

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE MINERALES PESADOS RECOLECTADOS EN LA ZONA NOR-OCCIDENTAL DEL ESTADO BOLÍVAR

ADRIANA C. GAMERO M.¹, MARLYS DE LOS A. REVETI M.¹, YALIMAY JIMÉNEZ², RUBÉN RODRÍGUEZ²,
FREDDY ANGULO², RUTHMAN J. HURTADO H.¹, ANDER DE ABRISQUETA R.¹⁻²

¹ Departamento de Geología. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela

Email: adrianagamero@gmail.com

² Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN). Caracas, Venezuela.

Recibido: noviembre 2013

Recibido en forma final revisado: mayo 2014

RESUMEN

Para la caracterización geoquímica 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 con Plasma Inductivamente Acoplado, para los óxidos mayoritarios y minoritarios (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO) y por Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado para las traza (Y, Zr, Nb, Hf, La, Ce, Nd, Th, U, Cr). El tratamiento estadístico aplicado fue el Análisis Exploratorio de Datos (AED). Con la información obtenida 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 y óxido Cr, Y, La, Ce, Nd, Th, U, P_2O_5 y altas concentraciones de Fe_2O_3 y TiO_2 , y el análisis mineralógico arrojó 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, TiO_2 y Fe_2O_3 , las fases minerales propuestas son ilmenita y circón. La Zona BI con anomalías en MnO, como fases minerales se presentaron: ilmenita rica en Mn, hematita y magnetita y la Zona BII con anomalías en Y, La, Ce, Nd, Th, U, P_2O_5 y altas concentraciones de Zr, Hf, Nb TiO_2 y Fe_2O_3 ; las fases minerales identificadas en esta zona son monacita, ilmenita rica en Mn e ilmenita.

Palabras clave: Geoquímica, Prospección, Minerales pesados, Anomalía, Mapa geoquímico.

GEOCHEMICAL AND MINERALOGICAL STUDY OF HEAVY MINERAL IN THE NORTH-WEST AREA OF BOLIVAR STATE

ABSTRACT

This paper presents a geochemical and mineralogical study of heavy minerals collected in the north-west Bolivar state river basins (Aro, Pao, Cuchivero, Guaniamo, Suapure, Parguaza y Cataniapo) in order to locate and delimit areas of interest for mining exploration. Chemical analysis were performed by using the Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) technique for major and minor elements (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) technique for trace elements (Y, Zr, Nb, Hf, La, Ce, Nd, Th, U, Cr). The statistical treatment applied was Exploratory Data Analysis (EDA). The results obtained allowed generating the geochemical maps and locating the anomalies. Mineralogical analysis was performed by using the X-Ray Diffraction (XRD) technique for the anomalous samples. The results allowed dividing the study area into four anomalous zones. Zone A had anomalous values in the elements Cr, Y, La, Ce, Nd, Th, U, P_2O_5 and high concentrations in Fe_2O_3 and TiO_2 whereas mineralogical analysis showed as potential mineral phases: ilmenite, magnetite, chromite, hematite and ilmenorutile. Zone B with anomalies in Zr, Hf, and U and high concentrations of Nb, TiO_2 and Fe_2O_3 with suggested phase minerals: ilmenite and zircon. Zone BI with anomalies in MnO, and the mineral phases presented were Mn-rich ilmenite, hematite and magnetite. Finally Zone BII with anomalous values in Y, La, Ce, Nd, Th, U, P_2O_5 and high concentrations of Zr, Hf, Nb TiO_2 y Fe_2O_3 ; the mineral phases identified in this zone were monacite, Mn-rich ilmenite and ilmenite.

Keywords: Geochemistry, Exploration, Heavy minerals, Anomalies, Geochemical maps.

INTRODUCCIÓN

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 & 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 un país que tiene 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 km², 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 este trabajo, parte de determinar las concentraciones y distribución de los óxidos mayoritarios,

minoritarios (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO) y traza (Y, Zr, Nb, Hf, La, Ce, Nd, Th, U, Cr) en las cuencas antes mencionadas, puesto 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 con los minerales pesados.

El estudio de concentrado de minerales pesados en el estado Bolívar, se viene realizando desde hace mucho tiempo (Rodríguez, 1984; Figueredo, 1984; Torres, 1984, 1989; Menéndez, 1992; Moreno, 1996; Garbán, 1998, 2001; Herrera, 2004; Pisapia, 2006; Jiménez, 2004, 2009; Manrique, 2009; Quevedo, 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 este 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 de los ríos Aro, Pao, Cuchivero, Guaniamo, Suapure, Parguaza, Cataniapo, ubicados en la zona noroccidental del estado Bolívar, lo que permitirá reconocer la posible fuente de proveniencia de estos minerales y, además, delimitar áreas prospectos para los elementos a estudio. 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 & Cheng, 2001; Xie *et al.* 2004).

La zona de estudio abarca un área aproximada de 55000 km² 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 1), donde existe una gran diversidad biológica con espesas selvas de árboles que miden hasta 40m y presenta una geomorfología que incluye altiplanicies, mesetas y sabanas.

