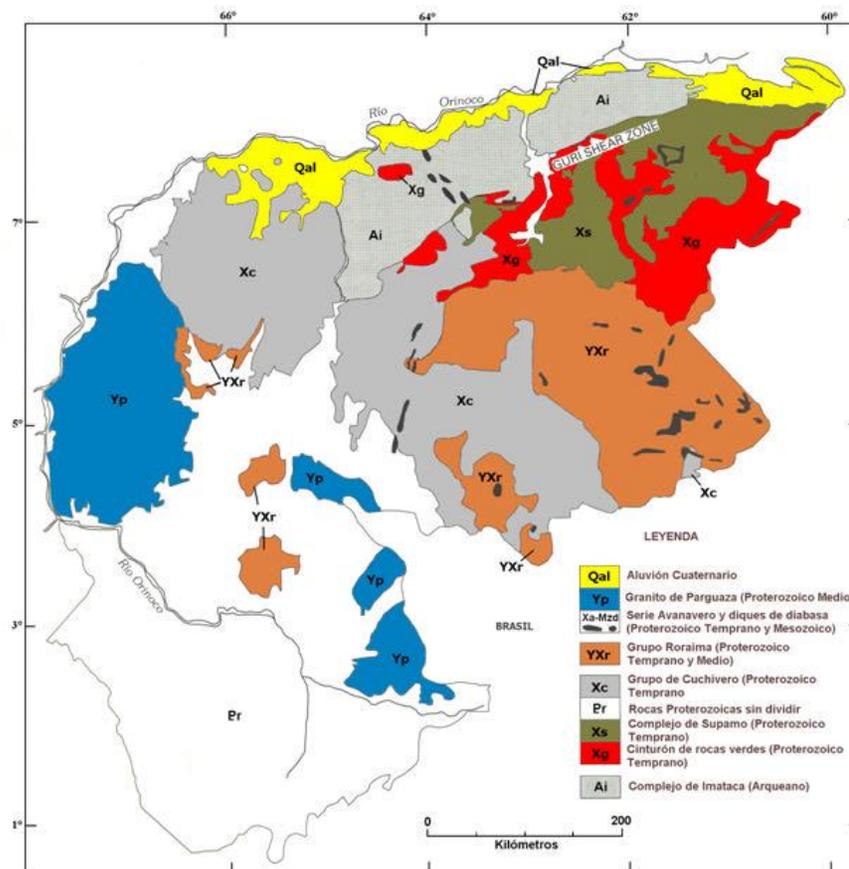
litología que aflora en la zona; 2) rocas ígneas máficas, ocupa el 24% del total de la litología que aflora en la cuenca del río Aro y se constituye por diabasa y diabasa gabroides; 3) granitoides, ocupa el 21% de la litología que aflora en la zona de estudio y lo constituyen monzogranitos foliados y con hornblenda, granitos de feldespatoalcalino y tonalitas; 4) migmatitas ocupa el 10% de la litología que aflora en la zona; 5) gneises máficos ocupa el 10% de la litología que aflora en la cuenca del río Aro, constituida por anfibolitas; 6) meta-sedimentaria ocupa el 6% de la litología que aflora en la cuenca del río Aro y la constituyen cuarcitas, cuarcitas ferruginosas y esquistos miloníticos cuarzo-micaceos; 7) rocas volcánicas ocupa el 3% de la litología que aflora en la zona y esta constituida por riolitas porfídicas. Mediante el método emisión de plasma inductivamente acoplado (por sus siglas en inglés ICP-MS) se pudo determinar que los monzogranitos y granitos fedelspatoalcalino que afloran en la zona de estudio, exhiben una distribución de componentes mayoritarios bastante regular CaO (1,25 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,78 %), TiO<sub>2</sub> (0,36 %), MgO (0,39 %), Na<sub>2</sub>O (2,90 %), K<sub>2</sub>O (5,35 %) y las concentraciones de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varían entre 11,6 y 13,98 %. En los elementos trazas Zr (483 ppm), Y (35 ppm), Nb (30,8 ppm).

**p) Quevedo Jhonny. “Análisis mineralógico y químico de minerales pesados de sedimentos de la cuenca del río Aro, estado Bolívar, Venezuela. Caracas, 2009.**

El trabajo presenta el estudio mineralógico y químico de minerales pesados provenientes de sedimentos fluviales de la cuenca de río Aro, con el fin de determinar fases minerales que contengan concentraciones de uranio (U), torio (Th), lantano (La) y cerio (Ce) y la distribución de los mismos. Mediante el uso de técnica de análisis visual, microscopia electrónica de barrido con acoplamiento de un Espectrómetro de Difracción de Rayos x (MEB-EDX) y Difracción de Rayos X (DRX), se obtuvo que la monacita es el mineral que aporta las concentraciones más altas de Th, Ce y La; distribuyéndose de manera homogénea dentro de los granos, lo que lleva a pensar que el proceso de formación fue uniforme. El U solo se detectó en inclusiones de uraninita dentro de los granos de circón, como también torita en monacita y circón, y torianita en monacita.

## 5. GEOLOGÍA REGIONAL

El Escudo de Guayana ubicado al sur del Río Orinoco, ocupa alrededor del 50% de la superficie de Venezuela, con rocas antiguas de hasta 3,41 Ga (granulitos y charnockitas del Complejo de Imataca) y tan jóvenes como 0,711 Ga (kimberlitas eclogíticas de Guaniamo), que exploran en buena parte una evolución geotectónica similar a la de otros escudos precámbricos en el mundo. Este se compone, en particular, de las provincias geológicas de Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima (más antigua a más joven) (Figura 13), forma parte del Cratón Amazónico del Precámbrico de Sur-América, que se extiende por el norte de Brasil, las Guayanas, restos precámbricos de Colombia y de Bolivia; el cual se encontraba unido a África Occidental hasta la ruptura de Pangea, hace unos 200 Ma. (Mendoza, 2000).



**Figura 13** - Provincias geológicas del Escudo de Guayana Venezolano. Tomado de Sidder y Mendoza 1995, editada por Jiménez, 2009.



### 5.1 Provincia Geológica de Imataca

La Provincia de Imacata se extiende en dirección SW-NE desde las proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco por unos 550 km y en dirección NW-SE aflora desde el curso del río Orinoco hasta la Falla de Guri en unos 80 km (Mendoza, 2000).

Litológicamente, la Provincia de Imataca está formada por gneises graníticos, granulitas félsicas, anfibolitas, granulitas máficas y ultramáficas, también con cantidades menores de formaciones bandeadas de hierro (por sus siglas en inglés BIF) tipo Algoma, dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes (El Torno-Real Corona). Imataca es la provincia del hierro y en ella Ascanio (1985), distinguió, según el tamaño de grano, tres grandes tipos de depósitos de hierro que son los siguientes: El Pao, Las Grullas que son depósitos de hierro de grano grueso, cerro María Luisa con depósitos de hierro de grano medio y Cerros Bolívar, San Isidro, Los Barrancos, El Trueno, Altamira, Redondo, Toribio, Arimagua, etc, los cuales son depósitos de hierro de grano fino. El Distrito San Isidro tiene como basamento de las BIF anfibolitas, gneises piroxénicos y gneises tonalíticos (Mendoza, 2000).

Las BIF representan menos del 1% del volumen total del Complejo Imataca y su espesor varía entre pocos centímetros hasta 200 metros por plegamiento apretado y fallamiento inverso. Capitas de cherts o jaspilitas alternan con capas ricas en hematita y magnetita. Los minerales principales son hematita, magnetita y cuarzo o chert, los minerales accesorios son silicatos de Fe, anfíbol sódico y piroxeno (Mendoza, 2000). Las BIF tipo Algoma del Arqueozoico son buenas guías exploratorias mundialmente para oro singenético, como en Homestake (Sur Dakota, USA) y Lupin (NW Territories, Canadá), a lo largo de zonas de cizallas y vetas de relleno. Pero las rocas de Imataca alcanzaron un alto grado metamórfico. En este caso el oro, en gran parte como depósitos hipo y mesotermes, contenidos en estos primitivos Cinturones de Rocas Verdes (CRV), fue llevado a niveles más superiores, en fluidos hidrotermales metamórficos, por desgasificación (pérdida de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O) de las granulitas, y/o magmático, durante la migmatización y anfibolitización, siendo precipitado y



removilizado una o más veces en los más jóvenes y suprayacentes CRV tipo Pastora; y más tarde durante la granulitización de Imataca, llegando, incluso parte de ese oro a precipitar en los CRV más superiores, tipo Botanamo, Provincia Pastora.

El metamorfismo registrado de alto grado decrece desde la Mina de Hierro de El Pao, con granulitas de piroxenos en charnockitas, anortositas y granulitas máficas, hacia la zona de Guri donde se encuentran anfibolitas, migmatitas, rocas graníticas, con granate-cordierita-sillimanita. Estas rocas de alto grado metamórfico se interpretan como Cinturones de Rocas Verdes (CRV) evolucionados primitivos con complejos graníticos potásicos y sódicos, varias veces tectonizados y metamorfizados hasta alcanzar las facies anfibolita y granulita para así sufrir parcialmente metamorfismo retrógrado, registrando toda la historia evolutiva del escudo (Mendoza, 1974).

Según Mendoza (2000), La Provincia de Imataca registra más de seis dominios tectónicos, separados entre si por grandes fallas tipo corrimientos. Internamente el plegamiento es isoclinal con replegamiento más abierto. En la parte norte, los pliegues tienen rumbo NW mientras que en la parte sur la tendencia dominante de los pliegues es N 60-70 E que es la que predomina regionalmente, es decir aproximadamente paralelas a la Falla de Guri, siendo esta el rasgo tectónico más relevante del Escudo de Guayana, separa las provincias de Imataca al norte de Guri y Pastora al sur. Esta es una falla muy antigua, que se ha comportado desde entonces como una falla pasiva, inactiva y su evolución se postula como sigue:

1. 2.400 M.a. Rift continental de Guri.

Comienzan a separarse Imataca y Kanukú y entre ellos se va formando y desarrollando un océano donde se originaron los CRV de Pastora y Barama-Mazaruni.

2. 2.150 - 1.960 M.a. Orogénesis Transamazónica.

Cierre del océano Pastora. Choque de placas de Pastora versus Imataca. Guri actúa como una zona de sutura. Se produce la granulitización de las rocas de Imataca y metamorfismo Formación Esquistos Verdes a Anfibolita en los CRV más antiguos de Pastora.

### 3. 1.900 - 1.700 M.a. Orogénesis post-Transamazónica.

Choque de tres o más placas continentales (Imataca, Pastora, Cuchivero). La zona del triple choque de placas origina el Frente Tectónico Caura y fracturas paralelas (Caroní, Cuhivero, Parguaza, Cabruta, etc.) que desplazan a la Falla de Guri, siendo la parte Sur, en Amazonas, de rocas tipo Cuchivero, metamorfizada al nivel de la Formación Esquistos Verdes.

### 4. $1.200 \pm 200$ M.a. Orogénesis Nickeriana.

Choque del megabloque Imataca-Pastora-Cuchivero-Parguaza-Roraima con el megabloque Maroni-Itacaiuna-Río Negro-Jurena (Brasil), Miti-Garzón (Colombia). Se produce la intensa removilización, cizalla y cataclasis (seudotakilitas) de la Falla de Guri, metamorfismo retrogrado bajo FEV, algunas intrusiones de aplitas y pegmatitas.

### 5. 800-300 M.a. Cruce de fallas Cabruta-Guri. Se emplazan carbonatitas.

En el cruce de fallas Cabruta y prolongación de Guri se emplazaron carbonatitas y cerca de esa intersección en la falla Cabruta se emplazan kimberlitas diamantíferas intrusivas en la Provincia Cuchivero en 711 Ma y lamprófiros de 850 Ma.

### 6. 210-190 M.a. Apertura Océano Atlántico.

Guri se comporta como una falla de transformación en la parte oceánica y como falla inversa de ángulo alto (Imataca sobre Pastora) en la parte continental. La Falla de Guri está alineada con la Falla Sassandra-Trou del Escudo Leo en África Occidental. A su vez Sassandra-Trou se continúa o es equivalente con la Falla Zednes en el Escudo Reguibat de África Occidental. A lo largo de esta gran falla se emplazaron diabasas, rocas gabroides y posiblemente rocas ultramáficas del manto superior

### 7. 100 M.a. Levantamiento, erosión, quietud tectónica.

Guri se ha comportado desde entonces como una falla pasiva, inactiva.

## **5.2 Provincia Geológica de Pastora**

La Provincia Pastora se extiende desde la Falla de Guri al norte hasta las proximidades del Parque Nacional Canaima al sur, por el este hasta los límites con la



Zona en Reclamación del Esequibo y al oeste hasta el río Caura. Está formada por el Cinturón de Rocas Verdes (CRV) del Grupo Carichapo y Botanamo, con complejos graníticos sódicos, como el Complejo Supamo, siendo toda la secuencia intrusionada por granitos potásicos, dioritas y rocas gabroides con complejos máficos-ultramáficos, ofiolíticos. Los CRV más antiguos muestran tendencias estructurales próximas a NS (N10°E a N20°W), mientras que los CRV más jóvenes casi siempre muestran tendencias en ángulo recto con las anteriores, próximas a E-W (N 70°- 80° E) (Mendoza, 2000). Sin embargo, para muchos geólogos brasileros (Cordani y otros, 2.000; Tassinari y otros, 2.000), basados en cientos de determinaciones de edades radiométricas, las provincias Imataca y Pastora las incluyen en una sola provincia geocronológica denominada Maroni-Itacaiúnas, la cual limita al norte con el Río Orinoco, al oeste con rocas sedimentarias del Grupo Roraima y volcánico-plutónicas del Grupo Uatumá (equivalente al Grupo Cuchivero), y las rocas de la Provincia Ventuari-Tapajós, la limitan en el Estado de Roraima; al Sur está limitada por el Escudo Guaporé.

### **5.2.1 Supergrupo Pastora:**

En la región de Guasipati-El Callao aflora una buena sección del *Supergrupo Pastora* (Menéndez, 1968, 1989) CRV antiguo, constituido por el *Grupo Carichapo* y la *Formación Yuruari*.

5.2.1.1 El Grupo Carichapo esta compuesto de las formaciones Cicapra, predominantemente komatítica, Formación Florinda, basáltico tholeítica a komatítica, y Formación El Callao, típicamente basáltico-andesítica tholeítica. La presencia de basaltos komatíticos, sugiere que el CRV de Pastora se formó sobre una pluma de calor del manto superior en una placa oceánica, formando parte de un arco de islas, con abundancia de basaltos toleíticos oliviníferos o magnesianos (Mendoza, 2000). Kalliokoski (1965), estableció la Formación Carichapo como una unidad compuesta principalmente de anfibolitas metamorfizadas de derivación volcánica, con intervalos menores de rocas metasedimentarias.



5.2.1.2 La Formación Yuruari se compone litológicamente de filitas, esquistos y metatobas félsicas, metalutitas negras de hasta 50 metros de espesor, los esquistos y filitas de esta formación no parecen ser metasedimentarios, sino tobas y lavas félsicas (dacíticas y riódacíticas) metamorizadas. Geomorfológicamente ocupa colinas bajas y sabanas, con vegetación tipo chaparros, con suelos lateríticos de colores amarillentos a algo rojizos (Mendoza, 2000).

5.2.1.3 Grupo Botanamo: Benaím (1972) lo definió al sur de la región de Guasipati conformado por las formaciones Caballape y Los Caribes; la Formación Caballape, caracterizada principalmente por rocas epiclásticas volcánicas y la Formación Los Caribes es una secuencia de sedimentos rojos bien estratificados, filitas, areniscas de grano fino, limolitas y conglomerados polimícticos, interestratificados con lavas y brechas piroclásticas ácidas e intermedias (Mendoza, 2000).

5.2.1.4 El Complejo Supamo fue calificado por Moreno y Mendoza (1975, 1977) como un conjunto de rocas graníticas intrusivas tales como tonalitas, tronjemitas, granodioritas cuarzo-monzonitas, gneises y migmatitas. Estos granitos, forman domos expandidos y arqueados como los domos de El Manteco, Santa Justa y otros, contra los apretados y replegados sinformes de CRV. Geomorfológicamente forman áreas bajas y planas, sabanas, con escasa vegetación y suelos muy arenosos, ricos en cuarzo y en vetas de cuarzo estériles (Mendoza, 2000).

### **5.3 Provincia Geológica de Cuchivero**

Esta provincia geológica tiene su mayor desarrollo en la parte occidental del estado Bolívar, al este del río Caura. Mendoza (1972), usó el nombre de Grupo en vez de Asociación e introdujo el nombre de Supergrupo Cedeño para incluir dos conjuntos de rocas ígneas ácidas no comagmáticas; el Grupo Cuchivero (más antiguo) y el Grupo Suapure (más joven), constituido este último por los granitos de Pijiguaos y El Parguaza.



### **5.3.1 Supergrupo Cedeño**

El Supergrupo Cedeño se define como una unidad litoestratigráfica volcano-plutónica ácida no comagmática que comprende los Grupos Cuchivero y Suapure separados entre sí por metabasitas. El Supergrupo Cedeño se extiende en dirección E-O desde las proximidades del Río Caura hasta Puerto Páez y en dirección N-S desde el río Orinoco en su tramo NE hasta el Río Ventuari; es decir que abarca todo el distrito Cedeño del estado Bolívar y Amazonas.

#### **5.3.1.1 Grupo Cuchivero**

Martin Bellizzia (1968) propuso designarles el término Grupo Cuchivero. Rios (1969) siguió a McCandless (1965) y en estudios semi-detallados incluyó en su "Asociación Ígnea Cuchivero" (de más antiguo a más joven) a la Formación Caicara, el Granito de Guanamito, el Granito de Santa Rosalía y el Granito de San Pedro, basado en edades absolutas y de formación tectónica.

5.3.1.1.1 Formación Caicara: De acuerdo a Rios (1969) está constituida por lavas tobáceas y brechas ácidas de color gris oscuro y granito fino, micro y macroporfídicas, moderada a extremadamente foliadas, plegadas y falladas. A pesar de tal deformación las estructuras de flujo y la estratificación ígnea originales se reconocen fácilmente.

5.3.1.1.2 El Granito de Santa Rosalía es masivo a semi-foliado, plutónico de grano medio a muy grueso, generalmente equigranular, constituido esencialmente por cuarzo (29% por volumen) feldespato potásico-pertita (35.5%), plagioclasa: oligoclasa (26%); biotita marrón pleocróica (2%); escasa, hornblenda (4%), accesorios y secundarios (titanita, apatito, epidoto, clorita, opacos y otros).

5.3.1.1.3 El Granito de San Pedro podría equivaler a las intrusivas menores ácidas en el área del río Cuchivero (Rios, 1969), que también intrusionan a las volcánicas.

5.3.1.1.4 El Granito de Guanamito es un granito gnéisico, porfídico, de grano grueso, constituido por cuarzo (10 - 30%), biotita (1 - 8%), feldespato alcalino (65%) y hornblenda (0 - 4%),  $\pm$  titanita, circón  $\pm$  apatita y minerales opacos.

En general, la Provincia Cuchivero equivale o forma parte de la Provincia Ventuari-Tapajós la cual ocupa una porción occidental del Cratón Amazónico y está formada por una serie de arcos magmáticos de edad 1.98-1.88 Ga y que se caracteriza por un marcado por una tendencia tectónica NW-SE desde los Ríos Cuchivero-Ventuari hacia el río Tapajós y consiste esencialmente de rocas granitoides calcoalcalinas (Tassinari y otros, 2.000) y su basamento en el sur del Escudo de Guayana en Venezuela son gneises tonalíticos y migmatíticos similares a las de los Complejos de Supamo y Bártica, pero recrystalizados y que dan edades de solo 1.75 Ga a 1.83 Ga para los Gneises de Minicia - Macabana y cuarzo-dioritas de Atabapo, respectivamente.

### **5.3.1.2 Grupo Suapure**

El Grupo Suapure lo conforman según Mendoza (1974), el Granito de Pijiguaos y el Granito de Parguaza, considerablemente expuestos en los domos de los Pijiguaos, al oeste del río Suapure, paso de San Pedro.

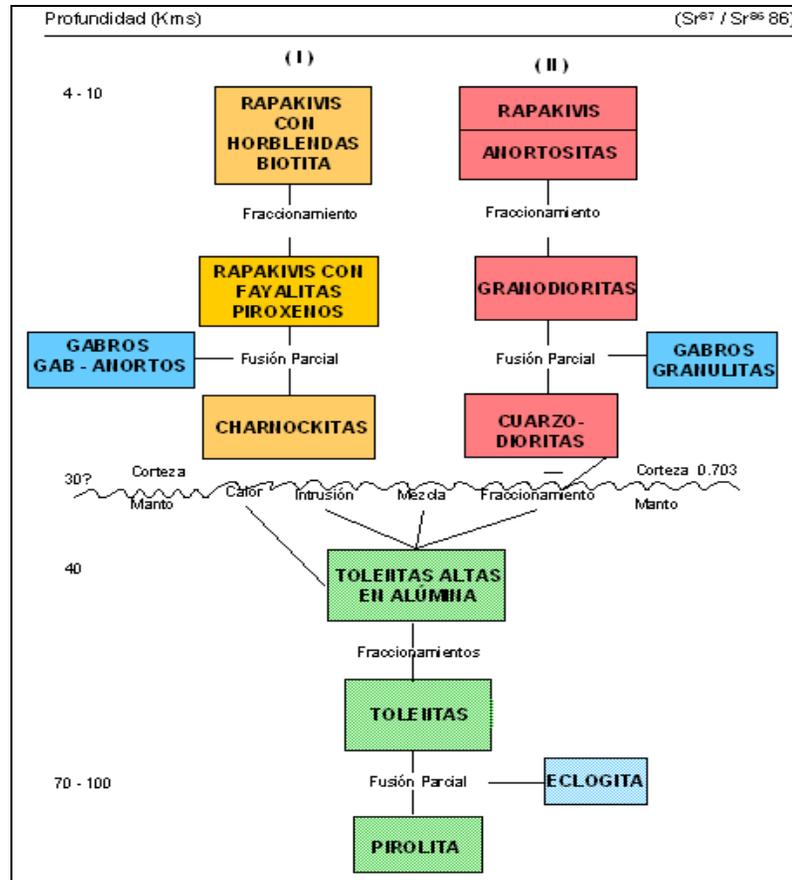
5.3.1.2.1 El Granito de Pijiguaos aflora en la mitad inferior de los domos del mismo nombre, en contacto no transicional con el Granito Rapakivi de Parguaza (GRP). Es un granito de grano fino, equigranular, aspecto algo recrystalizado “parcialmente horneado por el GRP”, muy rico en cuarzo y microclino, con textura moteada en la que se observan dos o más generaciones de cuarzo, posiblemente correspondientes con las pulsaciones o intrusiones inmediatas posteriores del GRP (Mendoza, 2000).

#### **5.3.1.2.2 Granito Rapakivi de Parguaza (GRP)**

Este granito es masivo, de grano grueso, porfirítico y presenta textura rapakivi (Figura 14). Es rico en feldespatos potásico, biotita y hornblenda. Son rocas metaluminosas (alcalinas) a peraluminosas (subalcalinas), de afinidad toleítica, ricas en Fe, K, Rb, Ni, Th, F, TR, bien fraccionados. La composición química en elementos mayoritarios y trazas del GRP es similar a los granitos tipo A, como los granófiros del Skaergaard, charnockitas de Nigeria, granitos rapakivi de Finlandia y de San Francisco Mountains (1480 Ma), Surucucú y Mucajai, en Brasil. Estos GRP

ocupan una gran superficie desde los Pijiguaos hasta Puerto Ayacucho y desde el Río Orinoco al norte hasta la confluencia del río Ventuari en el Orinoco en Amazonas, con forma elipsoide de 250 km de eje NS por 120 km de eje EW.

A continuación se presenta la evolución magmática del Granito Rapakivi de Parguaza:



**Figura 14** - Evolución magmática de granito Rapakivi del Parguaza (Tomado de Mendoza et al., 1975)

#### 5.4 Provincia Geológica Roraima

La provincia geológica de Roraima se encuentra desde los límites del Parque Nacional Canaima, hacia el km 95 cerca de la Piedra de la Virgen hasta Santa Elena de Uairen en dirección N-S y desde el río Venamo hasta las proximidades del Río Paragua. Esta provincia está compuesta por rocas del Grupo Roraima con diabasas y rocas gabronoríticas cuarcíferas a dioríticas cuarcíferas (Asociación Avanavero). El Grupo Roraima se localiza desde Tafelberg (Suriname) hasta Neblina en Amazonas



(Venezuela), cubriendo actualmente unos 250.000 km<sup>2</sup>, aunque originalmente pudo ser del orden de 1.200.000 km<sup>2</sup>.

Las rocas de Roraima solo registran metamorfismo de contacto (andalucita) con granitos intrusivos, post-1450 Ma, y de rocas máficas de la Asociación Avanavero; aunque Urbani (1977) postuló un metamorfismo de carga (pirofilita) en algunas localidades del Alto Caura posiblemente donde el Grupo Roraima alcanzó otros 3.000 m adicionales de sedimentos actualmente erosionados.

## 6. GEOLOGÍA LOCAL

### 6.1 Cuenca río Aro-Pao

La Provincia Geológica de Imataca está caracterizada por la abundancia de gneises, anfibolitas, intrusiones graníticas y cuarcitas ferruginosas. Ascanio (1975), señala que en la zona entre el río Aro y el río Caroní, al sur del Orinoco, el Complejo de Imataca está formado por lo menos, por siete fajas de gneises cuarzo-feldespáticos, con intercalaciones de secuencia de formaciones de hierro, anfibolitas y gneises granodioríticos blancos; estas fajas tectónicas representan microcontinentes que por deriva chocaron unos con otros con obducción quedando separados entre sí por grandes corrimientos, estas fajas son: La Encrucijada, Ciudad Bolívar, Santa Rosa, La Naranjita, La Ceiba, Laja Negra y Cerro Bolívar (Ascanio, 1975).

La cuenca del río Aro se ubica entre los municipios Sucre, Angostura (antiguo Raúl Leoni) y Heres del estado Bolívar, ésta abarca una superficie aproximada de 14.500 km<sup>2</sup>, se encuentra enclavada entre los ríos Caura y Caroní, siendo su límite sur la cuenca alta del río Paragua. El río Aro nace en la laguna Guayabal, situada entre las cuencas de los ríos Paragua y Caura, su curso sigue una dirección sur-norte y, tras recorrer 329 km, desemboca en el río Orinoco, al oeste de la comunidad del pueblo de Borbón. Sus afluentes más importantes son, por el este, los ríos Carapo, Alcahuete, Azul, La Piña y Gueche, en tanto que por el oeste destacan el Arizo, el Gaigua y el Chorro Macho (Rondón, 2007).

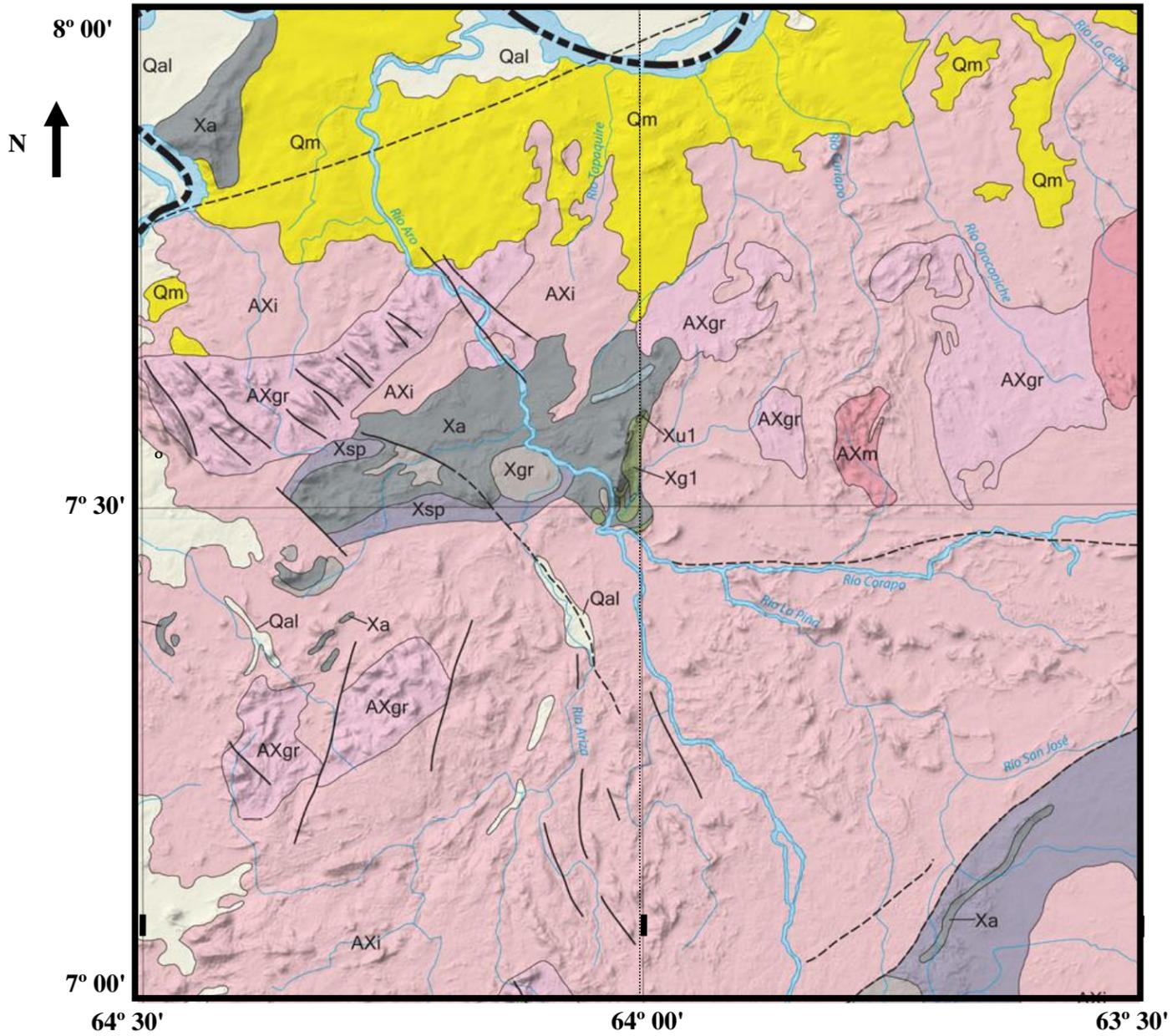
No hay mucha información sobre la geología de la cuenca del río Aro, ya que sólo se cuenta con varios estudios a nivel regional (Martín, 1979; CVG-Técnica Minera C.A., 1991; Sifontes, 2003, Jiménez, 2004; Pisapia, 2006). Al sur de la cuenca del río Aro, afloran un conjunto de rocas propias de las cuencas de los ríos Paragua y Caura, con las cuales colinda. Entre las litologías que destacan están el granito de La Paragua (al este de la cuenca) y rocas de origen volcánico, similares a las de la Provincia de Cuchivero (al oeste) (Torres, 1984; Sifontes, 2003; Pasquali, 2003). Por su parte, las rocas correspondientes a la Provincia de Pastora (La Flor) se hallan las cuarcitas de Mapare, el conglomerado de Zárate y la Anfibolita de Danta (Kalliokoski, 1965; Jiménez, 2004, 2009).

En la zona nor-central de la cuenca, cercana a la desembocadura del río Aro (Figura 15) en el río Orinoco, aflora un conjunto de rocas sedimentarias, interpretadas como un relleno de materiales fluvio-deltáicos durante una regresión marina. Estas rocas pertenecen a la Formación Mesa de edad Plioceno-Pleistoceno (CVG-Técnica Minera C.A., 1991; Hoackly, 2006). Y al norte, la cuenca está dominada por gneises cuarzo-feldespáticos-biotíticos, de granulometría media a fina, correspondientes al Complejo de Imataca; intercalados con rocas máficas de origen volcánico, específicamente en zonas como La Esperanza. Rocas migmatíticas afloran en las confluencias de los ríos Arizo y Carapo, y en la intersección de los ríos Carapo y La Piña cerca de las vías a los hatos del área. De igual forma se pueden observar rocas cuarcíticas e itabiríticas en las adyacencias de los ríos Guaigua y Hato Sucio (Sifontes, 2003; Pasquali, 2003; Jiménez, 2004; 2009).

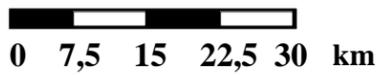
## **6.2 Cuenca río Cuchivero - Guaniamo**

La Provincia Geológica de Cuchivero tiene su mayor desarrollo hacia la parte occidental del estado Bolívar, al oeste del río Caura. La litología de esta provincia consiste fundamentalmente de rocas ígneas ácidas, extrusivas e intrusivas (Mendoza, 2000).

Las regiones de los ríos Cuchivero, Aro y Paragua, concentran un grupo de rocas ígneas, esquistos metamorfozados, efusiones volcánicas, cuarcitas, micáceas, conglomerados y tobas del Grupo Cuchivero. El río Cuchivero nace en la vertiente noroeste de la altiplanicie de Icutú, en la serranía de Guamapí de la sierra de Maigualida, drena en una cuenca de aproximadamente 16.000 km<sup>2</sup> de extensión, y tiene una longitud de 305 km, mantiene un rumbo predominantemente norte-noroeste hasta su desembocadura aguas abajo de la ciudad de Caicara del Orinoco. En su recorrido recibe, por el oeste o margen izquierda, al río Guaniamo, su principal afluente, y, por el este, al Sariapo (Figura 17).



