

## Identificación de Anomalías Geoquímicas de Fe, Ti, Cr, Nb y Zr en Concentrados de Minerales Pesados y Sedimentos Finos Mediante el Empleo de Mapas Geoquímicos en el Arco Minero del Orinoco, Venezuela

### Identification of Fe, Ti, Cr, Nb and Zr Geochemical Anomalies in Heavy-Mineral Concentrates and Fine Sediments Using Geochemical Maps in the Orinoco Mining Arc, Venezuela

Gabriela Farías Suárez<sup>1</sup>, Leidy Oscari Morales Santos<sup>2</sup>, Juan Carlos Molina Trigos<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Geología y Minería de Venezuela. Caracas -Venezuela. cgfarias95@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Geología y Minería de Venezuela. Caracas -Venezuela. leidyoscari@gmail.com

<sup>3</sup> Gerente de Investigaciones Geológicas y de los Recursos Minerales, Instituto Nacional de Geología y Minería de Venezuela. Caracas -Venezuela. juanmolina.ingemin@gmail.com

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 23-07-2020

Fecha de aceptación: 05-04-2021

#### RESUMEN

En el Arco Minero del Orinoco, ubicado en el norte del estado Bolívar, Venezuela, se realizó un estudio de prospección geoquímica, mediante el análisis estadístico y espacial de las concentraciones de los elementos químicos Fe, Ti, Cr, Nb y Zr en concentrados de minerales pesados y sedimentos finos depositados en ríos de orden 6 y 7, con el fin de identificar anomalías geoquímicas que permitan localizar zonas prospectivas potenciales, que puedan ser asociadas a depósitos minerales. El análisis químico, en el caso de los concentrados de minerales pesados, se realizó mediante ICP-OES para Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub>, y por ICP-MS para Cr, Nb y Zr, mientras que, en el caso de los sedimentos finos, este se realizó mediante ICP-OES para todos los elementos. Por su parte, el análisis estadístico fue realizado usando el software STATISTICA 10.0. Con la información obtenida se generaron los mapas geoquímicos, situando las anomalías. Los resultados permitieron sugerir la existencia de dos grandes zonas prospectivas: la primera zona presenta anomalías de Cr y concentraciones altas de Fe y Ti; la segunda zona presenta anomalías de Nb y Zr, y concentraciones altas de Fe y Ti.

**Palabras clave:** Arco Minero del Orinoco, concentrados de minerales pesados, mapa geoquímico, prospección geoquímica, sedimentos finos.

#### ABSTRACT

In the Orinoco Mining Arc, located in the north of the Bolívar state, Venezuela, a geochemical prospecting study was carried out, by the statistical and spatial analysis of the concentrations of the chemical elements Fe, Ti, Cr, Nb and Zr in heavy-mineral concentrates and fine sediments deposited by rivers of order 6 and 7, in order to identify geochemical anomalies that allow locating potential prospective areas, which may be associated with mineral deposits. The chemical analysis, in the case of mineral concentrates, was made by ICP-OES for Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub>, and by ICP-MS for Cr, Nb and Zr, while in the case of fine sediments, the chemical analysis was made by ICP-OES for all elements. For its part, the statistical analysis was performed using the STATISTICA 10.0 software. With the obtained information, geochemical maps were generated, locating the anomalies. The results allowed suggesting the existence of two large prospective zones: the first zone presents anomalies of Cr and high concentrations of Fe and Ti, the second zone presents anomalies of Nb and Zr, and high concentrations of Fe and Ti.

**Keywords:** Orinoco Mining Arc, heavy-mineral concentrates, geochemical map, geochemical prospecting, fine sediments.

## 1. INTRODUCCIÓN

Venezuela, actualmente, se encuentra enfocada en el desarrollo sustentable del Arco Minero del Orinoco (AMO), el cual corresponde a una zona estratégica para el impulso del sector minero y el desarrollo económico de la nación. En sí, el AMO tiene un valioso potencial minero y posee grandes yacimientos que son explotados por industrias especializadas según su región y/o ubicación [1].

El AMO (Fig. 1) está ubicado al sur del río Orinoco, en la parte norte del estado Bolívar y tiene una superficie total de 111 843,70 km<sup>2</sup>. Su gran relevancia recae en la presencia de importantes yacimientos de minerales como Cuarzo, Coltán, Bauxita, Hierro, Oro y Diamante [2].

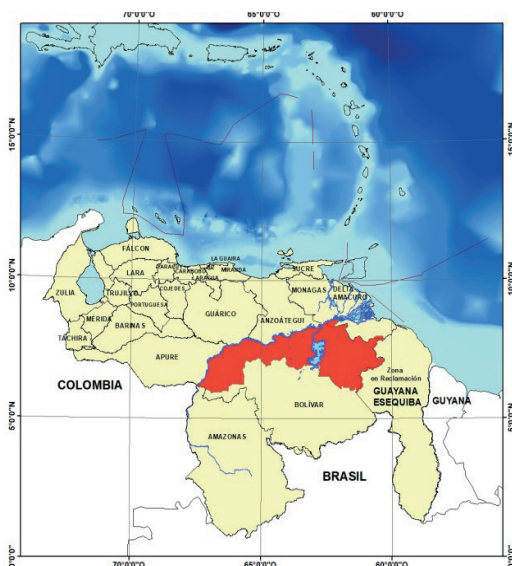


Figura 1: Mapa de ubicación del Arco Minero del Orinoco (AMO). [Elaboración propia, 2020]

