

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



**GENERACIÓN DE MAPAS GEOQUÍMICOS PARA LA PROSPECCIÓN  
DE DEPÓSITOS MINERALES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS  
ELEMENTOS K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Y, Zr, Nb y Sr EN LA  
FRACCIÓN FINA DE LOS SEDIMENTOS DE CORRIENTE DE LA  
CUENCA DEL ALTO PARAGUA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO  
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
POR EL BR. EDUARD JOSÉ A. LINARES  
RODRÍGUEZ PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN GEOQUÍMICA.

**Caracas, Octubre de 2013**

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



**GENERACIÓN DE MAPAS GEOQUÍMICOS PARA LA PROSPECCIÓN  
DE DEPÓSITOS MINERALES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS  
ELEMENTOS K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Y, Zr, Nb y Sr EN LA  
FRACCIÓN FINA DE LOS SEDIMENTOS DE CORRIENTE DE LA  
CUENCA DEL ALTO PARAGUA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO  
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
POR EL BR. EDUARD JOSÉ A. LINARES  
RODRÍGUEZ PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN GEOQUÍMICA.

**Caracas, Octubre de 2013**

## ACTA

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

**GENERACIÓN DE MAPAS GEOQUÍMICOS PARA LA PROSPECCIÓN DE DEPÓSITOS MINERALES MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Y, Zr, Nb y Sr EN LA FRACCIÓN FINA DE LOS SEDIMENTOS DE CORRIENTE DE LA CUENCA DEL ALTO PARAGUA, ESTADO BOLÍVAR, VENEZUELA.**

Presentado por el Br. Eduard José A. Linares Rodríguez, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar al título de Licenciado en Geoquímica.

---

Profe: Ramón Sifontes (Tutor)

---

Profe: Santiago Marrero (Jurado)

---

Profe: Williams Melendez (Jurado)

## **DEDICATORIA**

*A Dios  
A mi Madre, Padre y Hermana por el apoyo  
a lo largo de todos estos años*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la ilustre Universidad Central de Venezuela y Facultad de Ciencias por formarme como persona y profesional, dándome miles de aprendizajes y vivencias, que se han convertido en valiosas herramientas en mi crecimiento, tanto a nivel académico como personal.

Un especial agradecimiento, a mi tutor, el profesor **Ramón Sifontes**, por haberme dado la oportunidad y privilegio de trabajar a su lado, apoyarme y ofrecerme sus valiosos consejos e indicaciones y al profesor **Jean Pasquali**, quién me suministro los datos empleados para el desarrollo de la investigación y por su apoyo. Igualmente, agradezco al Proyecto Inventario de la Guayana Venezolana, que a través de la Corporación Venezolana de Guayana Minera C.A. (TECMIN) y el Instituto de Ciencias de la Tierra, determinaron y suministraron los valores de concentración de las variables estudiadas.

Agradezco a **Madre, Padre y Hermana** por haberme dado la oportunidad de ser la persona que hoy soy y por su apoyo incondicional en todo momento.

A todos aquellos que contribuyeron no solo con la realización de este trabajo, sino que, de una u otra forma, pusieron un granito de arena a largo de mi carrera: a los profesores: **Grony Garban, Williams Melendez, Carlos Barrios, Cesar Ezpinoza, Liliana Lopez, Raiza Fernadez**, a todos los profesores del ICT y personal del mismo; a todos los integrantes del laboratorio de difracción de rayos X; A **Luis Feo** y muy especialmente al profesor **Santiago Marrero** con quien he tenido el honor de trabajar y aprender durante 4 años, un poco acerca de la técnica de difracción de Rayos X.

A mis amigos y colegas; a mi grupo de geoquímica de campo 2011, quienes fueron como una familia y aplicamos todos los conocimientos adquiridos durante la carrera, guiados por nuestro gran maestro y amigo el profesor **Armando Ramírez**.

## RESUMEN

El presente trabajo consistió en la realización de un estudio de prospección geoquímica, mediante un análisis estadístico y espacialmente de las variables K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Y, Zr, Nb y Sr, en la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos de corriente de la Región del Alto Paragua, con el objetivo de localizar y delimitar áreas potenciales, que pudieran asociarse a depósitos minerales.