Escala 1: 750.000



Leyenda Mapa Geológico

- Qal Aluvión (Pleistoceno)
- Qm Formación Mesa (Pleistoceno)
- AXi Gneis, Complejo Imataca (Pleistoceno)
- Xgr Cuarzo monzonita (Proterozoico temprano)
- Xa Esquisto andesítico anfibólico (Proterozoico temprano)
- Xg1 Metagabro, Cinturón de rocas verdes (Proterozoico temprano)
- Xu1 Rocas ultramáficas (Proterozoico temprano)
- AXm Migmatita; Complejo Imataca (Proterozoico temprano)
- AXgr Rocas silíceas intrusivas. Complejo Imataca (Arqueano-Proterozoico temprano)



Subdivisiones estatales del mapa



Estructuras de deformación (fallas)

Tomado de la U.S. Geological Survey  
Publicado 2006 - En línea solamente

**Figura 15** - Mapa geológico de la cuenca río Aro-Pao



La zona oeste del Estado, la secuencia volcánica ha sido nombrada Formación Caicara (Rios, 1969) y los cuerpos intrusivos se han llamado, de acuerdo a sus características: Granito de Guaniamito, Granito de Santa Rosalía y Granito de San Pedro (Mendoza, 1972). Estas rocas podrían pertenecer a un ciclo magmático común y en ese caso la denominación de Grupo Cuchivero no tendría objeción alguna, esto quiere decir que las discusiones de sobre este tema quedan neutralizadas (Mendoza, 2000).

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

El Granito de Guaniamito por su parte, aflora extensamente en cerros (El Tigre, Cacarraño, Las Vainillas, El Chingo), ríos (Guaniamo) y quebradas (La Magdalena) situados al oeste del río Cuchivero. La unidad está constituida por rocas de composición granítica, ricas en félsicos en gran parte con textura gnéisica, de grano medio a grueso, holocristalinas, porfídicas, que hacia las zonas de contacto con las rocas volcánicas muestran indicios de

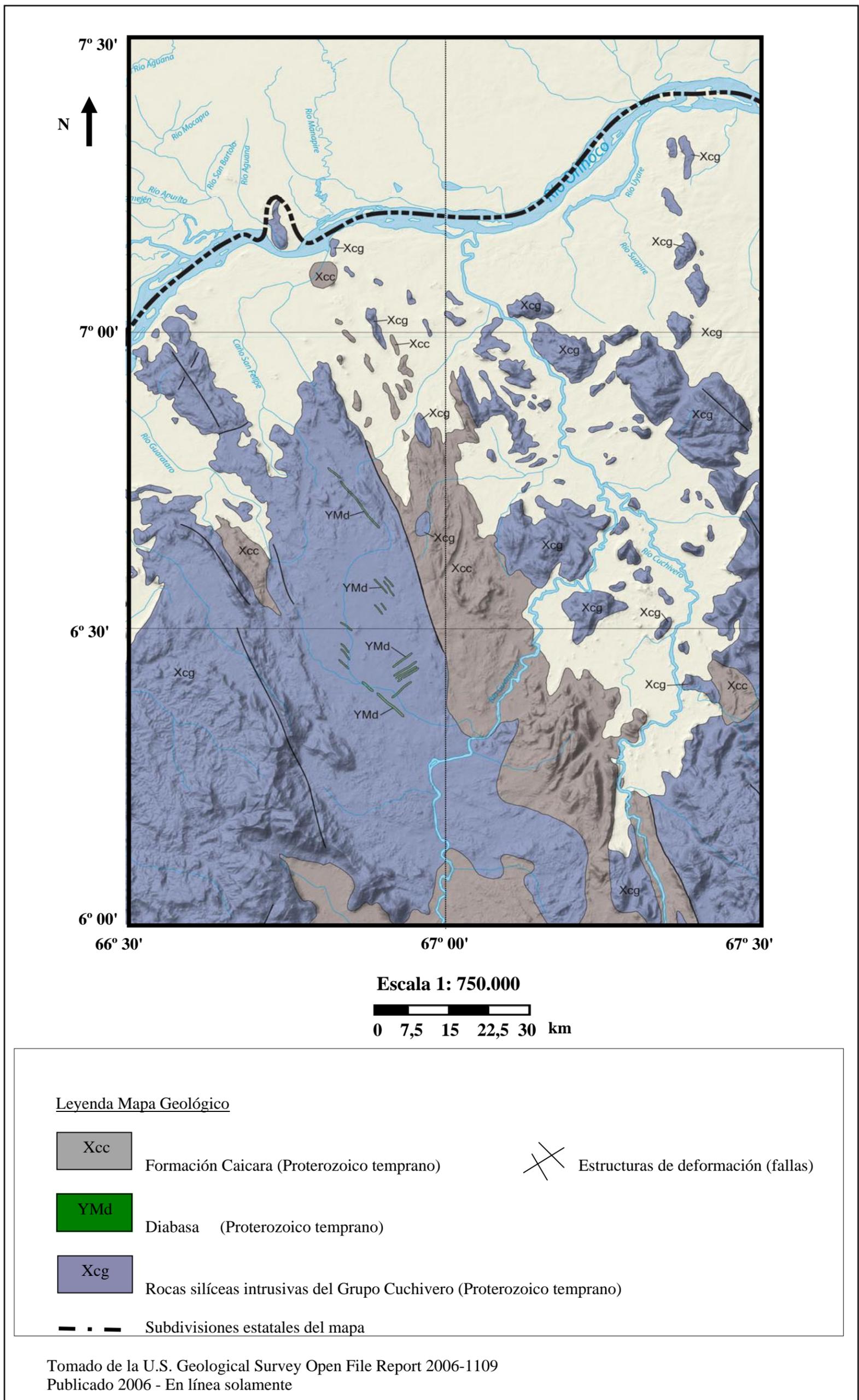


metasomatismo y de deformación mecánica (Rios, 1969). Hacia las zonas centrales de los afloramientos disminuye el carácter gnéisico. La roca está constituida por cuarzo (10-30%), feldespato (25-65%), biotita (1-8%) y menores cantidades de muscovita, sericita. Como accesorios comunes se encuentran esfena, epidoto, hornablenda, circón y magnetita.

El Granito de Santa Rosalía aflora extensamente en el valle de los ríos Cuchivero y Guaniamo y soporta las mayores elevaciones de la región. Es un granito biotítico, color rosado a gris, de grano fino a grueso, su composición mineralógica, bastante constante en todas las localidades, consiste de cuarzo (35%), biotita como principal componente máfico (5%) y cantidades menores de hornblenda, epidoto, clorita y opacos. Este granito es intrusivo en las rocas volcánicas de la Formación Caicara. Mendoza (1972), menciona que en el área del río Suapure, el Granito de Parguaza es intrusivo en el Granito de Santa Rosalía; se caracteriza por contenidos relativamente altos de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Rb}/\text{Sr}$  y bajos contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{K}/\text{Rb}$ . La unidad es fuente probable de casiterita, columbita y de tantalita.

### **6.3 Cuenca río Suapure**

La cuenca del río Suapure, tiene un área aproximada de 8000  $\text{km}^2$  y nace en la Serranía de Yutaje en el área limítrofe del estado Bolívar y el estado Amazonas, discurre sobre un basamento geológico conformado por rocas graníticas y volcánicas pertenecientes a la Provincia Geológica de Cuchivero en una dirección sureste-noreste con algunas variaciones producto del control que imponen las estructuras geológicas del área (Figura 16). Sus principales afluentes son los ríos Blanco, Turiba y Perro de Agua; los cañones La Peineta, Los Pijiguaos, Trapichote, La Miel, La Ceiba y la quebrada la Guacamaya (Rondón, 2007).



**Figura 16** - Mapa geológico de la cuenca río Cuchivero-Guaniamo



El Grupo Suapure, constituyente del Supergrupo Cedeño, nombres propuestos por Mendoza (1974), para incluir en el primer caso, dos unidades de rocas ígneas ácidas, Granito de Pijiguaos y Granito de Parguaza, que afloran desde Los Pijiguaos hasta Puerto Páez, en dirección este-oeste y desde Los Pijiguaos hasta el río Ventuari en sentido norte-sur.

El Granito de Pijiguaos: es un granito leucocrático (5% máficos) de color rosado salmón, grano fino, equigranular, macizo de aspecto subvolcánico, expuesto en la base del Domo de Pijiguaos, en contacto no reaccional con el Granito Rapakivi del Parguaza, aflora a lo largo de las quebradas El Paují, El Caballo y Caña Brava en el área del río Suapure, estudios en imágenes de radar arrojan que este granito se extiende por las partes bajas de los ríos Parguaza, Villacoa y Ventuari. Mineralógicamente consiste en feldespato potásico  $\pm$  pertita (30 - 35%), plagioclasa albítica (25 - 30%), cuarzo (25 - 30%) y biotita marrón (1 - 3%) con apatito (0 - 4%) y opacos (1 - 3%) como accesorios más frecuentes y epidoto y clorita como secundarios. Aflora como lajas por debajo del Granito del Parguaza, se desconoce su edad absoluta, pero debe ser similar (o más antigua) a la de este último, algunos autores consideran que debe representar el "techo" del batolito del Parguaza. El Granito de Pijiguaos además contiene xenolitos de cuarzo latitas (de la Formación Caicara) y metabasitas.

El Granito de San Pedro (Grupo Cuchivero) aflora entre El Budare y Pijiguaos, 3 km al oeste del paso de San Pedro en el río Suapure. Mendoza (1974), introduce este nombre para designar unas rocas graníticas leucocráticas, de aspecto subvolcánico, de edad precámbrico temprano, de grano fino, masivo a moderadamente foliado, compuesto de cuarzo cataclástico (25%), feldespato potásico y pertita (50%), plagioclasa sódica (20%), con cantidades pequeñas de máficos como biotita, clorita, epidoto y opacos y otros constituyentes menores como apatito, titanita y circón. Este granito representa una facies transicional de grano fino del Granito de Santa Rosalía, esta facie se observa generalmente hacia el borde de la masa granítica



en contacto con la Formación Caicara y a veces toma el aspecto de un contacto transicional desde el granito de grano grueso de Santa Rosalía, al granito leucocrático de grano fino de San Pedro y a las volcánicas de la Formación Caicara, esta transición se observa en la localidad de la Mariposa (González de Juana et al., 1980) por otra parte en la localidad de Bebederos el granito de San Pedro es claramente intrusivo en las volcánicas ácidas de la Formación Caicara y además se encuentran xenolitos de rocas riolíticas dentro del granito.

#### **6.4 Cuenca río Parguaza–Cataniapo**

El río Parguaza es uno de los tributarios principales del margen derecho del Orinoco medio, nace en la serranía de Guanay, la cual constituye el límite entre el estado Bolívar y Amazonas, su cuenca en total tiene un área aproximada de 6000 km<sup>2</sup> y el río Cataniapo se encuentra aproximadamente a unos 10 km al sur de Puerto Ayacucho en el estado Amazonas, Venezuela. La cuenca del río Parguaza se localiza, sobre el Granito de Parguaza (Grupo Suapure), el cual forma parte de la Provincia Geológica de Cuchivero; se ubica en el borde occidental del sistema montañoso del Macizo Guayanés, lo que origina un mosaico fisiográfico que incluye montañas bajas, colinas altas y bajas, cerros rocosos, lomas, valles coluvio-fluviales, afloramientos rocosos y vegas de río (Rondón, 2007).

En la zona se pueden diferenciar dos unidades litográficas principales:

Granito Rapakivi de Parguaza: ocupa 90% del área de afloramientos del Grupo Suapure y representa el "núcleo" de este "batolito zonado", donde el Granito de Pijiguao ocupa la cubierta exterior o borde del mismo, McCandless (1965), propuso este nombre para definir este granito de grano muy grueso, masivo con textura rapakivi y rico en feldespato potásico, biotita y hornablenda, expuesto desde Puerto Páez hasta Los Pijiguaos cuyos mejores afloramientos están en el Salto Maracas del río Parguaza, en las montañas de El Tigre y los Domos de Pijiguao.



El Granito del Parguaza constituye un batolito de composición homogénea en la Provincia Estructural de Amazonas ubicada en la parte nor-oriental del Escudo de Guayana y representa una de las más grandes intrusiones graníticas anorogénicas del mundo y parece representar un gran evento termal de extensión continental denominado Parguazense (Martin; Hurley y otros. (1973) y Gaudette y otros. (1977). La textura rapakivi se presenta en forma de grandes ovoides de feldespatos potásicos, también los hay de cuarzo y plagioclasas. Además discordantemente por encima del Granito del Parguaza se observan las Formaciones Cinaruco (al norte de  $6^{\circ}30'N$ ) y Roraima (al sur de  $6^{\circ}30'N$ ).

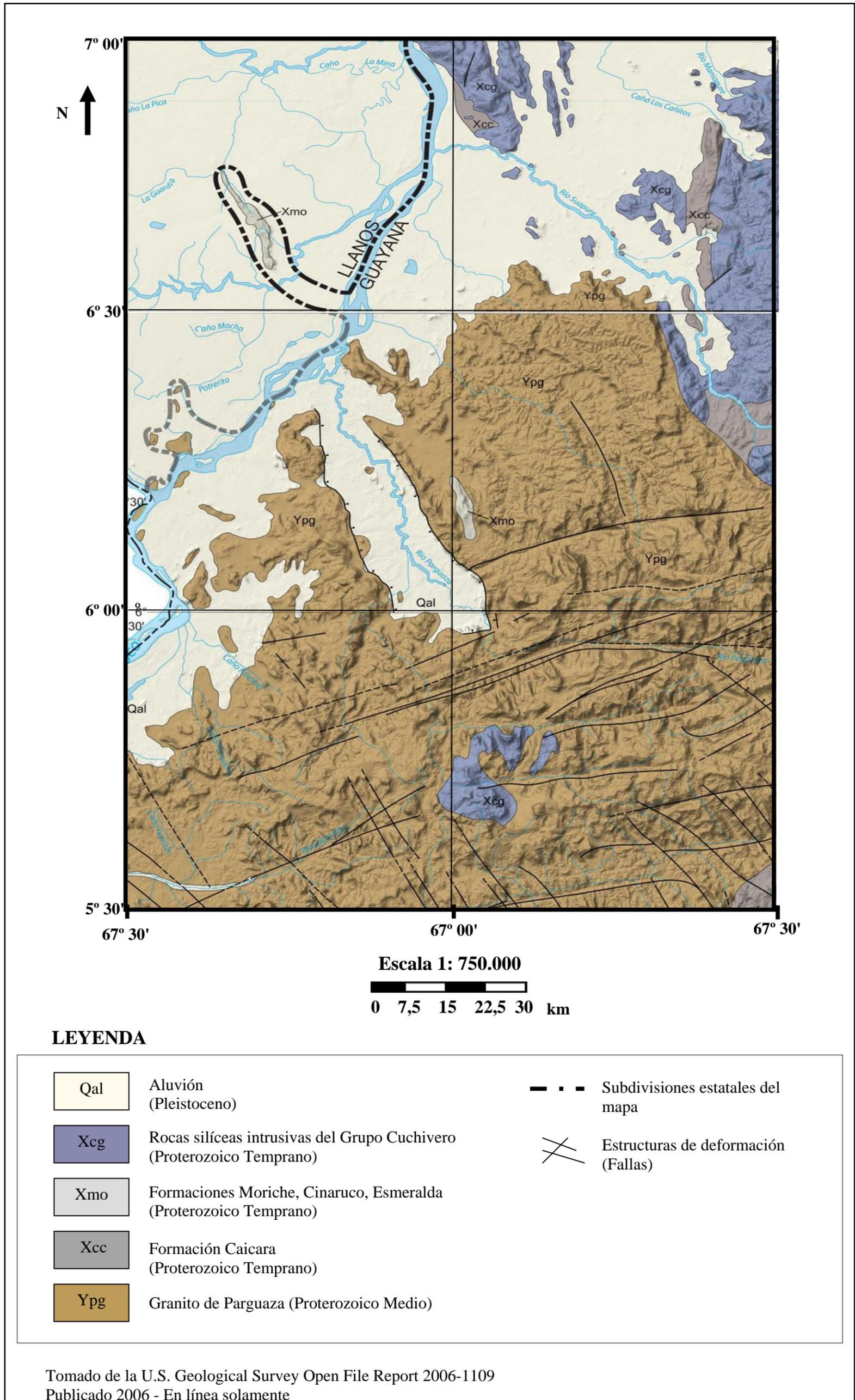
- Rocas emplazadas en el granito. Formadas por:
  1. Pegmatitas Se distinguen dos tipos de pegmatitas que intrusionan el granito rapakivi. El primer tipo es la pegmatita común presente frecuentemente en rocas graníticas, constituida esencialmente por cuarzo y feldespato potásico en intercrecimiento eutéctico con biotita como principal mineral máfico. El segundo tipo es una pegmatita de cuarzo con megacristales únicos de cuarzo y raras veces de feldespato potásico de gran tamaño (alcanzando varios cm de longitud), que en su mayor extensión se encuentran meteorizadas. Los agregados de columbita-tantalita están asociados a este segundo tipo de pegmatita.
  2. Granito de grano fino (en diques).
  3. Cuarzo (en vetas). Este fenómeno ocurre en las rocas afectadas por esfuerzos cataclísmicos.

Los minerales principales encontrados en estas rocas son: cuarzo, feldespatos, circón, fluorita, apatito, allanita, óxidos de hierro, rutilo, horblenda y biotita: estos dos últimos al parecer ricos en hierro y manganeso (Szczerban, 1974).



La Formación Cinaruco: Está constituida principalmente por cuarcitas sericíticas y ferruginosas, filitas y conglomerados. En el área de los ríos Parguaza y Villacoa no se observa contacto intrusivo alguno del Granito del Parguaza en la Formación Cinaruco. La ausencia de xenolitos de la Formación Cinaruco en el Granito del Parguaza y de hornfels o rocas de metamorfismo de contacto así como también la presencia de un conglomerado lítico hacia la base de la Formación Cinaruco conducen a concluir que ésta debe ser discordante por encima del Granito del Parguaza y de edad posterior a 1800 ma. (Léxico, 1970). Se encuentra limitada a los afloramientos conocidos: Las Galeras de Cinaruco en Apure y su prolongación sobre el rumbo sur-sureste hasta el valle del río Villacoa en el estado Bolívar.

Formación Roraima: La referencia original se debe a Dalton (1912), quien la llamó Capas de Roraima para designar a una secuencia sedimentaria cuyos estratos son casi horizontales, con escaso metamorfismo, observada en el Cerro de Roraima, y posteriormente en otras regiones del estado de Bolívar y territorio Amazonas, formadas litológicamente de conglomerados cuarzosos feldespáticos, lutitas, areniscas arcósicas, jaspes verdes y rojos, cenizas volcánicas, intrusionada por mantos de diabasa. Su espesor se estima de unos 2.600 m. La Formación Roraima corresponde a un ciclo de erosión, cuya secuencia sedimentaria es el resultado de depósito de estuario y costanero (Figura 17).



**Figura 17** - Mapa geológico de la cuenca río Suapure-Parguaza-Cataniapo



## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, los resultados e interpretación de los resultados del análisis químico y mineralógico obtenido en las muestras de concentrados de minerales pesados, recolectadas en las cuencas de los ríos Aro, Pao, Cuchivero, Guaniamo, Suapure, Parguaza, Cataniapo de la zona noroccidental del estado Bolívar. A partir de los resultados se establecen un conjunto de zonas anómalas (Figura 18).

### 7.1 Zona A

La zona A esta ubicada en el flanco noreste del área de estudio, en la cuenca del río Aro, posee un área aproximada de 19500 km<sup>2</sup>. Las anomalías se presentan en ocho de los veinte elementos analizados, para los fondos geoquímicos estimados en este tipo de muestra (APENDICE A, Tabla A1). Los valores anómalos en la zona A son: Cr (476-478 ppm), Y (503-826 ppm), La (1506-11439 ppm), Ce (1934-21934 ppm), Nd (465-17086 ppm), Th (1803-17086 ppm), U (145-209 ppm), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,39-0,59 %). Otros elementos también exhiben altas concentraciones como: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (52,2-54 %) y TiO<sub>2</sub> (66 %). Todos los valores de las concentraciones están en el APENDICE C, Tabla C2.

Las fases minerales identificadas en las muestras Bo-052; Bo-063 son: ilmenita, magnetita, hematita, cromita e ilmenorutilo, en la fracción magnética manual e ilmenorutilo en la fracción magnética 1,2 amp. Estudios realizados en la cuenca del río Aro, proponen la presencia de minerales como la ilmenita, hematita, magnetita, circón, rutilo y monacita (Amelinck, 1971; Figueredo, 1984; Menéndez, 1992; Garban, 1998; Pasquali, 2003; Herrera, 2004; Jiménez, 2004, 2009; Pisapia, 2006; Quevedo, 2009). Además se han detectado por Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) inclusiones de torita y torianita en granos de monacita, e inclusiones de torita y uraninita en granos de circón (Pasquali, 2003; Quevedo, 2009).

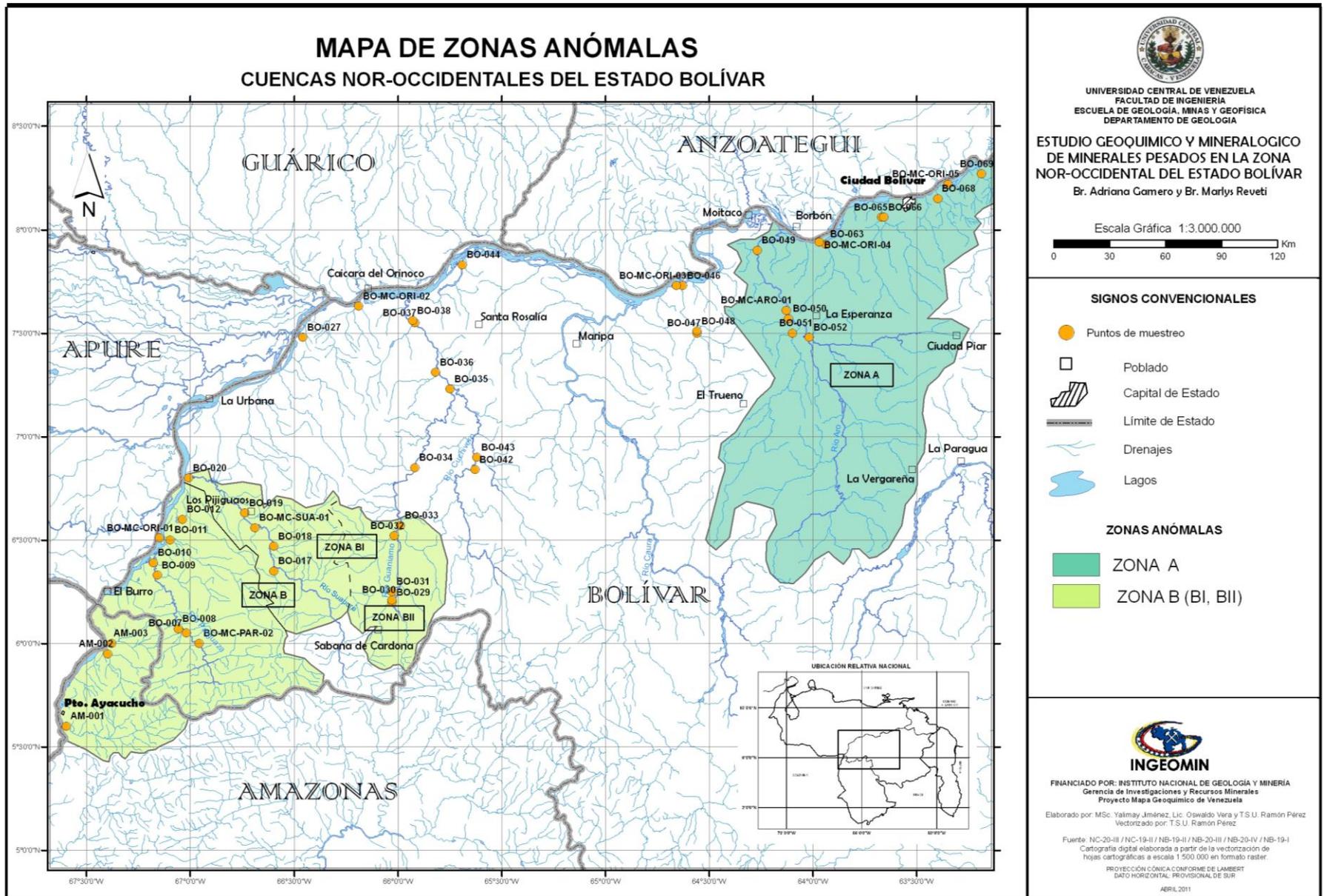


Figura 18 – Mapa de zonas anómalas determinadas en las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar.



Las altas concentraciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Figura 19) y  $\text{TiO}_2$  indican una asociación geoquímica entre estos dos elementos (factor de correlación: 0,79), esto está representado en la tabla de correlaciones elementales (APENDICE G, Tabla G1) que posiblemente estén relacionados con la presencia de las fases identificadas en los espectros de DRX (ilmenita, magnetita, cromita, hematita e ilmenorutilo) (APENDICE H, Figura H7 y H8).

Las anomalías de Cr (Figura 20) por su parte, están asociadas a la cromita ( $\text{Fe}^{+2}\text{Cr}_2\text{O}_4$ ).

La relación entre U y Zr, según la tabla de correlaciones elementales, posiblemente están asociadas con el circón, fase propuesta por los autores (Figueredo, 1984; Menéndez, 1992; Garban, 1998; Pasquali, 2003; Herrera, 2004; Jiménez, 2004, 2009; Pisapia, 2006; Quevedo, 2009).

Estudios en el río Aro han registrado inclusiones de uraninita en los granos de circón (Quevedo, 2009), sin embargo en los espectros de DRX de esta investigación no fue identificada esta fase.

Las anomalías de Y, La, Ce, Nd, Th y  $\text{P}_2\text{O}_5$  muestran una clara asociación geoquímica, representada en la tabla de correlación (APENDICE G); posiblemente están asociadas a fases de fosfatos, como la monacita, xenotima, apatito (Tabla 9) (Melgarejo, 1997; Kawazawa y Kamitani, 2006), no obstante, los espectros obtenidos por DRX en la Zona A, no muestran los picos correspondientes a estas fases, por lo tanto es necesario realizar una separación de la muestra en sus componentes, para descomponer el espectro de DRX, ya que probablemente estén superpuestos con los picos de otros minerales.

La Zona A está emplazada en el Complejo de Imataca de litología granulitas máficas y félsicas, mármoles, anfibolitas y formaciones bandeadas de Fe, donde estas últimas representan, hasta el momento, su principal riqueza metalogénica. Las formaciones bandeadas de edad Arqueano forman parte de cinturones metamórficos granulíticos, donde la meteorización lixivió el cuarzo y oxidó la magnetita primaria produciendo espesos horizontes ricos en



hematita-limonita-goethita (Grande, 2002). En esta zona se encuentra el cuadrilátero de San Isidro formado por cuatro cerros (Barrancos I, Barrancos II, Las Pailas, San Joaquín) y el Cerro Bolívar a 120 km de Ciudad Bolívar, donde la industria siderúrgica es desarrollada desde hace varios años.

**Tabla 9** - Clasificación de los minerales y elementos de Tierras Raras.

Clases de minerales	Minerales ejemplos y formulas químicas
<i>Haluros</i>	<i>Fluocerita</i> – (F), CeF
<i>Carbonatos</i>	Con fluoruro <i>Bastnaesita</i> , (Ce,La)(CO <sub>3</sub> )F Sin fluoruro <i>Ancilita</i> , (Ce,Sr,Ca)(CO <sub>3</sub> )(OH,H <sub>2</sub> O)
<i>Boratos</i>	<i>Braitschita</i> , (Ca,Na <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CeB <sub>22</sub> O <sub>43</sub> ,7H <sub>2</sub> O
<i>Óxidos e Hidratos</i>	Tipo AO <sub>2</sub> <i>Cerianita</i> , (Ce <sup>4+</sup> ,Th <sup>4+</sup> )O <sub>2</sub> Tipo ABO <sub>3</sub> Grupo <i>Perovskita</i> , (Ca,Ce,Na,Sr)(Ti,Nb,Ta)O <sub>3</sub> Tipo ABO <sub>4</sub> <i>Fergusonita-Formanita</i> , Y(Nb,Ta)O <sub>4</sub> – Y(Ta,Nb)O <sub>4</sub> Tipo AB <sub>2</sub> (O,OH) <sub>6</sub> Grupo <i>Euxenita</i> , (Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Tipo A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O,OH,F) Grupo <i>Pirocloro</i> , (Na,TR,K,U) <sub>2</sub> (Nb,Ta,Ti) <sub>2</sub> (O,OH,F) Otros <i>Hibonita</i> , (Ca,Ce)(Al,Ti,Mg) <sub>12</sub> O <sub>19</sub>
<i>Fosfatos, Arsenatos y Vanadatos</i>	<i>Apatito</i> , (Ca,TR, Sr,Na,K) <sub>3</sub> Ca <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,OH) <i>Monacita</i> , (Ce,La,Th,Nd,Y,Gd)PO <sub>4</sub> <i>Xenotima</i> , YPO <sub>4</sub>

Fuente: Kawazawa y Kamitani (2006)

La delimitación de esta zona permitió establecer una nueva megaprovincia geoquímica (Ver Tabla 1).

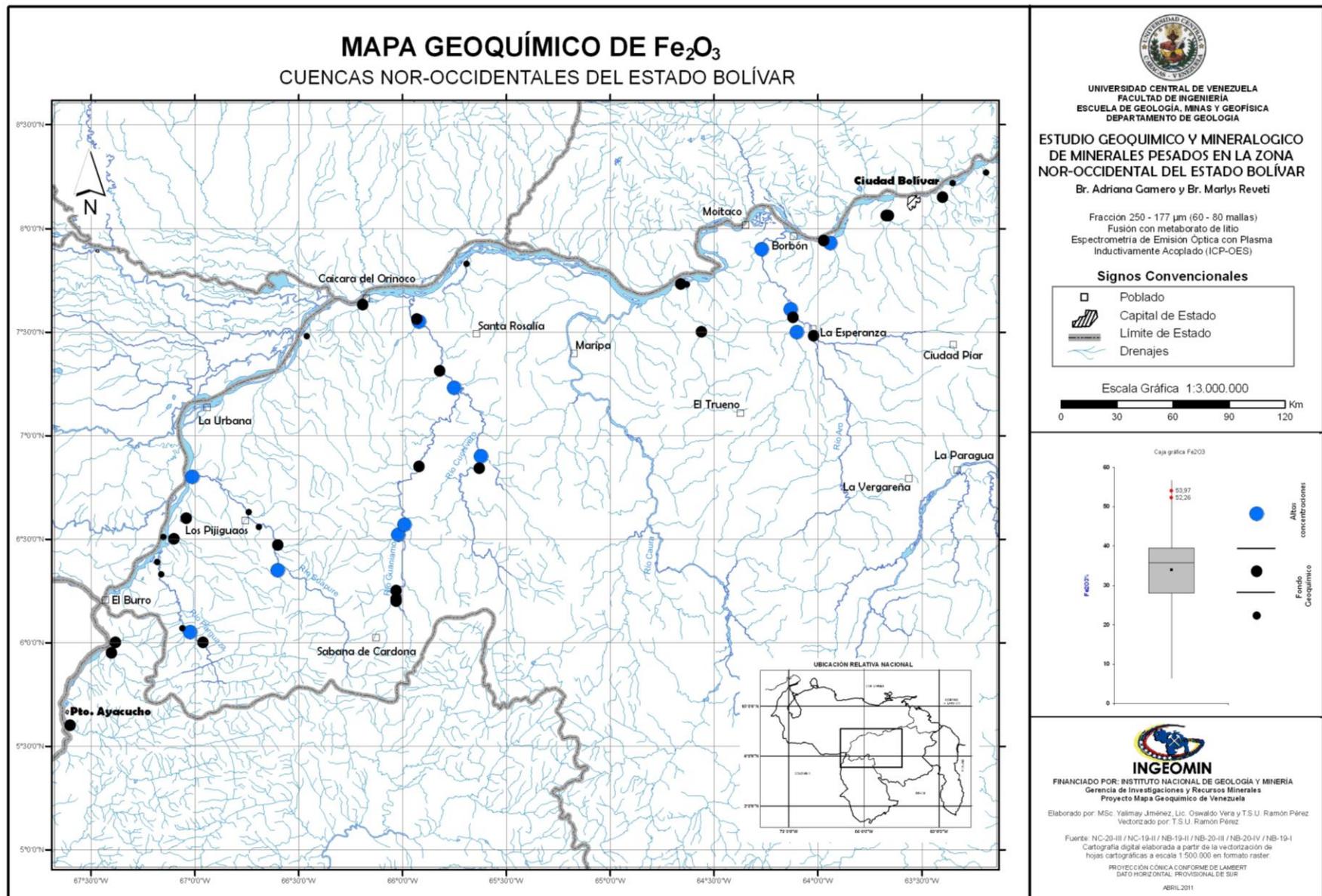
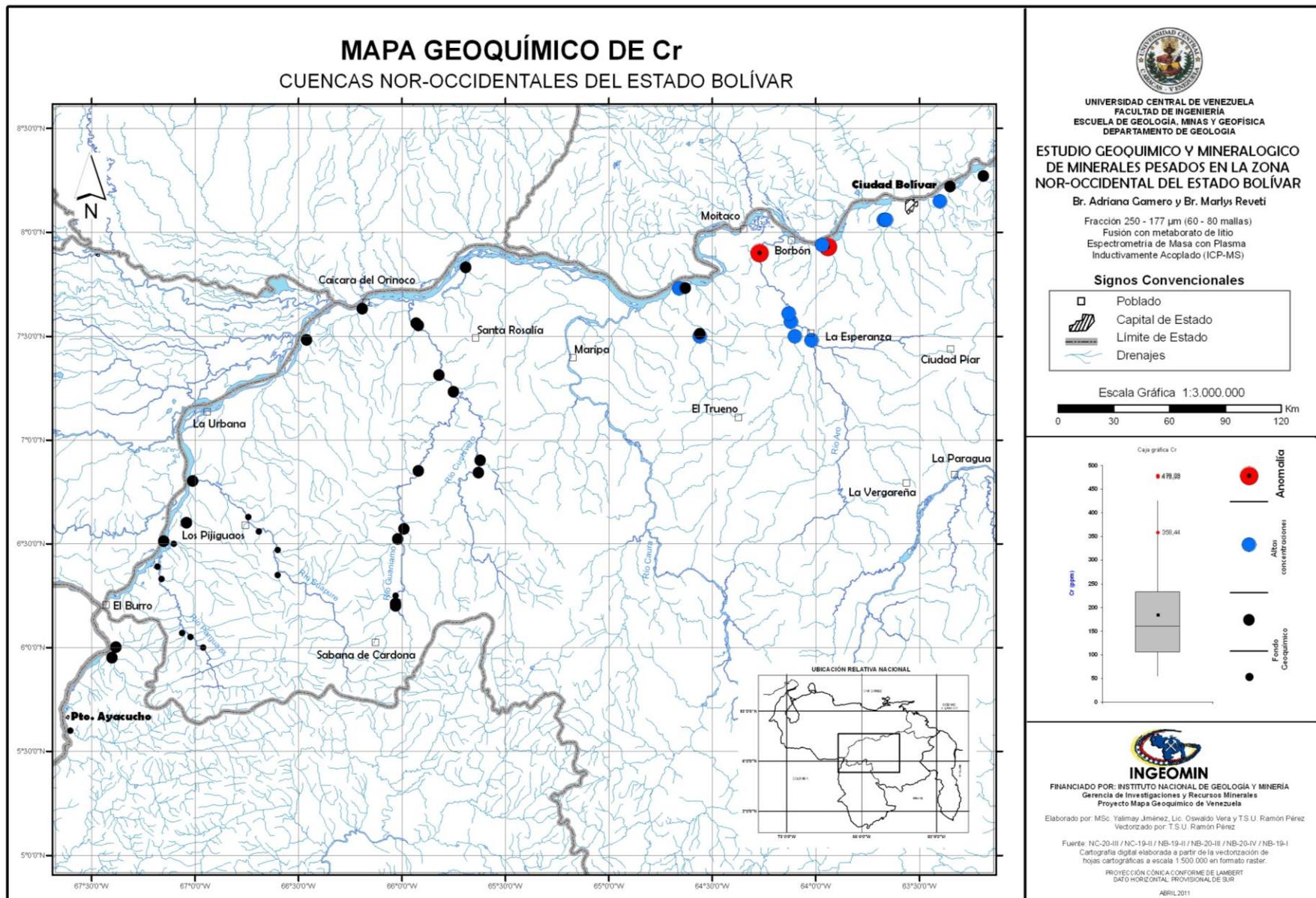


Figura 19 - Mapa geoquímico de  $Fe_2O_3$  (%) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas nor-occidentales del edo. Bolívar.