Dada la importancia de esta zona, en ella se han realizado varios estudios de prospección geoquímica [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Tales investigaciones han contribuido al entendimiento de los procesos de meteorización en ambientes tropicales, y por ende, la dispersión de estos elementos en este tipo de ambiente. Igualmente, los trabajos ya mencionados han permitido la generación de mapas geoquímicos, los cuales son de vital importancia en la prospección geoquímica, ya que permiten evaluar la distribución de los elementos como indicadores de una mineralización [13], mediante la fácil y rápida visualización de la abundancia relativa de los elementos químicos, así como, de tendencias regionales y patrones anómalos, que al ser relacionados con el entorno geológico de la región permiten establecer un conjunto de zonas anómalas, que posiblemente estén relacionadas a mineralizaciones o depósitos minerales [11].

A pesar de que el AMO representa un potencial para la exploración minera, no ha sido explorado sistemáticamente [1], además, los trabajos dirigidos hacia la prospección geoquímica en esta zona

estratégica, en su mayoría, son de carácter local o regional y difieren entre sí en el tipo de muestra, metodología de recolección, análisis químico y procesamiento estadístico de los datos, lo que dificulta una integración homogénea [2, 14].

Debido a lo anteriormente mencionado, el presente trabajo tiene como objetivo identificar las anomalías geoquímicas de hierro (Fe), titanio (Ti), cromo (Cr), niobio (Nb) y circonio (Zr) en concentrados de minerales pesados y sedimentos finos fluviales mediante el empleo de mapas geoquímicos en el AMO, Venezuela, con miras a la localización de zonas prospectivas potenciales que puedan ser asociadas a depósitos minerales.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

El AMO se encuentra en el Escudo de Guayana, el cual forma parte del Precámbrico del Cratón Amazónico y del Oeste de África y continúa en las Guayanas y parte NO de Colombia. En Venezuela, éste se extiende al sur del Río Orinoco y ocupa algo más del 50% de la superficie del país [15].

El Escudo de Guayana constituye uno de los bloques continentales con rocas más antiguas, de hasta 3,4 Giga años (Ga). Su existencia se remonta al Precámbrico formado por rocas arqueozoicas y proterozoicas alteradas en mayor o menor proporción durante una serie de eventos tectónicos que fisiográficamente dividen el Escudo en cuatro provincias geológicas (Fig. 2) conocidas como: Imataca (Arqueozoico), Pastora (Paleoproterozoico), Cuchivero (Paleoproterozoico) y Roraima (Paleoproterozoico) [16, 17].

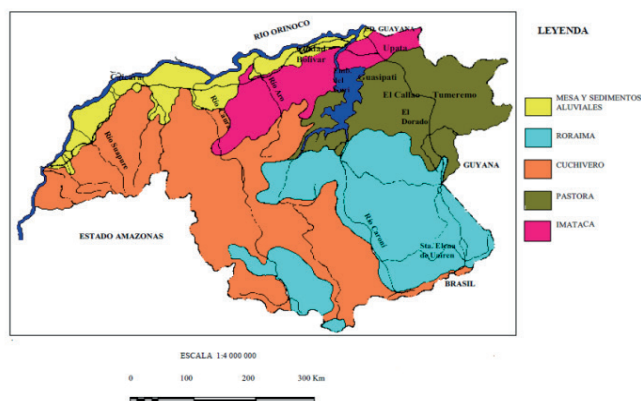


Figura 2: Mapa de Provincias Geológicas del Estado Bolívar [15], 2005

### 2.1. Provincia Geológica de Imataca

La Provincia Geológica de Imataca (3,4-2,5 Ga) petrologicamente es la más antigua y está ubicada al norte de la Guayana venezolana. Esta Provincia Geológica se extiende en dirección SO-NE desde las proximidades del río Caura hasta el delta del Orinoco y en dirección NO-SE aflora desde el curso del río Orinoco

hasta la Falla de Guri. Las rocas que componen la Provincia Geológica de Imataca afloran en la parte norte del estado Bolívar, al este del río Caura y paralelamente el río Orinoco, hasta penetrar el Estado Delta Amacuro, representando las rocas más antiguas en la parte norte del Escudo de Guayana [15].

En sí, esta provincia se encuentra formada litológicamente por gneises y granulitas félsicas (60-75%), anfibolitas y granulitas máficas y ultramáficas (15- 20%) y cantidades menores de formaciones bandeadas de hierro (BIF), charnokitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales de cinturones de rocas verdes [15].

## 2.2. Provincia Geológica de Pastora

La Provincia Geológica de Pastora (2,3-2,0 Ga) se extiende desde la Falla de Gurí al norte del estado Bolívar, hasta las proximidades del Parque Nacional Canaima al sur, por el este hasta los límites con la Zona en Reclamación del Esequivo y al oeste hasta el Río Caura [15].