Para este propósito, fueron estimados los valores del intervalo de fondo, valores altos y valor de umbral para cada elemento. Esta información fue integrada a una hoja cartográfica, basada en el mosaico de radar escala 1:25000 del Alto Paragua, donde fueron graficados sobre los puntos de toma de muestra, los rangos de concentración para cada elemento, lográndose establecer las variaciones espaciales que presentan los elementos dentro de la cuenca y de esta forma, empleando un método de análisis estadístico multivariado como lo es, el método de análisis de factores, permitió establecer 4 asociaciones multielementales (Factor 1 (Ca, Fe, Cr, Mn, Ti); Factor 2 (Zr, Nb, Y); Factor 3 (K, Rb); Factor 4 (Cu) ), posibilitando relacionar las agrupaciones multielementales encontradas con el entorno geológico presente en la cuenca.

Los resultados obtenidos permitieron delimitar 4 zonas anómalas, para las agrupaciones elementales antes descritas. La Zona I fue relacionada a litologías máfico-ultramáficas con una alta potencialidad para mineralizaciones de Ti. Las zonas II y III fueron asociadas a litologías intermedias y félsicas, donde las mismas presentan un alto potencial para la prospección de fases minerales que contengan Y, Nb y elementos de tierras raras. Por, ultimo la Zona IV fue asociada a litologías máficas con una alta potencialidad para albergar mineralizaciones de Cu y Cr.

**Palabras claves:** *Mapa geoquímico, sedimentos finos, prospección geoquímica, Alto Paragua, Análisis de Factores*

## INDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA DE MINERALES METÁLICOS .....	4
DISPERSIÓN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS .....	6
DISPERSIÓN PRIMARIA .....	6
DISPERSIÓN SECUNDARIA.....	7
➤ <i>Factores químicos</i> .....	11
✓ Potencial Iónico .....	11
✓ pH (Potencial de hidrógeno).....	13
✓ Potencial Redox (Eh).....	14
➤ <i>Factores mecánicos</i> .....	15
✓ Movimiento gravitacional.....	16
✓ Mecanismos de dispersión en aguas superficiales.....	16
SEDIMENTOS ACTIVOS DE RÍOS.....	17
➤ <i>Provincia geoquímica</i> .....	18
➤ <i>Provincia metalogénica</i> .....	18
➤ <i>Deposito mineral</i> .....	18
SEDIMENTOS FINOS Y SU IMPORTANCIA .....	19
TRATAMIENTO DE DATOS GEOQUÍMICOS.....	19
➤ <i>Valores de fondo (Background Values)</i> .....	20
➤ <i>Anomalía geoquímica</i> .....	21
➤ <i>Umbral (threshold)</i> .....	21
MAPA GEOQUÍMICO .....	22
➤ <i>Tipos de mapas geoquímicos</i> .....	23
✓ Mapa de símbolos de puntos .....	23
✓ Mapas de contorno o isoconcentración.....	23
✓ Mapas de areales.....	23
➤ <i>Otros tipos de mapa</i> .....	24
✓ Mapas topográficos .....	24
✓ Mapas geológicos .....	24
✓ Imágenes de radar (SLAR).....	24