MARCO GEOLÓGICO

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 (granulitas y charnockitas del Complejo de Imataca) y tan jóvenes como 0,711 Ga (kimberlitas eclogíticas de Guaniamo), mostrando en buena parte una evolución geotectónica similar a la de otros escudos precámbricos en el mundo. El escudo está constituido, en orden cronológico, por las provincias geológicas de Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima (Figura 2) y el mismo 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).

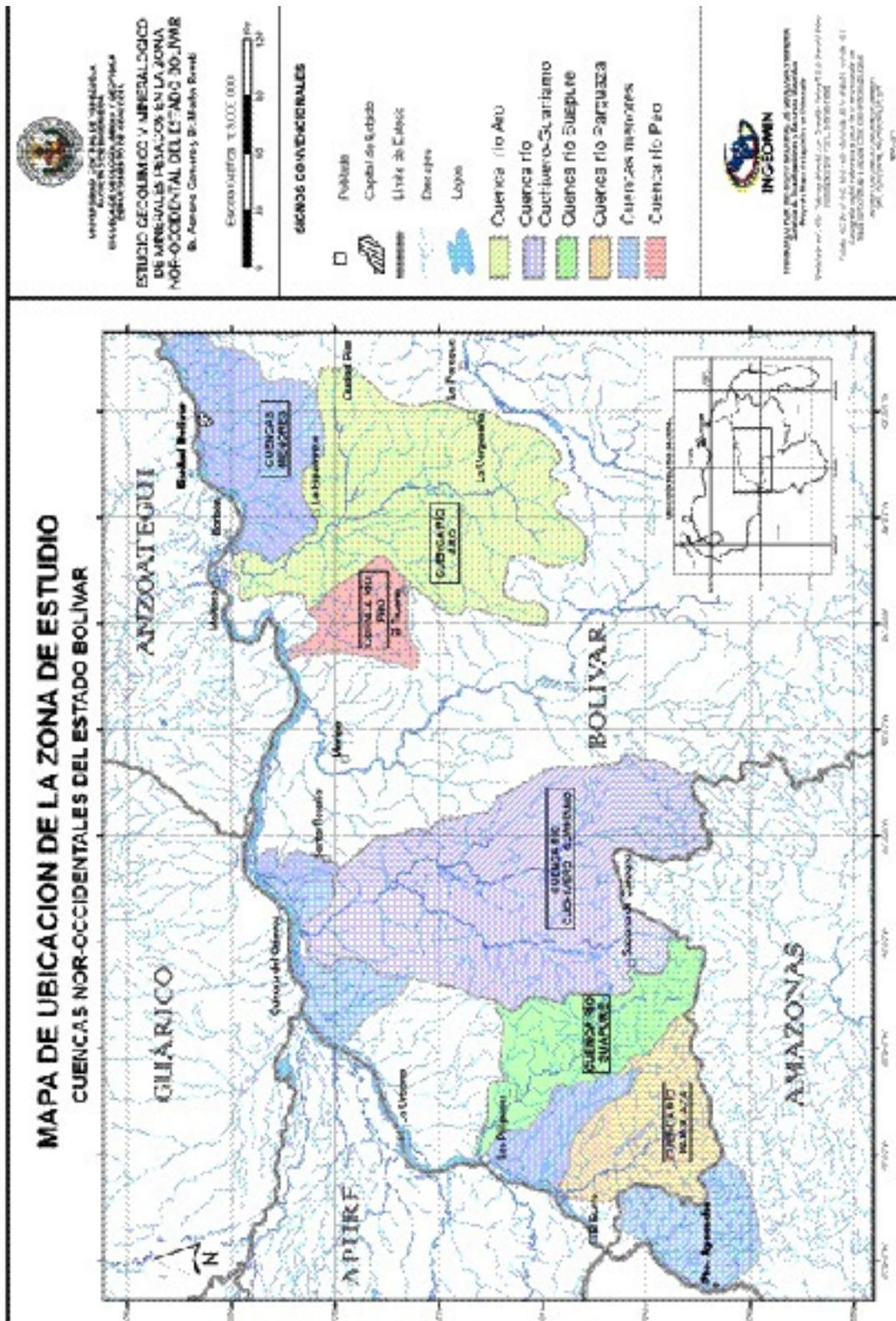


Figura 1. Cuencas nor-occidentales del estado Bolívar. Las áreas resaltadas señalan la ubicación de la zona de estudio