Esta Provincia Geológica está litológicamente caracterizada por una secuencia de rocas volcánicas ácidas y básicas, así como, por rocas sedimentarias asociadas, que han sufrido un metamorfismo de grado bajo, el cual alcanza localmente la facies de la anfibolita. En general, se considera que esta provincia está formada por una secuencia supracortical de rocas verdes ubicadas preferencialmente en zonas sinclinoideas entre domos graníticos [16]. La Provincia de Pastora está formada por cinturones de rocas verdes (CRV) estrechos, más antiguos, tectonizados, tipo Carichapo y CRV más anchos, jóvenes, menos tectonizados y metamorfizados, como el de Botanamo. También se encuentran complejos graníticos sódicos, como el Complejo de Supamo. En esta provincia se encuentran los yacimientos auríferos más importantes del país [15].

## 2.3. Provincia Geológica de Cuchivero

La Provincia Geológica de Cuchivero (1,85-1,80 Ga) ocupa la parte occidental del Escudo venezolano y se extiende al sureste de Guayana, Surinam y la Guayana Francesa, teniendo en Venezuela su mayor desarrollo en la parte occidental del estado Bolívar.

Los afloramientos de rocas volcánicas de esta provincia se extienden desde la región de Caicara del Orinoco en el noreste, pasando por El Chiguao y La Vergareña, al oeste del río Paragua y hacia el sur, en los alrededores de Santa Elena de Uairén, en el extremo suroeste del territorio venezolano.

Cuchivero incluye rocas volcánicas riolíticas y asociadas, comagmáticas con granitos calcoalcalinos de la Asociación Cuhivero; areniscas, conglomerados, limolitas, tobas y lutitas del Grupo Roraima; sills, diques, apófisis, stocks de rocas diabásicas-gabronoríticas

cuarcíferas de la Asociación Avanavero, el Granito Rapakivi de El Parguaza y complejos alcalinos como el de La Churuata y rocas asociadas, así como, intrusiones de Carbonatita de Cerro Impacto [15].

## 2.4. Provincia Geológica de Roraima

La Provincia Geológica de Roraima (1,2-1,0 Ga) se extiende desde los límites del Parque Nacional Canaima, hacia el km 95 cerca de la Piedra de la Virgen, hasta Santa Elena de Uairén en dirección NS y desde el río Venamo hasta las proximidades del río Paragua en dirección EO También se extiende hacia el sur-sureste del escudo de Guayana hasta el área del Río Branco, Brasil [15].

Esta Provincia Geológica está compuesta por rocas sedimentarias del Grupo Roraima, con diabasas y rocas gabronoríticas cuarcíferas a dioríticas cuarcíferas. Se divide el Grupo Roraima en cuatro formaciones: Uairén, Kukenán, Uaimapué y Matauí, constituidas principalmente por areniscas, lutitas y por algunas tobas y arcosas [15].

## 3. METODOLOGÍA

A continuación se presenta un resumen de la metodología empleada para la ejecución de esta investigación:

### 3.1. 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 Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en Inglés) en el Programa de Evaluación y Monitoreo Ambiental (EMAP, por sus siglas en inglés), diseñándose una red de puntos con una componente espacial sistemática, cuya densidad de muestreo fue de 1 muestra/1 000 km<sup>2</sup>.

### 3.2 Tipo de muestra y metodología de recolección

Se recolectaron dos tipos de muestras, concentrados de minerales pesados (CMP) y sedimentos finos depositados, en cada punto seleccionado, siguiendo las recomendaciones generales de los diferentes programas a nivel mundial (IGCP 259/360), en conjunto con la experiencia dada gracias a estudios preliminares realizados en zonas tropicales.

Los sedimentos finos representan aquel material inicialmente transportado por la corriente fluvial, de grano fino a medio como tamaño de partícula (limo-arcilla), el cual es depositado cuando disminuye la energía de la corriente de agua, sobre afloramientos de rocas en el curso principal, en los márgenes de los ríos, o queda atrapado entre las raíces de las plantas cercanas, generalmente formando delgadas costras o pequeñas aglomeraciones, producto de la deshidratación del

sedimento [18]. Por su parte, los CMP, tomados en las zonas del río donde la alta energía permite su concentración, están 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”.

### 3.3 Trabajo de campo

Se realizaron dos campañas de recolección de muestras. La primera se efectuó entre los meses de abril y mayo del 2007, en la cual se recolectaron 29 muestras de CMP y 27 muestras de sedimentos finos depositados en ríos de orden 6 y 7 de todas las cuencas hidrográficas ubicadas en el oeste del estado Bolívar (cuenca del río Parguaza, cuenca del río Suapure, cuenca del río Cuchivero). La segunda campaña se desarrolló entre los meses de marzo y abril del 2008. En ella se recolectaron 15 muestras de CMP y de sedimentos finos en la zona centro-norte del estado Bolívar, específicamente en la cuenca del río Aro y en la cuenca del río Caura.

A continuación, se presentan los puntos de muestreo para los CMP (Fig. 3) y los sedimentos finos (Fig. 4).