**Figura 20** - Mapa geoquímico de Cr (ppm) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar.



Jiménez (2009), determinó que la zona del Cerro La Esperanza presenta valores anómalos en siete elementos (Cr, Co, Fe, Sb, Sc, Ta, Zn), en las muestras de concentrados de minerales pesados, su razonamiento establece que los responsables de los altos valores de Fe están asociados a minerales accesorios de rocas como: la ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) o la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); otros autores de igual modo, han incorporado esta zona, como un potencial región para el desarrollo de la minería, ésta información coincide con la Zona A.

### 7.2 Zona B

La Zona B abarca un área de 19000 km<sup>2</sup> aproximadamente, está ubicada desde la parte alta del río Guaniamo extendiéndose en dirección NW hasta la desembocadura del río Suapure en el río Orinoco y alcanza las cuencas de los ríos Parguaza-Cataniapo; las anomalías se dan en once de los veinte elementos analizados, de acuerdo a los fondos geoquímicos estimados para este tipo de muestra (APENDICE A, Tabla A1). Los valores de anomalías: Zr (81636-112066 ppm), Hf (2327 ppm), U (145-209 ppm) y altas concentraciones de Nb (3633-4114 ppm),  $\text{TiO}_2$  (66 %) y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (52,2-54 %). Todos los valores de concentración están en el APENDICE C, Tabla C2.

Las fases minerales identificadas en esta zona fueron la ilmenita y el circón (APENDICE H, Figura H1 y H2). Las asociaciones geoquímicas establecidas según la tabla de correlaciones elementales proponen dos zonas anómalas BI y BII que serán descritas más adelante. Las anomalías de Zr (Figura 21) y Hf posiblemente están asociadas al circón y el U a inclusiones de uraninita en los granos de circón.

Las altas concentraciones de Nb,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$  pueden relacionarse con la ilmenita dado que el  $\text{Nb}^{+5}$  ( $r=0,68 \text{ \AA}$ ) sustituyen con preferencia al  $\text{Ti}^{+4}$  ( $r=0,64 \text{ \AA}$ ) en esta fase, por su carga iónica mayor y radio iónico similar (Kallioskoski, 1965); Sin embargo, estudios en la cuenca de Parguaza, han detectado la presencia de fases como la columbita-tantalita (Agua Mena), en

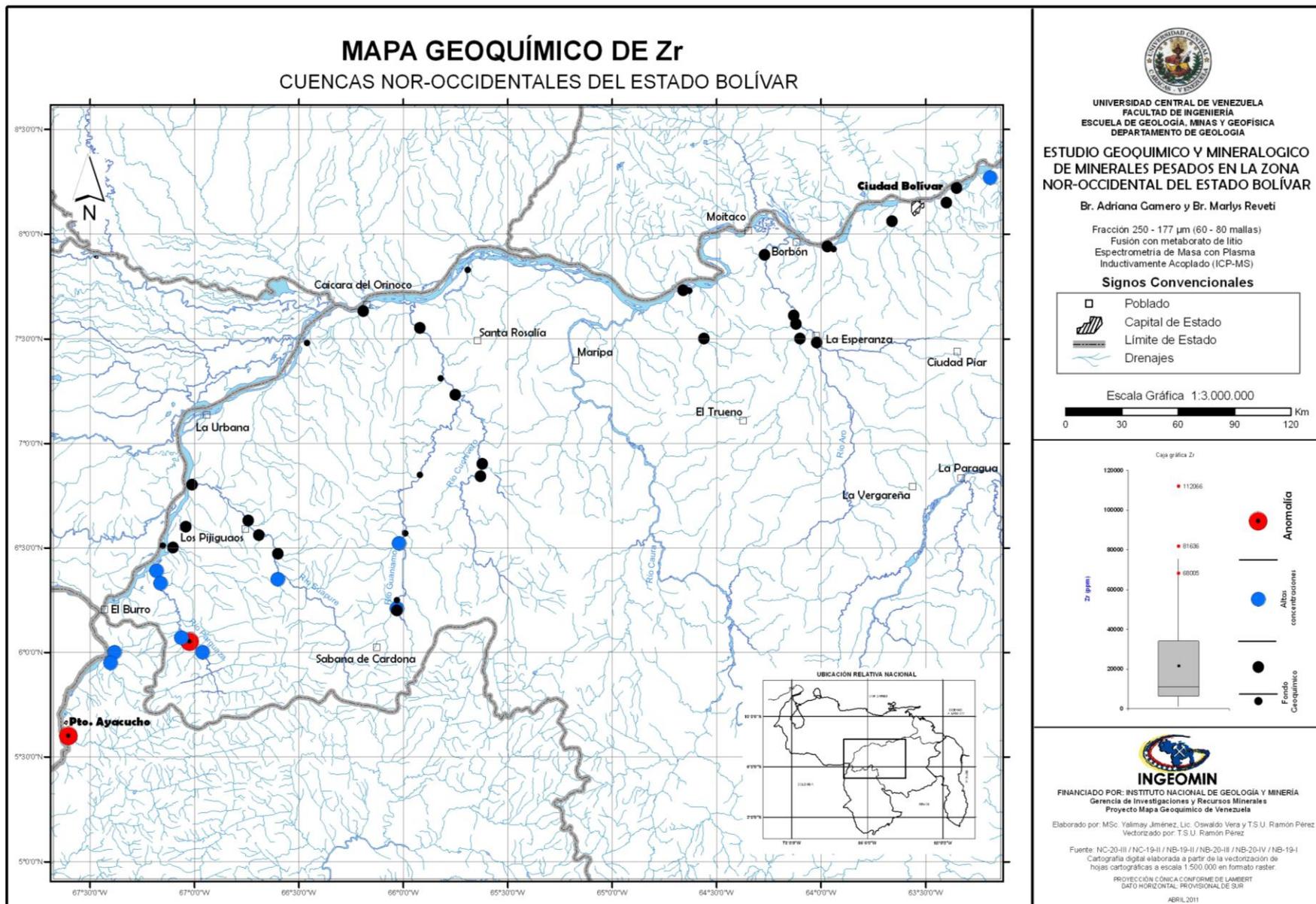


pegmatitas, por esta razón se recomienda realizar análisis más sensibles para discriminar la asociación que presenta esta distribución.

La Provincia de Cuchivero es la más extensa y menos conocida de las cuatro provincias geológicas. La cuenca del río Parguaza se encuentra sobre los Granitos de San Pedro, Granitos de Pijiguaos y el Granito Rapakivi de Parguaza (estos últimos conforman el Grupo Suapure) lo que sugiere, según los estudios realizados, la presencia de minerales como: cuarzo, feldespatos, circón, fluorita, allanita, ilmenita, ilmenorutilo, monacita, rutilo, hornblenda y biotita, (Szczerban, 1974; Bangerter, 1981, Moreno, 1996). En esta zona se encuentran yacimientos de bauxita, diamantes, caolín, uranio y coltan (columbita-tantalita).

La agrupación de los datos de anomalías en esta zona sugiere la influencia de rocas félsicas, sieníticas, graníticas y pegmatíticas, litología que ha sido propuesta como dominante en el mapa geológico regional presentado por Hoackley (2006).

La delimitación de la Zona B representa una nueva megaprovincia geoquímica (Ver Tabla 1).



**Figura 21** - Mapa geoquímico de Zr (ppm) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar



### 7.3 Zona BI

La Zona BI ubicada a lo largo del río Suapure se extiende hasta la convergencia con el alto Guaniamo, con un área de 4000 km<sup>2</sup> aproximadamente y muestra anomalías de MnO (6-16 %).

Mineralógicamente está compuesta posiblemente por ilmenita rica en Mn, hematita y magnetita (APENDICE H; Figura H3, H4 y H6). En la ilmenita están asociados geoquímicamente los elementos Mn y Nb, por tanto las anomalías de Mn (Figura 22) y altas concentraciones de Nb (Figura 23), proponen la presencia de una solución sólida de ilmenita (FeTiO<sub>3</sub>) y pirofanita (MnTiO<sub>3</sub>); No obstante, es probable que esta fase propuesta se deba a la influencia de cuerpos carbonatíticos (Gaspar y Willie, 1983; Deer, 1992); sin embargo, es necesario realizar estudios de microanálisis para verificar esta hipótesis. Por otra parte, Gaspar y Willie en 1983, arrojaron que el promedio de Nb y Ta en las ilmenitas provenientes de kimberlitas (0,22% Nb y 0,16% Ta) es menor a los de las ilmenitas provenientes de carbonatitas (1,11% Nb y 0.13% Ta). Herramienta que también podrá ser usada para confirmar dicha hipótesis. En otros estudios, Mendoza (1972), plantean la presencia de estaño, tantalita-columbita, niobio, molibdeno, circonio, torio y uranio en esta zona.

Las anomalías en tierras raras en el alto Guaniamo, permiten establecer otra anomalía (Zona BII), la cual está posiblemente asociada a fases de fosfatos, relacionadas a los valores registrados de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

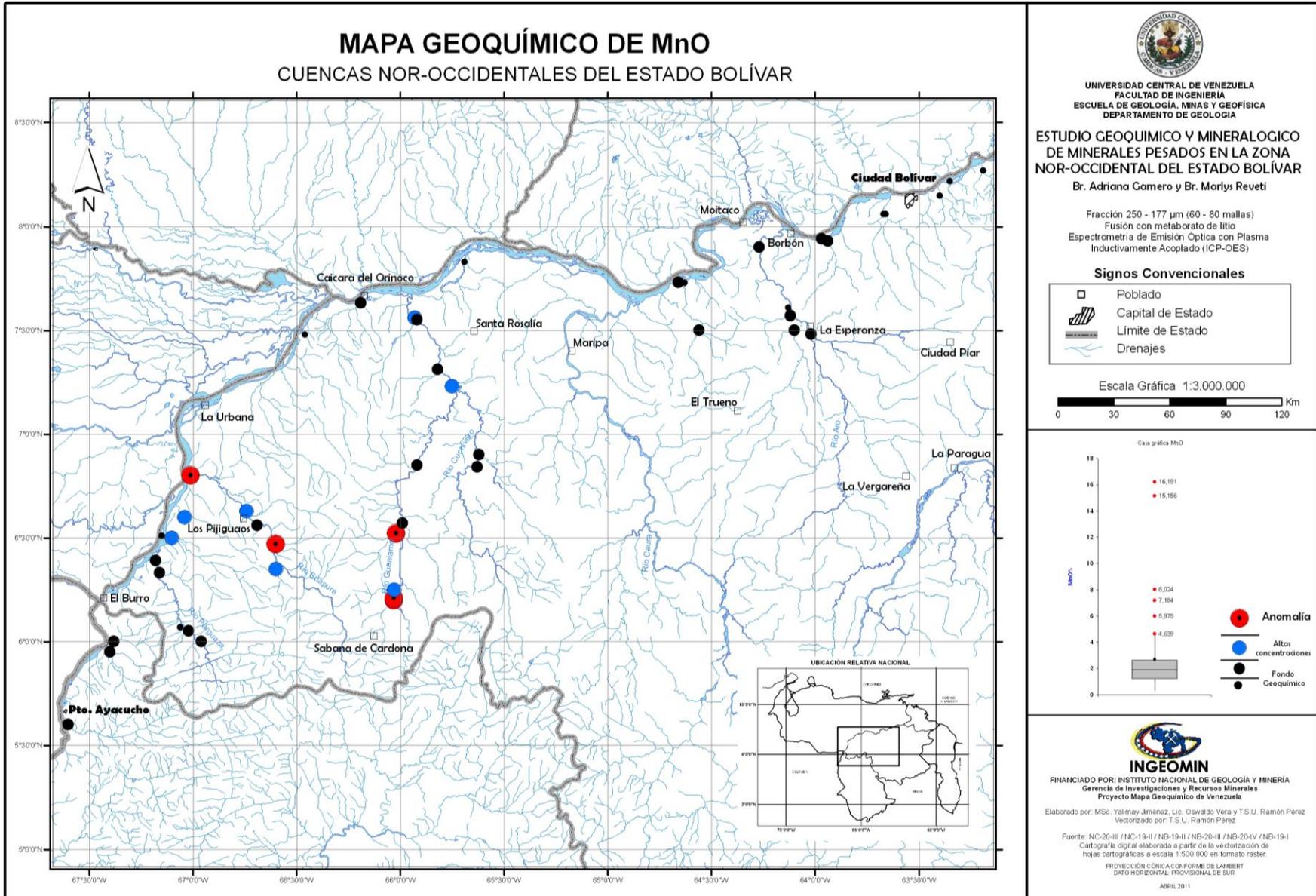


Figura 22 - Mapa geoquímico de MnO (%) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar

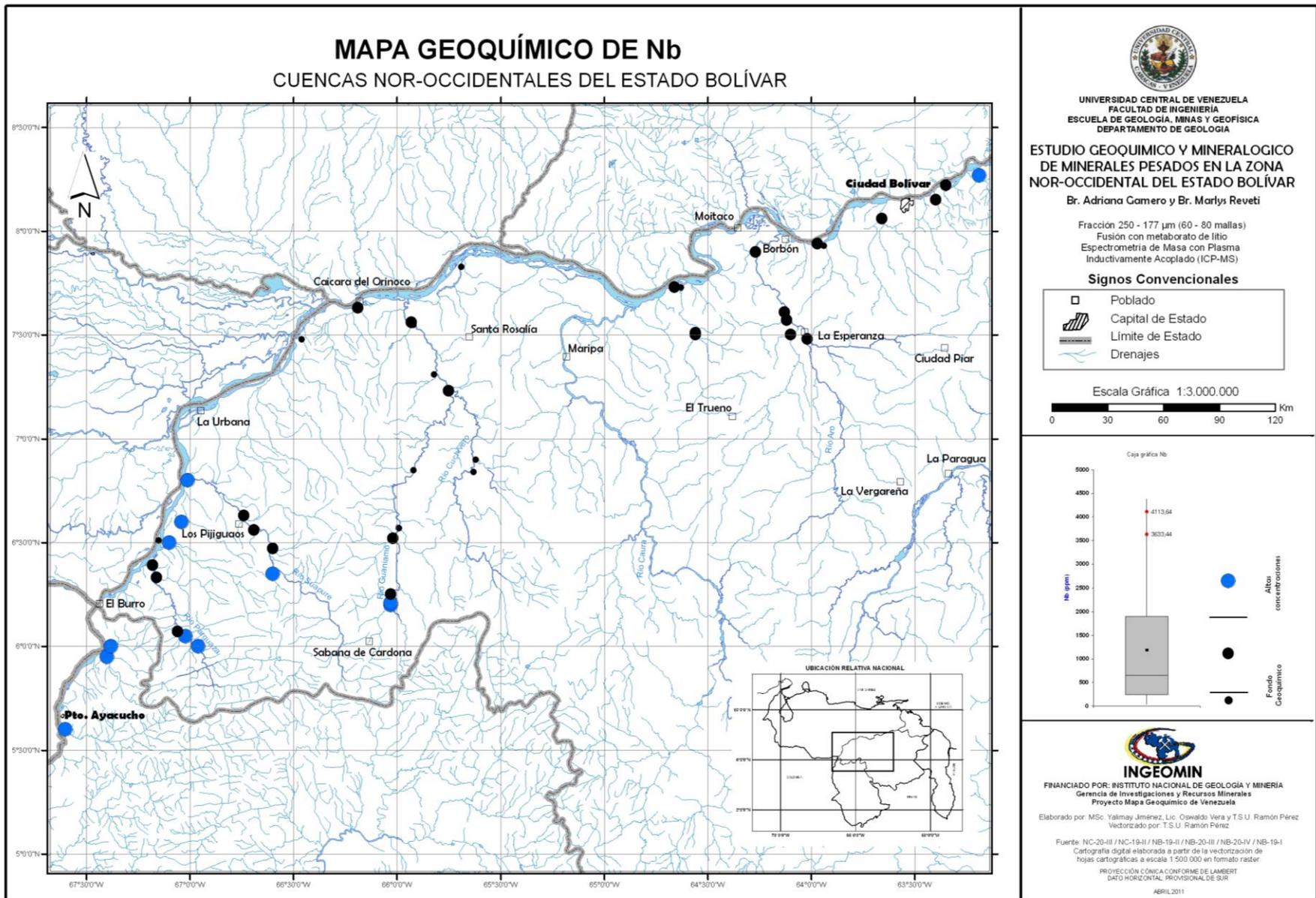


Figura 23 - Mapa geoquímico de Nb (ppm) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar



#### 7.4 Zona BII

La zona BII ubicada en el alto Guaniamo, con un área aproximada de 3500 km<sup>2</sup>. Las anomalías son: Y (503-826 ppm), La (1506-11439 ppm), Ce (1934-21934 ppm), Nd (465-17086 ppm), Th (1803-17086 ppm), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,39-0,59 %).

Las fases identificadas son monacita, ilmenita, esta última identificada en la fracción magnética manual. La tabla de correlaciones elementales muestra una clara asociación de los elementos tierras raras y Th a fases ricas en fosfatos, dadas las anomalías de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 24), como es la monacita (APENDICE H, Figura H5), esta fase fue identificada en la fracción magnética 1,2 amp.

Esta información de las dos zonas BI y BII podría inferir que la presencia de estos minerales está relacionada con la meteorización de rocas volcánicas ya que la litología dominante la constituyen las rocas del Grupo Cuchivero (rocas metavolcánicas del tipo ácido: riolita alcalina, riolita, riodacita, dacita) (Mendoza, 1972). Por otra parte, los pequeños placeres fluviales de “arenas negras” ricas en ilmenita-rutilo se encuentran posiblemente asociados a la meteorización de diabasas y gabros.

La zona del bajo Cuchivero presenta una distribución de elementos mayoritarios Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MgO que muestra un empobrecimiento de estos elementos con respecto a la concentración de estos óxidos en la corteza, este comportamiento es geoquímicamente esperado ya que, el aluminio es un elemento inmóvil, establecido por su potencial de ionización (Z/r). El Al está asociado a las plagioclasas, feldespatos y micas, cuando estos minerales son alterados por las diferentes reacciones químicas que ocurren durante el proceso de meteorización, comienza a generarse una serie de minerales nuevos (caolinita) (Meléndez, 2007). A medida que avanza el proceso estos minerales continúan alterándose y generando una desilificación de los mismos y forman la gibbsita, el cual es un mineral liviano y además se acumula en los sedimentos finos y no en los sedimentos pesados, de manera sincrónica a estos eventos, ocurre la acumulación de minerales de reciente formación como es la goethita y la hematita, los cuales corresponden a las fases mineralógicas de enriquecimiento del Fe.



Los valores anómalos de las zonas A, B, BI, BII fueron comparados con los datos reportados por Clarke y Washington (1924), mostrando un potencial enriquecimiento en estos elementos, por ejemplo, el Nb abunda en la corteza en un valor promedio de 20 ppm y en esta zona muestra valores de 3000 ppm, es decir, 150 veces más.

Todos los mapas de distribución de concentraciones de los elementos analizados se encuentran en los anexos.

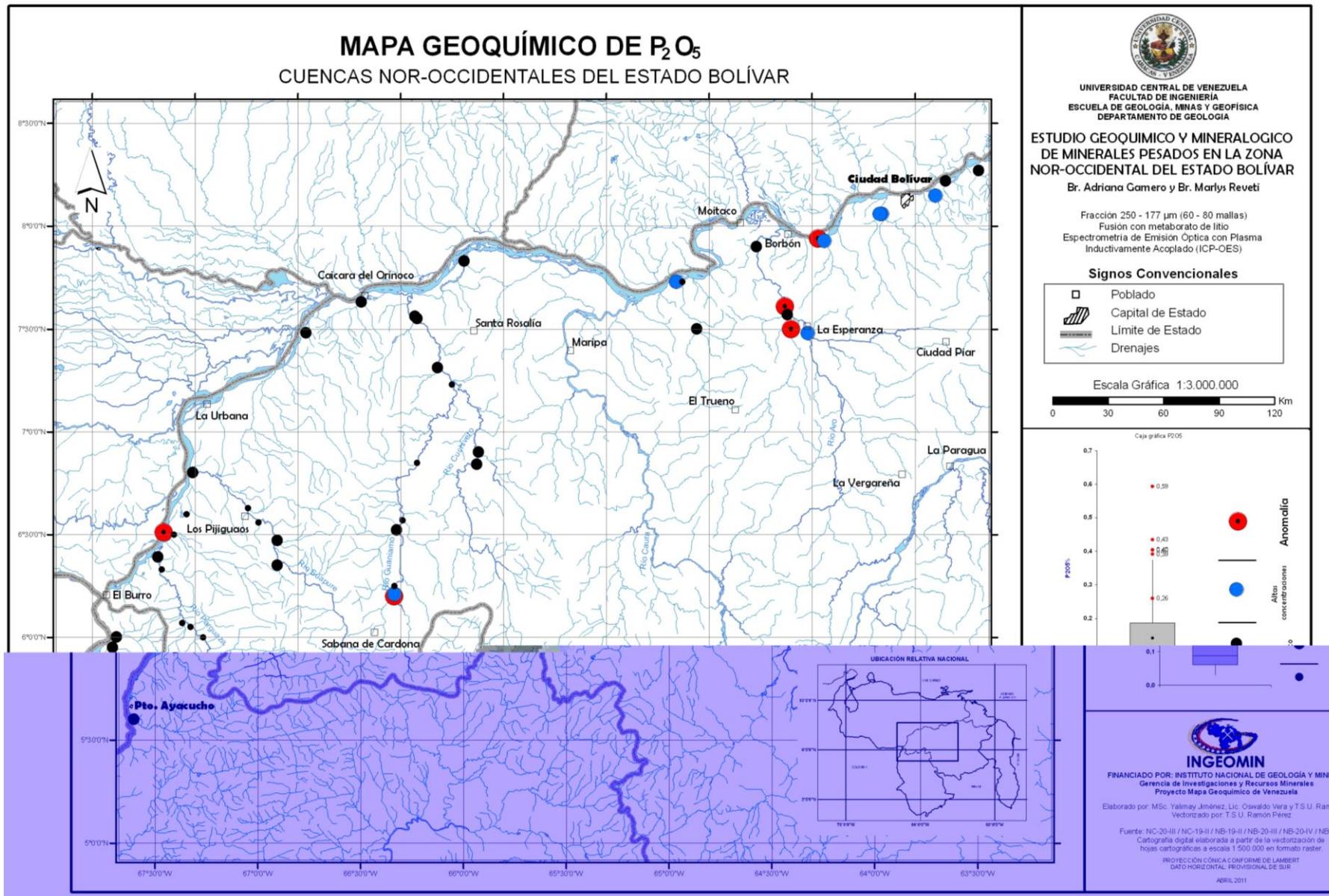


Figura 24 - Mapa geoquímico de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar

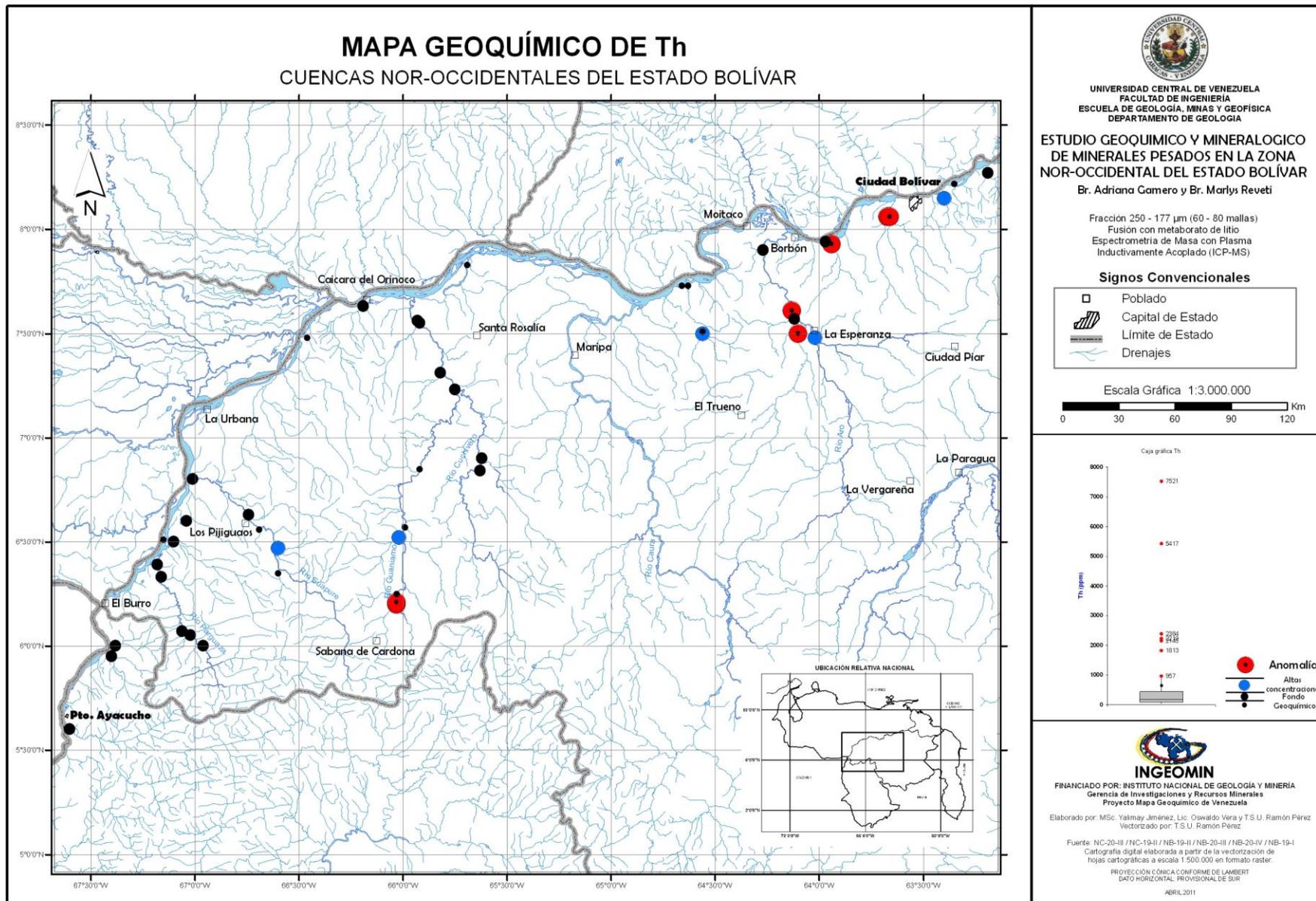


Figura 25 - Mapa geoquímico de Th (ppm) en los concentrados de minerales pesados en las cuencas nor-occidentales del estado



Las fases minerales identificadas en las zonas anómalas (Zona A, B, BI y BII) se encuentran resumidas en la siguiente tabla.

**Tabla 10** - Muestras anómalas y minerales asociados determinados por Difracción de Rayos X.

Muestras	Minerales
AM-001	Circón, Ilmenita
Bo-007	Ilmenita
Bo-018	Hematita, Magnetita
Bo-020	Ilmenita.
Bo-029	Ilmenita, Hematita, Monacita
Bo-052	Ilmenita, Hematita, Cromita, Magnetita
Bo-063	Ilmenita, Hematita, Cromita, Magnetita



## 8. CONCLUSIONES

1. Las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar, presentan cuatro zonas anómalas Zona A, Zona B, Zonas BI y BII.
2. La cuenca del río Aro contiene una zona anómala (Zona A) en los siguientes elementos Cr, Y, La, Ce, Nd, Th, U, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y altas concentraciones de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub>, donde los análisis mineralógicos arrojaron como posibles fases minerales: ilmenita, magnetita, cromita, hematita e ilmenorutilo.
3. La cuenca alto Guaniamo y la cuenca del río Suapure presentan anomalías en Zr, Hf, Th, MnO y altas concentraciones de Nb, TiO<sub>2</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> identificada como zona BI, como fases minerales se presentaron: ilmenita, hematita, magnetita.
4. La cuenca alto Guaniamo muestra anomalías en Y, La, Ce, Nd, Th, U, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y altas concentraciones de Zr, Hf, Nb TiO<sub>2</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Las fases minerales identificadas son monacita e ilmenita.
5. Este estudio, enmarcado dentro del Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela, ha permitido establecer que por medio de sedimentos fluviales activos (CMP) la presencia de dos nuevas megaprovincias geoquímicas.



## 9. RECOMENDACIONES

Una vez finalizada esta investigación, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Desarrollar varios proyectos independientes para estudiar las áreas que resultaron anómalas en los distintos elementos, con el fin de reducir el área de exploración y dar paso a estudios detallados de prospección geoquímica.
2. Se recomienda comparar las concentraciones de los elementos mayoritarios, minoritarios y traza con el objeto de establecer si existe correspondencia en las tendencias de distribución local.
3. Se recomienda la extensión de los análisis químicos a todos los elementos del grupo de las Tierras Raras, con la finalidad de determinar con mayor precisión los valores de concentración de todos los elementos y dar un mejor prospecto para estas áreas.
4. Se sugiere hacer un estudio más profundo de la relación que existe entre los elementos y las fases minerales mediante microanálisis y DRX.
5. Se recomienda un estudio más a detalle del uso del Frantz, para separación magnética, así como también el uso de bromoformo para optimizar los resultados de la separación por el método hidrodinámico.
6. Las fases columbita-tantalita pueden estar presentes como fases independientes, dadas las altas concentraciones de Nb en la Zona B, de manera que análisis más precisos fortalecerían estos razonamientos.



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Amelinck, L., (1971).** Evaluación de las arenas negras contenidas en los aluviones de los ríos de Guayana: Geominas-UDO, Boletín N° 7, p. 44-73
- **Ascanio, G (1975).** El Complejo de Imataca en los alrededores de Cerro Bolivar, Venezuela. Memoria. p. 181-197.
- **Bateman, R. y Catt, J. (2007).** Provenance and paleoenvironmental interpretation of superficial deposits, with particular reference to post-depositional modification of heavy mineral assemblages. *Developments in Sedimentology*, volume 58. p. 151-188.
- **Bangerter, G., (1981).** Estudio sobre la petrogénesis de las mineralizaciones de Niobio, Tántalo y Estaño en el Granito Rapakivi de Parguaza y sus diferenciaciones, Venezuela.
- **Bermúdez, M., y Anaya<sup>†</sup>, R., (2007).** Calibración del separador magnético de alta intensidad magnet-lift mlh (13) 111-5 para su uso en el laboratorio de termocronología de la UCV. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela*. Volumen 22, N° 3. p. 47-58.
- **Besoain, E., (1985).** Mineralogía de arcillas de Suelos. Serie de libros y materiales educativos, N° 60. Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura. San Jose, Costa Rica. 1205 p.
- **Caritat, P., Lech, M., Jaireth, S., Pyke, J., y Lambert, I., (2005).** Riverina Geochemical Survey of national first. *AusGeo News*, Issue 78. Australia. Disponible en:  
<http://www.ga.gov.au/ausgeonews/ausgeonews200506/geochem.jsp>
- **Carver, E. (1971).** *Procedures in sedimentary petrology*. Wiley-Interscience, New York, 653 p.
- **Cascalho, J. y Fradique, C. (2007).** The sources and hydraulic sorting of heavy mineral son the Northern Portuguese continental margin. *Developments in Sedimentology*, volume 58. p. 75-110.