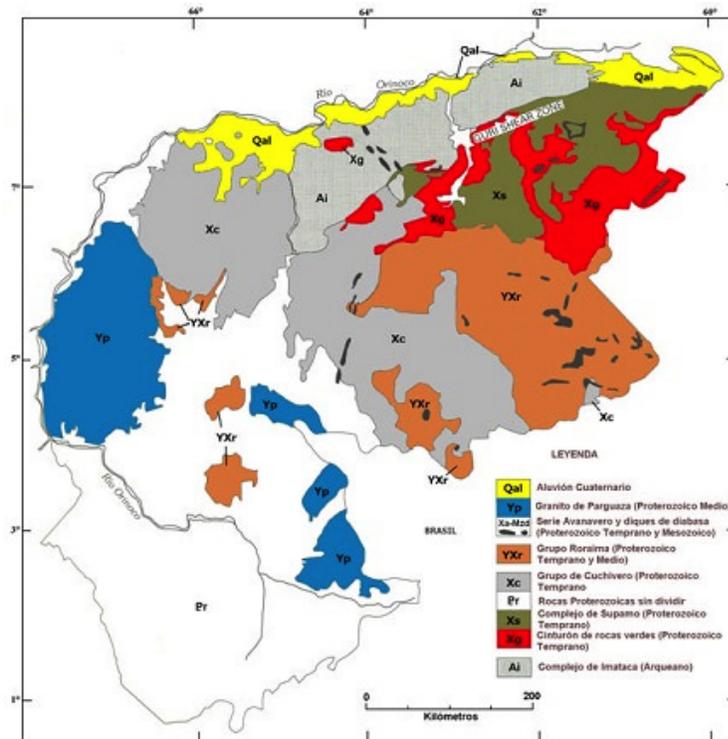


Figura 2. Provincias geológicas del Escudo de Guayana Venezolano (Tomado de Sidder & Mendoza (1995), editada por Jiménez (2009))

Provincia Geológica de Imataca

La Provincia de Imacata se extiende en dirección SO-NE desde las proximidades del río Caura hasta el Delta del Orinoco por unos 550 km y en dirección NO-SE aflora desde el curso del río Orinoco hasta la Falla de Guri con una extensión de 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 (BIF, por sus siglas en inglés) tipo Algoma, dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes (El Torno-Real Corona).

Según Mendoza (2000), la Provincia de Imataca registra más de seis dominios tectónicos, separados entre sí por grandes fallas tipo corrimientos. Internamente el plegamiento es isoclinal con replegamiento más abierto. En la parte norte, los pliegues tienen rumbo NO 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 ésta el rasgo tectónico más relevante del Escudo de Guayana, que separa las provincias de Imataca al norte de Guri y Pastora al sur.

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. Para muchos geólogos brasileños (Cordani *et al.* 2000; Tassinari *et al.* 2000), 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.

Supergrupo Pastora

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

Yuruari.

El Grupo Carichapo está 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 metamorizadas de derivación volcánica, con intervalos menores de rocas metasedimentarias.

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).

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).

El Complejo Supamo fue calificado por Moreno *et al.* (1977) y Mendoza *et al.* (1975) 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).

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.

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. 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.

Supergrupo Cuchivero: Bellizzia (1968) propuso designarles el término Grupo Cuchivero. Ríos (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 Guaniamito, el Granito de Santa Rosalía y el Granito de San Pedro, basado en edades absolutas y de formación tectónica.

La Formación Caicara, de acuerdo con Ríos (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 original se reconoce fácilmente. 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). El Granito de San Pedro podría equivaler a las intrusivas menores ácidas en el área del río Cuchivero (Ríos, 1969), que también intrusionan a las volcánicas. El Granito de Guaniamito es un granito gnéisico, porfídico, de grano grueso, constituido por cuarzo (10 - 30%), biotita (1 - 8%), feldespato alcalino (65%) y hornblenda (0 - 4%), ± titanita, circón, ± 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 NO-SE desde los ríos Cuchivero-Ventuari hacia el río Tapajós y consiste esencialmente de rocas granitoides calcoalcalinas (Tassinari *et al.* 2000) y su basamento en el sur del Escudo de Guayana en Venezuela son gneises

tonalíticos y migmatíticos, similares a los de los Complejos de Supamo y Báltica, 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.

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. 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).

El granito de Parguaza es masivo, de grano grueso, porfirítico y presenta textura rapakivi. Es rico en feldespato 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), así como 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 N-S por 120 km de eje E-O.

Provincia Geológica Roraima

La provincia geológica de Roraima se encuentra ubicada en los límites del Parque Nacional Canaima, desde 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 gabronóriticas cuarcíferas a dioríticas cuarcíferas (Asociación Avanavero). El Grupo Roraima se localiza desde Tafelberg (Suriname) hasta Neblina en Amazonas (Venezuela), cubriendo actualmente unos 250.000 km².

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.

METODOLOGÍA

La toma de muestra fue realizada por el Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN). La recolección de muestras de minerales pesados se hizo en los principales afluentes de las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar (ríos Aro, Pao, Cuchivero, Guaniamo, Suapure, Parguaza, Cataniapo). Para la selección de los puntos de recolección de muestras, se utilizó la metodología empleada por la EPA en el Programa de Evaluación y Monitoreo Ambiental (EMAP, por sus siglas en inglés). Esta metodología consiste en la clasificación de los ríos, en la cual se estiman los órdenes según el método de Strahler-Horton; esta 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, habían 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 km² (Figura 3). Posteriormente, 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, tomados en las zonas del río donde la alta energía permite su concentración, estando asociados generalmente con sedimentos ricos en arena o grava, aunque también se les puede encontrar atrapados en materiales finos. Estos minerales pesados se concentraron 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 siguieron los siguientes pasos: el secado, disgregado y cuarteo. El secado se realizó a temperatura ambiente durante 72 horas, luego el material se sometió 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 (CMP) fue de aproximadamente 2 kg. El tamizado que se estableció para los CMP fue de 250-177 µm (60-80 mallas). Esta fracción se escogió por el contenido de minerales pesados observados, mientras el resto de las fracciones se reservó como testigo. La cantidad de muestra obtenida fue