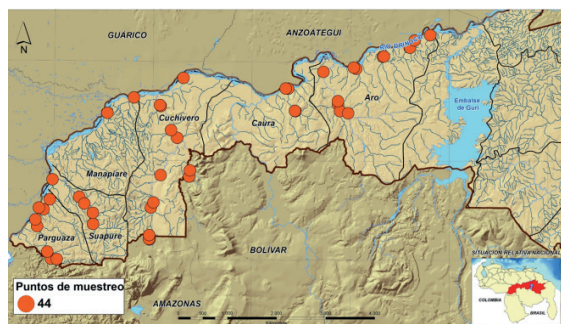


Figura 3: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo para CMP

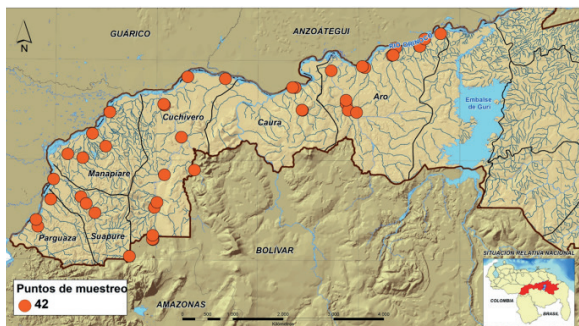


Figura 4: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo para sedimentos finos

### 3.4 Preparación física de las muestras

Las muestras siguieron los siguientes pasos: 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 y, finalmente, las muestras se cuartearon manualmente. Por último, se realizó el tamizado de las muestras, el establecido para los CMP fue de 250-177 $\mu$ m (60-80 mallas), mientras que para los sedimentos finos fue menor a 62 $\mu$ m (<230 mallas).

### 3.5 Análisis químicos de las muestras

En caso de los CMP el análisis químico se realizó mediante la técnica de Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) para óxido de hierro (II) (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y óxido de titanio (IV) (TiO<sub>2</sub>), y por Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-MS) para cromo (Cr), niobio (Nb) y circonio (Zr). Para esto, las muestras de CMP fueron sometidas a digestión geoquímica mediante fusión Metaborato/Tetraborato de Litio.

En los sedimentos finos, la determinación de las concentraciones de hierro (Fe), titanio (Ti), cromo (Cr), niobio (Nb) y circonio (Zr) fue realizada mediante disolución en agua regia por ICP-OES.

### 3.6 Tratamiento estadístico y construcción de los mapas geoquímicos

Se realizó un Análisis Exploratorio de Datos: cálculo de mediana, percentiles, histogramas y cajas gráficas con la finalidad de apreciar las tendencias generales, determinar los valores de fondo y las concentraciones anómalas de los elementos estudiados.

La construcción de las cajas gráficas se realizó mediante Excel, bajo los siguientes criterios (Fig. 5): la caja, que constituye el 50% de los datos, está limitada por los percentiles 75 y 25, dentro de la cual está señalada la mediana (símbolo cuadrado negro); la diferencia entre el 75p y 25p representa el valor de la distancia intercuartil, este dato es usado para el cálculo del umbral inferior y superior representado por los “bigotes”, la estimación de este valor se realiza tomando el 75p y sumándole el 1,5 de la distancia intercuartil (DI) para el caso del umbral superior, o tomando el 25p y restándole el 1,5 de la distancia intercuartil (DI) para el umbral inferior; los datos que se encuentren por encima del umbral superior representarán las anomalías altas (*upper outliers*), así como aquellos que se encuentren por debajo del umbral inferior serán las anomalías bajas (*lower outliers*).

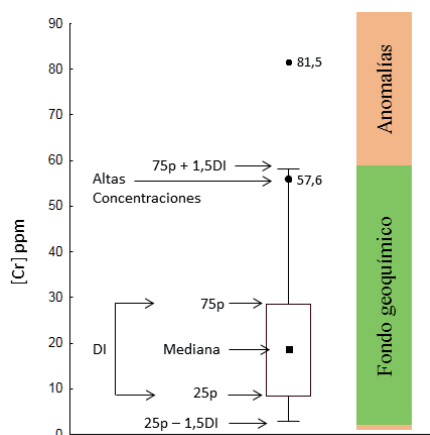


Figura 5: Ejemplo de una caja gráfica de la concentración de Cr en las muestras de sedimentos finos en el Arco Minero del Orinoco (AMO): [Elaboración propia, 2020]

Con el uso de las cajas gráficas se estimaron los fondos geoquímicos. Según la Fig. 5, el fondo geoquímico está representado por aquellas concentraciones comprendidas entre el umbral inferior ( $25p - 1,5DI$ ) y el umbral superior ( $75p + 1,5DI$ ); por lo tanto, aquellos valores menores o mayores a estos, se consideran como una concentración anómala baja o una anomalía alta, respectivamente. No obstante, aquellas concentraciones cercanas al umbral superior, llamadas en este estudio “altas concentraciones”, son de utilidad, ya que permiten argumentaciones al estudiar asociaciones interelementales en la zona de interés.

En cuanto a los mapas geoquímicos, éstos fueron realizados mediante el uso de Sistemas de Información Geográficas (SIG). Para la elaboración de los elementos temáticos de los mapas geoquímicos se usó simbología de naturaleza puntual, ya que son los mapas que representan de manera más fidedigna los parámetros estudiados [19].

Sobre los mapas fue superpuesta la información de las concentraciones de las especies químicas analizadas, las cuales se presentan mediante el uso de puntos; cada punto es diferente en cuanto a color. Por ejemplo, las concentraciones bajas están representadas por el color verde, las concentraciones altas por el color amarillo y las anomalías por el color rojo.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se realizará la exposición y descripción de los patrones de distribución de las concentraciones de las especies químicas analizadas, tanto en los CMP como en los sedimentos finos.