ANÁLISIS DE ASOCIACIONES GEOQUÍMICAS MULTIELEMENTALES.....	25
➤ <i>Análisis estadístico multivariado</i> .....	25
✓ Análisis de factores.....	26
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>28</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>32</b>
LOCALIZACIÓN Y ACCESO.....	32
ASPECTOS FISIAGRÁFICOS .....	32
➤ <i>Relieve</i> .....	34
➤ <i>Clima</i> .....	34
➤ <i>Vegetación</i> .....	34
➤ <i>Suelos</i> .....	34
➤ <i>Hidrografía</i> .....	34
MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....	35
➤ <i>Provincia de Imatoca</i> .....	35
➤ <i>Provincia de Pastora</i> .....	36
➤ <i>Provincia de Cuchivero</i> .....	37
➤ <i>Provincia de Roraima</i> .....	38
MARCO GEOLÓGICO LOCAL .....	39
➤ <i>Grupo Cuchivero</i> .....	40
➤ <i>Grupo Roraima</i> .....	40
<b>METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>41</b>
ETAPA DE CAMPO.....	41
ETAPA DE LABORATORIO.....	43
➤ <i>Tratamiento físico de las muestras</i> .....	43
➤ <i>Análisis químico</i> .....	43
TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.....	44
➤ <i>Análisis exploratorio de datos</i> .....	44
➤ <i>Análisis de las posibles asociaciones multielementales</i> .....	44
➤ <i>Cálculo de los valores de fondo, valores altos y valor de umbral para cada una de las variables estudiadas</i> .....	45
➤ <i>Análisis espacial de las asociaciones geoquímicas multielementales encontradas</i> .....	46
<b>PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS.....	47
ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO.....	60
➤ <i>Factor 1 (Ca, Fe, Cr, Mn, Ti)</i> .....	64
➤ <i>Factor 2 (Zr, Y, Nb)</i> .....	65
➤ <i>Factor 3 (K, Rb)</i> .....	66

➤ <i>Factor 4 (Cu)</i> .....	67
CÁLCULO DE LOS VALORES DE FONDO, VALORES ALTOS Y VALORES DE UMBRALES PARA CADA UNA DE LAS VARIABLES ESTUDIADA .....	67
GENERACIÓN DE MAPAS GEOQUÍMICOS Y ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS ASOCIACIONES GEOQUÍMICAS MULTIELEMENTALES ENCONTRADAS.....	74
➤ <i>Mapas geoquímicos</i> .....	74
ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS ASOCIACIONES GEOQUÍMICAS MULTIELEMENTALES ENCONTRADAS.....	88
➤ <i>Zona I</i> .....	88
➤ <i>Zona II</i> .....	90
➤ <i>Zona III</i> .....	92
➤ <i>Zona IV</i> .....	93
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>98</b>
<b>APÉNDICE A – UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS RECOLECTADAS.....</b>	<b>105</b>
<b>APÉNDICE B – CONCENTRACIÓN DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS ANALIZADOS EN LAS MUESTRAS.....</b>	<b>109</b>
<b>APÉNDICE C – DATOS ORIGINALES FUERON TRANSFORMADOS EMPLEANDO LA FUNCIÓN LN(X).....</b>	<b>114</b>
<b>APÉNDICE D – DATOS ORIGINALES FUERON TRANSFORMADOS EMPLEANDO LA FUNCIÓN BOX- COX.....</b>	<b>119</b>
<b>APÉNDICE E – ESTADÍSTICOS CALCULADOS PARA LOS DATOS DE TODAS LAS VARIABLES. ...</b>	<b>124</b>
<b>APÉNDICE F – CONSTRUCCIÓN DE HISTOGRAMAS Y CAJAS GRÁFICAS. ....</b>	<b>125</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación geoquímica de los elementos según Goldschmidt (1937), de acuerdo a su potencial iónico, en el ciclo exógeno .....	<b>12</b>
<b>Figura 2.</b> Ubicación geográfica, de la cuenca hidrográfica del río Paragua estado Bolívar, Venezuela .....	<b>33</b>
<b>Figura 3.</b> Provincias geológicas del Escudo de Guayana venezolano .....	<b>36</b>
<b>Figura 4.</b> Geología de la cuenca hidrográfica del Alto Paragua .....	<b>39</b>
<b>Figura 5.</b> Sitios donde fueron tomadas las muestras en la cuenca del Alto Paragua .....	<b>42</b>
<b>Figura 6.</b> Graficos probabilísticos de: a) Rb, b) Sr, c) Y, d) Zr, e) Nb, f) Cu y g) K .....	<b>48</b>
<b>Figura 7.</b> Graficos probabilísticos de: a) Ca, b) Ti, c) Fe, d) Cr, e) Mn y f) Zn.....	<b>49</b>
<b>Figura 8.</b> Cajas gráficas de: a) Rb, b) Sr, c) Y, d) Zr, e) Nb, f) Cu,g) K .....	<b>51</b>
<b>Figura 9.</b> Cajas gráficas de: a) Ca, b) Ti, c) Fe, d) Cr, e) Mn y f) Zn.....	<b>52</b>
<b>Figura 10.</b> Histogramas para los datos iniciales y datos transformados por Ln(X): a) Rb, b) Sr, c) Zr y d) Y.....	<b>55</b>
<b>Figura 11.</b> Histogramas para los datos iniciales y datos transformados por Ln(X): a) Nb, b)Cu, c) K y d) Ca.....	<b>56</b>
<b>Figura 12.</b> Histogramas para los datos iniciales y datos transformados por Ln(X): a) Ti, b) Fe, c) Cr y d) Mn. ....	<b>57</b>
<b>Figura 13.</b> Histogramas para los datos iniciales y datos transformados por Ln(X): a) Zn. ....	<b>58</b>
<b>Figura 14.</b> Mapa geoquímico del Rb, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua .....	<b>75</b>
<b>Figura 15.</b> Mapa geoquímico del Sr, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>76</b>
<b>Figura 16.</b> Mapa geoquímico del Y, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>77</b>
<b>Figura 18.</b> Mapa geoquímico del Nb, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>79</b>
<b>Figura 19.</b> Mapa geoquímico del Cu, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>80</b>