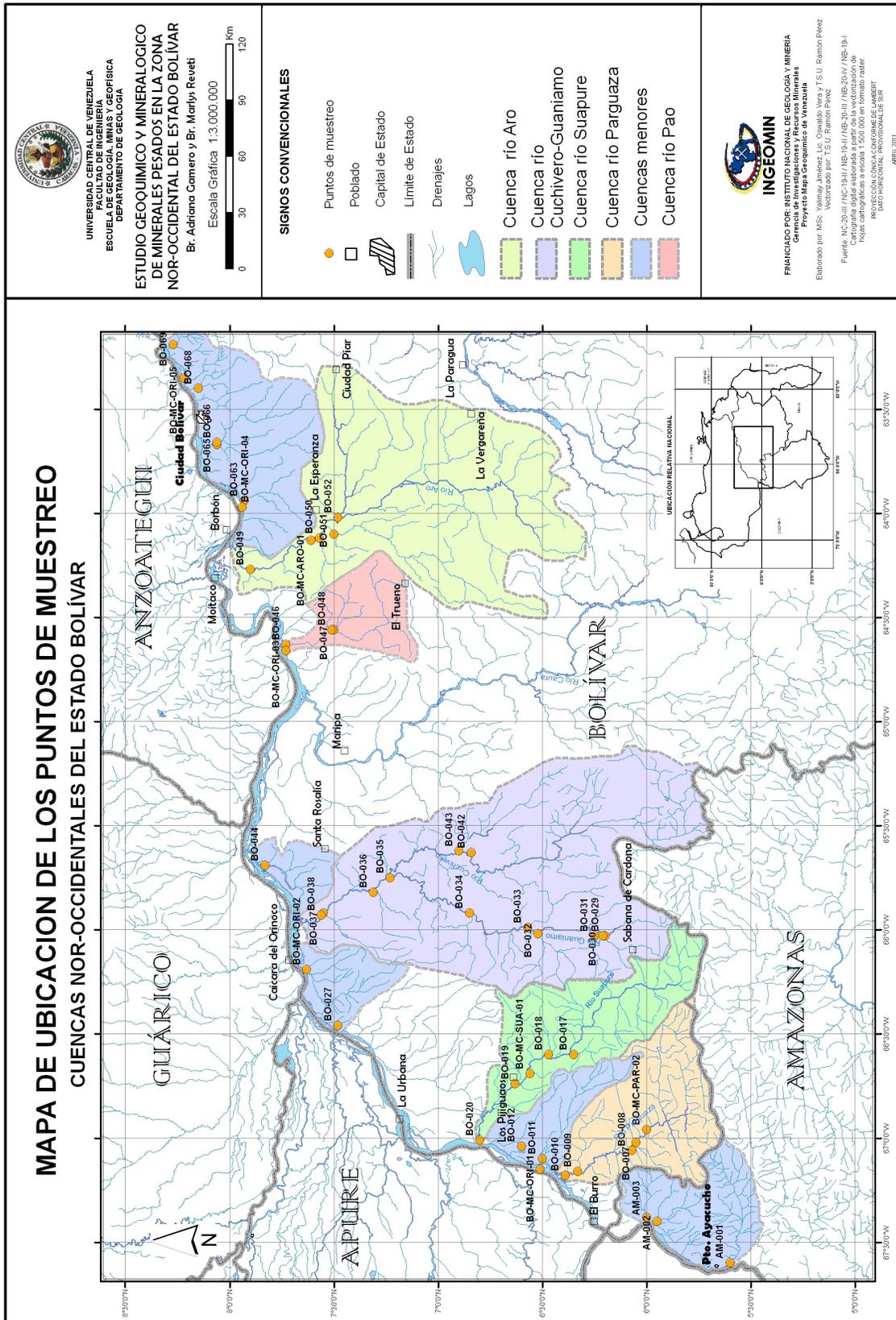


Figura 3. Mapa de ubicación de los puntos de recolección de muestras de concentrados de minerales pesados

de 24,7g - 458,1g.

Una vez preparadas las muestras, se procedió a la separación mediante el sistema hidrodinámico. 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. Es un método alternativo de separación por densidades, puesto que no se contó con los líquidos densos. Posteriormente, a las fracciones obtenidas (47) se les realizaron los análisis químicos mediante las técnicas de Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) para los óxidos mayoritarios y minoritarios y Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS) para los elementos traza.

Las concentraciones de los siguientes óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO fueron determinadas mediante el ICP-OES. Para esta técnica las muestras de concentrados de minerales pesados se cuartearon y homogenizaron obteniendo una alícuota de 3 g que luego se pulverizó en un mortero de ágata. Se secaron 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 de metaborato de Litio (LiBO_2), a esta mezcla se le agregan cuatro gotas de una solución al 25 % de bromuro de Litio (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 (HNO_3) 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 se mide, según las concentraciones estimadas.

Los elementos traza que se analizaron: Y, La, Ce, Nd, U, Th, Zr, Hf, Nb, Cr mediante la técnica ICP-MS con las siguientes 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.