##### 4.1 Distribución de $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , Cr, Nb y Zr en CMP

Para los fondos geoquímicos estimados de las especies analizadas, para este tipo de muestra, en la región estudiada (Tabla 1), se presentan anomalías de Cr, Nb y Zr. Los valores anómalos de Cr corresponden a 476 y

478 ppm, los de Nb a 3 492 y 4 114 ppm, y los de Zr a 68 005 y 81 636 ppm.

Tabla 1: Valores de los fondos geoquímicos de los CMP en el Arco Minero del Orinoco

Elemento	Fondo geoquímico
$Fe_2O_3$	(6,00-59,27) %
$TiO_2$	(6,00-79,00) %
Cr	(53,50-432,20) ppm
Nb	(28,42-3466,00) ppm
Zr	(866,76-67219,00) ppm

A pesar de que no se presentan anomalías de  $Fe_2O_3$  y  $TiO_2$ , estos dos óxidos exhiben altas concentraciones. En el caso de  $Fe_2O_3$ , sus concentraciones altas corresponden a valores entre 39,92-59,27%, mientras que las concentraciones altas de  $TiO_2$  corresponden a valores mayores a 49,87%.

En el caso de  $Fe_2O_3$  y  $TiO_2$ , la distribución espacial de sus concentraciones se muestra en la Fig. 6 y Fig. 7, respectivamente. Nótese que para ambos óxidos se observa una agrupación de concentraciones altas en el nororiente y noroccidente de la zona estudiada, dichas concentraciones altas pueden estar relacionadas principalmente a minerales como la ilmenita, ilmenorutilo, hematita y magnetita [11].

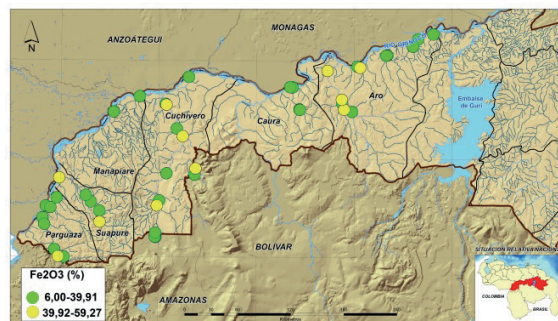


Figura 6: Mapa geoquímico del  $Fe_2O_3$ , en los CMP

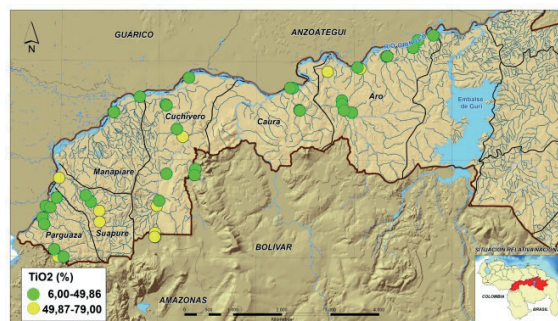


Figura 7: Mapa geoquímico del  $TiO_2$ , en los CMP

Igualmente, al comparar la Fig. 6 y la Fig. 7 se puede apreciar que tanto  $Fe_2O_3$  como  $TiO_2$  presentan

distribuciones de sus concentraciones similares, por lo que ambos están asociados geoquímicamente.

Con respecto al Cr, la distribución de sus concentraciones en este tipo de muestra se observa en la Fig. 8, en la cual puede evidenciarse que las concentraciones altas y anómalas de este elemento se encuentran agrupadas hacia la parte nororiental de la zona estudiada, donde también se presentan concentraciones altas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub> (Fig. 6 y Fig. 7).

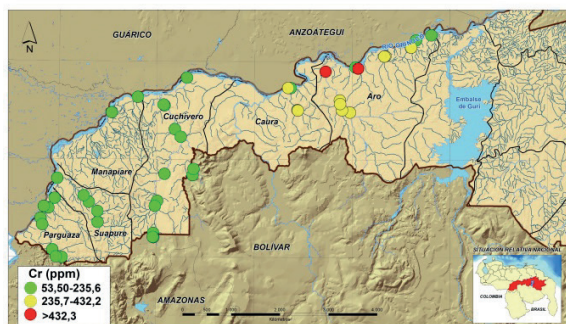


Figura 8: Mapa geoquímico del Cr, en los CMP

Esta parte nororiental de la zona estudiada, en la que se presentan concentraciones altas y anómalas de Cr, así como concentraciones altas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub>, corresponde a la Provincia Geológica de Imataca, la cual se encuentra formada litológicamente por gneises y granulitas félsicas (60-75%), anfibolitas y granulitas máficas y ultramáficas (15- 20%) y cantidades menores de formaciones bandeadas de hierro (BIF), charnokitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionales de cinturones de rocas verdes [11, 22], y estudios previamente realizados en dicha zona, proponen y evidencian la presencia de minerales como la ilmenita, hematita, magnetita, cromita, circón, y rutilo en dicha zona [1, 5, 7, 8, 9, 10, 18, 20, 21]. Por lo tanto, seguramente, las concentraciones altas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub> presentes en esta parte de la zona de estudio están asociadas a la presencia de ilmenita, hematita, magnetita y rutilo, mientras que las anomalías de Cr posiblemente estén asociadas con la cromita (Fe<sup>+2</sup>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>).