<b>Figura 20.</b> Mapa geoquímico del K, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>81</b>
<b>Figura 21.</b> Mapa geoquímico del Ca, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>82</b>
<b>Figura 22.</b> Mapa geoquímico del Ti, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>83</b>
<b>Figura 23.</b> Mapa geoquímico del Fe, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>84</b>
<b>Figura 24.</b> Mapa geoquímico del Cr, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>85</b>
<b>Figura 25.</b> Mapa geoquímico del Mn, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>86</b>
<b>Figura 26.</b> Mapa geoquímico del Zn, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>87</b>
<b>Figura 27.</b> Zonas anómalas identificadas en la cuenca del Alto Paragua. ....	<b>89</b>
<b>Figura F 1-</b> Histograma de la concentración de Rb, en la fracción fina de los sedimentos de corriente de la cuenca hidrográfica del Alto Paragua. ....	<b>125</b>
<b>Figura F 2-</b> Caja grafica para el Rb, en la fracción fina de los sedimentos de corriente de la cuenca hidrográfica del Alto Paragua. ....	<b>126</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Promedio o rango de abundancia (en ppm) para los elementos traza considerados en este estudio, en diferentes materiales geológicos de la corteza terrestre.....	<b>5</b>
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de las características generales de los principales tipos de patrones de dispersión primaria.....	<b>8</b>
<b>Tabla 3.</b> Grados de estabilidad de los minerales, en forma similar a lo establecido por Goldich .....	<b>9</b>
<b>Tabla 4.</b> Valor del estadístico “p” arrojado por la prueba de hipótesis de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con el ajuste de probabilidades de Lilliefors, para cada una de las variables iniciales.....	<b>53</b>
<b>Tabla 5.</b> Valor del estadístico “p” arrojado por la prueba de hipótesis de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para cada una de las variables las cuales no se consideraban con una distribución normal, transformadas con los métodos de Box-Cox y Ln(X) .....	<b>59</b>
<b>Tabla 6.</b> Porcentajes de varianza explicada para los datos normalizados por medio de la función Ln(X), empleando un coeficiente numérico para un máximo de factores igual a 3, sin aplicar y aplicando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax. ....	<b>61</b>
<b>Tabla 7.</b> Porcentajes de varianza explicada para los datos normalizados por medio de la función Box-Cox, empleando un coeficiente numérico para un máximo de factores igual a 3, sin aplicar y aplicando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax. ....	<b>61</b>
<b>Tabla 8.</b> Porcentajes de varianza explicada para los datos normalizados por medio de la función Ln(X), empleando un coeficiente numérico para un máximo de factores igual a 4, sin aplicar y aplicando las rotaciones ortogonales varimax y quartimax. ....	<b>62</b>
<b>Tabla 9.</b> Porcentajes de varianza explicada para los datos normalizados por medio de la función Box-Cox, empleando un coeficiente numérico para un máximo de factores igual a 4, sin aplicar y aplicando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax. ....	<b>62</b>
<b>Tabla 10.</b> Valores obtenidos para la carga de factores, empleando la rotación ortogonal Varimax (en rojo, los valores mayores a 0,70 en valor absoluto).....	<b>63</b>
<b>Tabla 11.</b> Valores obtenidos para la carga de factores, empleando la rotación ortogonal Quartimax (en rojo, los valores mayores a 0,70 en valor absoluto).....	<b>63</b>
<b>Tabla 12.</b> Porcentaje (%) de anomalías detectadas empleando los métodos de cajas gráficas y MAD. ....	<b>68</b>