Determinada la composición de las muestras, se realizaron los mapas geoquímicos para cada elemento. 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 lo cual se utilizó el programa ArcGis v.8.0.

Finalmente, se tomó como referencia los contrastes entre los valores de fondo, altas concentraciones y anomalías que mostraron los mapas, para escoger nueve muestras de las veinticinco que resultaron anómalas y se analizaron por Difracción de Rayos X (DRX). La selección se basó en la tabla de correlaciones elementales, donde se mostraron las asociaciones geoquímicas y además se consideró la ubicación geográfica de éstas dentro de la zona de estudio. Para obtener unos mejores difractogramas se separaron las muestras por sus propiedades magnéticas. La cantidad aproximada de muestra de concentrados de minerales pesados utilizada fue de 0,2 - 0,5g. Para ello se utilizó la tabla de calibración del separador magnético Frantz dada por Hess en 1959 (Tabla 1) 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 sólo se separaron en tres fracciones (magnética manual, 1,2 amp y no magnética).

Las condiciones del DRX fueron: lámpara de cobalto, con un rango de barrido entre (4 - 90)°, a una velocidad constante de 0,08 °/seg, sin filtros, a 40 KV y 20 mA. El paso fue 0,02 ° y el tiempo por paso igual a 0,25 s.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados e interpretación de los mismos, en los cuales se establecen un conjunto de zonas que muestran áreas anómalas para ciertos elementos.

Zona A

La zona A está ubicada en el flanco noreste del área de

Tabla 1. Minerales separados por el Frantz, de acuerdo con Hess (1959) (Tomado de Bermúdez & Anaya (2007))

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

estudio, en la cuenca del río Aro (Figura 4), la cual posee un área aproximada de 19500 km². Las anomalías se presentan en ocho de los veinte elementos analizados, para los fondos geoquímicos estimados en este tipo de muestra. 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), P₂O₅ (0,39-0,59 %). Otros elementos también exhiben altas concentraciones como: Fe₂O₃ (52,2-54 %) y TiO₂ (66 %).

Las fases minerales identificadas en las muestras Bo-052; Bo-063 son: ilmenita, magnetita, hematita, cromita e ilmenorutilo en la fracción magnética manual; el 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; Garbán, 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). Las altas concentraciones de Fe₂O₃ y TiO₂ indican una asociación geoquímica entre estos dos elementos (factor de correlación:

0,79), esto está representado en la tabla de correlaciones elementales (Tabla 2) que posiblemente estén relacionados con la presencia de las fases identificadas en los espectros de DRX (ilmenita, magnetita, cromita, hematita e ilmenorutilo). Las anomalías de Cr por su parte, están asociadas con la cromita (Fe⁺²Cr₂O₄). La relación entre U y Zr, según la tabla de correlaciones elementales (Tabla 2), posiblemente están asociadas con el circón (Figueredo, 1984; Menéndez, 1992; Garbán, 1998; Pasquali, 2003; Herrera, 2004; Jiménez, 2004, 2009; Pisapia, 2006; Quevedo, 2009). Las anomalías de Y, La, Ce, Nd, Th y P₂O₅ muestran una clara asociación geoquímica, representada en la tabla de correlación (Tabla 2); posiblemente están asociadas con fases de fosfatos, como la monacita, xenotima, apatito (Melgarejo, 1997; Kawazawa & Kamitani, 2006). La Zona A está emplazada en el Complejo de Imataca con litología de 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).