En cuanto al Nb, la distribución de sus concentraciones en los CMP se muestra en la Fig. 9, donde se observa que las concentraciones altas y anómalas de este elemento están agrupadas hacia la parte noroccidental de la zona de estudio, en conjunto a concentraciones altas y anómalas de Zr (Fig. 10). Igualmente, en esta zona se observa una agrupación de concentraciones altas de TiO<sub>2</sub> (Fig. 7).

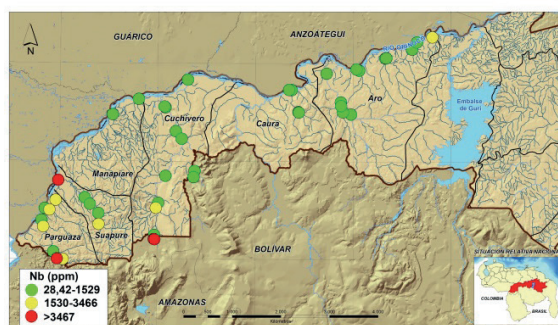


Figura 9: Mapa geoquímico del Nb, en los CMP

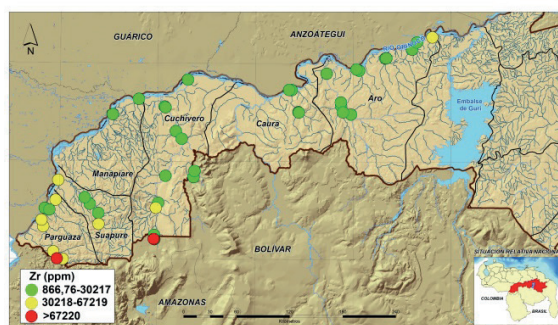


Figura 10: Mapa geoquímico del Zr, en los CMP

Al observar las figuras anteriores (Fig. 9 y Fig. 10) se evidencia que el Nb y el Zr presentan una distribución similar de sus concentraciones, por lo que existe una asociación geoquímica entre ellos.

Las altas concentraciones de Nb en esta parte noroccidental de la zona de estudio pueden relacionarse con la presencia de ilmenita, ya que como el Nb<sup>5+</sup> tiene una carga iónica mayor y un radio iónico similar al Ti<sup>4+</sup>, puede sustituir a este último en dicha fase mineral. Sin embargo, las altas concentraciones de Nb también podrían estar asociadas a la presencia de fases minerales como la columbita-tantalita, en pegmatitas, como lo sugieren estudios realizadas en la Cuenca del río Parguaza [1] y a lo largo del río Suapure [22]. Esta parte del estado Bolívar corresponde a la Provincia Geológica de Cuchivero, la cual incluye rocas volcánicas riolíticas y asociadas, comagmáticas con granitos calcoalcalinos de la Asociación Cuhivero; areniscas, conglomerados, limolitas, tobas y lutitas del Grupo Roraima; sills, diques, apófisis, stocks de rocas diabásicas-gabronoriticas cuarcíferas de la Asociación Avanavero, el Granito Rapakivi de El Parguaza y complejos alcalinos como el de La Churuata y rocas asociadas, así como, intrusiones de Carbonatita de Cerro Impacto [22]. Por lo tanto, las concentraciones altas y anómalas de Zr presentes en esta parte noroccidental de la zona de estudio, así como las encontradas en la parte nororiental, seguramente están asociadas a la presencia de circón [23].

En cuanto a la concentración alta de Nb encontrada en la parte nororiental de la zona de estudio (Fig. 9), esta posiblemente esté asociada a rocas félsicas correspondientes a la Provincia Geológica de Imataca, ya

que el Nb puede también estar presente en la estructura de minerales formadores de rocas como feldespatos y micas [11].

En sí, las concentraciones altas y anómalas de Nb y Zr, en la parte noroccidental de la zona de estudio, permiten inferir que la Provincia Geológica de Cuchivero presenta una alta potencialidad para estudios prospectivos más detallados, no solamente para la búsqueda de esta asociación multielemental, sino también, de elementos relacionados a la misma, como lo son los elementos de tierras raras.

#### 4.2 Distribución de Fe, Ti, Cr, Nb y Zr en sedimentos finos

En este tipo de muestra, de acuerdo con los fondos geoquímicos estimados de los elementos analizados (Tabla 2), se presentan anomalías de Ti (0,08 ppm), Cr (81,5 ppm) y Nb (2,20 ppm) y, concentraciones altas de Fe (3,59-6,27 %).

Con respecto al Zr, este se encontraba por debajo del límite inferior de detección en todas las muestras de sedimentos finos, debido, posiblemente, a que dicho elemento químico se concentra preferiblemente en fracciones más gruesas.

Tabla 2: Valores de los fondos geoquímicos de los sedimentos finos en el Arco Minero del Orinoco

Elemento	Fondo geoquímico
Fe	(0,80-6,27) %
Ti	(0,01-0,06) %
Cr	(2,80-60,20) ppm
Nb	(0,50-1,50) ppm

A continuación se presentan las distribuciones de las concentraciones de Fe, Ti, Cr y Nb en este tipo de muestra mediante la Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 y Fig. 14, respectivamente.