- **Chandrajith, R., Dissanayake, C., y Tobschall, H. (2001)** Application of multi-element relationships in stream sediments to mineral exploration: a case study of Walawe Ganga Basin, Sri Lanka: Applied Geochemistry: volume 16, p. 339-350.
- **Clarke, D. B., (1992).** Granitoid rocks: London, Chapman & Hall, 283 p.
- **Conover, W. J., (1971).** Practical nonparametric statistics: Nueva York, Jhon Wiley and Sons, 462 p.
- **Cordani, G., Sato, K., Teixeira, C., Tassinari, G., y Basei, a., (2000).** Crustal Evolution of the South America Platform. En: Tectonic Evolution of South America. Brasil. Pub. Esp. 31. Int. Geol. Cong., p. 19-40.
- **CVG-Técnica Minera. (1991).** Informe de Avance. Hoja de Radar NB-20-2. Proyecto Inventario de los Recursos Naturales de la Región Guayana. Ciudad Bolívar.
- **Davis, J. C. (1986).** Statistics and data analysis in geology, 2<sup>nd</sup> edition, Wiley, Nueva York, 646 p.
- **Deer, W., Howie, R., y Zussman, J., (1992).** An introduction to the rock forming minerals: 2nd Edition. Pearson Education Limited, 689 p.
- **Doe, R.,(1991).** Source rocks and the genesis of metallic mineral deposits. Global. Tecton. Metallos., volumen 4, p. 13-19.
- **Feo-Codecido, G., (1956)** Geología: Técnica para el estudio de los minerales pesados y su aplicación a la estratigrafía de Venezuela. Bull. Amer. Assoc. Petroleum. Geologists., volumen. 40 (5). p. 24.
- **Figueredo, N. (1984)** Caracterización geoquímica de sedimentos fluviales provenientes de la zona septentrional del estado Bolívar. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas. 104 p.
- **Fyfe, W. S., (1981)** Geochemistry. Clarendon Press, Oxford. Versión española Dr. José Beltrán. Universidad de Valencia, España. Editorial Reverté, S. A. 118 p.



- **Garbán, G., (1998).** Estudio de los sedimentos pesados en el área de Santa Bárbara-San Isidro, estado Bolívar, Venezuela: Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 180 p.
- **Garbán, G., (2001).** Estudio de anomalías de tántalo en el área del Grillero-El Café edo Bolívar, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- **Gaspar, J., y Wyllie, P., (1983)** Ilmenite (high Mg,Mn,Nb) in the carbonatites from the Jacupiranga Complex, Brazil. *American Mineralogist*, Volume 68, p. 960-971.
- **Gaudette, H., Mendoza, V.; Huerley, P., y Fairbairn, H., (1977).** Geology and age of the Perguaza rapakivi Granite, Venezuela: *Geol. Soc. América Bull.* Volume 89, p. 1335-1340.
- **Geyh, M., y Schleicher, H., (1990).** Absolute Age Determination. Physical and chemical dating methods and their application: Berlin, Springer-Verlag, 503 p.
- **Gilat, A., (2005).** Matlab: una introducción con ejemplos práctico. 2<sup>da</sup> Edición. Editorial Reverté. Barcelona, España. 331p.
- **Gonzalez De Juana, C., Arozena, J., y Picard, X., (1980).** Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Tomo I. Ediciones FONINVES Caracas, Venezuela. p. 31-89.
- **Goldschmidt, V. (1954).** Geochemistry. Clarendon Press. Oxford. 730 p.
- **Govett G., Goodfellow W., Chapman R. y Chork C., (1975)** Exploration geochemistry—Distribution of elements and recognition of anomalies. *Mathematical Geology*. Canadá, volume 7 (5-6), p. 415-446.
- **Grande, S., (2002).** Manual de clases “Yacimientos Minerales Metálicos”. 150 p.
- **Gupta, H., (2005)** Oceanology. Universities Press (India) Private Limited. 222 p.



- **Gustavsson, N., Lampio, E., Nilsson, B., Norblad, G., Ros, F., y Salminen, R., (1993).** Geochemical maps of Finland and Sweden. Journal of Geochemical Exploration. Volume 51, p. 143-160.
- **Hoackley, P., Urbani, F., Karlsen, A., y Garrity, C., (2006).** Mapa Geológico de Venezuela a Escala 1:750,000 U.S. Geological Survey Open File Report 2006-1109. Publicado 2006 - En línea solamente Versión 1.0
- **Hartman, H., (1992)** SME Mining Engineering Handbook, Vol 1. Sociedad de Minería, Metalurgia y de Exploración. Sacramento, California. EEUU. 2394 p
- **Hawkes, H. y Webb, J.S., (1962).** Geochemistry in Mineral Exploration: New York, Harper & Row Publisher. 415 p.
- **Herrera, M.A., (2004)** Caracterización geoquímicas de los minerales pesados provenientes de la cuenca del río Aro, estado Bolívar, Venezuela: Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 90 p.
- **Hess, H. H. (1959).** Notes on operation of Frantz Isodynamic Magnetic Separator: S.G. Frantz Co. Instrument Instruction Booklet, p. 1-6.
- **Hoaglin, D.C., Mosteller, F., y Tukey, J.W., (1983).** Understanding robust and exploratory data analysis: New York, John Wiley & Sons, 447 p.
- **Horton, R.E., (1945).** Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Amer. Bull., Volume 56: Page 275-370
- **Hulburt, C., Y Klein, C., (1991).** Manual de mineralogía de J.D. Dana: Editorial Reverté, Barcelona, España, 362 p.
- **Hurley, P., Fairbairn, H., Gaudette, E., Mendoza, V., Martín, C., y Espejo, A., (1968).** Progress report on Rb-Sr age dating in the northern Guayana Shield. II Cong. Latinoamericano de Geología, volume 4, p. 3035-3044.
- **Iriondo, M. (2007).** Introducción a la Geología. 3<sup>era</sup> Edición. Editorial Brujas. Argentina.



- **Jiménez, Y., (2004).** Cartografía geoquímica de las cuencas de los ríos Caura y Aro, a través de sedimentos de corriente, con fines prospectivos: Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Caracas. 96 p.
- **Jiménez, Y., Nuñez, J., Vera, O. y Hernández, E., (2008).** Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela (PMGV): Informe de avance cuencas noroccidentales del estado Bolívar. XIII Congreso Venezolano de Geofísica. 8p.
- **Jiménez, Y., (2009).** Prospección geoquímica de la cuenca del río Hato Sucio, municipio Heres, estado Bolívar, Venezuela: Trabajo de Grado Maestría, Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Caracas. 165 p
- **Kallioskosky, (1965).** Geología de la parte norte-central del Escudo de Guayana, Venezuela: Dirección de Geología, Boletín de Geología, volumen 7, p. 29-104.
- **Kanazawa, Y., y Kamitani, M., (2006).** Rare earth minerals and resources in the world: Journal of Alloys and Compounds, volume 408-412, p. 1339-1343.
- **Kerr, A., y Davenport, P., (1990).** Application of geochemical mapping techniques to a complex Precambrian shield area in Labrador, Canada: Journal of Geochemical Exploration, volume 39, issues 1-2. p. 225-247.
- **Levinson, A., (1974).** Introduction to Exploration Geochemistry: Maywood, Illinois, Applied Publishing, 614 p.
- **Lowry, y Simoza, (1992).** Informe geológico-geoquímico Zona de la Flor-Carapo: Informe interno CVG-Tecmin, p. 100-186.
- **Mange, M. y Heinz, M. (1992).** Heavy minerals in colour. Elsevier. Hong Kong, China. 145 p.
- **Mange, M. & Wright, D. (2007).** Heavy minerals in use. Elsevier. Amsterdam, Holanda. 1283 p.
- **Manrique, J. (2009).** Determinación de Torio y Uranio por espectroscopía de rayos gamma en minerales pesados de sedimentos del río Arizo, Estado Bolívar, Venezuela. Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Facultad de Ciencias, Caracas, Venezuela.



- **Marjoribanks, R., (2010).** Geological methods in Mineral Exploration and Mining. Springer Heidelberg Dordrecht, Australia. 238 p.
- **Martín Bellizzia, C., (1968).** *Edades isotópicas de rocas venezolanas.* Boletín Geológico. Caracas. Volumen 9 (19), p. 356-380.
- **Martín, C., (1979).** Mapa geológico-tectónico y anomalías de Bouguer, Caroní-Aro-Paragua: Caracas, Ministerio de Energía y Minas, 1 lámina.
- **Marrero, S., Pasquali, J., Y Franco, N. (1997).** Caracterización geoquímica de las provincias geológicas de Imataca y Pastora, estado Bolívar, Venezuela: VIII Congreso Geológico Venezolano, volume 2, p. 47-53.
- **Mason, B. (1960).** Principios de Geoquímica. Editorial Omega, S.A. Barcelona. 332 p.
- **Mason, B. y Moore, C., (1982).** Principios de Geoquímica. (4<sup>ta</sup> edición) Wiley, Nueva York. 344 p
- **Matschullat, J., Ottenstein, R. y Reimann, C., (2000).** Geochemical background – can we calculate it?: Environmental Geology, volume 39, p. 990-1000
- **McCandless, G. C., (1965).** Reconocimiento geológico de la parte occidental del Estado Bolívar. *Bol. Geol.*, volume 7 (13), p. 19-28.
- **Meléndez, W., Ramírez, A. y Yáñez, C., (2007)** Estudio de elementos mayoritarios y traza en el yacimiento de bauxita de Los Pijiguaos, estado Bolívar, Venezuela. Memorias IX Cong. Geol. Ven. Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad Central de Venezuela. 14 p.
- **Melgarejo, J., (1997).** Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada, Volumen 1. 1<sup>era</sup> Edición: Edicions, UB. Universidad de Barcelona, España. 449 p.
- **Méndez, J., (2006).** Petrología. Ediciones UCV, Caracas, Venezuela. 363 p.
- **Mendoza V., (1972).** Geología del área del río Suapure, parte noroccidental del escudo de Guayana, Estado Bolívar, Venezuela. IX Conf. Geol. Interguayananas, Mem.. Bol. Geol., Public. Esp. volume 6, p. 306-338.



- **Mendoza, V., (1974).** Geología del área del río Suapure, parte noroccidental del Escudo de Guayana, estado Bolívar, Venezuela. IX Conf. Geol. Interguayanas, Ciudad Bolívar, estado Bolívar, p. 306-338.
- **Mendoza V.; Moreno, L., Barrios F., Rivas D., Martínez, J., Lira P., Sardi, G. y Ghosh, S. (1975).** Geología de la parte norte del Territorio Federal Amazonas, Venezuela (informe en progreso). V Cong. Geol. Venezolano. Volumen 1: p. 363-404.
- **Mendoza, V. (2000).** Evolución Geotectónica y Recursos Minerales del Escudo de Guayana en Venezuela y su relación con el Escudo Sudamericano. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar, Venezuela.
- **Menéndez, V. de V., A., (1968).** Revisión de la estratigrafía de la Provincia de Pastora según el estado de la región de Guasipati, Guayana Venezolana. Bol. Geol., Caracas: p 309-338.
- **Menéndez, G. (1992).** Uso de fracciones magnéticas y no magnéticas de minerales pesados en sedimentos de río para la prospección geoquímica del Alto Paragua Edo Bolívar Venezuela. T.E.G., U.C.V., Facultad de Ciencias, Caracas. 87 p.
- **Milovski, V., y Kónonov, V., (1982).** Mineralogía. Editorial Mir Moscú p. 58.
- **Mordberg, L., Stanley, C. y Germann, K., (2001).** Mineralogy and Geochemistry of trace elements in bauxite: The Devonian Schugorsk deposit, Russia. Min. Mag., volume 65, p. 81-101.
- **Moreno, L. y Mendoza, V., (1975).** Petroquímica de metabasitas del Alto Supamo, sureste de la Guayana Venezolana, X Conf. Interguayanas, Belem, Brasil. Memorias, p. 389-413.
- **Moreno, L., Lira, P., Mendoza, V. y Rios J., (1977).** Análisis de edades radiométricas en la parte oriental de la Guayana venezolana y eventos tectónicos registrados. V Conf. Geol. Venezuela., Memoria II, p. 509-518.
- **Moreno, R., (1996).** Estudio geoquímico de los minerales pesados en los ríos que drenan las rocas del Complejo Cuchivero, estados Bolívar y Amazonas:



Trabajo Especial de Grado, Caracas, Universidad Central de Venezuela. 102 p.

- **Morton, A. (1984)** Stability of detrital heavy mineral in tertiary sandstones from the North Sea Basin. The Mineralogical Society, p. 286-308.
- **Morton, A., y Hallsworth, C., (1994).** Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones: Sedimentary Geology, volume 90, p. 241-256.
- **Morton, A. y Hallsworth, C. (1999)** Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstone. Sedimentary Geology, Volume 124, p. 3-29.
- **Morton, A. y Hallsworth, C. (2007)** Stability of Detrital Heavy Mineral during Burial Diagenesis. Capítulo 7, p. 215-234. Elsevier. Amsterdam, Holanda.
- **Naseem, S., Ahmed, S., Qadeeruddin, M. y Shirin, K., (2002).** Geochemical stream sediment survey in Zinder Valley, Balochistan, Pakistan: Journal of Geochemical Exploration, volume 76, p. 1-12.
- **NRBi/269., 1985.** Control interno de la repetibilidad de los resultados para los análisis para los análisis básicos cuantitativos de materias primas minerales para el área geológica. La Habana, Cuba.
- **Pasquali, J., (2003).** Informe geoquímico del Proyecto FONACIT G-2000001199 primer año. Río Aro: diagnóstico de la cuenca: Informe no publicado, FONACIT - Universidad Central de Venezuela, 32 p.
- **Perel'Man, A. I., (1977).** Geochemistry of elements in the supergene zone: Jerusalén, Israel Program for Scientific Translations, 266 p.
- **Pettijohn, F. (1941).** Persistence of heavy minerals and geologic age. Jour. Geol. Volume 49, p. 610-625.
- **Pettijohn, F. (1975).** Sedimentary Rocks, 3th edition. New York. Harper y Row
- **Pisapia, V., (2006).** Estudio petrográfico de rocas metamórficas de la Provincia de Imataca, en la parte norte de la cuenca del río Aro, estado



Bolívar, Venezuela: Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas. 161 p.

- **Pitts, J., (1984).** A manual of geology for civil engineers. World Scientific Publishing Co Pte Ltd. Singapur. 216 p.
- **Pownceby, M., Sparrow, G., y Fisher-White, M., (2008).** Mineralogical characterization of Eucla Basin ilmenite concentrates-First results from a new global resource: Minerals Engineering, volume 221, p. 587-597.
- **Quevedo, J., (2009).** Análisis mineralógico y químico de minerales pesados de sedimentos de la cuenca del río Aro, estado Bolívar, Venezuela. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- **Rankama, K. y Sahama, Th., (1954).** Geoquímica, Editorial Aguilar, Madrid, 862 p.,
- **Reimann, C., y Filzmoser P., (2000).** Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. Consequences for the statistical treatment of geochemical and environmental data: Environmental Geology, volume 39, p. 1001-1014.
- **Reimann, C., y Caritat, P., (2005).** Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors: Science of the Total Environment, volume 337, p. 91-107.
- **Reimann, C. y Garret, R., (2005).** Geochemical background—concept and reality: Science of the Total Environment, volume 350, p. 12-27.
- **Reimann, C., Filzmoser, P. y Garret, R., (2005).** Background and threshold: critical comparison of methods of determination: Science of the Total Environment, volume 346, p. 1-16.
- **Reimann, C., Filzmoser, P., Garret, R. y Dutter, R., (2008)** Statistical data analysis explained: Applied Environmental Statistics with R.. John Wiley & Sons Ltd. Inglaterra 350 p.
- **Ríos, J. H., (1969).** Geología de la región de Caicara, Estado Bolívar, IV Cong. Geol. Veneuela., Caracas, MEM., III: p. 1759-1782.



- **Rodríguez E. (1984).** Geoquímica de los resistatos pesados del Río Paragua Edo Bolívar. Trabajo Especial de Grado, U.C.V., Facultad de Ciencias, Caracas, Venezuela. 88 p.
- **Rondón, M., (2007).** Diseño del sistema de recolección y tratamiento de aguas servidas, para las poblaciones de Morichalito y San José de Morichalito, ubicado en el Municipio Cedeño, estado Bolívar,. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería. Puerto La Cruz, Venezuela
- **Rose, A., Hawkes, H.E., y Webb, J., (1979).** Geochemistry in mineral exploration: New York, Academic Press, 2<sup>da</sup> edición, 657 p.
- **Salminen, R., y Tarvainen, T., (1995).** Geochemical mapping and databases in Finland. Journal of Geochemical Exploration, volume 55, p. 321-327.
- **Salminen, R., Tarvainen, T., Demetriades, A., Duris, M., Fordyce, F., Gregorauskiene, V., Kahelin, H., Kivisilla, J., Klaver, G., Klein, H., Larson, J., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mjartanova, H., Mouvet, C., Connor, P., Odor, L., Ottonello, G., Paukola, T., Plant, J., Reimann, C., Schermann, O., Siewers, U., Steenfelt, A., Van der Sluys, deV ivo, J., y Williams, L. (1998).** FOREGS Geochemical Mapping Field Manual. Geological Survey of Finland. Guide 47. 42 p.
- **Sidder, B., y Mendoza, V., (1995).** Geology of Venezuelan Guayana Shield and its relation to the geology of the entire Guayana Shield, en Sidder, B., García, E., y Stoesser, W., eds., Geology and mineral deposits of Venezuelan Guayana Shield: United States Geological Survey, Bull. 2062, p. B1-B45.
- **Sifontes, R. (2003).** Informe geológico. Avances de resultados. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Informe interno. Caracas, Venezuela.
- **Strahler, A.N., (1969).** Physical geography: New York – London, John Wiley & Song, 733 p.
- **Szczerban, E., (1974).** Geología y petrología de la región de Puerto Ayacucho, Territorio Federal Amazonas. Trabajo Especial de Grado, Inédito, Univ. Central de Venezuela, 221p.



- **Taissier Z., Philip G., y Fares H., (2008).** Geochemical zapping of New Mexico, USA, using stream sediment data. Jackson School of Geosciences, The University of Texas at Austin, TX 78758. U.S.A
- **Tapia, J., (1987).** Estudio geoquímico a través de rocas y sedimentos de corriente de la Formación Uairén (Precámbrico), en la región Paraitepuy-Icabarú, estado Bolívar, Venezuela: Trabajo Especial de Grado, Caracas, Universidad Central de Venezuela, 87 p.
- **Tassinari, G., Bettencourt, S., Geraldés, C., Macambria, B., y Lafon, M., (2000).** The Amazonian Craton. En: Tectonic Evolution of South America. Brasil. Pub. Esp. 31. Int. Geol. Cong., p. 41-95.
- **Torres, J., (1984).** Análisis geoquímico de los resistatos pesados de la hoya hidrográfica del río Paragua, estado Bolívar, Venezuela: Trabajo de Grado de Maestría en Geoquímica, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 136 p.
- **Torres, J., (1989).** Exploración geoquímica regional de la Guayana Oriental, estado Bolívar, Venezuela, Tesis Doctoral, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 207 p.
- **Tukey, J.W., (1977).** Exploratory data analysis: Massachusetts, Addison-Wesley, 688 p.
- **Urbani, F., (1977).** Metamorfismo de las rocas del Grupo Roraima, estado Bolívar y Territorio Federal Amazonas. V Cong. Geol. Venezuela, volumen. 2, p. 623- 641.
- **Whittaker, E., y Muntus, R., (1970).** Ionic radii for use in geochemistry. Department of Geology and Mineralogy, Oxford, UK. Acta de Geoquímica y Cosmoquímica, volume 34 (9), p. 945-956.
- **Yanes, C., (1997).** Estudio geoquímico regional de los ríos del Escudo de Guayana, Tesis Doctoral, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 313 p.
- **Yang Yong, X., Dong, W., Zhang, Y., y Fei, Y., (2008).** Geochemical constraints on the genesis of the Bayan Obo Fe–Nb–REE deposit in Inner Mongolia, China. Acta de Geoquímica y Cosmoquímica, volume 73, issue 5, p. 1417-1435.



- **Yao, W., Xie, X. y Wang, X., (2011).** Comparison of results analyzed by Chinese and European laboratories for FOREGS geochemical baselines mapping samples. *Geoscience Frontiers*, volume 2 (2), p. 247-259.
- **Xie, X., y Yin, B., (1993).** Geochemical patterns from local to global: *Journal of Geochemical Exploration*, volume 47, issues 1-3, p. 109-129.
- **Xie, X, y Cheng, H., (2001).** Global geochemical mapping and its implementation in the Asia-Pacific region: *Applied Geochemistry*, volume 16, issues, 11-12, p. 1309-1321.
- **Xie, X., Dawen, L., Yunchuan, X., Guangsheng, Y., y Changyun, L., (2004).** Geochemical blocks for predicting large ore deposits-concept and methodology: *Journal of Geochemical Exploration*, volume 84, issue 2, p. 77-91.
- **Xie, X., Cheng, H., y Liu, D. (2008).** *Geochemical Mapping: With Special Emphasis on Analytical Requirements.* *Acta Geológica Sinica*, volume 82, issue 2, p. 451-462.
- **Zhang, C., Manheim, F., Hinde, J., y Grossman, J., (2005).** Statistical characterization of a large geochemical database and effect of sample size: *Applied Geochemistry*, volume. 20, issue, 10. p. 1857-1874.



## APENDICE A-Tratamiento estadístico

El uso de técnicas estadísticas como el Análisis Exploratorio de Datos (AED) está plenamente justificado en los problemas geológicos donde es necesario realizar una simplificación y reducción de una estructura compleja de datos a un espacio más reducido realizando transformaciones de las variables o muestras originales (Davis, 1986).

El Análisis Exploratorio de Datos (AED) es una técnica no paramétrica desarrollada por Tukey (1977) y Hoaglin et al. (1983), cuya finalidad es examinar los datos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística. De esta forma se consigue un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas. El AED proporciona métodos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallos en el diseño y recogida de las muestras, tratamiento y evaluación de datos ausentes, identificación de casos atípicos (anomalías) y comprobación de los supuestos básicos en la mayor parte de las técnicas multivariantes por ejemplo normalidad, linealidad y homocedasticidad. Este método se presenta como uno de los más usados y recomendados (Reimann y Filzmoser, 2000; Bounessah y Atkin, 2003; Reimann et al., 2005) debido, en primer lugar, a la sencillez de su desarrollo y en segundo lugar porque la información se presenta de una manera visual en la denominadas “cajas gráficas” (Tukey, 1977).

La combinación de estos métodos no paramétricos son una herramienta efectiva para la detección del fondo geoquímico Tabla A1 (Bounessah y Atkin, 2005; Reimann et al., 2005).

Características comunes de las pruebas no paramétricas.

- Independencia de las observaciones aleatorias a excepción de datos pareados.
- Pocas suposiciones con respecto a la distribución de la población.
- La variable dependiente es medida en escala categórica.
- El punto primario es el ordenamiento por rangos o por frecuencias.



- Las hipótesis se hacen sobre rangos, mediana o frecuencias de los datos.

### **Cajas Gráficas**

Para el desarrollo de las cajas gráficas se utilizó una herramienta de aplicación adicional de Microsoft Excel 2003, llamada PTS Charts, bajo los siguientes criterios: la mediana, (línea recta) la cual representa la medida de tendencia central, el promedio (símbolo cuadrado negro, Figura A1), los cuartiles (percentiles 25% y 75%) los cuales representan los valores de dispersión de la tendencia central, donde el valor de la distancia intercuartil (valor del percentil 75% menos el valor del percentil 25%) permite valorar el grado de la dispersión y “los bigotes”, donde el cálculo de este valor se realiza tomando el 75p y sumándole el 1,5 de la distancia intercuartil para el caso del umbral superior, o tomando el 25p y restándole el 1,5 de la distancia intercuartil para el umbral inferior. En resumen, los valores de la mediana dentro del análisis exploratorio de datos se pueden ver como los valores de fondo, mientras que los valores de los percentiles y “los bigotes” representan los valores umbrales. Los datos por encima del extremo superior o por debajo del extremo inferior se pueden considerar los valores anómalos, positivos y negativos respectivamente (Torres 1984). No obstante, aquellas concentraciones cercanas al umbral superior, llamadas en este estudio “altas concentraciones”, serán de utilidad, al estudiar asociaciones geoquímicas, en las diversas áreas de interés.

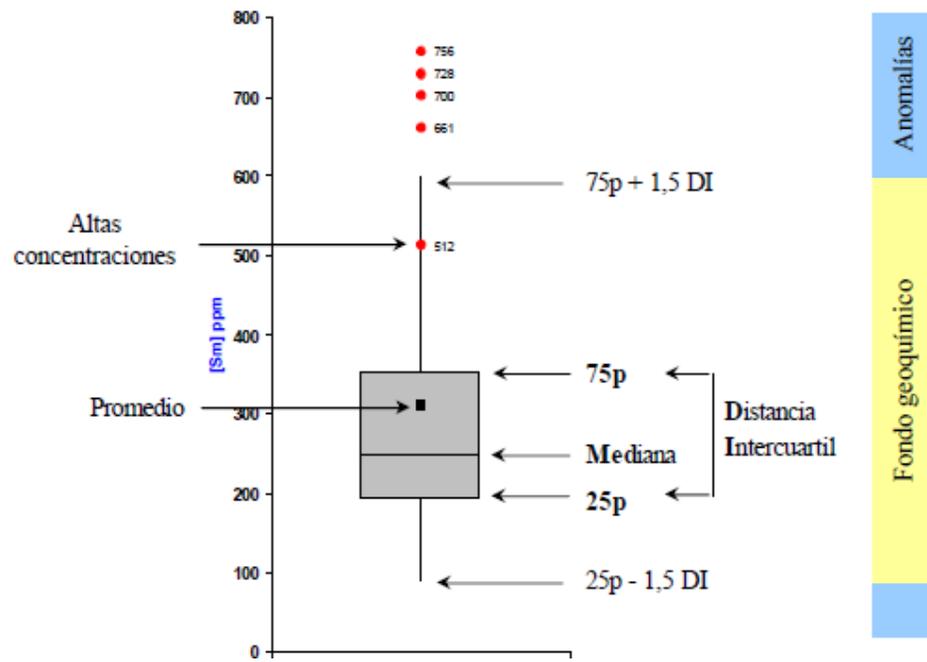


Figura A1- Caja gráfica

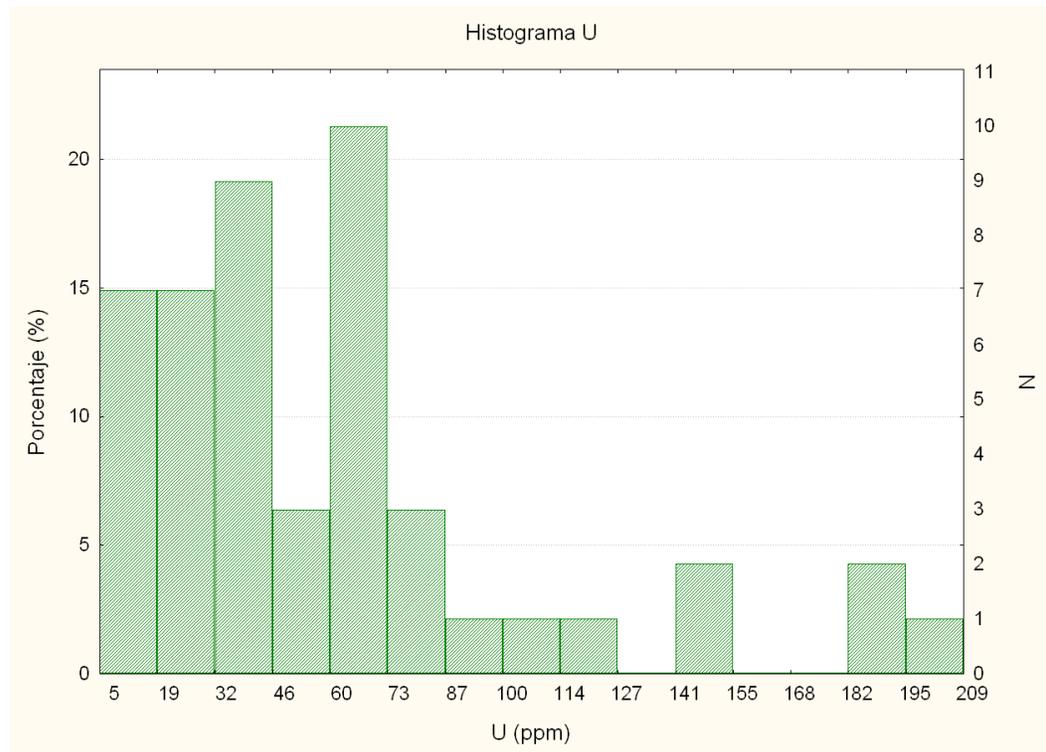


**Tabla A1** – Valores de los fondos geoquímicos de los concentrados de minerales pesados recolectados durante el estudio regional en las cuencas noroccidentales del Edo Bolívar.

<b>Elementos</b>	<b>Fondo geoquímico</b>
La	(47,36 ; 1090) ppm
Ce	(98,42 ; 1901) ppm
Nd	(42,86 ; 1019) ppm
Y	(99,1 ; 441) ppm
Zr	(6292,13 ; 75723) ppm
Nb	(249,38 ; 4385) ppm
Cr	(105,3 ; 425) ppm
Hf	(168,11 ; 1995) ppm
U	(29,135 ; 134) ppm
Th	(99,89 ; 954) ppm
MnO	(1,22 ; 4,79) %
MgO	(0,109 ; 0,73) %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	(0,06 ; 0,37) %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(27,96 ; 56,70) %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(0,61 ; 2,51) %
SiO <sub>2</sub>	(5,68 ; 58,03) %
TiO <sub>2</sub>	(31,14 ; 79,52) %

## Histogramas

Los histogramas son gráficos que muestran la distribución de una serie de datos. Para ello, el rango completo de los datos se divide en subrangos menores llamados intervalos de forma que el histograma muestra cuantos puntos hay en cada intervalo. El ancho de cada barra corresponde con el rango del intervalo, y la altura se corresponde con el número de puntos dentro del intervalo (Gilat, 2005). La construcción de los histogramas consistió en calcular el valor de los intervalos de clase, para esto se tomó en cuenta el comportamiento de la población de datos y se resolvió dividir los histogramas entre 14 y 15 intervalos. Posteriormente se procedió a graficarlos mediante el programa Statistic (versión 5.5), la figura A2 muestra un ejemplo de los histogramas de distribución:



**Figura A2** - Histograma de concentración de Uranio (U) en las muestras de concentrados de minerales pesados en la zona noroccidental del estado Bolívar.



### **Criterios aplicados en el tratamiento estadístico del grupo de datos**

Los datos arrojaron diversos comportamientos, lo que requirió el manejo de ciertos criterios de selección y modificaciones de los datos para la aplicación del tratamiento estadístico seleccionado. A continuación se presentan los casos encontrados y criterios aplicados para su depuración:

- **Elementos cuyas concentraciones están muy cercanas al límite inferior de detección en una proporción mayor al 25%:** Otros elementos presentaron una proporción de datos muy cercanos o igual al valor del límite de detección, por lo cual se presume una alta incertidumbre y alto error relativo, y fueron excluidos del tratamiento estadístico y posterior uso en la interpretación en la exploración geoquímica de la zona bajo estudio (tomado de Jiménez, 2009). Solo tres elementos fueron descartados: Na, K y Ca.
- **Elementos cuyas concentraciones están por debajo del límite inferior de detección en una proporción menor al 25%.** En este caso no fue descartado el elemento para la aplicación del tratamiento estadístico, construcción del histograma, caja gráfica o mapa geoquímico. Aquellos valores por debajo del límite de detección fueron sustituidos por la mitad del valor del límite de detección (tomado de Jiménez, 2009). El elemento seleccionado fue el P.



## APENDICE B - Equipos e instrumentación analítica

- Separador hidrodinámico (Figura B1)
- Horno de secado industrial marca LABTECH ESSA, modelo DO2ME.
- Balanza analítica marca METTLER, modelo AB204-S.
- Estufa marca BARNSTEAD INTERNATIONAL, modelo 3513.
- Mortero de ágata.
- Fundidor automático marca CLAISSE, modelo M4 FLUXER.
- Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (por sus siglas en inglés ICP-OES) marca PERKIN ELMER, modelo OPTIMA 5300V (figura).
- Espectrómetro de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado (por sus siglas en inglés ICP-MS) marca PERKIN ELMER, modelo ELANDRC-E (Figura B2).
- Separador isodinámico tipo FRANTZ, modelo MOL L-1 Integral input 115 volts 2.5 A (Figura B3).
- Difracción de rayos X, marca PHILIPS modelo X`PERT (Figura B4).