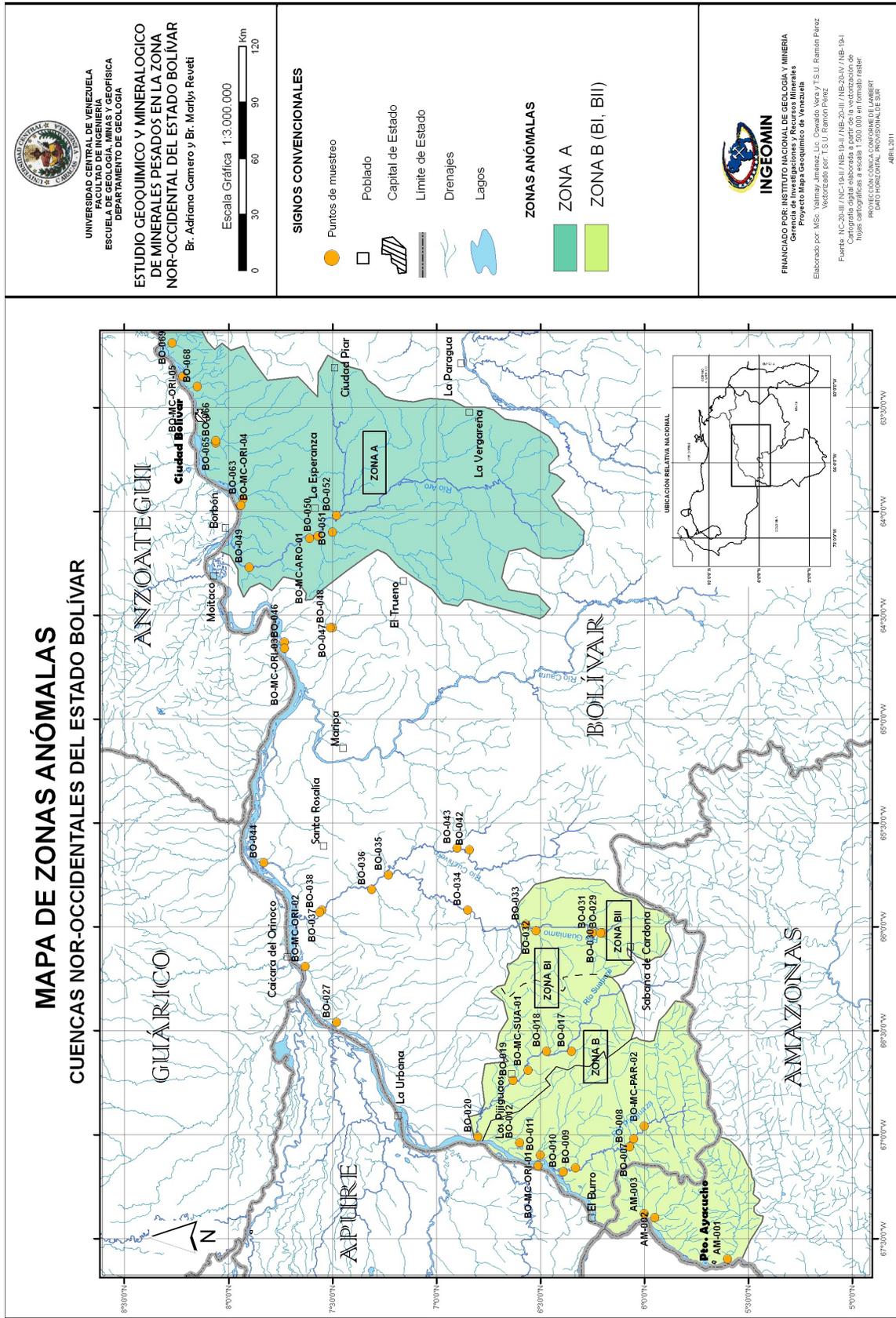


Figura 4. Mapa de zonas anómalas determinadas en las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar

Tabla 2. Tabla de correlaciones elementales

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	SiO ₂	Cr	Y	Zr	Nb	La	Hf	Ce	Nd	Th	U
Al ₂ O ₃	1,00																
Fe ₂ O ₃	-0,11	1,00															
MgO	0,49	0,14	1,00														
MnO	-0,09	0,20	-0,12	1,00													
P ₂ O ₅	0,18	0,13	-0,07	0,27	1,00												
TiO ₂	-0,49	0,79	-0,12	0,47	0,01	1,00											
SiO ₂	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	0,50	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	0,55	-0,01	0,50	-0,26	-0,37	0,25	0,80	1,00						
La	-0,24	0,22	-0,02	0,03	0,45	0,18	-0,25	0,60	0,80	-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	0,99	0,82	-0,24	1,00				
Ce	-0,23	0,22	-0,02	0,01	0,44	0,18	-0,25	0,60	0,80	-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	0,57	0,75	-0,21	-0,20	0,98	-0,23	0,98	1,00		
Th	-0,26	0,24	-0,04	0,12	0,41	0,24	-0,28	0,55	0,83	-0,14	-0,10	0,98	-0,16	0,98	0,97	1,00	
U	-0,29	0,26	-0,32	0,61	0,30	0,47	-0,38	0,00	0,81	0,67	0,64	0,42	0,67	0,41	0,37	0,50	1,00

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, donde establece que los responsables de los altos valores de Fe están asociados con minerales accesorios tales como: la ilmenita (FeTiO₃), la magnetita (Fe₃O₄) o la hematita (Fe₂O₃); otros autores de igual modo, han incorporado esta zona, como una potencial región para el desarrollo de la minería; esta información coincide con la encontrada en la Zona A. La delimitación de la Zona A representa una nueva megaprovincia geoquímica (Tabla 3).

Zona B

La Zona B abarca un área de 19.000 km² aproximadamente, está ubicada desde la parte alta del río Guaniamo (Figura 4), extendiéndose en dirección NO 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 con los fondos geoquímicos estimados para este tipo de muestra (Tabla 3). Los valores de anomalías: Zr (81636-112066 ppm), Hf (2327 ppm), U (145-209 ppm) y altas concentraciones de Nb (3633-4114 ppm), TiO₂ (66 %) y Fe₂O₃ (52,2-54 %).

Las fases minerales identificadas en esta zona fueron la ilmenita y el circón. 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 y Hf posiblemente están asociadas con el circón y el U a inclusiones de uraninita en los granos de circón.

Las altas concentraciones de Nb, Fe₂O₃ y TiO₂ pueden relacionarse con la ilmenita dado que el Nb⁺⁵ (r=0,68 Å) sustituyen con preferencia al Ti⁺⁴ (r=0,64 Å) 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

lo que se recomienda realizar análisis más sensibles para discriminar la asociación que presenta esta distribución.