<b>Tabla 13.</b> Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) a nivel regional, para cada elemento químico objeto de estudio, empleando el método de mediana $\pm$ 2MAD .....	<b>70</b>
<b>Tabla 14.</b> Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Carún, para cada elemento químico objeto de estudio, empleando el método de mediana $\pm$ 2MAD .....	<b>71</b>
<b>Tabla 15.</b> Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Paragua, para cada elemento químico objeto de estudio empleando, el método de mediana $\pm$ 2MAD .....	<b>71</b>
<b>Tabla 16.</b> Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Marí, para cada elemento químico objeto de estudio, empleando el método de mediana $\pm$ 2MAD. ....	<b>72</b>
<b>Tabla 17.</b> Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Curutú, para cada elemento químico objeto de estudio, empleando el método de mediana $\pm$ 2MAD .....	<b>72</b>
<b>Tabla 18.</b> Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Antabará, para cada elemento químico objeto de estudio empleando, el método de mediana $\pm$ 2MAD .....	<b>73</b>
<b>Tabla A1</b> - Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Paragua.....	<b>105</b>
<b>Tabla B1</b> - Concentración de cada uno de los elementos analizados en las muestras, correspondiente a la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos de corriente de los ríos Paragua, Carún, Mari, Curutú y Antabará.....	<b>109</b>
<b>Tabla C1-</b> Datos originales fueron transformados empleando la función Ln(X). ....	<b>114</b>
<b>Tabla D1-</b> Datos originales fueron transformados empleando la función Box-Cox. ....	<b>119</b>
<b>Tabla E1</b> - Estadísticos calculados para los datos de todas las variables.....	<b>124</b>

## INTRODUCCIÓN

La prospección geoquímica, es una de las principales herramientas en la búsqueda de depósitos minerales, a través del reconocimiento de patrones geoquímicos, que permiten definir y delimitar anomalías geoquímicas con respecto al fondo regional (Hawkes y Webb, 1962; Viladevall, 2008).

Las anomalías geoquímicas se presentan como la desviación de los patrones geoquímicos, que son normales para un área o ambiente determinado y se manifiestan como una desviación positiva o negativa, de los patrones normales de concentración (valores de fondo) de uno o más elementos, en materiales naturales (suelos, rocas, aguas, sedimentos, materiales bióticos y otros) en un área o región geográfica dada (Glosario técnico, 2003). Las anomalías no son perceptibles en campo, por ello, éstas son representadas en los mapas geoquímicos.

La actividad del mapeo tiene una importancia primordial en el campo de la geoquímica, debido a que los mapas geoquímicos muestran el comportamiento espacial de las variables, en los sitios de muestreo seleccionados. En geoquímica los mapas más convencionales y que representan de manera más fidedigna los parámetros estudiados, son los mapas de símbolos de puntos, ya que éstos permiten representar los datos geoquímicos en los sitios de muestreo, mostrando la dispersión de las especies químicas (Spadoni et al., 2004).

La prospección geoquímica se basa en la propiedad de dispersarse que tienen los elementos químicos o fases minerales estables, desde mineralizaciones o depósitos minerales de rendimiento económico. Los minerales son transportados por los ríos y depositados en donde las condiciones son favorables para su depositación, allí su importancia como representantes del área de drenaje, indicando con ello, la proveniencia, lo que es útil para la localización de depósitos minerales (Menéndez, 1992).