**Figura B1** - Sistema hidrodinámico. INGEOMIN. Caracas



**Figura B2**-Espectrómetro de masa con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS). INGEOMIN. Caracas



**Figura B3** - Separador isodinámico tipo Frantz. INGEOMIN. Caracas



**Figura B4** - Difracción de Rayos X. INGEOMIN. Caracas



## APENDICE C-Ubicación y datos y de las muestras recolectadas

Tabla C1 - Ubicación de las muestras recolectadas

Código del punto de muestreo	Nombre del río	Fecha de la recolección	Coordenadas Geográficas	
			Oeste (W)	Norte (N)
Am-001	Río Cataniapo	28-Abr-07	67°35'44"	05°35'47"
Am-002	Unión Caño Parhueña y Caño Topocho	28-Abr-07	67°23'43"	05°56'48"
Am-003	Caño Pavón	28-Abr-07	67°22'44"	06°00'03"
Bo-007	Caño Colorado	01-May-07	67°01'20"	06°03'01"
Bo-008	Caño Yumena	01-May-07	67°03'33"	06°04'19"
Bo-009	Caño Ore	27-Abr-07	67°09'46"	06°19'37"
Bo-010	Río Parguaza	26-Abr-07	67°10'53"	06°23'40"
Bo-011	Río Villacoa	26-Abr-07	67°06'03"	06°29'51"
Bo-012	Caño Corozo	27-Abr-07	67°02'16"	06°35'54"
Bo-017	Caño La Peineta	07-May-07	66°35'54"	06°21'14"
Bo-018	Caño La Miel	07-May-07	66°36'07"	06°27'58"
Bo-019	Río Túriba	24-Abr-07	66°44'29"	06°37'34"
Bo-020	Río Suapure	25-Abr-07	67°00'45"	06°48'05"
Bo-027	Caño Guaya	07-May-07	66°27'41"	07°28'30"
Bo-029	Río Guaniamo	22-May-07	66°01'40"	06°12'04"
Bo-030	Río Claro	22-May-07	66°02'04"	06°12'20"
Bo-031	Río Aguada Aje	22-May-07	66°01'54"	06°14'43"
Bo-032	Río Las Nieves	24-May-07	66°00'55"	06°31'20"
Bo-033	Río La Botella	24-May-07	65°59'29"	06°34'28"
Bo-034	Río Guaniamito	18-May-07	65°55'09"	06°50'59"
Bo-035	Río Guaniamo	15-May-07	65°45'14"	07°13'41"
Bo-036	Caño San Félix	16-May-07	65°48'56"	07°18'21"
Bo-037	Caño Cocuiza	13-May-07	65°55'20"	07°32'51"
Bo-038	Río Cuchivero	13-May-07	65°55'50"	07°33'25"
Bo-042	Río Cuchivero	15-May-07	65°37'53"	06°50'16"
Bo-043	Río Zariapo	15-May-07	65°37'21"	06°54'02"
Bo-044	Río Uyape	16-May-07	65°41'38"	07°49'57"
Bo-046	Río El Pao	04-Abr-08	64°37'53"	07°43'47"
Bo-047	Río Turupa	05-Abr-08	64°33'28"	07°30'08"
Bo-048	El Pao	05-Abr-08	64°33'41"	07°30'18"
Bo-049	Río Aro	07-Abr-08	64°16'27"	07°54'00"
Bo-050	Río Guaigua	06-Abr-08	64°07'28"	07°34'08"
Bo-051	Río Arizo	06-Abr-08	64°06'15"	07°30'15"
Bo-052	Río Carapo	08-Abr-08	64°01'21"	07°28'55"
Bo-063	Río Mapares	07-Abr-08	63°56'27"	07°55'52"
Bo-065	Río Marcela	03-Abr-08	63°40'17"	08°03'18"
Bo-066	Río Tiquire	03-Abr-08	63°39'40"	08°03'26"
Bo-068	Río Candelaria	09-Abr-08	63°23'56"	08°08'46"
Bo-069	Río Currucay	09-Abr-08	63°11'26"	08°16'19"
Bo-MC-Aro-01	Río Aro	04-May-08	64°07'36"	07°36'18"
Bo-MC-Ori-01	Río Orinoco	04-May-07	67°08'50"	06°30'52"
Bo-MC-Ori-02	Río Orinoco	13-May-07	66°11'41"	07°37'58"
Bo-MC-Ori-03	Río Orinoco (Isla La Isleta)	04-Abr-08	64°39'24"	07°43'51"
Bo-MC-Ori-04	Río Orinoco	07-Abr-08	63°58'00"	07°56'37"
Bo-MC-Ori-05	Río Orinoco	09-Abr-08	63°20'51"	08°13'11"
Bo-MC-Sua-01	Río Suapure	08-May-07	66°41'19"	06°33'33"
Bo-MC-Par-02	Río Parguaza	01-May-07	66°57'46"	05°59'46"

**Tabla C2 - Datos de concentración de los elementos químicos analizados en las muestras de concentrados de minerales pesados de las cuencas noroccidentales del estado Bolívar.**

Código	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr	Y	Zr	Nb	La	Hf	Ce	Nd	Th	U
% ± RSD	% ± 4%	% ± 5%	% ± 9%	% ± 3%	% ± 10%	% ± 3%	% ± %	g/t ± 2%	g/t ± 6%	g/t ± 2%	g/t ± 1%	g/t ± 2%	g/t ± 3%	g/t ± 6%	g/t ± 13%	g/t ± 9%	g/t ± 1%
LD	<0,08	<0,05	<0,01	<0,001	<0,04	<0,01	<0,01	<2,50	<0,08	<5,44	<0,11	<0,01	<0,20	<0,08	<0,10	<0,04	<0,004
AM-001	0,56	30,62	0,02	2,553	0,07	41,81	7,94	75,39	402,61	112065	3316,57	76,46	2326,67	156,55	72,78	270,55	194,495
AM-002	0,87	34,05	0,04	1,886	0,07	57,58	5,29	150,13	118,58	47164	2619,80	48,36	1079,38	99,79	39,97	165,36	60,339
AM-003	0,75	35,69	0,04	1,776	0,08	56,82	8,55	149,60	140,18	47503	2551,13	45,99	1125,87	97,06	43,38	172,82	63,445
BO-007	0,80	44,04	0,05	2,270	0,05	53,28	8,03	103,67	255,20	81635	3491,69	30,17	1855,27	61,39	29,33	185,50	144,674
BO-008	0,67	19,49	0,04	1,007	0,03	24,55	43,85	64,63	124,78	38560	1062,14	21,54	966,79	45,79	21,16	123,34	68,647
BO-009	0,79	27,55	0,03	1,819	0,05	34,62	27,31	76,21	169,98	35778	1664,05	61,33	934,34	124,80	56,13	165,60	68,517
BO-010	0,92	25,03	0,08	1,532	0,07	30,70	33,34	74,99	213,66	43273	1478,33	51,78	1125,46	113,79	60,05	161,73	93,918
BO-011	0,38	37,27	0,03	2,682	0,03	46,50	6,08	58,14	87,78	19445	2398,30	36,98	513,68	61,58	32,41	109,11	41,665
BO-012	1,18	33,88	0,13	2,674	0,06	49,22	27,53	170,17	137,80	33929	3062,74	47,78	909,71	110,55	50,31	278,69	65,870
BO-017	0,69	48,81	0,07	2,753	0,09	56,17	7,77	98,31	160,70	40514	2140,75	78,87	993,11	157,28	77,62	95,63	54,463
BO-018	0,58	38,33	0,15	8,024	0,08	50,92	4,44	99,09	141,74	22553	799,93	136,46	549,14	262,98	110,08	621,34	63,208
BO-019	1,42	23,48	0,49	3,073	0,03	29,35	34,16	101,44	152,00	24202	658,38	36,90	707,98	89,92	34,70	208,58	72,045
BO-020	0,83	52,26	0,12	5,975	0,11	65,80	2,96	117,85	214,35	30676	3518,29	187,50	766,53	341,17	142,73	234,28	70,306
BO-027	0,91	15,86	0,12	0,736	0,07	24,55	56,79	116,72	37,29	2680,78	160,94	8,52	83,61	18,14	7,44	47,27	12,721
BO-029	0,99	28,39	0,10	16,191	0,59	51,78	16,94	120,51	559,29	22784	4113,64	3923,04	621,42	6846,01	2519,62	2218,91	189,219
BO-030	1,04	35,21	0,12	15,156	0,20	59,38	9,95	160,89	502,92	68005	3633,44	584,43	1589,70	683,15	435,72	1812,98	208,847
BO-031	0,42	38,76	0,10	4,639	0,05	50,07	3,39	94,19	43,54	5167	526,30	15,83	146,09	43,62	11,84	57,98	25,294
BO-032	0,76	48,80	0,18	7,184	0,11	62,62	4,31	134,24	376,52	34198	1546,81	281,27	887,89	502,77	207,60	620,57	117,529
BO-033	0,47	39,77	0,28	2,130	0,03	48,20	4,86	106,96	22,85	2351	131,88	5,62	100,32	11,91	3,98	30,32	17,025
BO-034	1,32	36,51	0,75	2,092	0,05	37,65	14,78	232,23	33,96	2936	170,12	13,85	96,76	29,21	13,77	32,76	14,648
BO-035	1,56	47,04	1,09	3,220	0,03	53,06	15,86	177,88	94,57	11046	346,78	44,73	284,11	86,73	35,49	104,10	29,459
BO-036	2,75	31,25	1,68	2,133	0,08	31,60	20,69	143,41	93,98	5360	194,22	122,19	146,42	255,62	124,32	112,55	20,468
BO-037	0,72	40,64	0,37	2,625	0,09	42,26	5,28	134,39	113,13	7910	246,88	210,77	207,93	445,16	212,99	221,31	28,811
BO-038	2,77	37,71	1,45	2,984	0,07	39,43	9,00	169,92	103,65	6121	251,88	42,66	179,38	89,68	42,35	112,84	35,807
BO-042	1,66	30,41	0,25	1,923	0,10	30,34	25,94	163,65	94,03	6463	235,80	262,51	164,65	321,53	268,86	247,09	25,167
BO-043	2,68	43,51	0,78	1,844	0,14	24,68	16,44	208,16	278,88	7812	119,69	525,82	216,02	1057,75	564,10	323,85	48,401
BO-044	1,65	9,06	0,17	0,359	0,10	7,15	78,86	111,55	47,83	3984	155,51	76,98	110,86	171,59	87,73	23,77	11,682
BO-046	1,15	6,30	0,63	0,311	0,06	7,89	77,05	155,03	27,46	866	161,16	86,36	37,73	168,05	74,60	75,32	7,976
BO-047	0,36	31,45	0,26	1,348	0,18	49,21	7,94	354,75	227,46	9302	657,28	882,07	268,12	1752,60	789,75	506,20	45,033
BO-048	0,47	10,49	0,11	0,390	0,05	17,51	67,32	223,47	14,69	1285	307,50	46,94	43,13	94,39	40,05	57,60	5,214
BO-049	0,91	53,97	0,59	1,829	0,13	59,69	5,14	478,03	208,95	13650	1085,14	490,32	366,74	970,03	431,24	403,29	43,128
BO-050	0,89	36,63	0,46	1,584	0,12	46,68	6,24	332,48	219,58	8338	1145,01	438,64	243,20	955,58	465,86	291,93	43,433
BO-051	0,32	39,95	0,32	1,238	0,40	47,70	4,99	319,22	377,43	11764	538,54	3045,93	300,69	6305,83	2586,23	2144,62	81,945
BO-052	0,80	38,80	0,54	1,250	0,19	37,06	14,99	236,01	191,34	9710	324,21	1505,98	260,26	1934,15	810,74	701,67	42,087
BO-063	0,56	47,79	0,34	1,317	0,25	53,34	4,42	475,93	825,90	2117	30,26	11439,10	53,47	21934,90	17086,03	7520,51	149,133
BO-065	0,39	35,92	0,26	1,029	0,19	41,13	4,51	358,44	593,79	2145	28,42	8357,74	55,04	16038,89	12511,15	5416,51	113,136
BO-066	0,64	32,46	0,24	1,074	0,24	44,30	18,40	296,36	191,58	9745	413,60	2025,36	246,04	3599,60	1445,77	957,24	42,176
BO-068	0,79	38,82	0,35	1,063	0,26	42,04	10,12	306,31	408,27	6546	313,20	1845,08	171,58	3542,31	1502,71	479,48	62,655
BO-069	0,52	26,81	0,13	1,194	0,08	37,37	15,69	209,26	216,52	47832	2855,00	99,01	983,19	234,80	117,51	105,43	48,487
BO-MC-ARO-01	0,31	42,89	0,26	1,205	0,40	39,77	1,45	282,78	355,03	9119	489,19	3195,87	239,94	6422,92	2533,28	2383,67	81,356
BO-MC-ORI-01	4,72	26,11	0,31	0,378	0,39	6,00	46,97	167,35	56,55	2151	146,92	91,52	65,95	201,96	101,63	33,28	14,425
BO-MC-ORI-02	2,17	37,38	0,15	1,940	0,18	32,52	23,31	193,63	221,62	28841	1464,62	265,13	727,86	599,69	312,60	63,866	63,866
BO-MC-ORI-03	2,44	39,15	0,38	2,320	0,25	37,27	20,65	258,06	154,05	8530	513,75	236,18	231,14	546,45	280,82	77,75	33,786
BO-MC-ORI-04	1,77	34,72	0,20	1,708	0,43	33,01	9,67	234,29	155,50	14894	688,02	160,09	391,34	366,73	183,00	124,03	45,268
BO-MC-ORI-05	1,90	25,91	0,22	1,152	0,16	22,65	34,46	216,02	120,02	8848	340,78	156,92	228,76	347,33	170,38	95,70	27,462
BO-MC-SUA-01	1,23	19,53	0,14	2,275	0,06	23,36	41,19	53,53	106,33	16239	1086,75	110,05	414,72	209,32	92,45	93,49	31,898
BO-MC-PAR-02	0,79	34,16	0,06	2,383	0,05	39,48	23,04	72,37	244,35	43550	2401,99	88,48	1107,01	176,67	91,59	143,56	81,648
75 percentil	1,37	39,46	0,36	2,650	0,19	50,50	26,62	233,26	235,91	34064	1902,40	464,48	898,80	819,37	433,48	441,39	71,175
Mediana	0,83	35,69	0,20	1,886	0,09	41,13	14,78	160,89	155,50	11046	657,28	110,05	284,11	234,80	110,08	165,60	48,401
25 percentil	0,61	27,97	0,11	1,222	0,06	31,15	5,69	105,31	99,11	6292	249,38	47,36	168,12	98,43	42,86	99,90	29,135
Distancia Intercuartil 75p-25p)	0,76	11,49	0,25	1,428	0,13	19,35	20,94	127,95	136,80	27772	1653,02	417,12	730,69	720,94	390,62	341,49	42,040
Promedio	1,13	33,89	0,31	2,728	0,14	39,96	19,96	183,78	205,07	21693	1182,71	883,94	534,58	1674,21	998,59	649,57	61,931
Desviación estándar	0,85	10,69	0,35	3,171	0,13	14,51	19,47	103,44	166,76	23138	1192,18	2141,67	513,93	4097,70	3050,74	1385,23	48,586

\* Na, K, Ca = Valores por debajo del límite de detección (LD). RSD: Desviación estándar relativa

### APENDICE D-Cajas gráficas

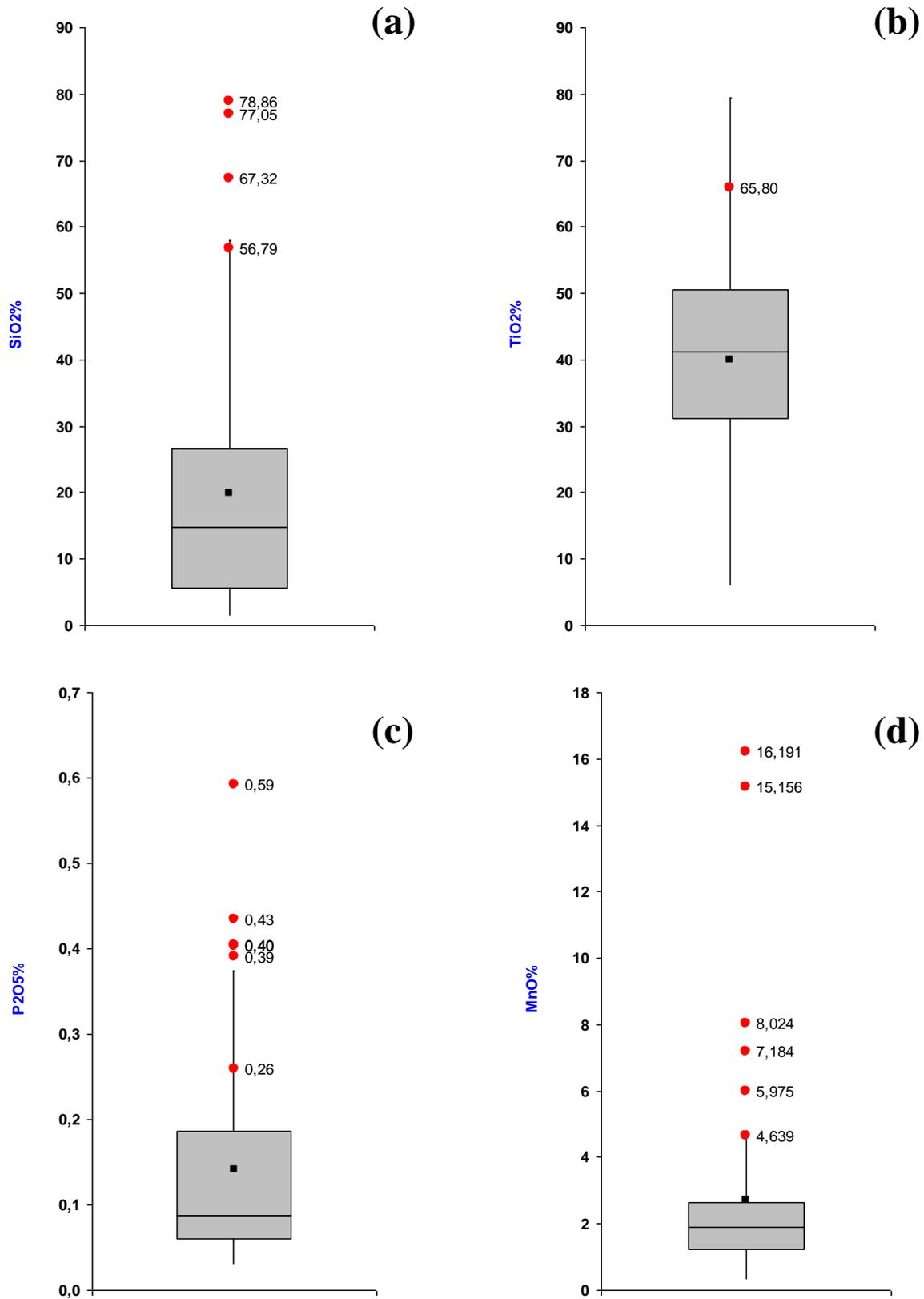


Figura D1 - Caja gráficas: (a) SiO<sub>2</sub>, (b) TiO<sub>2</sub>, (c) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (d) MnO.

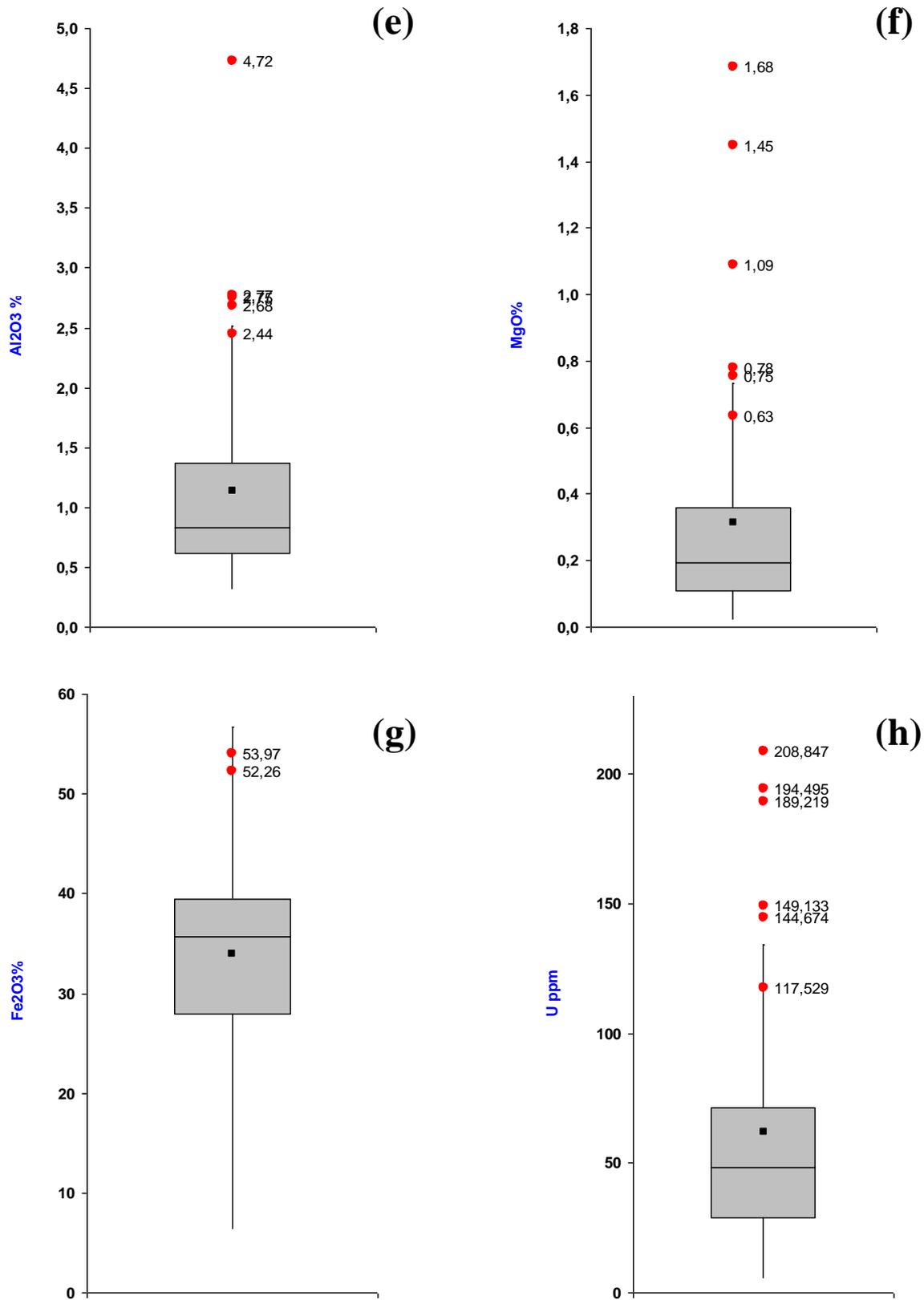


Figura D2 - Caja gráficas: (e)  $Al_2O_3$ , (f) MgO, (g)  $Fe_2O_3$ , (h) U.

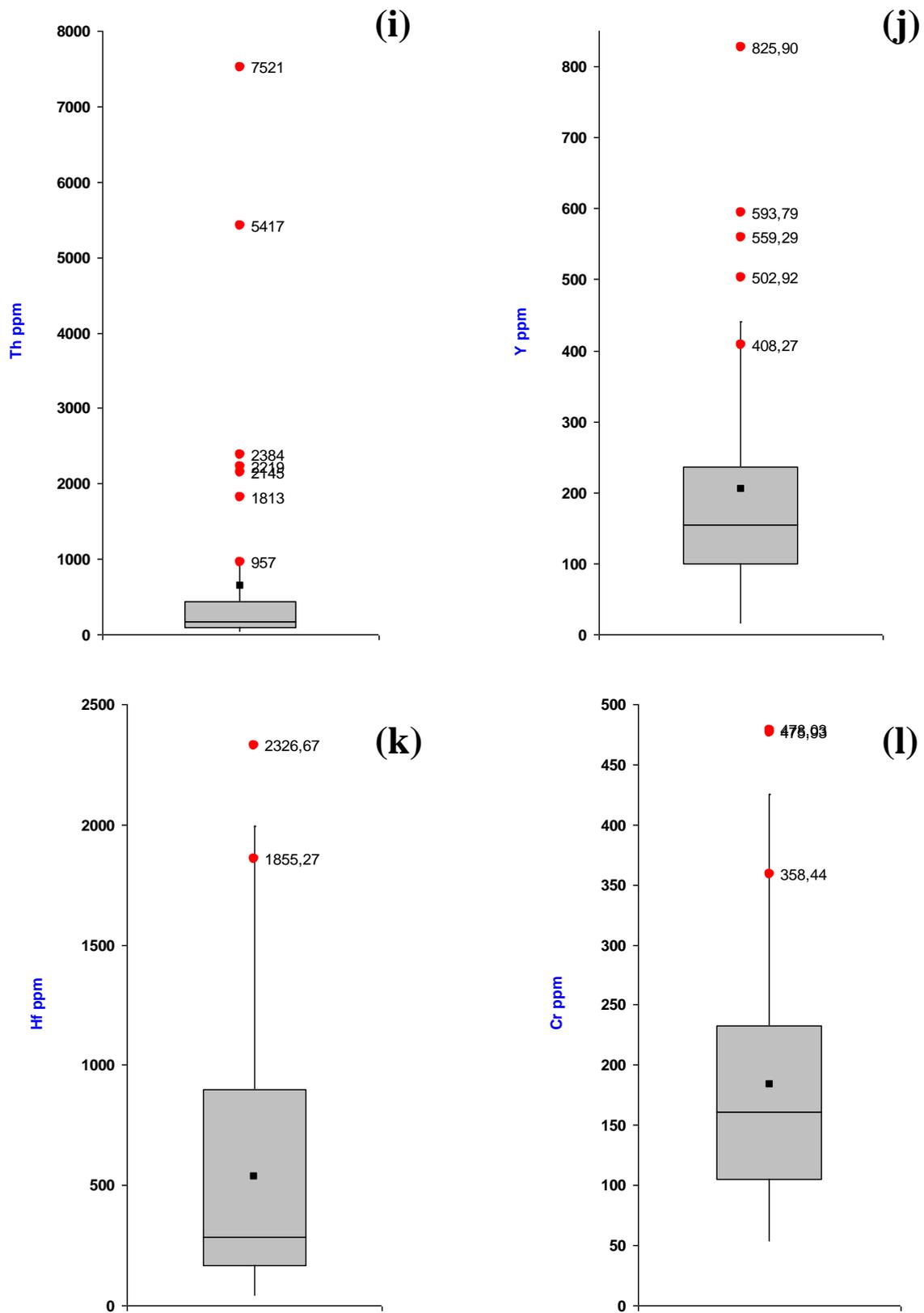


Figura D3 - Caja gráficas: (i) Th, (j) Y, (k) Hf, (l) Cr.

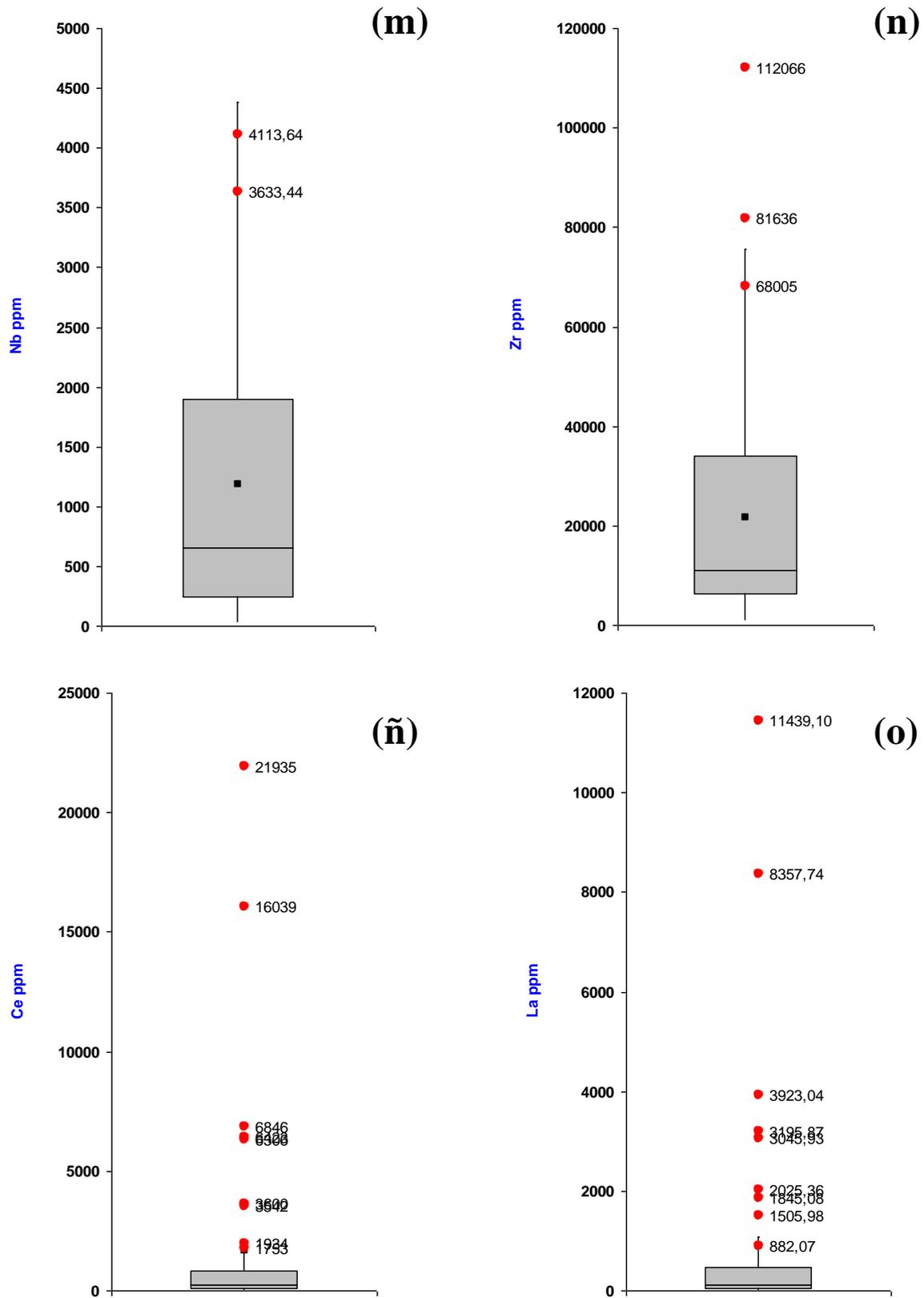


Figura D4 - Caja gráficas: (m) Nb, (n) Zr, (ñ) Cr, (o) La.