Tabla 3. Valores de los fondos geoquímicos de los concentrados de minerales pesados recolectados durante el estudio regional en las cuencas noroccidentales del Edo Bolívar

Elementos	Fondo geoquímico
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 ₂ O ₅	(0,06 ; 0,37) %
Fe ₂ O ₃	(27,96 ; 56,70) %
Al ₂ O ₃	(0,61 ; 2,51) %
SiO ₂	(5,68 ; 58,03) %
TiO ₂	(31,14 ; 79,52) %

La Provincia de Cuchivero es la más extensa y menos estudiada 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, feldspatos, circón, fluorita, allanita, ilmenita, ilmensorutilo, monacita, rutilo, hornblenda y biotita, (Moreno, 1996). En esta zona se encuentran yacimientos de bauxita, diamantes, caolín, uranio y 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 Hackley *et al.* (2006). La delimitación de la Zona B representa una nueva megaprovincia geoquímica (Tabla 4).

Tabla 4. Jerarquía de los patrones geoquímicos establecidos y los bloques geoquímicos (Tomado de Xie *et al.* 2004)

Área de anomalía (km ²)	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

Expresión superficial de los bloques geoquímicos (dado un espesor de 1.000 m)

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 km² aproximadamente (Figura 4) y muestra anomalías de MnO (6-16 %; Tabla 3). Mineralógicamente está compuesta posiblemente por ilmenita rica en Mn, hematita y magnetita (Tabla 2). En la ilmenita están asociados geoquímicamente los elementos Mn y Nb, por tanto las anomalías de Mn y altas concentraciones de Nb, proponen la presencia de ilmenita rica en Mn; es probable que esta fase propuesta se deba a la influencia de cuerpos carbonatíticos del área (Gaspar & Willie, 1983; Deer *et al.* 1992, Mendoza, 2000). Sin embargo, es necesario realizar estudios de microanálisis para verificar esta hipótesis. Por otra parte, Gaspar & Willie (1983), arrojaron que el promedio de Nb y Ta en las ilmenitas provenientes de kimberlitas (0,22% Nb y 0,16% Ta) es menor que los de las ilmenitas provenientes de carbonatitas (1,11% Nb y 0,13% Ta). Esta herramienta 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.

Zona BII

La zona BII indicada en la zona del alto Guaniamo (Figura 4), con un área aproximada de 3500 km². Las anomalías son: Y (503-826 ppm), La (1506-11439 ppm), Ce (1934-21934 ppm), Nd (465-17086 ppm), Th (1803-17086 ppm), P₂O₅ (0,39-0,59 %) (Tabla 3). Las fases identificadas son monacita e ilmenita (Tabla 3), esta última identificada en

la fracción magnética manual. La tabla de correlaciones elementales muestra una clara asociación de los elementos de tierras raras y Th a las anomalías de fosfatos (P₂O₅), identificando en esta fase la Monacita 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 puesto que la litología dominante la constituyen las rocas del Grupo Cuchivero (rocas metavolcánicas del tipo ácido: riolita alcalina, riolita, riodacita, dacita) (Mendoza, 1972).

CONCLUSIONES

1. Las cuencas nor-occidentales del estado Bolívar estudiadas en el presente trabajo, presentan dos zonas anómalas la Zona A, y la Zona B con subdivisiones en Zonas BI y BII, por lo que se podría decir que se definieron dos nuevas megaprovincias geoquímicas.
2. La Zona A ubicada en la cuenca del río Aro, que presenta los siguientes elementos y óxidos: 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), P₂O₅ (0,39-0,59 %) y altas concentraciones de Fe₂O₃ (52,2-54 %) y TiO₂ (66 %), donde el análisis mineralógico arrojó como posibles fases minerales: ilmenita, magnetita, cromita, hematita e ilmenorutilo.
3. La Zona B ubicada desde la parte alta del río

Guaniamo, extendiéndose en dirección NO hasta la desembocadura del río Suapure en el Río Orinoco y alcanza las cuencas de los ríos Parguaza-Cataniapo, abarca un área de 19000 km² aproximadamente, la cual resultó anómala en los siguientes elementos y óxidos: Zr (81636-112066 ppm), Hf (2327 ppm), U (145-209 ppm) y altas concentraciones de Nb (3633-4114 ppm), TiO₂ (66 %) y Fe₂O₃ (52,2-54 %). Las fases minerales identificadas en esta zona fueron la ilmenita y el circón.

4. La cuenca del río Suapure (Zona BI) presentan anomalías en Zr, Hf, Th, MnO y altas concentraciones de Nb, TiO₂ y Fe₂O₃, donde como fases minerales se presentaron: ilmenita, hematita, magnetita.
5. La cuenca alto Guaniamo (Zona BII) muestra anomalías en Y, La, Ce, Nd, Th, U, P₂O₅ y altas concentraciones de Zr, Hf, Nb, TiO₂ y Fe₂O₃. Las fases minerales identificadas son monacita e ilmenita.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Dios en primer lugar, al Instituto Nacional de Geología y Minería, en especial al grupo que desarrolló el proyecto de Mapa Geoquímico, a Ismael Mosquera (técnico del DRX), y a los árbitros por sus comentarios que han mejorado la publicación.