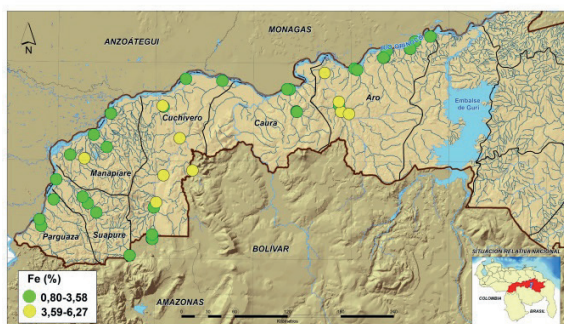


Figura 11: Mapa geoquímico del Fe, en los sedimentos finos

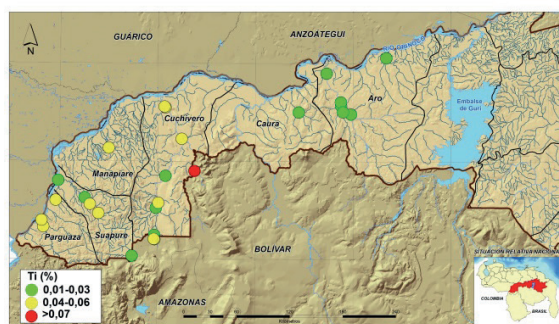


Figura 12: Mapa geoquímico del Ti, en los sedimentos finos

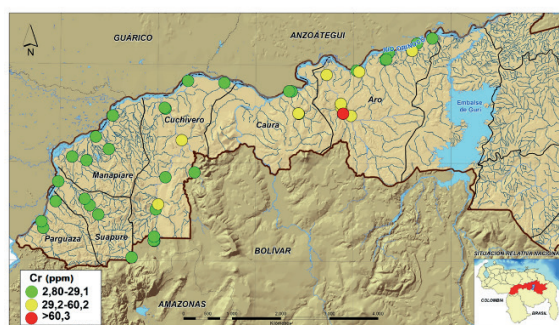


Figura 13: Mapa geoquímico del Cr, en los sedimentos finos

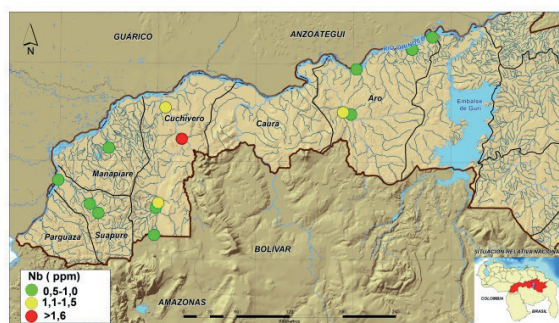


Figura 14: Mapa geoquímico del Nb, en los sedimentos finos

Al observar las figuras anteriores (Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14) y comparar la distribución de las concentraciones de los elementos analizados en este tipo de muestra y en los CMP (Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9) se evidencia que las zonas en donde se presentan concentraciones anómalas y altas en los sedimentos finos concuerdan con las zonas en donde se observó la agrupación de anomalías y de concentraciones altas en los CMP. Por lo tanto, y en concordancia con estudios realizados previamente [1, 12], puede sugerirse la existencia de dos grandes zonas prospectivas.

La primera corresponde al territorio que abarcan las cuencas de los ríos Aro, Pao, Mapares, y Orocopiche, al norte del estado Bolívar, concordando en términos generales con las dimensiones de la Provincia Geológica de Imataca [1]. Esta zona está caracterizada por la presencia de anomalías de Cr y concentraciones altas de Fe y Ti.

La segunda zona prospectiva abarca 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 [1]. Esta zona está caracterizada por concentraciones anómalas de Nb, Zr y concentraciones altas de Fe y Ti.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los fondos geoquímicos de las especies químicas analizadas, en los concentrados de metales pesados (CMP) corresponden a: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6,00-59,27 %), TiO<sub>2</sub> (6,00-79,00 %), Cr (53,50-432,20 ppm), Nb (28,42-3466,00 ppm), Zr (866,76-67219,00 ppm).

Los fondos geoquímicos de las especies químicas analizadas, en los sedimentos finos corresponden a: Fe (0,80-6,27 %), Ti (0,01-0,06 %), Cr (2,80-60,20 ppm), Nb (0,50-1,50 ppm).

En el Arco Minero del Orinoco se tienen dos grandes zonas prospectivas:

La primera está caracterizada por la presencia de anomalías de Cr y concentraciones altas de Fe y Ti, y corresponde al territorio que abarcan las cuencas de los ríos Pao, Aro, Mapares y Orocopiche, al norte del estado Bolívar. La segunda zona prospectiva está caracterizada por concentraciones anómalas de Nb, Zr y concentraciones altas de Fe y Ti, y abarca desde la parte alta del río Guaniamo, extendiéndose en dirección NO, hasta la desembocadura del río Suapure en el Río Orinoco, alcanzando las cuencas de los ríos Parguaza-Cataniapo.

Los valores de distribución cambiantes en toda el área de estudio, responden posiblemente a rasgos estructurales que condicionan los patrones de distribución de los elementos, en pocas palabras, la información geológica resulta conveniente al momento de hacer las interpretaciones.