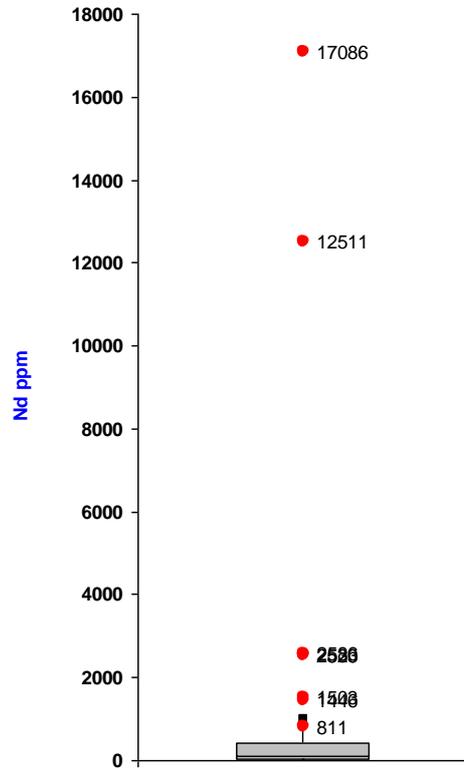
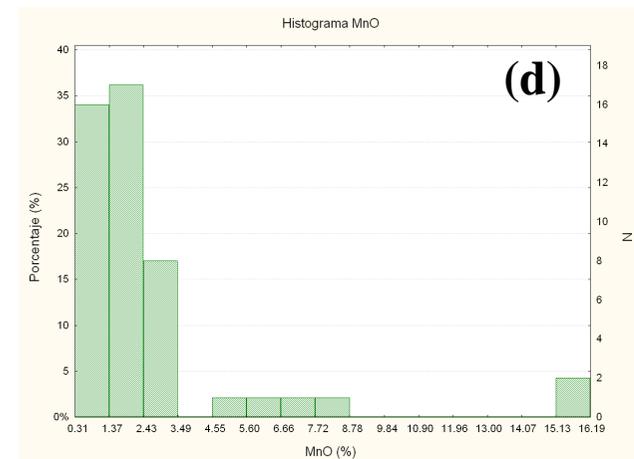
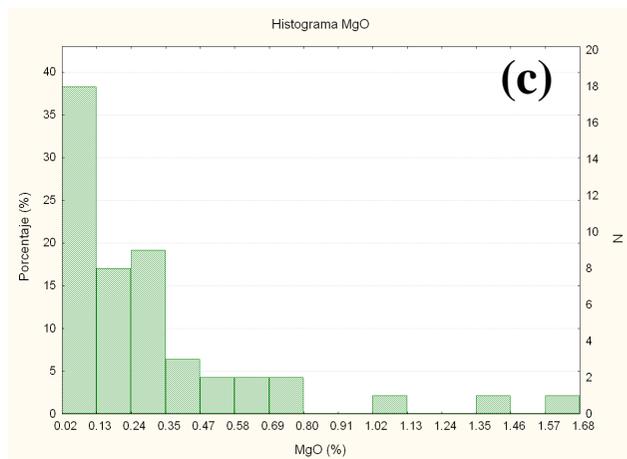
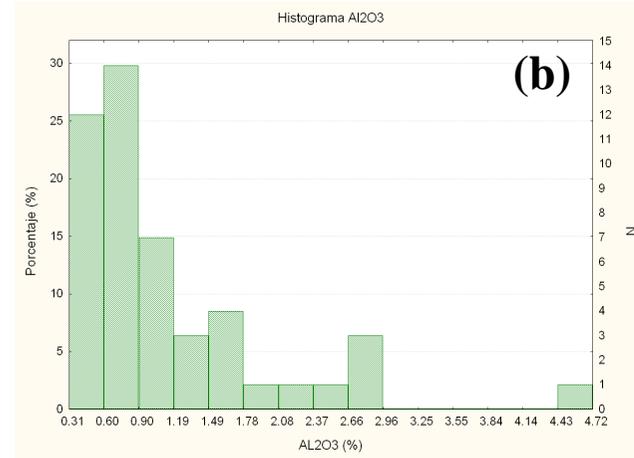
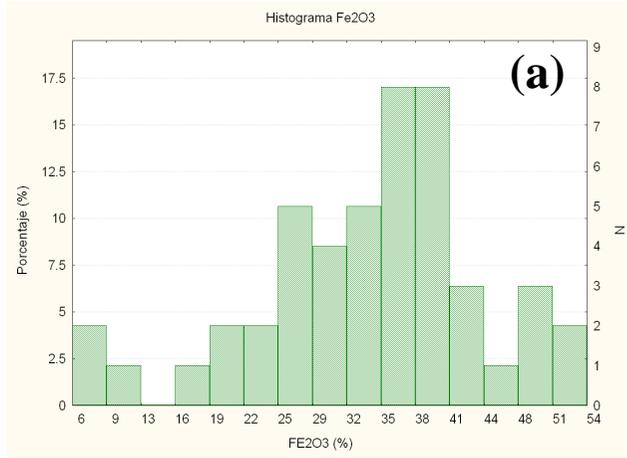


Figura D5-Caja gráfica Nd

## APENDICE E-Histogramas



**Figura E1** – Histogramas: (a) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) MgO, (d) MnO.

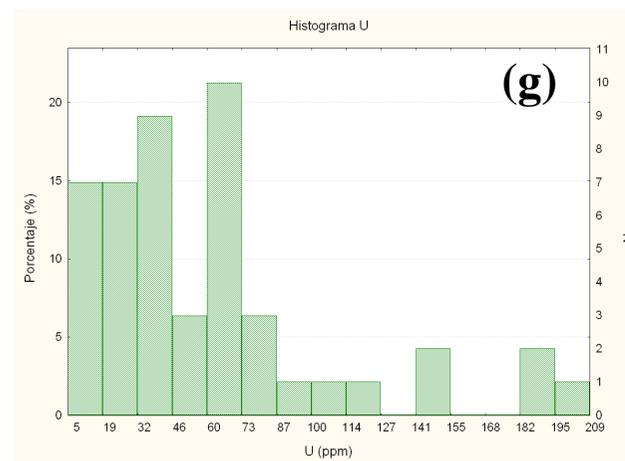
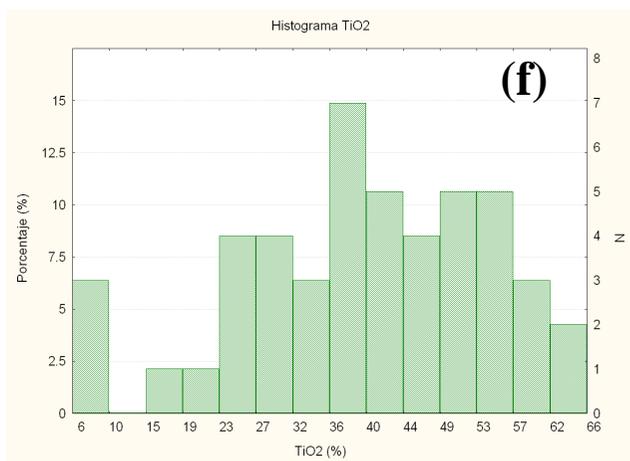
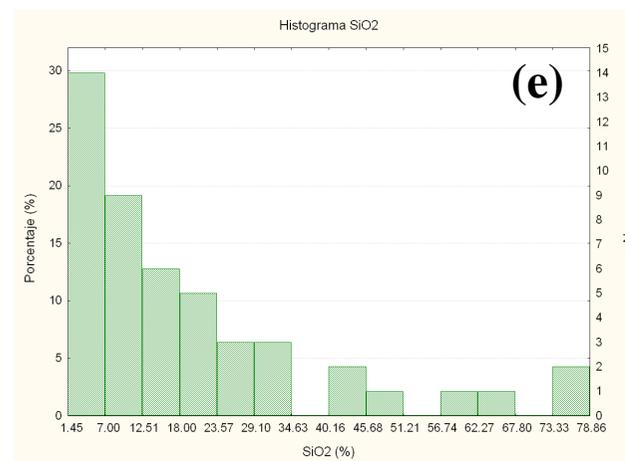
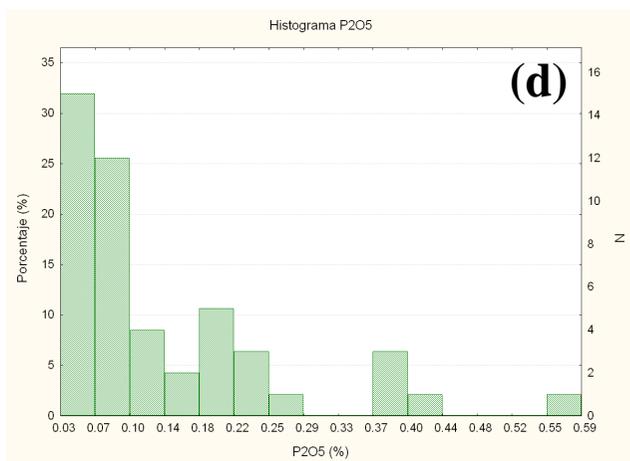
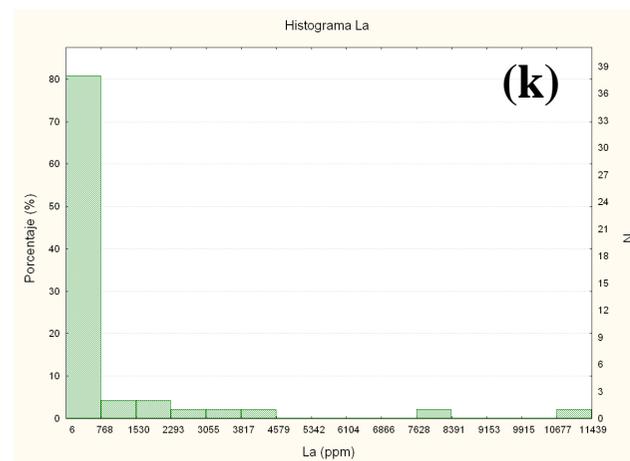
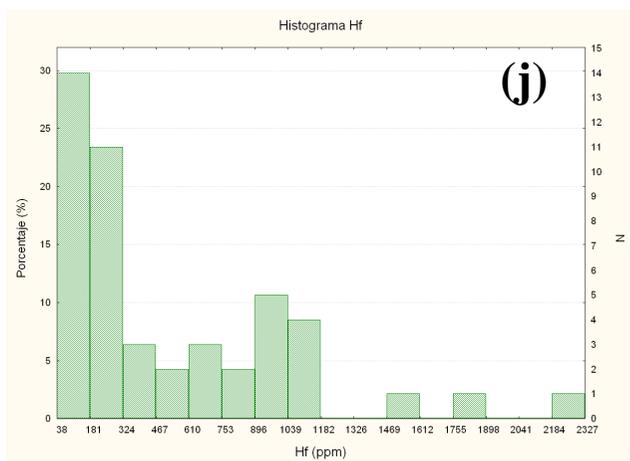
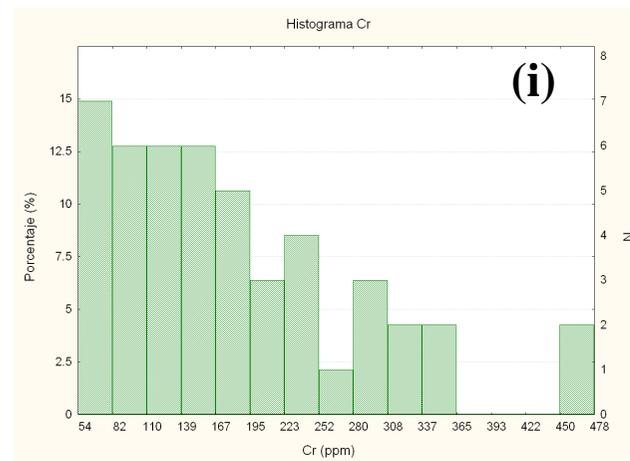
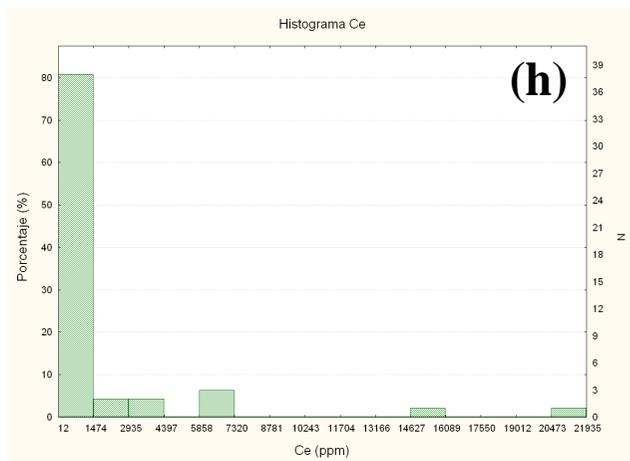
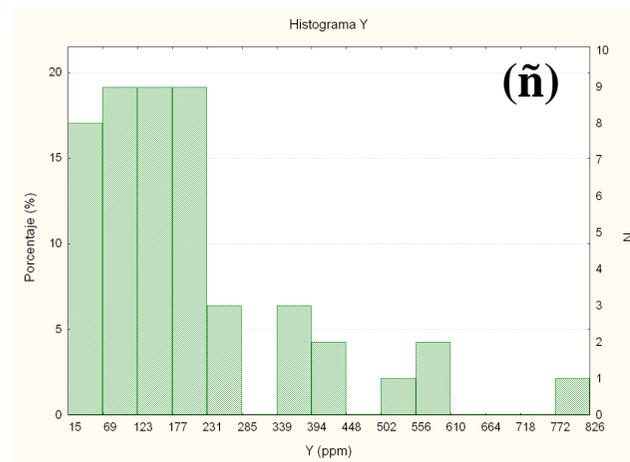
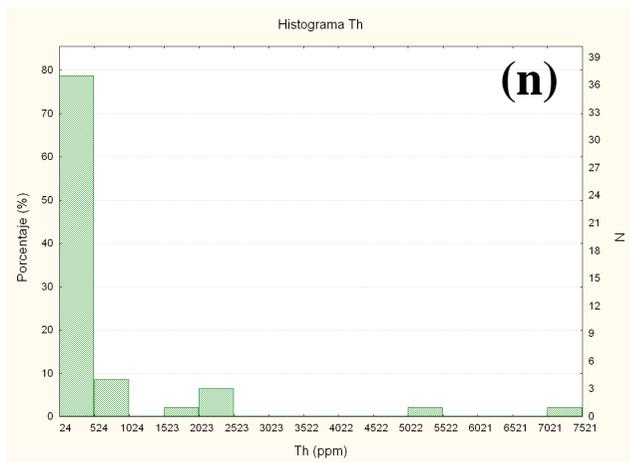
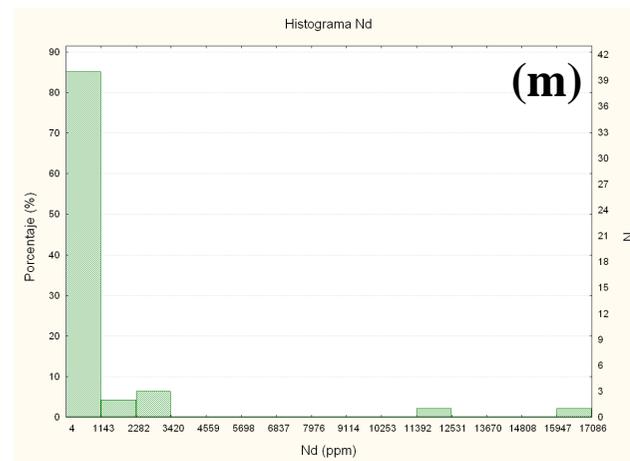
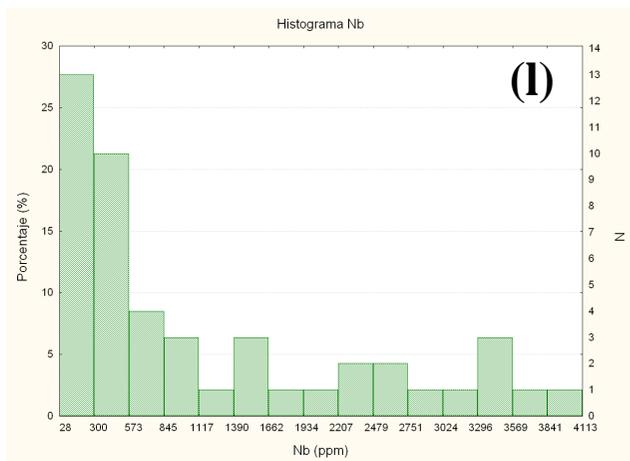


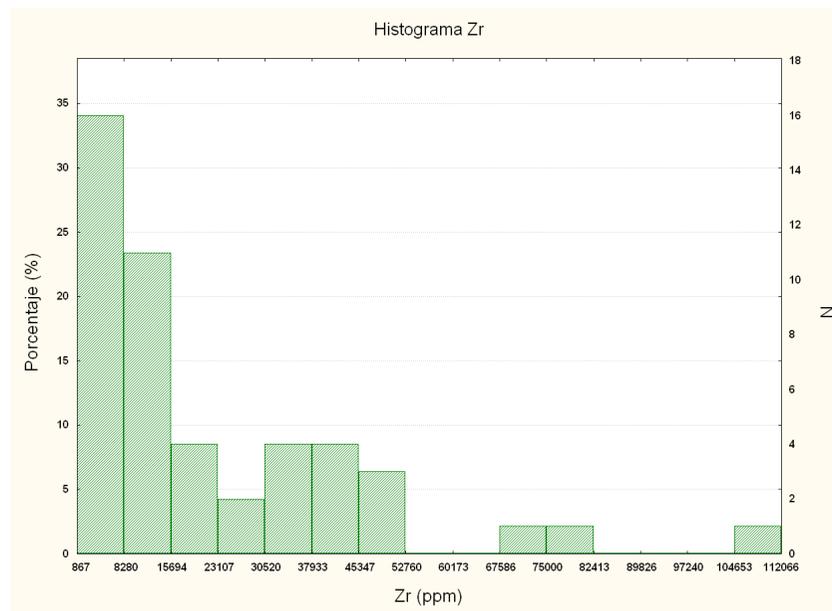
Figura E2 – Histogramas: (d) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (e) SiO<sub>2</sub>, (f) TiO<sub>2</sub>, (g) U.



**Figura E3** – Histogramas: (h) Ce, (i) Cr, (j) Hf, (k) La.



**Figura E4** – Histogramas: (l) Nb, (m) Nd, (n) Th, (ñ) Y.



**Figura E5-** Histograma: Zr

**APENDICE F - Certificados**

**Tabla F1-** Valores reportados para los certificados Andesita (CHA-2), Basalto (BAMAP01), Riolita (PER-1-242) y los valores experimentales obtenidos, utilizados para la determinación de la exactitud de los elementos traza.

<b>MR</b>	<b>CHA-2</b>		<b>BAMAP01</b>		<b>PER-1-242</b>	
	<i>Andesita</i>	<i>Exp</i>	<i>Basalto</i>	<i>Exp</i>	<i>Riolita</i>	<i>Exp</i>
<b>Ppm (mg/kg)</b>						
<b>La</b>	24,6	21,1	25,2	20,8	26,0	23,5
<b>Ce</b>	51,5	52,8	47,7	46,8	45,1	43,6
<b>Nd</b>	25	22	26	24	14	12
<b>Hf</b>	4,36	4,84	4,5	4,76	2,61	3,34
<b>Zr</b>	172	156	178	175	90	92
<b>Nb</b>	10	11	31	32	6	6
<b>Y</b>	23,3	22	21,3	19,9	11,6	12,6
<b>U</b>	2,7	2,7	2,9	2,5	14,3	14,6
<b>Th</b>	7,5	7,4	0,8	0,6	2,5	2,5

## APENDICE G – Coeficiente de correlación

**Tabla G1** – Tabla de correlaciones elementales

	Al2O3	Fe2O3	MgO	MnO	P2O5	TiO2	SiO2	Cr	Y	Zr	Nb	La	Hf	Ce	Nd	Th	U
Al2O3	1,00																
Fe2O3	-0,11	1,00															
MgO	0,49	0,14	1,00														
MnO	-0,09	0,20	-0,12	1,00													
P2O5	0,18	0,13	-0,07	0,27	1,00												
TiO2	-0,49	<b>0,79</b>	-0,12	0,47	0,01	1,00											
SiO2	0,29	-0,87	-0,04	-0,28	-0,17	-0,83	1,00										
Cr	-0,06	0,33	0,23	-0,24	0,42	0,17	-0,27	1,00									
Y	-0,27	0,37	-0,15	0,36	<b>0,50</b>	0,41	-0,43	0,45	1,00								
Zr	-0,24	0,10	-0,42	0,28	-0,21	0,35	-0,22	-0,41	0,22	1,00							
Nb	-0,27	0,16	-0,47	<b>0,55</b>	-0,01	<b>0,50</b>	-0,26	-0,37	0,25	<b>0,80</b>	1,00						
La	-0,24	0,22	-0,02	0,03	0,45	0,18	-0,25	<b>0,60</b>	<b>0,80</b>	-0,23	-0,17	1,00					
Hf	-0,24	0,11	-0,44	0,31	-0,21	0,36	-0,22	-0,43	0,22	<b>0,99</b>	<b>0,82</b>	-0,24	1,00				
Ce	-0,23	0,22	-0,02	0,01	0,44	0,18	-0,25	<b>0,60</b>	<b>0,80</b>	-0,23	-0,18	1,00	-0,25	1,00			
Nd	-0,20	0,21	-0,01	-0,05	0,30	0,15	-0,22	<b>0,57</b>	<b>0,75</b>	-0,21	-0,20	<b>0,98</b>	-0,23	<b>0,98</b>	1,00		
Th	-0,26	0,24	-0,04	0,12	0,41	0,24	-0,28	<b>0,55</b>	<b>0,83</b>	-0,14	-0,10	<b>0,98</b>	-0,16	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>	1,00	
U	-0,29	0,26	-0,32	<b>0,61</b>	0,30	0,47	-0,38	0,00	<b>0,81</b>	<b>0,67</b>	<b>0,64</b>	0,42	<b>0,67</b>	0,41	<b>0,37</b>	<b>0,50</b>	1,00

APENDICE H - Espectros de Difracción de Rayos X

Muestra AM-001 (fracción no magnética)

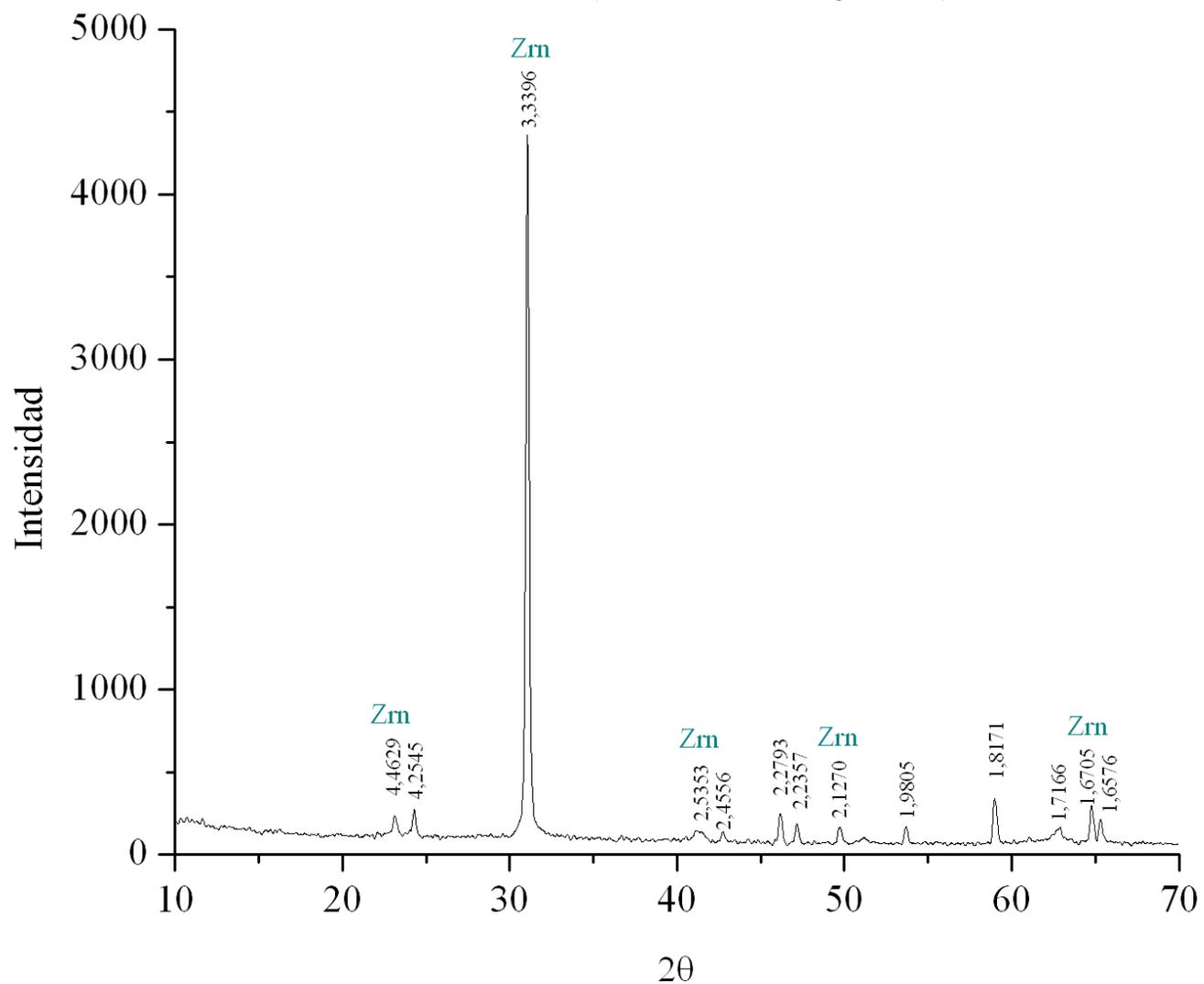


Figura H1 - Espectro de difracción de rayos X. Muestra AM-001 (fracción no magnética). **Zrn**: Circón (ZrSiO<sub>4</sub>)

Muestra Bo-007 (fracción pegado al electro 1.2 amp)

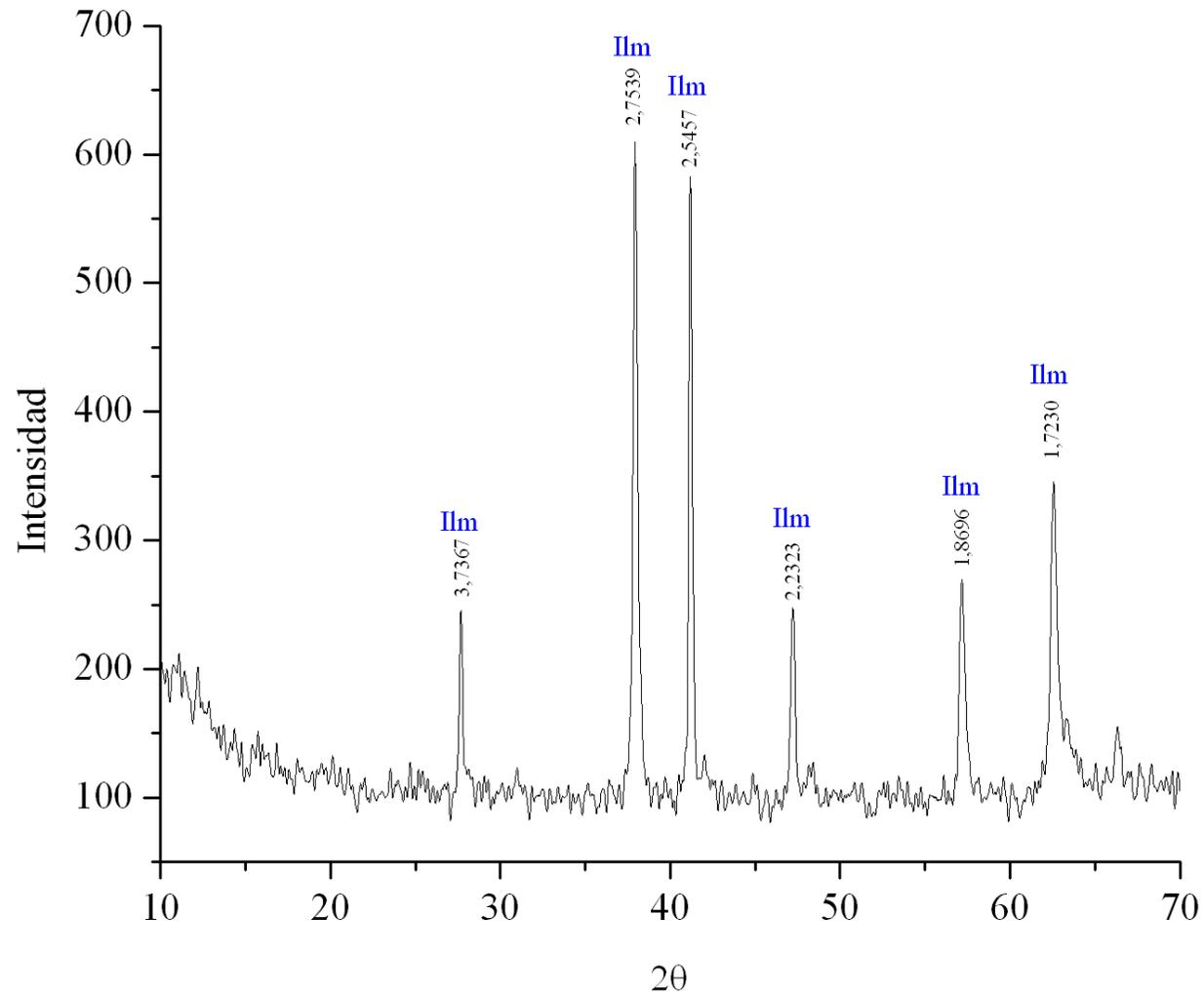
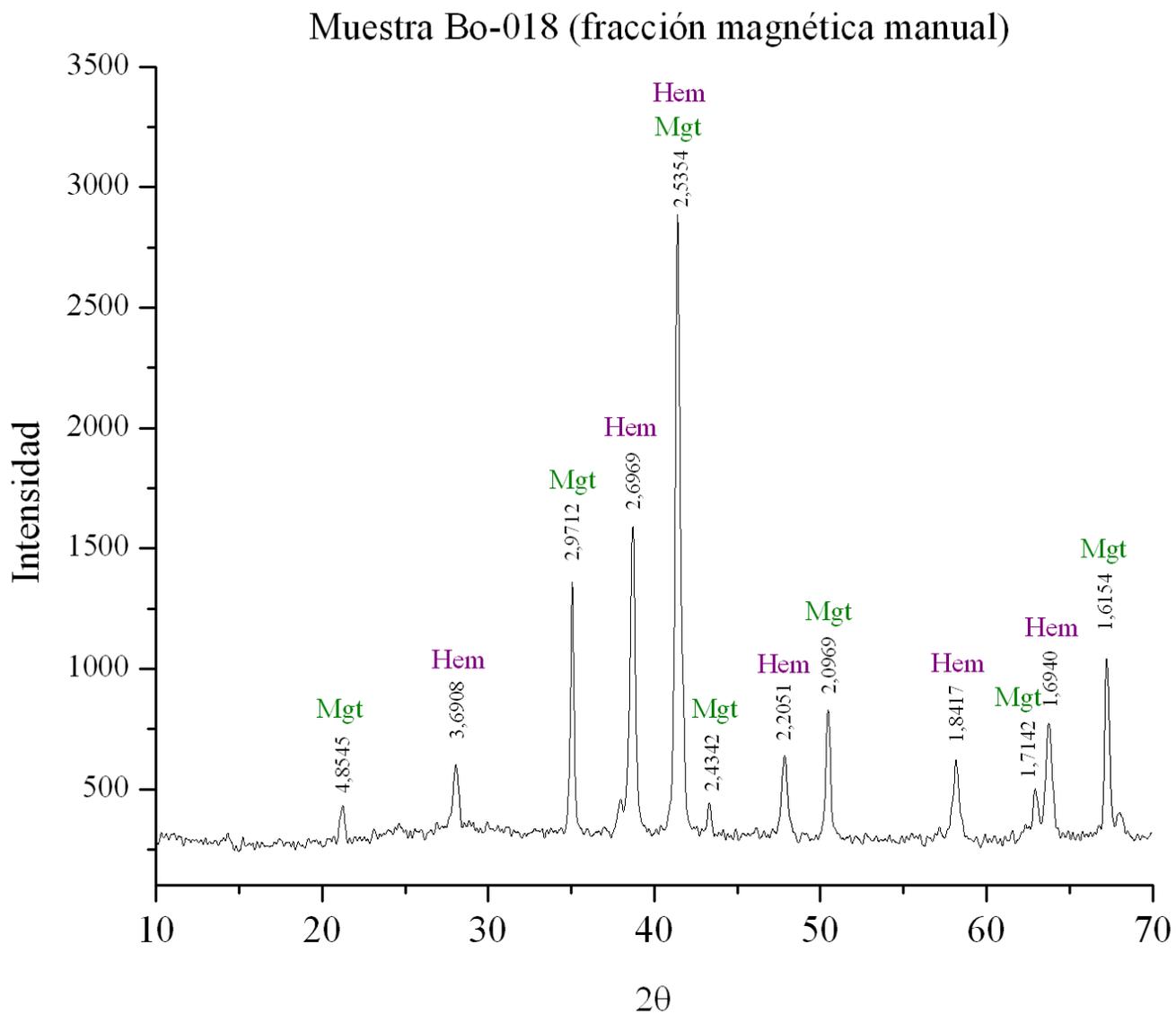
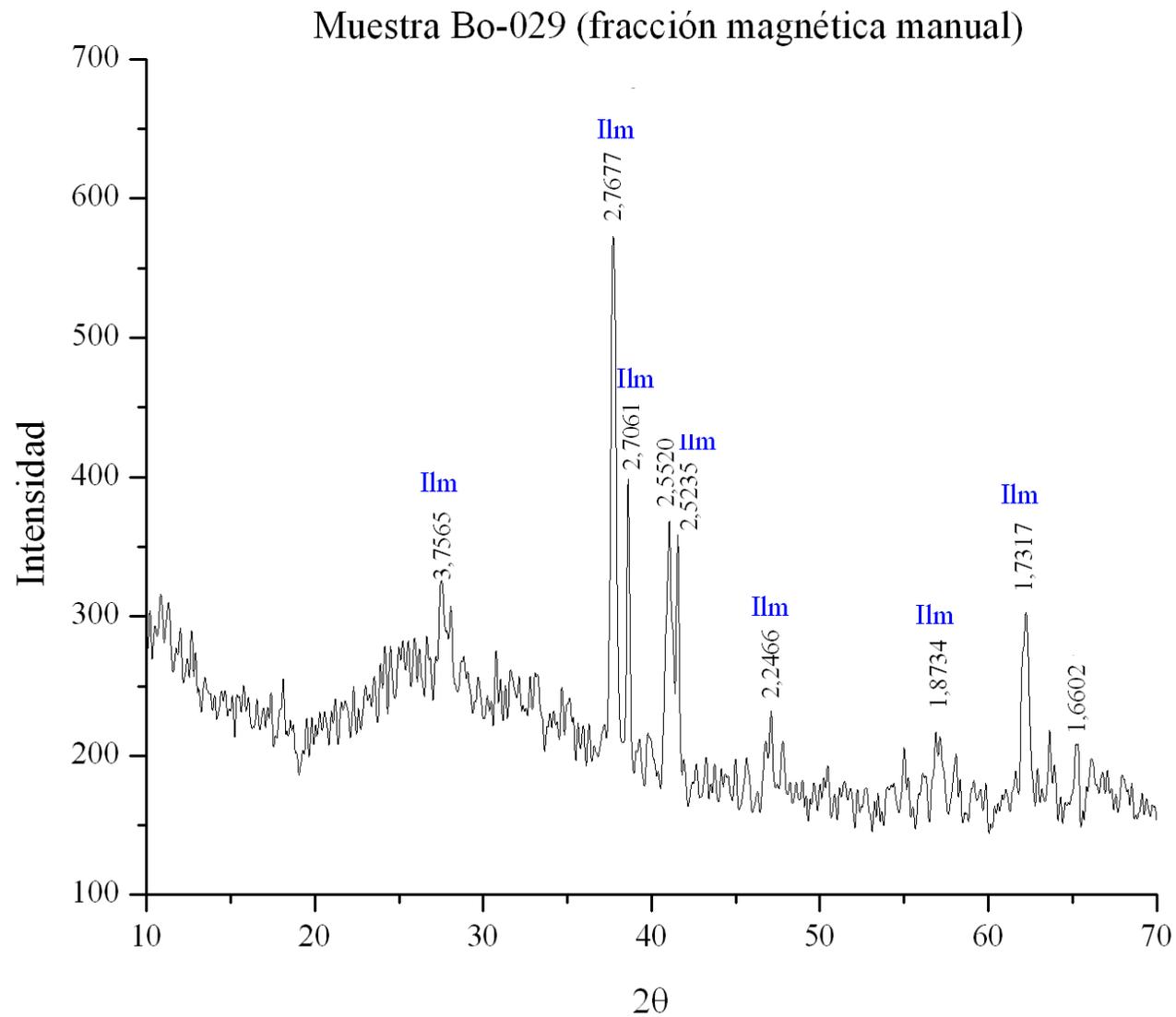