REFERENCIAS

AMELINCK, L. (1971). Evaluación de las arenas negras contenidas en los aluviones de los ríos de Guayana: Geominas-UDO, Boletín N° 7, pp. 44-73.

BELLIZIA, M. (1968). Edades isotópicas de rocas venezolanas. Boletín Geológico. Caracas. Volumen 9 (19), pp. 356-380.

BENAIM, N. (1972). Geología de la Región de Botaniamo. Estado Bolívar. IV Cong. Geol. Venez., 3: pp. 1291-1314.

BERMÚDEZ, M. & ANAYA[†], 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. pp. 47-58.

CORDANI, G., SATO, K., TEIXEIRA, C., TASSINARI, G., BASEI, A. (2000). Crustal Evolution of the South America Platform. En: Tectonic Evolution of South America.

Brasil. Pub. Esp. 31. Int. Geol. Cong., pp. 19-40.

DEER, W., HOWIE, R., ZUSSMAN, J. (1992). An introduction to the rock forming minerals: 2nd Edition. Pearson Education Limited, 689 p.

FIGUEROA, 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.

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. & WYLLIE, P. P. P. (1983). Ilmenite (high Mg,Mn,Nb) in the carbonatites from the Jacupiranga Complex, Brazil. American Mineralogist, Volume 68, pp. 960-971.

GRANDE, S. (2002). Manual de clases "Yacimientos Minerales Metálicos". 150 pp.

HARTMAN, H. (1992). SME Mining Engineering Handbook, Vol I. Sociedad de Minería, Metalurgia y de Exploración. Sacramento, California. EEUU. 2394 p.

HERRERA, M. A. (2004). Caracterización geoquímica 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, pp. 1-6.

HOACKLEY, P. P. P., URBANI, F., KARLSEN, A., 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

HORTON, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Amer. Bull.,

Volume 56: pp. 275-370.

- 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., HERNÁNDEZ, E. (2008). Proyecto Mapa Geoquímico de Venezuela (PMGV): Informe de avance cuencas nor-occidentales del estado Bolívar. XIII Congreso Venezolano de Geofísica. 8 p.
- 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, pp. 29-104.
- KANAZAWA, Y. & KAMITANI, M. (2006). Rare earth minerals and resources in the world: Journal of Alloys and Compounds, volume 408-412, pp. 1339-1343.
- 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.
- MCCANDLESS, G. C. (1965). Reconocimiento geológico de la parte occidental del Estado Bolívar. Bol. Geol., volume 7 (13), pp. 19-28.
- MELGAREJO, J. (1997). Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada, Volumen 1. 1^{era} Edición: Edicions, UB. Universidad de Barcelona, España. 449 p.
- MENDOZA, V. (1972). Geología del área del río Suapure, parte noroccidental del escudo de Guayana, Estado Bolívar, Venezuela. IX Conf. Geol. Interguayan, Mem.. Bol. Geol., Public. Esp. volumen 6, pp. 306-338.
- MENDOZA, V. (1974). Geología del área del río Suapure, parte noroccidental del Escudo de Guayana, estado Bolívar, Venezuela. IX Conf. Geol. Interguayan, Ciudad Bolívar, estado Bolívar, pp. 306-338.
- MENDOZA, V., MORENO, L., BARRIOS, F., RIVAS, D., MARTÍNEZ, J., LIRA, P. P. P., SARDI, G., GHOSH, S. (1975). Geología de la parte norte del Territorio Federal Amazonas, Venezuela (informe en progreso). V Cong. Geol. Venezolano. Volumen 1: pp. 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: pp. 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.
- MORENO, L., LIRA, P. P. P., MENDOZA, V., RÍOS J. (1977). Análisis de edades radiométricas en la parte oriental de la Guayana venezolana y eventos tectónicos registrados. V Conf. Geol. Venezuela., Memoria II, pp. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- RÍOS, J. H., (1969). Geología de la región de Caicara, Estado Bolívar, IV Cong. Geol. Veneuela., Caracas, MEM., III: pp. 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.
- SIDDER, B. & 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, pp. B1-B45.
- STRAHLER, A. N. (1969). Physical geography: New York – London, John Wiley & Song, 733 p.
- TASSINARI, G., BETTENCOURT, S., GERALDES, C., MACAMBRIA, B., LAFON, M. (2000). The Amazonian Craton. En: Tectonic Evolution of South America. Brasil. Pub. Esp. 31. Int. Geol. Cong., pp. 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.
- URBANI, F. (1977). Metamorfismo de las rocas del Grupo Roraima, estado Bolívar y Territorio Federal Amazonas. V Cong. Geol. Venezuela, volumen. 2, pp. 623- 641.
- XIE, X. & CHENG, H. (2001). Global geochemical mapping and its implementation in the Asia-Pacific region: Applied Geochemistry, volume 16, issues, 11-12, pp. 1309-1321.
- XIE, X., DAWEN, L., YUNCHUAN, X., GUANGSHENG, Y., CHANGYUN, L. (2004). Geochemical blocks for predicting large ore deposits-concept and methodology: Journal of Geochemical Exploration, volume 84, issue 2, pp. 77-91.