Se sugiere realizar estudios geoquímicos detallados en las zonas que presentan anomalías de uno o más elementos, de forma tal que se logre delimitar con mayor precisión la extensión de las dos grandes zonas prospectivas sugeridas en esta investigación. En este sentido, puede incluirse el análisis de otros elementos como Co, Ni, Sb, Sn, Ba, As, Au y elementos de tierras raras con la finalidad de hacer correlaciones con las anomalías encontradas en este trabajo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A. Gamero et al., "Caracterización Geoquímica de Metales Pesados Recolectados en la Zona nor-occidental del estado Bolívar," *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, vol. 29, no. 4, pp. 25-40, my., 2014.

[2] J. Torres, "Exploración geoquímica regional de la Guayana Oriental, estado Bolívar, Venezuela," Ph.D. dissertation, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 1989.

[3] J. Torres, "Análisis geoquímico de los resistatos pesados de la hoya hidrográfica del río Paragua, estado Bolívar, Venezuela," M.S. thesis, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 1984.

[4] M. Narvan, "Caracterización geoquímica de los limos del Bajo y Medio Paragua y sus afluentes principales, Estado Bolívar, Venezuela," Trabajo Especial de Grado, Dept. Química, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 1984.

[5] G. Menéndez, "Uso de fracciones magnéticas y no magnéticas de minerales pesados en sedimentos de río para la prospección geoquímica del Alto Paragua Edo Bolívar Venezuela," Trabajo Especial de Grado, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 1992.

[6] W. Mendoza, "Caracterización geoquímica de los resistatos pesados y minerales asociados recolectados en el Alto Paragua, Estado Bolívar, Venezuela," Trabajo Especial de Grado, Dept. Química, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 1993.

[7] G. Garbán, "Estudio de los sedimentos pesados en el área de Santa Bárbara-San Isidro, estado Bolívar, Venezuela," Trabajo de Ascenso, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 1998.

[8] Y. Jiménez, "Cartografía geoquímica de las cuencas de los ríos Caura y Aro, a través de sedimentos de corriente, con fines prospectivos," Trabajo Especial de Grado, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 2004.

[9] J. Quevedo, "Análisis mineralógico y químico de minerales pesados de sedimentos de la cuenca del río Aro, estado Bolívar, Venezuela," Trabajo Especial de Grado, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 2009.

[10] Y. Jiménez, "Prospección geoquímica de la cuenca del río Hato Sucio, municipio Heres, estado Bolívar, Venezuela," M.S. thesis, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 2009.

[11] E. Linares, "Generación de Mapas Geoquímicos para la Prospección de Depósitos Minerales Mediante el Análisis de los Elementos K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Y, Zr, Nb y Sr en la Fracción Fina de los Sedimentos de Corriente de la Cuenca del Alto Paragua, Edo. Bolívar, Venezuela," Trabajo Especial de Grado, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 2013.

[12] Y. Jiménez et al., "Proyecto Mapa Geoquímica de Venezuela (PMGV): Informe de Avance Cuencas

Noroccidentales del estado Bolívar,” presentado en el XIII Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, D.C., 2008.

[13] A. Beus y S. Grigorian, *Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits*. Moscú, Rusia: Applied Publishing, 1962.

[14] C. Yanes, “Estudio geoquímico regional de los ríos del Escudo de Guayana,” Ph.D. dissertation, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 1997.

[15] V. Mendoza, *Geología de Venezuela. Escudo de Guayana, Andes Venezolanos y Sistema Montañoso del Caribe*. Tomo I. Bolívar, Venezuela: 2005.

[16] C. González De Juana et al., *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Tomo I. Caracas, Venezuela: Ediciones FONINVES, 1980.

[17] V. Mendoza, *Evolución Geotectónica y Recursos Minerales del Escudo de Guayana en Venezuela y su relación con el Escudo Sudamericano*. Ciudad Bolívar, Venezuela: Universidad de Oriente, 2000.

[18] J. Pasquali, “Informe geoquímico del Proyecto FONACIT G2000001199 primer año. Río Aro: diagnóstico de la cuenca: Informe no publicado,” FONACIT - Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, 2003.

[19] M. Spadoni et al., “Cartographic techniques for mapping the geochemical data of stream sediments: the Sample Catchment Basin approach,” *Environmental Geology*, vol. 45, no.5, pp. 593-599, Mzo., 2004.

[20] M. Herrera, “Caracterización geoquímicas de los minerales pesados provenientes de la cuenca del río Aro, estado Bolívar, Venezuela,” Trabajo Especial de Grado, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 2004.

[21] V. Pisapia, “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, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 2006.

[22] V. Mendoza, “Geología del área del río Suapure, parte noroccidental del escudo de Guayana, Estado Bolívar, Venezuela,” IX Conf. Geol. Interguayanas, Mem. Bol. Geol., Public. Esppp, vol.6, 1972.

[23] R. Moreno, “Estudio geoquímico de los minerales pesados en los ríos que drenan las rocas del Complejo Cuchivero, estados Bolívar y Amazonas,” Trabajo Especial de Grado, Dept. Geoquímica, Univ. Central de Venezuela, Caracas, D.C., 1996.