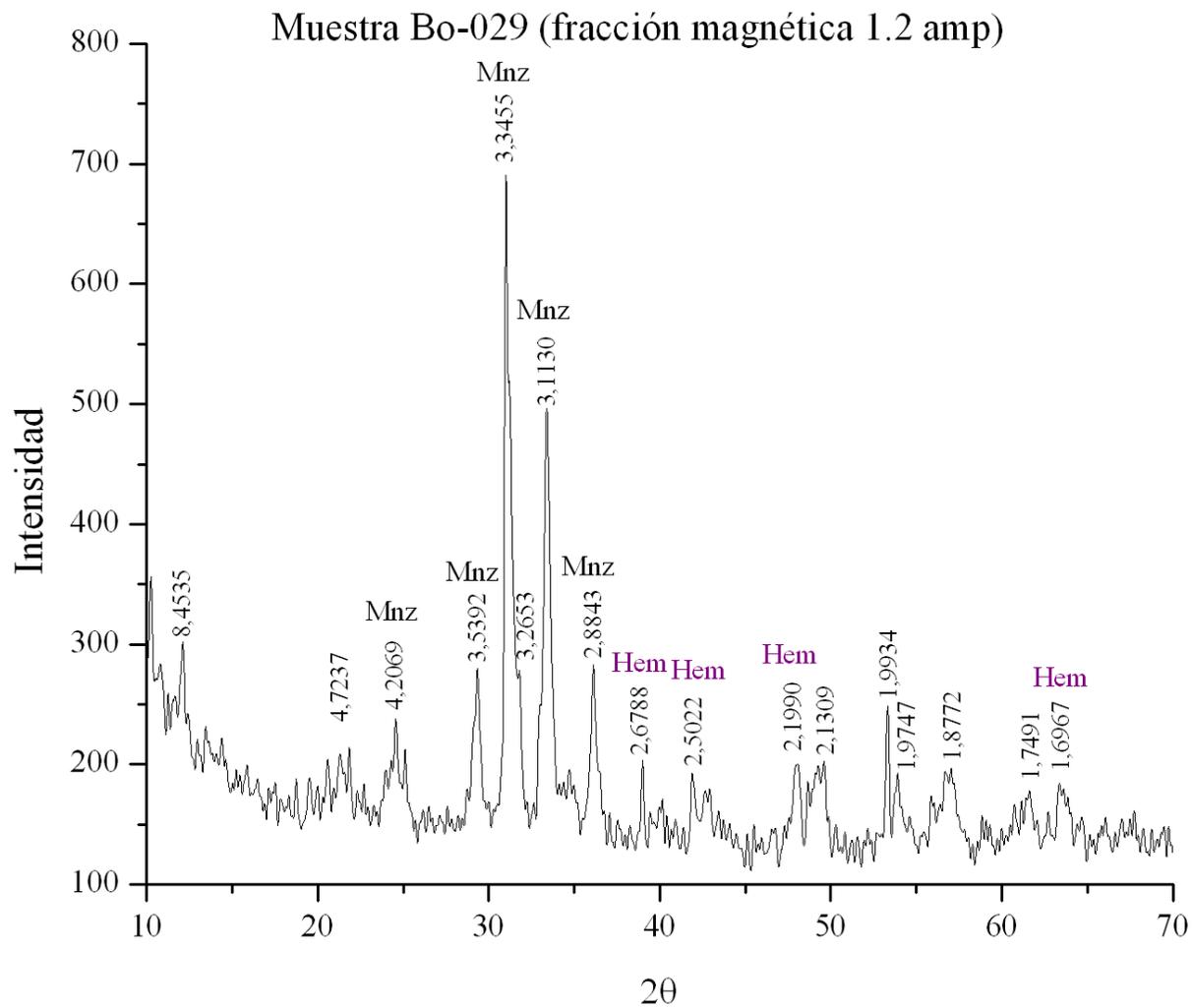
Figura H2 - Espectro de Difracción de Rayos X Muestra Bo-007 (fracción pegada al electro 1.2 amp). **Ilm**: Ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ )



**Figura H3** - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-018 (fracción magnética manual). **Hem:** Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); **Mgt:** Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).



**Figura H4** - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-029 (fracción magnética pública). **Ilm**: Ilmenita (FeTiO<sub>3</sub>)



**Figura H5** - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-029 (fracción magnética 1.2 amp). **Hem:** Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); **Mnz:** Monacita ( $((\text{Ce},\text{La},\text{Pr},\text{Nd},\text{Th},\text{Y})\text{PO}_4)$ )

Muestra Bo-020 (fracción pegado al electro 1.2 amp)

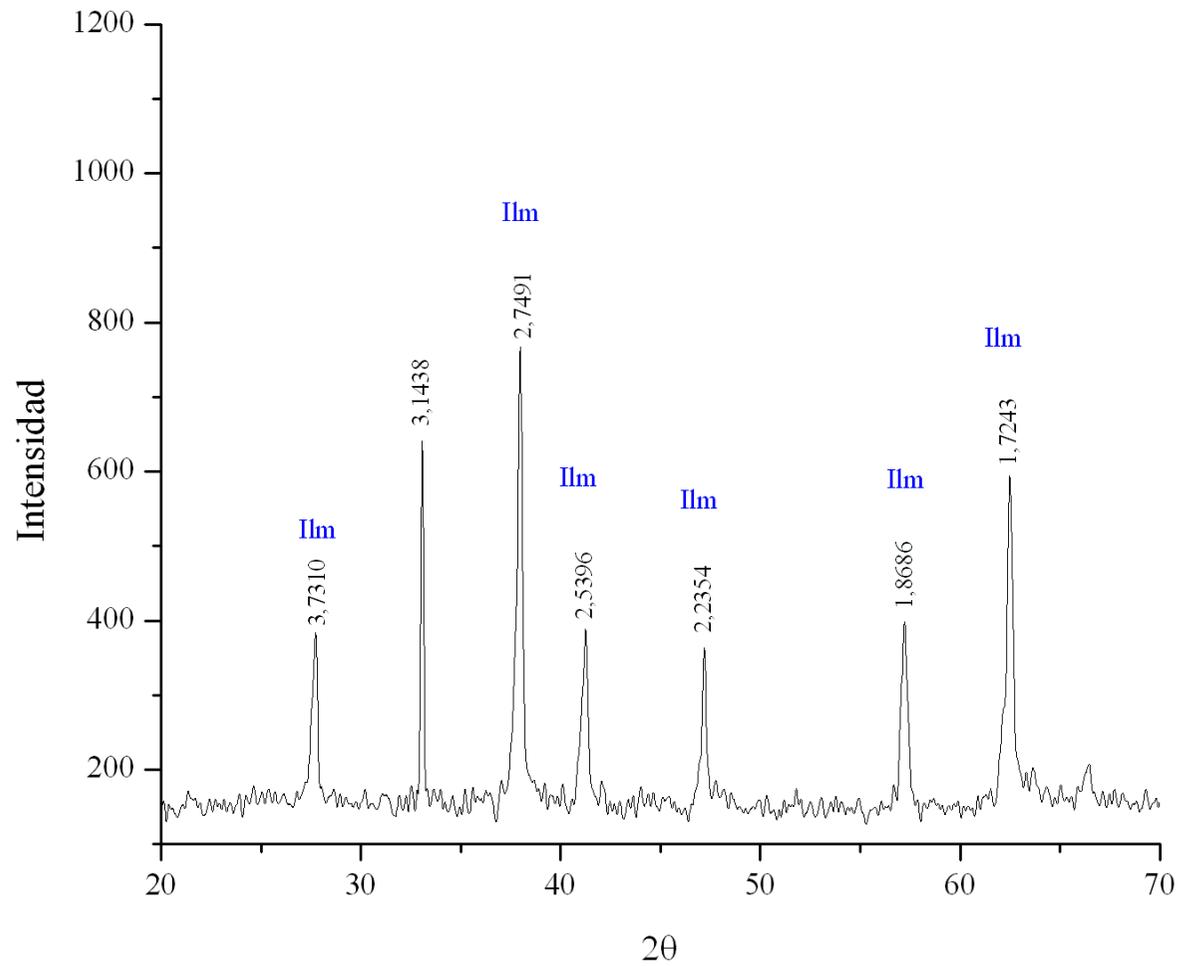
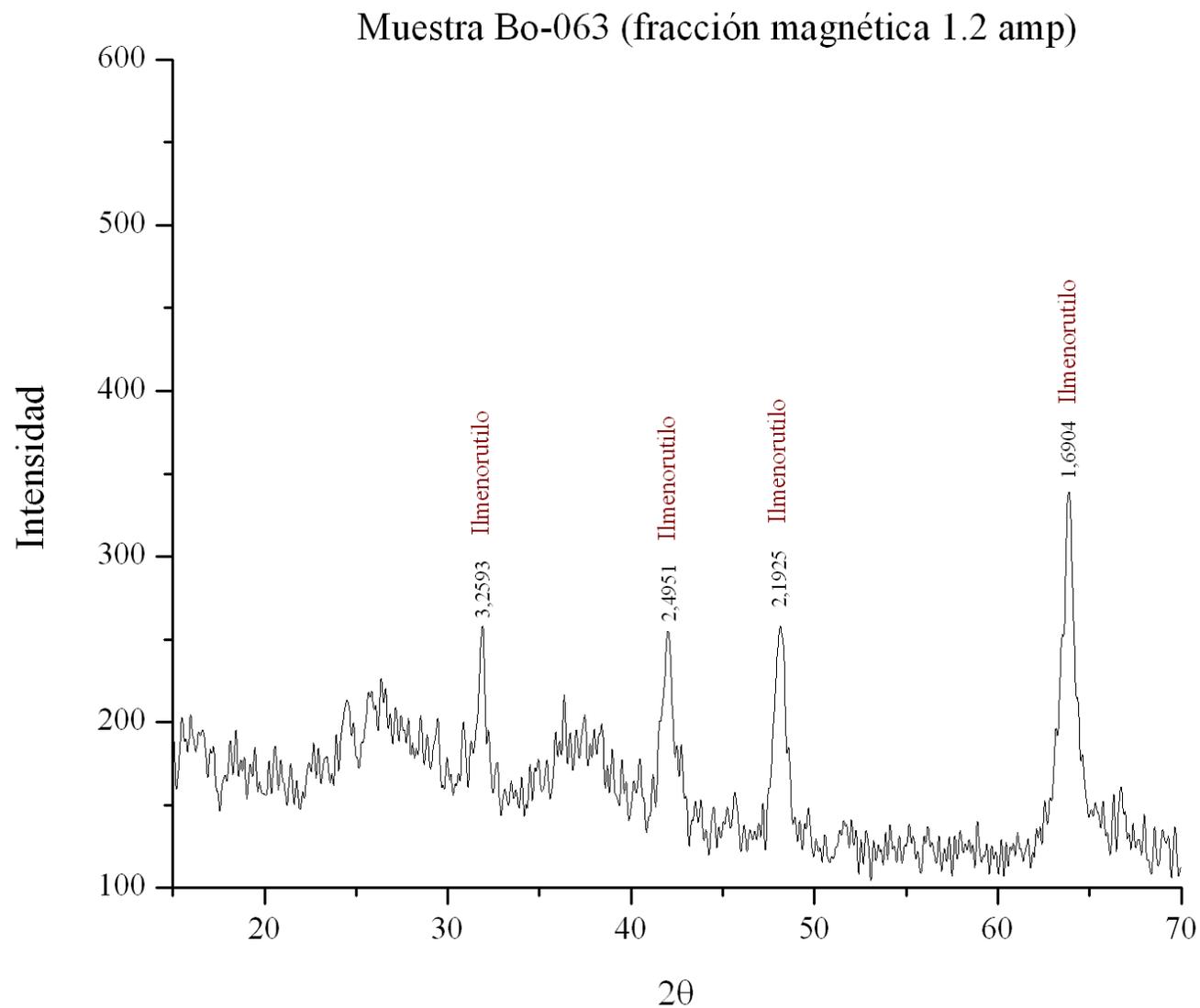


Figura H6 - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-020 (fracción pegada al electro 1.2 amp). **Ilm**: Ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ )



**Figura H7** - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-063 (fracción magnética 1.2 amp). **Ilmenorutilo** (Ti,Nb,Fe<sup>+3</sup>)O<sub>2</sub>

Muestra Bo-052 (fracción magnética manual)

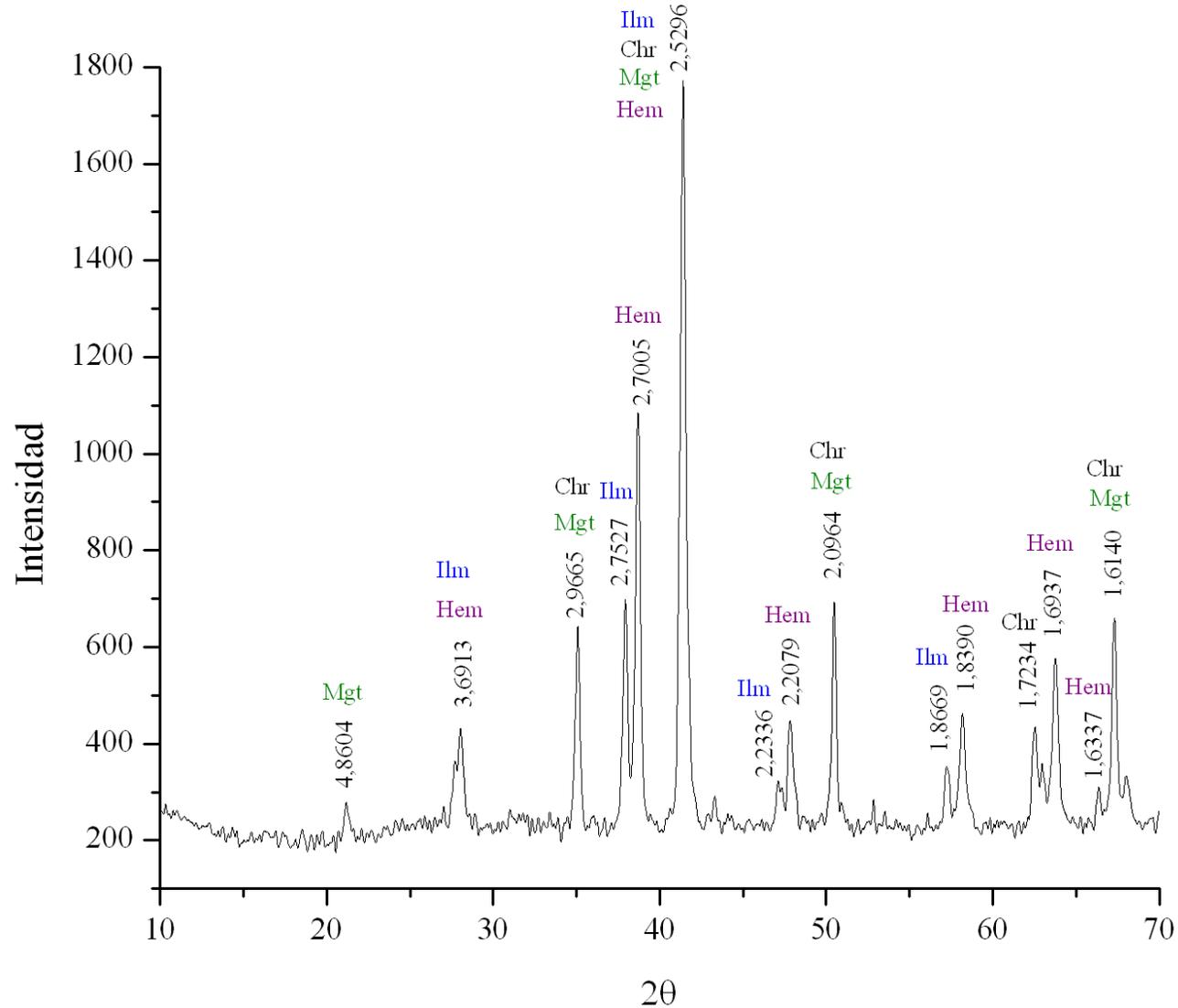
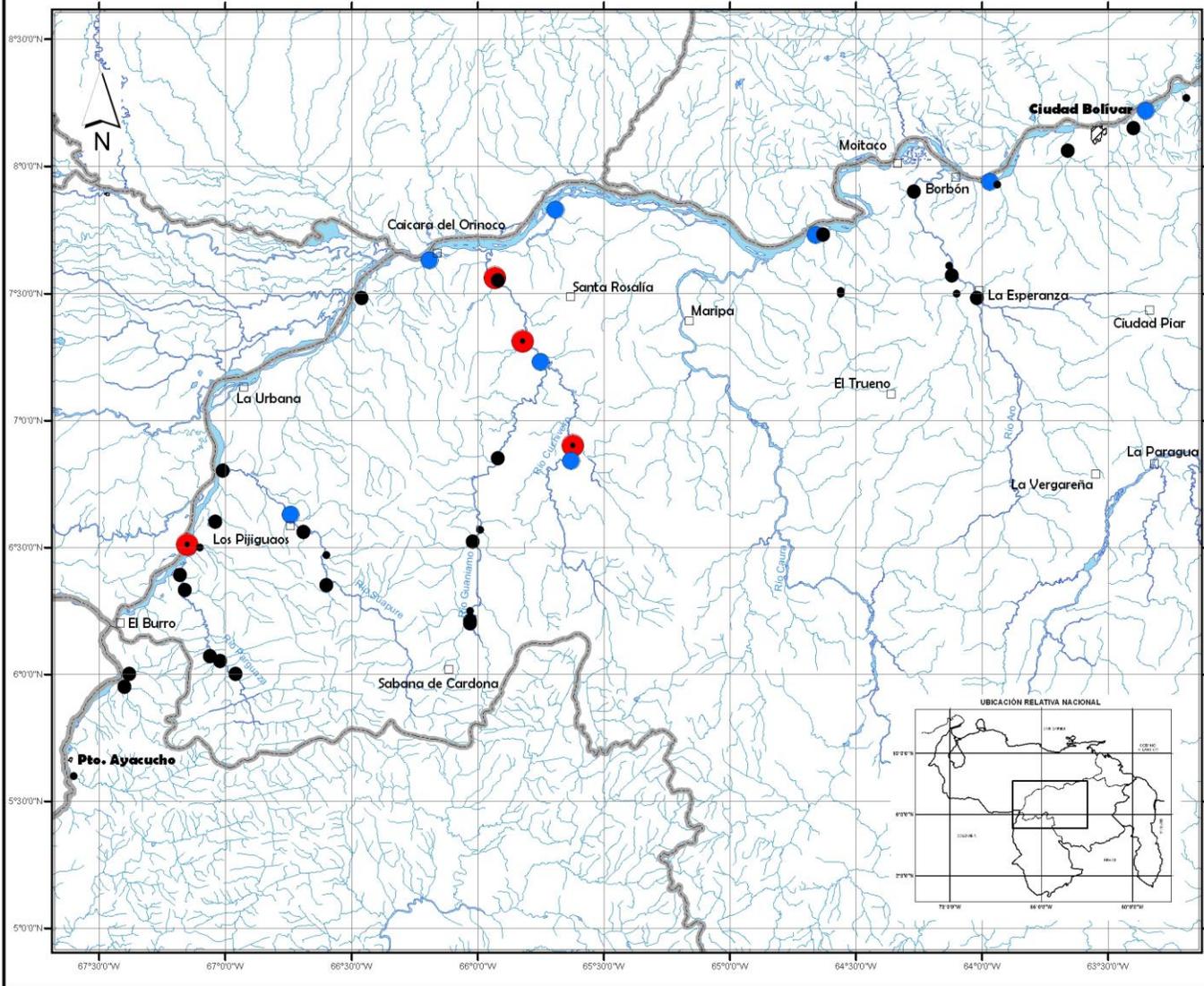


Figura H8 - Espectro de Difracción de Rayos X. Muestra Bo-052 (fracción magnética manual). **Hem:** Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); **Mgt:** Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); **Ilm:** Ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ); **Chr:** Cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ )

## **ANEXOS**

# MAPA GEOQUÍMICO DE $Al_2O_3$

## CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

### ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

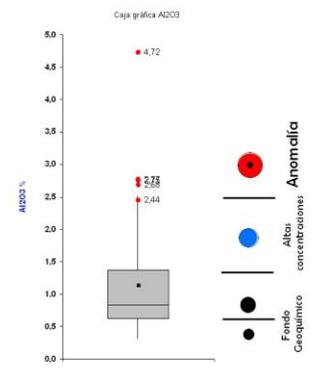
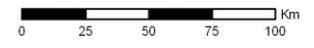
Br. Adriana Camero y Br. Marly Reveti

Fracción 250 - 177  $\mu m$  (60 - 80 mallas)  
 Fusión con metaborato de litio  
 Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES)

#### Signos Convencionales

- Poblado
- Capital de Estado
- Límite de Estado
- Drenajes

Escala Gráfica 1:2.000.000



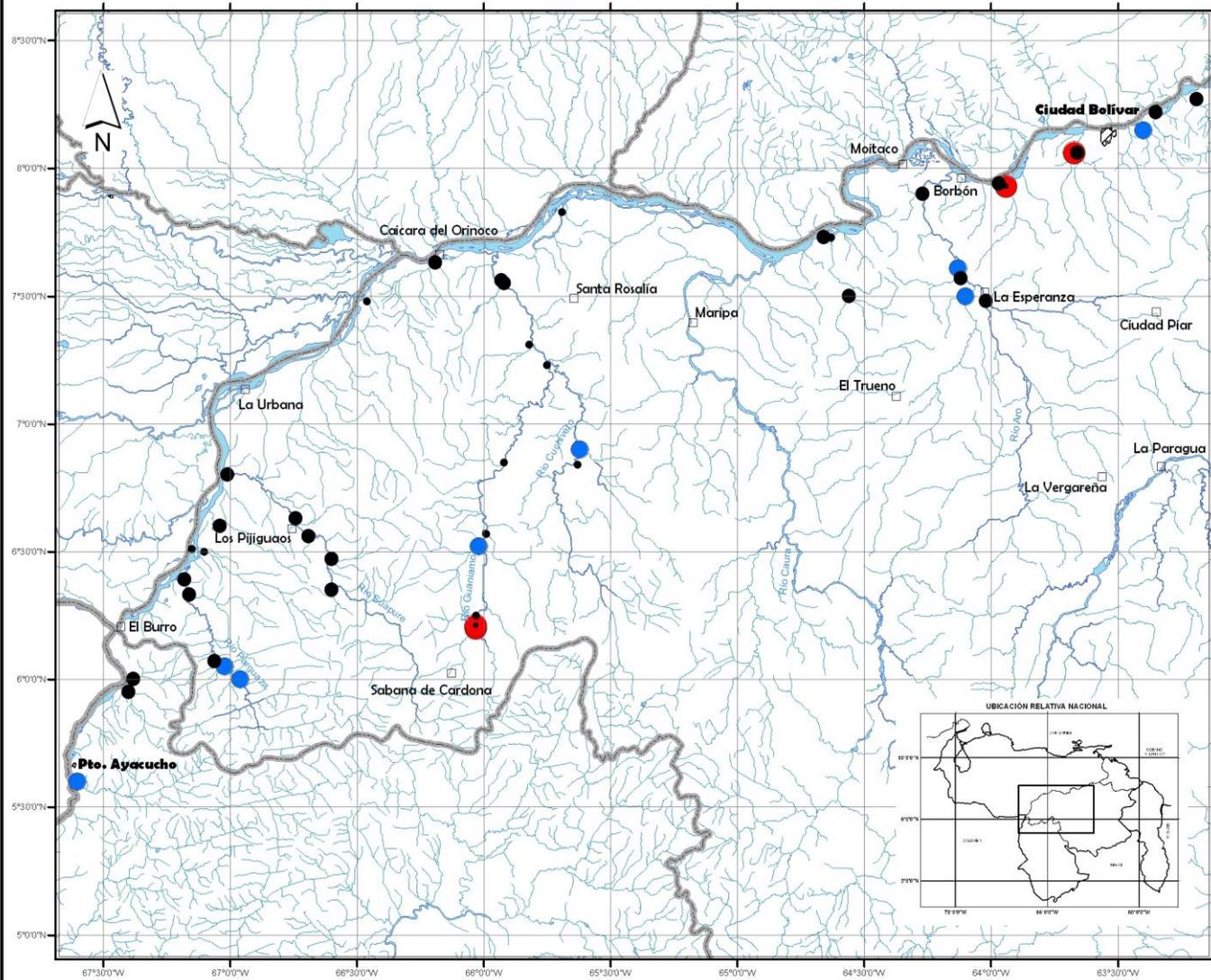
FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
 Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
 Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

Elaborado por: MSc. Yaimay Jiménez, Lic. Osvaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
 Vectorizado por T.S.U. Ramón Pérez

Fuente: NC-20-III / NC-19-II / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
 Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
 hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT  
 DATO HORIZONTAL PROVISIONAL DE SUR  
 ABRIL 2011

# MAPA GEOQUÍMICO DE Y CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

## ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

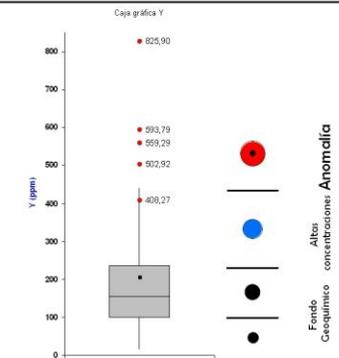
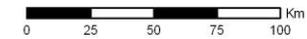
Br. Adriana Camero y Br. Marlyz Reveti

Fracción 250 - 177  $\mu\text{m}$  (60 - 80 mallas)  
Fusión con metaborato de litio  
Espectrometría de Masa con Plasma  
Inductivamente Acoplado (ICP-MS)

### Signos Convencionales

- Poblado
- Capital de Estado
- Límite de Estado
- Drenajes

Escala Gráfica 1:2.000.000



FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

Elaborado por: MSc. Yaimay Jiménez, Lic. Oswaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
Vectorizado por: T.S.U. Ramón Pérez

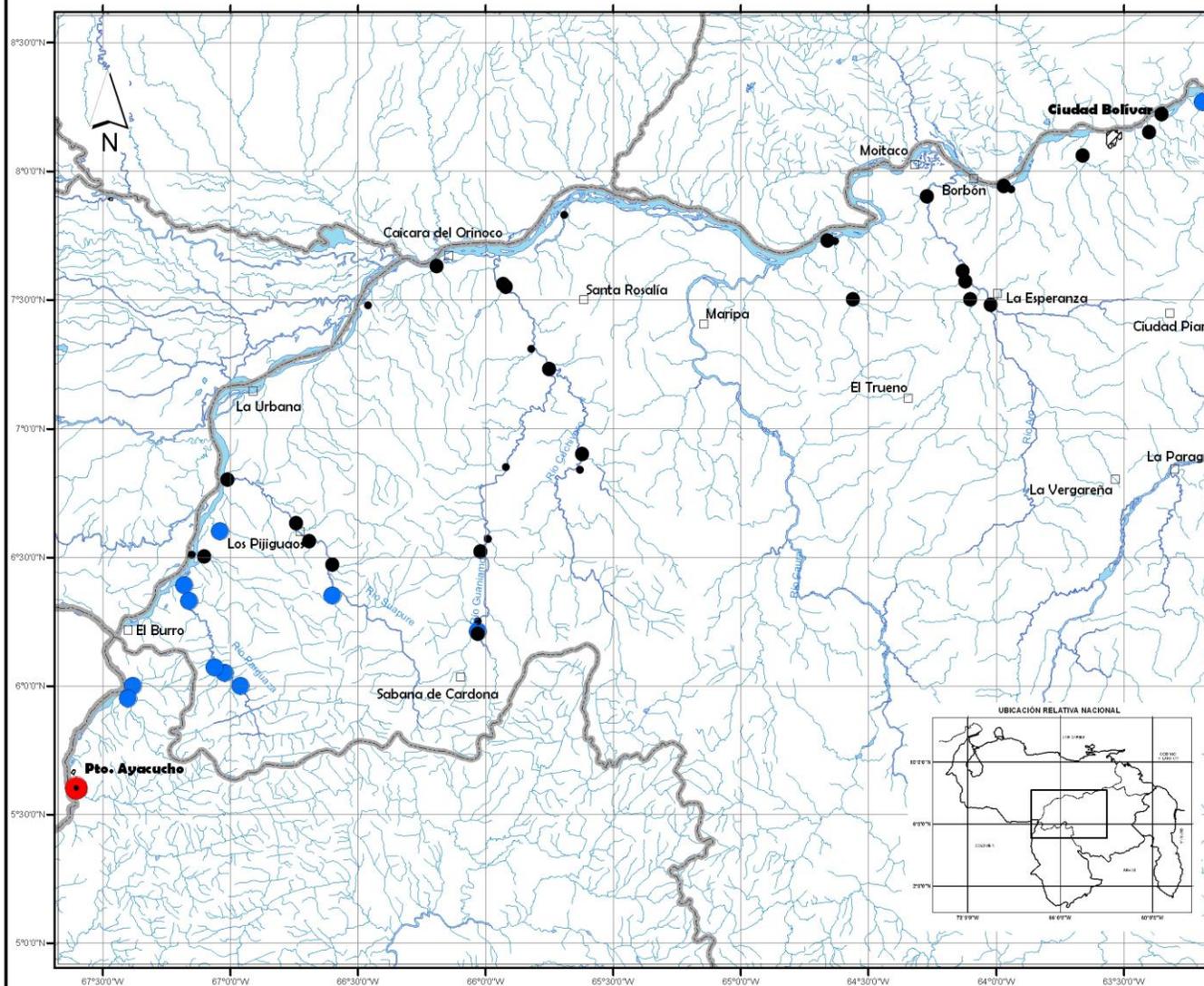
Fuente: NC-20-III / NC-19-II / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT  
DATO HORIZONTAL PROVISIONAL DE SUR

ABRIL 2011

# MAPA GEOQUÍMICO DE Hf

## CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



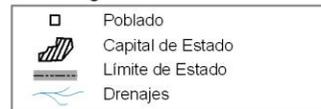
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

### ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

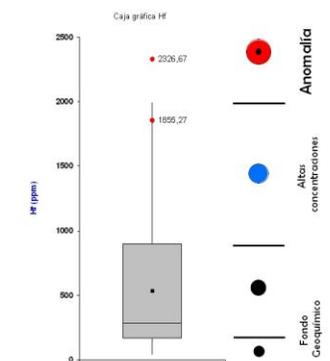
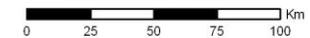
Br. Adriana Camero y Br. Marlyz Reveti

Fracción 250 - 177  $\mu\text{m}$  (60 - 80 mallas)  
Fusión con metaborato de litio  
Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS)

#### Signos Convencionales



Escala Gráfica 1:2.000.000



FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

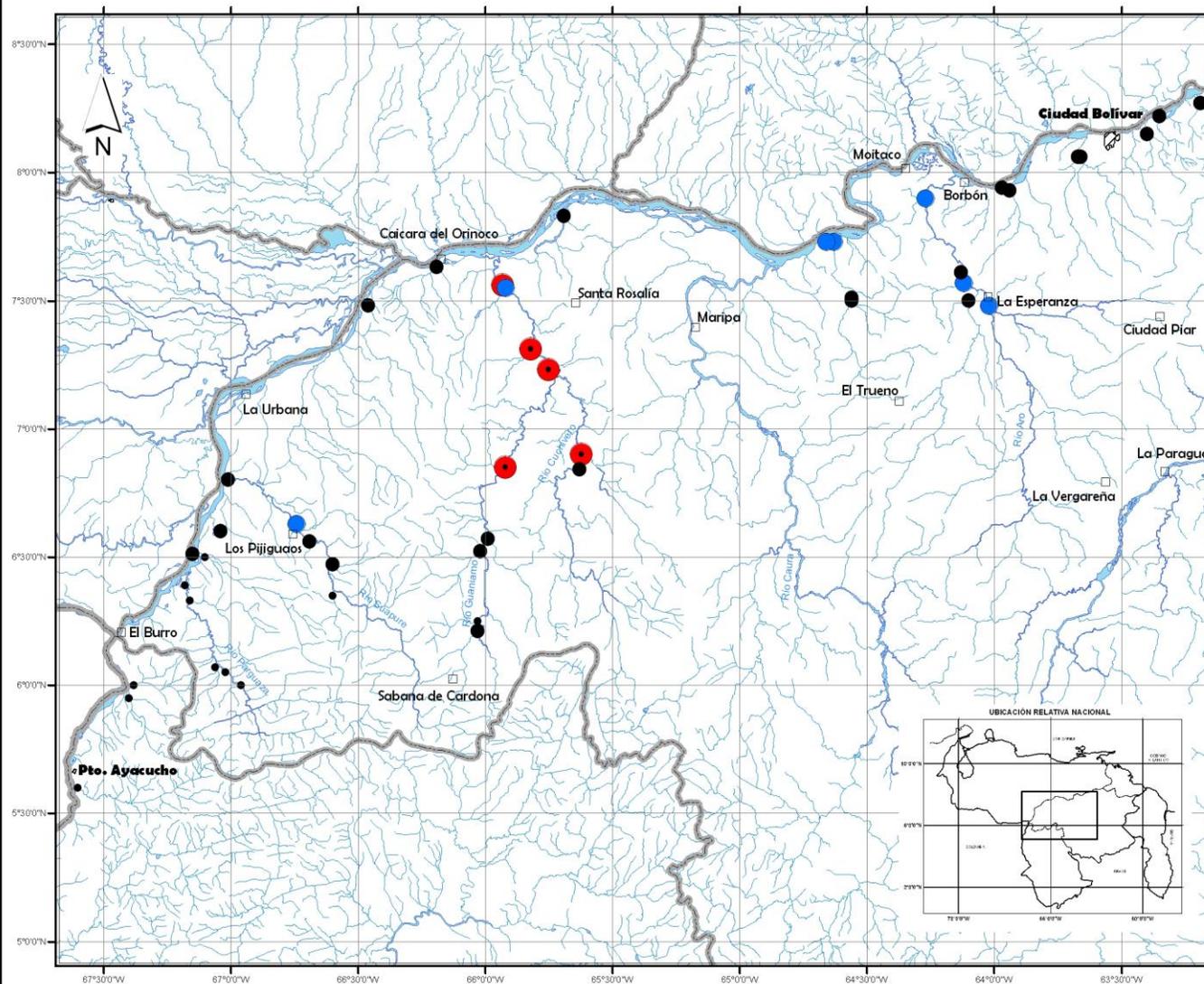
Elaborado por MSc. Yalmay Jiménez, Lic. Osvaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
Vectorizado por T.S.U. Ramón Pérez

Fuente: NC-20-III / NC-19-II / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT  
DATO HORIZONTAL PROVISIONAL DE SUR  
ABRIL 2011

# MAPA GEOQUÍMICO DE MgO

## CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

### ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

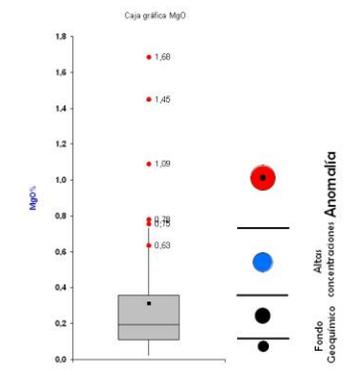
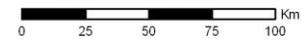
Br. Adriana Camero y Br. Marlyz Reveti

Fracción 250 - 177 µm (60 - 80 mallas)  
 Fusión con metaborato de litio  
 Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES)

#### Signos Convencionales

- Poblado
- Capital de Estado
- Límite de Estado
- Drenajes

Escala Gráfica 1:2.000.000



FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
 Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
 Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

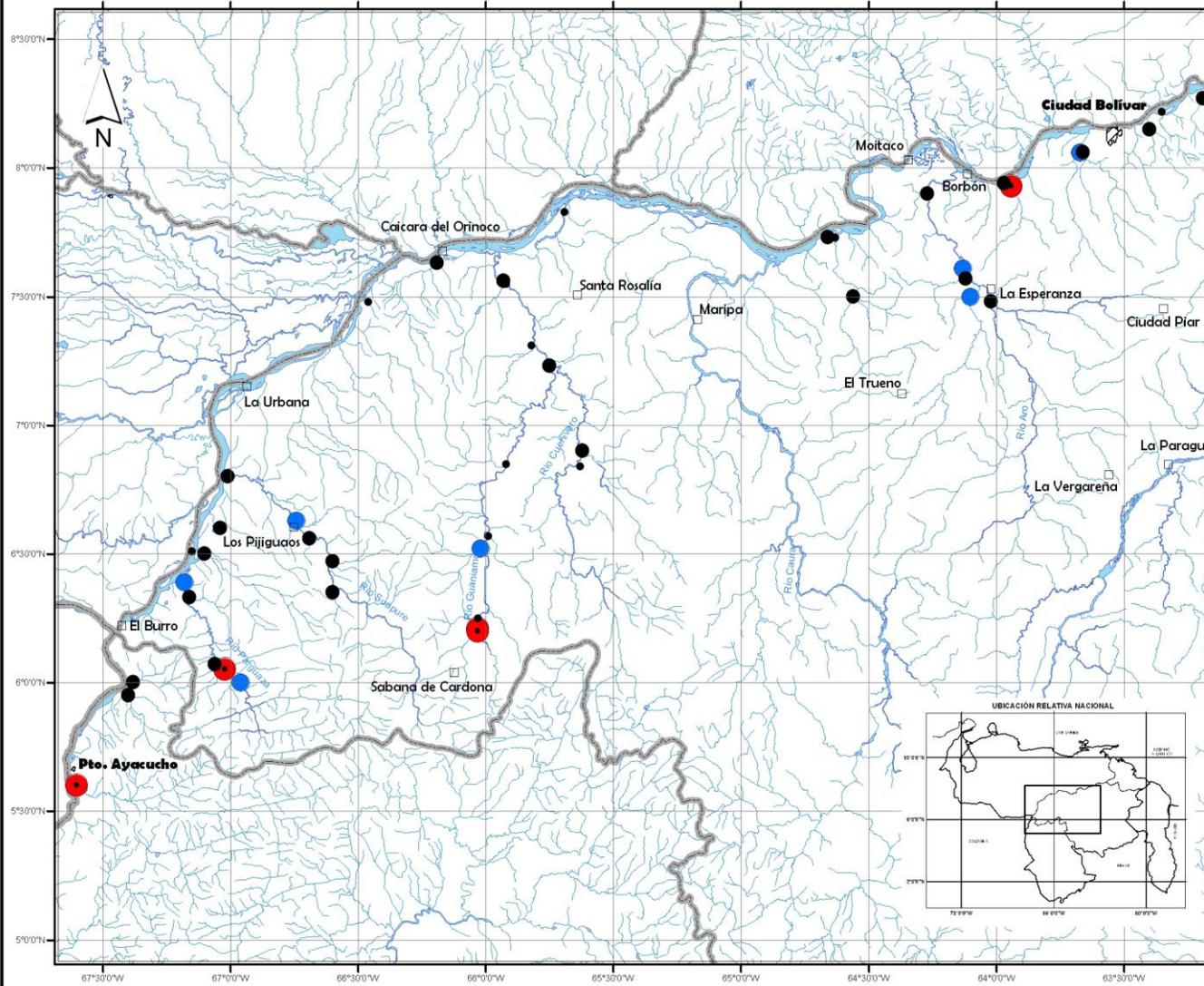
Elaborado por: MSc. Yaimay Jiménez, Lic. Oswaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
 Vectorizado por: T.S.U. Ramón Pérez

Fuente: NC-20-III / NC-19-III / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
 Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
 hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT  
 DATO HORIZONTAL PROVISIONAL DE SUR  
 ABRIL 2011

# MAPA GEOQUÍMICO DE U

## CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



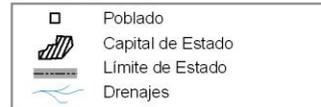
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

### ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

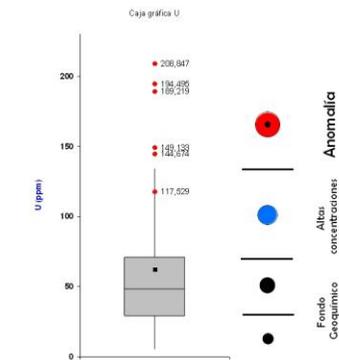
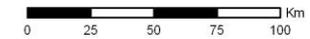
Br. Adriana Camero y Br. Marlyz Reveti

Fracción 250 - 177  $\mu\text{m}$  (60 - 80 mallas)  
Fusión con metaborato de litio  
Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS)

#### Signos Convencionales



Escala Gráfica 1:2.000.000



FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

Elaborado por: MSc. Yaimay Jiménez, Lic. Oswaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
Vectorizado por: T.S.U. Ramón Pérez

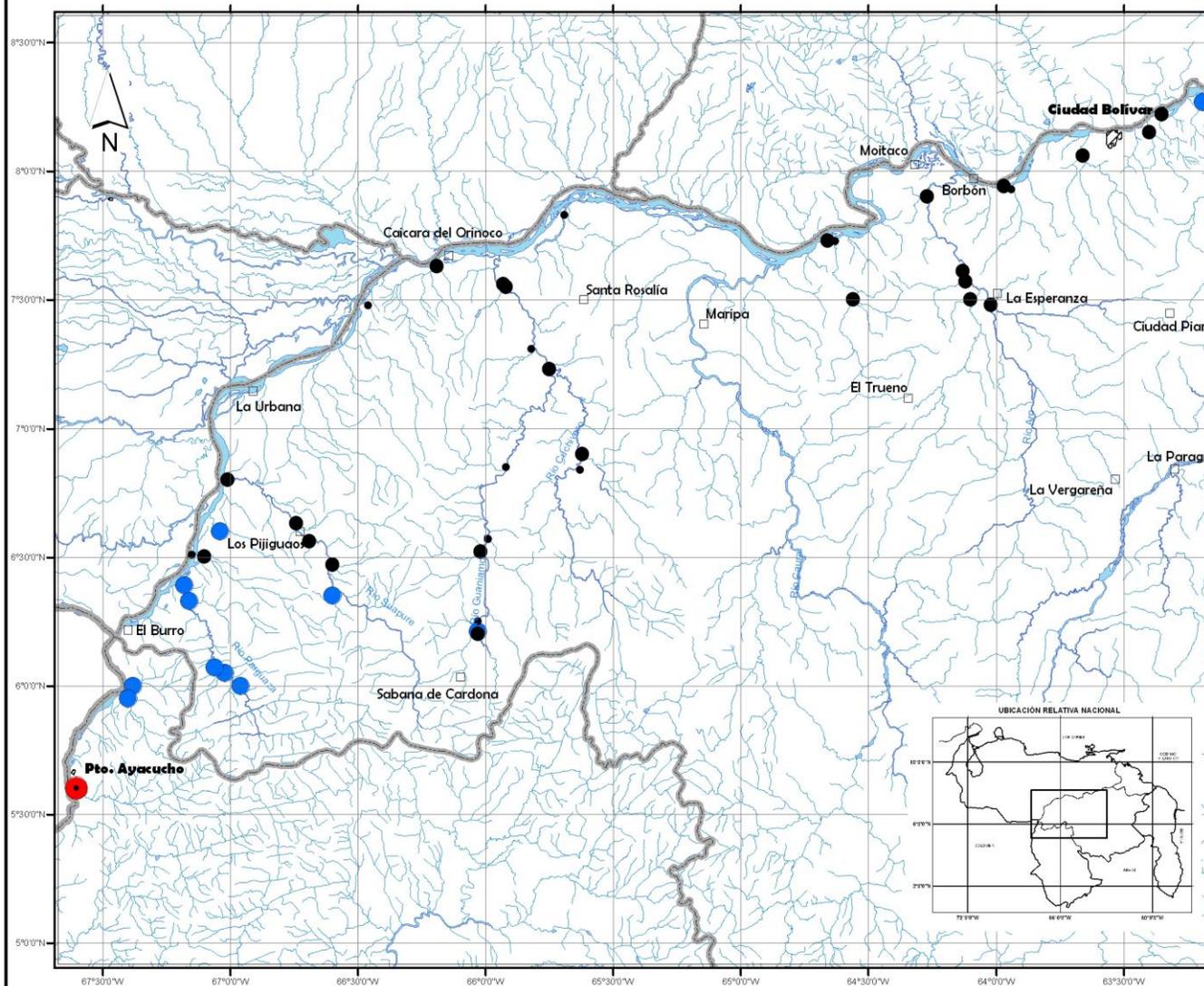
Fuente: NC-20-III / NC-19-II / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

PROYECCIÓN: CÓNICA CONFORME DE LAMBERT  
DATO: HORIZONTAL PROVISIONAL DE SUR

ABRIL 2011

# MAPA GEOQUÍMICO DE Hf

## CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

### ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

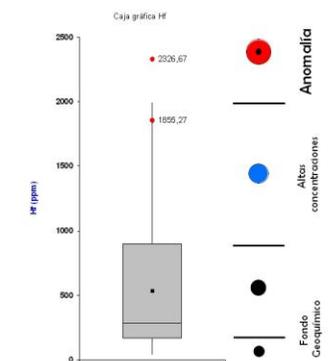
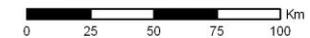
Br. Adriana Camero y Br. Marlyz Reveti

Fracción 250 - 177  $\mu\text{m}$  (60 - 80 mallas)  
Fusión con metaborato de litio  
Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS)

#### Signos Convencionales



Escala Gráfica 1:2.000.000



FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

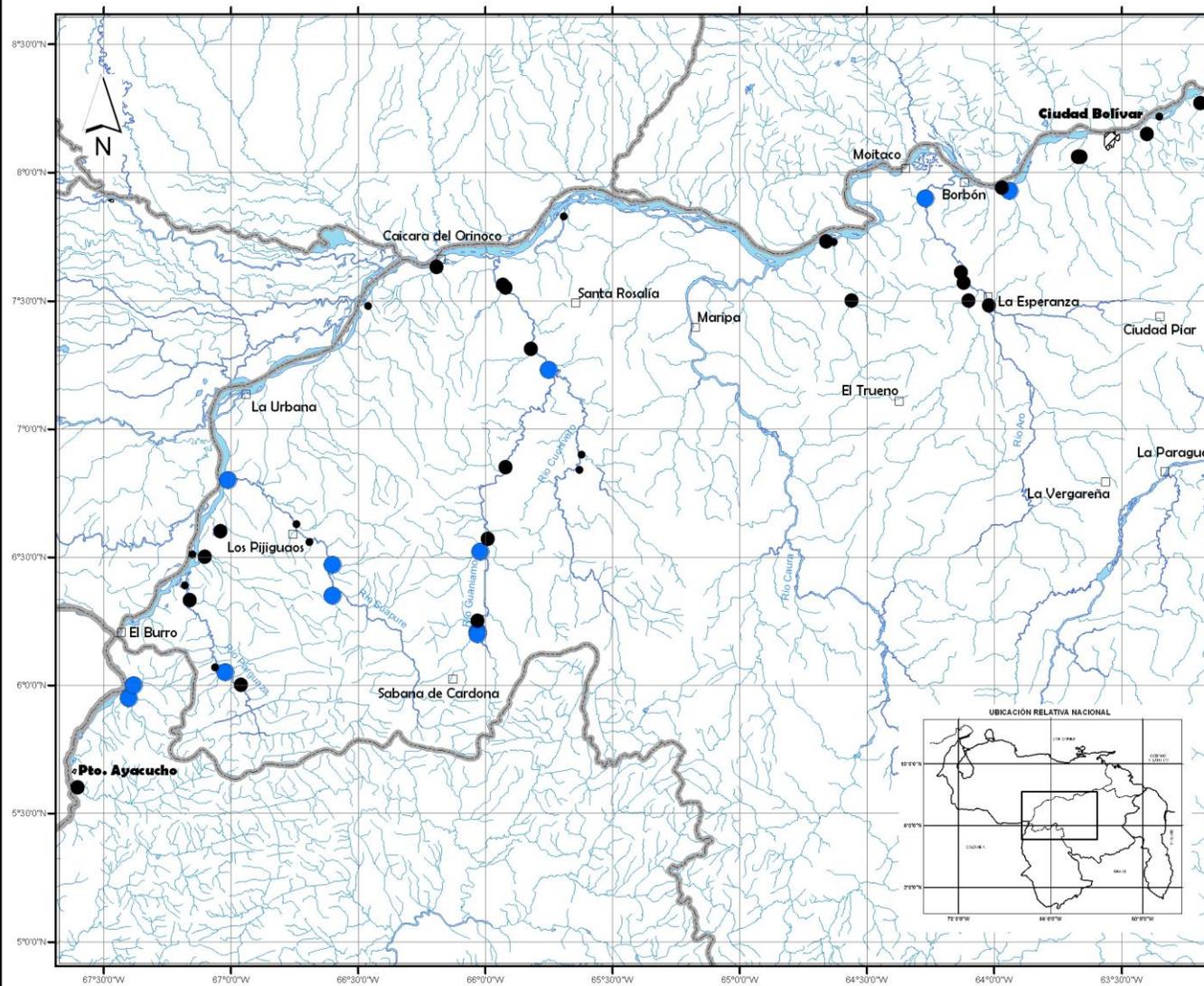
Elaborado por MSc. Yalmay Jiménez, Lic. Oswaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
Vectorizado por T.S.U. Ramón Pérez

Fuente: NC-20-III / NC-19-II / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT  
DATO HORIZONTAL PROVISIONAL DE SUR  
ABRIL 2011

# MAPA GEOQUÍMICO DE TiO<sub>2</sub>

## CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



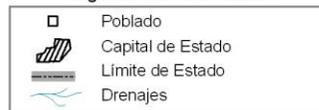
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

### ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

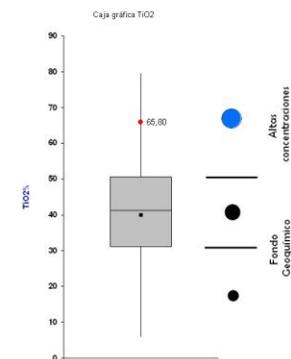
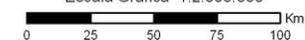
Br. Adriana Camero y Br. Marlyis Reveti

Fracción 250 - 177 µm (60 - 80 mallas)  
Fusión con metaborato de litio  
Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES)

#### Signos Convencionales



Escala Gráfica 1:2.000.000



FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

Elaborado por MSc. Yaimay Jiménez, Lic. Oswaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
Vectorizado por T.S.U. Ramón Pérez

Fuente: NC-20-III / NC-19-II / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

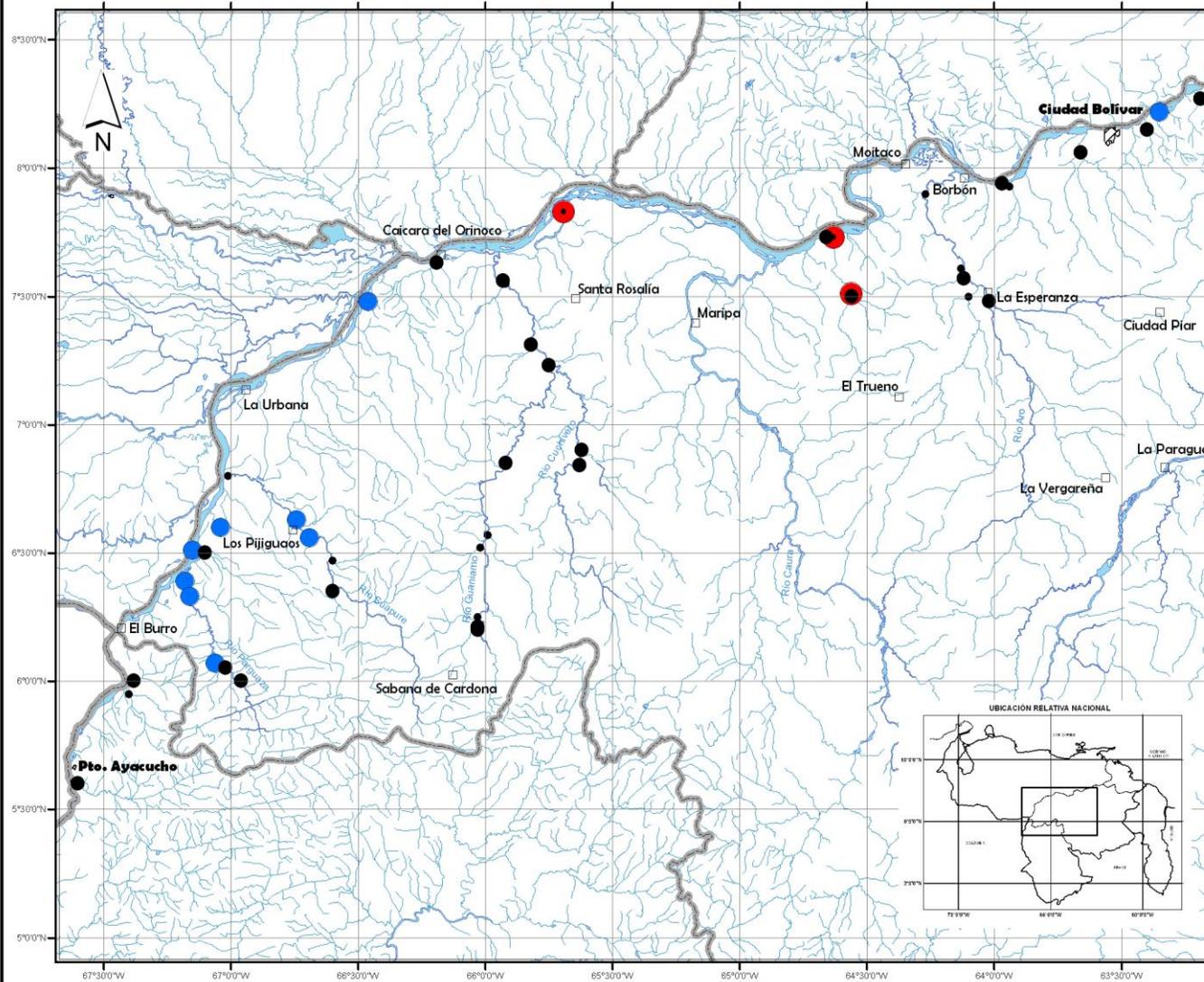
PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT

DATO HORIZONTAL PROVISIONAL DE SUR

ABRIL 2011

# MAPA GEOQUÍMICO DE SiO<sub>2</sub>

## CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

### ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

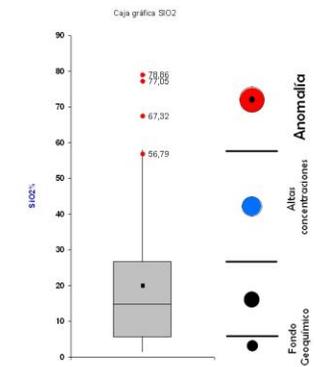
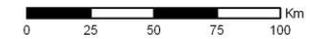
Br. Adriana Camero y Br. Marlyz Reveti

Fracción 250 - 177 µm (60 - 80 mallas)  
Fusión con metaborato de litio  
Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES)

#### Signos Convencionales



Escala Gráfica 1:2.000.000



FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

Elaborado por: MSc. Yaimy Jiménez, Lic. Oswaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
Vectorizado por: T.S.U. Ramón Pérez

Fuente: NC-20-III / NC-19-II / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

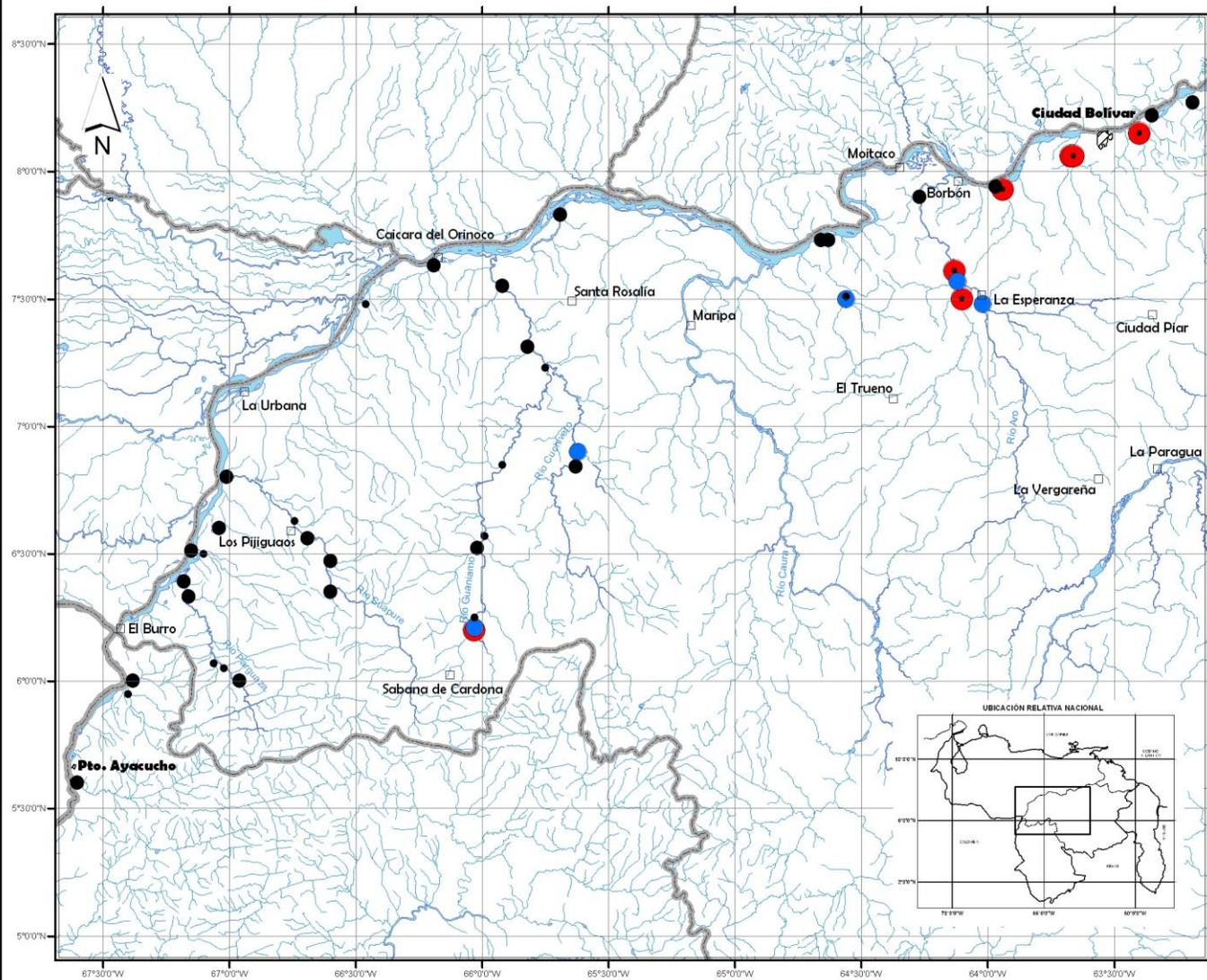
PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT

DATO HORIZONTAL PROVISORIO DE SUR

ABRIL 2011

# MAPA GEOQUÍMICO DE Nd

## CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



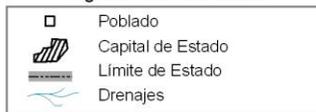
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

### ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

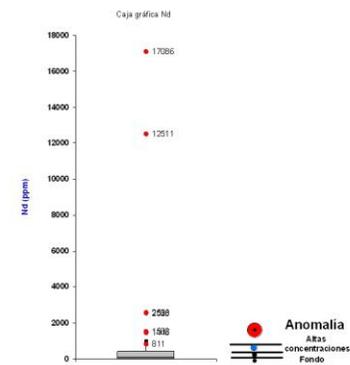
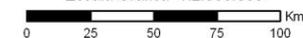
Br. Adriana Camero y Br. Marly Reveti

Fracción 250 - 177  $\mu\text{m}$  (60 - 80 mallas)  
Fusión con metaborato de litio  
Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS)

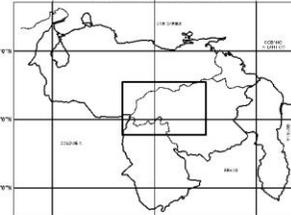
#### Signos Convencionales



Escala Gráfica 1:2.000.000



#### UBICACIÓN RELATIVA NACIONAL



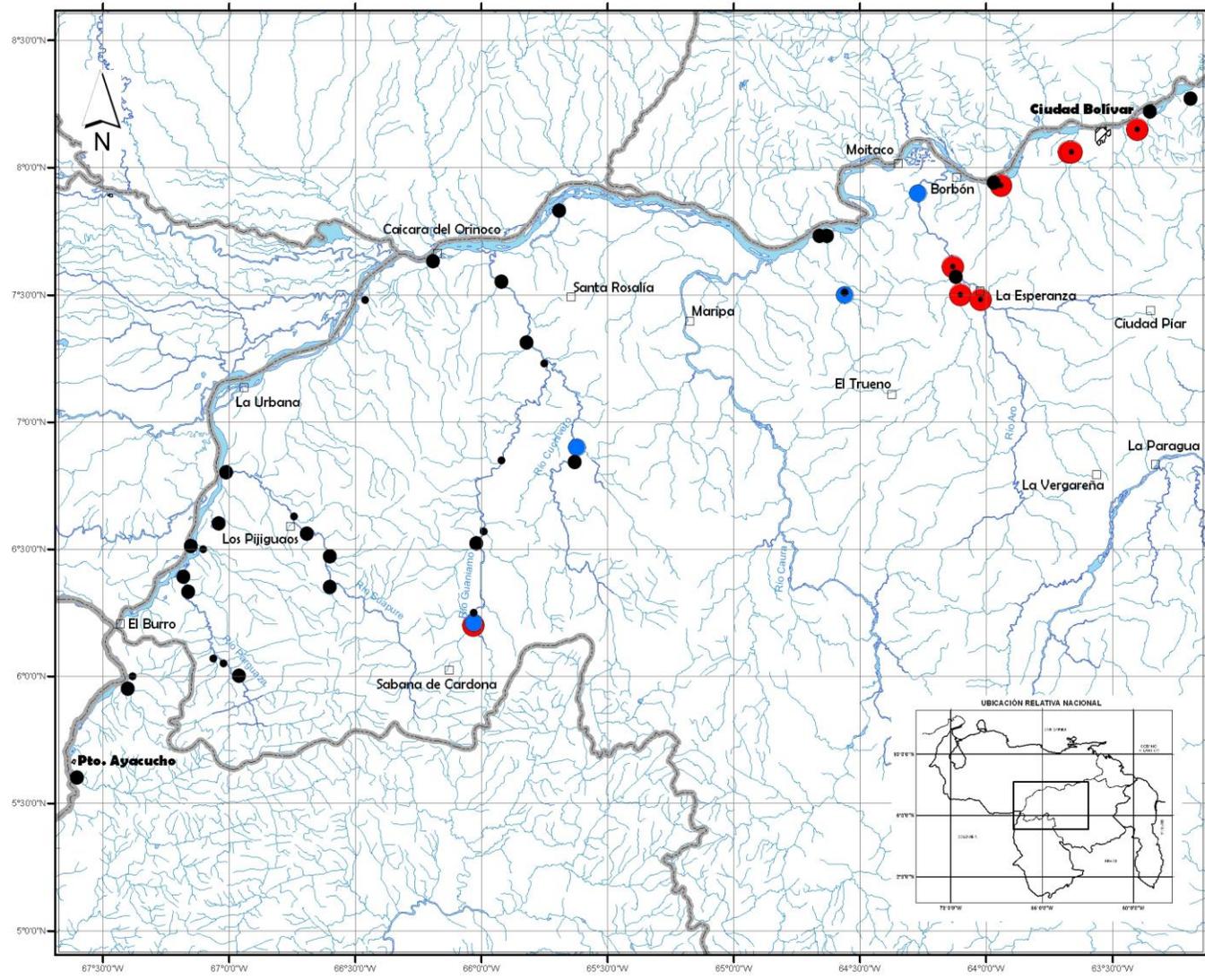
FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

Elaborado por: MSc. Yaimay Jiménez, Lic. Osvaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
Vectorizado por: T.S.U. Ramón Pérez

Fuente: NC-20-III / NC-19-II / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT  
DATO HORIZONTAL PROVISIONAL DE SUR  
ABRIL 2011

# MAPA GEOQUÍMICO DE LA CUENCAS NOR-OCCIDENTALES DEL ESTADO BOLÍVAR



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

### ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MINERALÓGICO DE MINERALES PESADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

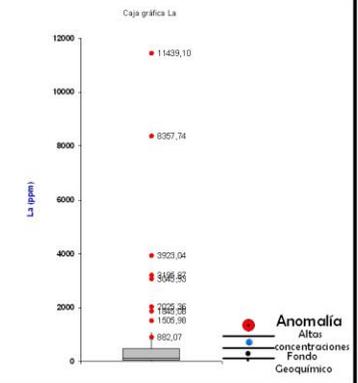
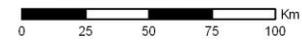
Br. Adriana Camero y Br. Marly Reveti

Fracción 250 - 177 μm (60 - 80 mallas)  
Fusión con metaborato de litio  
Espectrometría de Masa con Plasma  
Inductivamente Acoplado (ICP-MS)

#### Signos Convencionales

□	Poblado
◻	Capital de Estado
—	Límite de Estado
—	Drenajes

Escala Gráfica 1:2.000.000



FINANCIADO POR: INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
Gerencia de Investigaciones y Recursos Minerales  
Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela

Elaborado por: M.Sc. Yaimay Jiménez, Lic. Oswaldo Vera y T.S.U. Ramón Pérez  
Vectorizado por: T.S.U. Ramón Pérez

Fuente: NC-20-III / NC-19-II / NB-19-II / NB-20-III / NB-20-IV / NB-19-I  
Cartografía digital elaborada a partir de la vectorización de  
hojas cartográficas a escala 1:500.000 en formato raster

PROYECCIÓN CÓNICA CONFORME DE LAMBERT  
DATO HORIZONTAL PROVISIONAL DE SUR  
ABRIL 2011