En Venezuela la prospección geoquímica ha tenido una gran importancia en la localización y delimitación de áreas anómalas, para ciertos elementos en terrenos pocos explorados. Muchos trabajos han sido realizados en el Escudo de Guayana, debido a que es la principal zona minera del país y se presenta como una importante región para la aplicación de la prospección geoquímica. Específicamente la cuenca hidrográfica del río Paragua, afluente más importante del río Caroní, que a su vez, es uno de los afluentes más importantes del río Orinoco, ha sido objeto de estudio en cuanto a las características sedimentológicas, mineralógicas y geoquímicas más importantes (Torres, 1984; Narvan, 1984; Menéndez, 1992; Mendoza, 1993).

La Corporación Venezolana de Guayana Minera C.A. (TECMIN) y la Universidad Central de Venezuela, a través del Instituto de Ciencias de la Tierra, enmarcados dentro del Proyecto Inventario de la Guayana Venezolana, realizaron un amplio muestreo en sedimentos de corriente, en la región del Alto Paragua, utilizando la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos recolectados. Fue determinada la concentración para los elementos K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Y, Zr, Nb y Sr por medio de la técnica de fluorescencia de rayos X (Menéndez, 1992; Mendoza, 1993). Ésto permitió hacer una investigación, para contribuir a un mejor entendimiento del área, correlacionando las concentraciones de los elementos antes citados y su distribución espacial con la litología de la región, a fin de delimitar anomalías en los mapas geoquímicos, que pudieran conducir a la localización de depósitos minerales rentables económicamente.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Generar mapas geoquímicos para la prospección de depósitos minerales, mediante el análisis de los elementos químicos K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Y, Zr, Nb y Sr, considerando los valores de concentración anómalos, encontrados en la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos de corriente, en la cuenca del Alto Paragua, con miras a localizar depósitos minerales de interés económico.

### **Objetivos Específicos**

- 1.- Definir el fondo geoquímico regional, analizando la concentración de los elementos de interés, en la fracción fina de los sedimentos de corriente, en la cuenca del Alto Paragua.
- 2.- Delimitar áreas con concentraciones anómalas, para cada uno de los elementos químicos o grupo de elementos objeto de este estudio, conociendo su abundancia y distribución relativa por medio de mapas geoquímicos de símbolos de puntos.
- 3.- Interpretar las asociaciones multielementales con la litología presente en la región, buscando localizar concentraciones importantes de minerales de interés económico.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### MARCO TEÓRICO

Esta sección contiene un breve resumen de los conceptos básicos necesarios para la elaboración de la investigación, así como algunos antecedentes e información sobre la zona de estudio, los cuales contribuirán a la posterior discusión e interpretación de los resultados obtenidos.

#### **Prospección geoquímica de minerales metálicos**

La prospección geoquímica de minerales metálicos, tal como se define por el uso común, incluye cualquier método de exploración mineral basado en la medición sistemática, de una o más propiedades de un material de origen natural (rocas, suelos, detritos glaciales, vegetación, sedimentos fluviales y agua) y la propiedad química comúnmente medida, es la concentración de algún elemento traza o grupo de elementos químicos (Levinson, 1974).

En geoquímica los elementos se dividen en mayoritarios, minoritarios y traza. Los elementos mayoritarios son medidos generalmente en porcentaje; los elementos minoritarios son medidos en cantidades entre 1% y 0,1% y los elementos traza, se consideran aquellos elementos químicos que están en una concentración  $<0,1\%$  (Templ et al., 2008). El término traza en sistemas ígneos, metamórficos y sedimentarios son definidos operacionalmente, como los elementos que no son constituyentes estequiométricos de las fases en el sistema de interés (White, 2003).

El estudio de elementos traza en las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias puede ayudar a definir áreas geográficas, donde la oportunidad de encontrar un depósito un mineral específico es relativamente alto (Levinson, 1974). En la Tabla 1, se muestran algunos promedios de abundancia para los elementos traza considerados en este estudio, en diferentes materiales geológicos.

**Tabla 1.** Promedio o rango de abundancia (en ppm) para los elementos traza considerados en este estudio, en diferentes materiales geológicos de la corteza terrestre (Tomado de Levinson, 1974).

Elemento	Corteza terrestre	Rocas Ultramarinas	Basaltos	Granodioritas	Granitos	Lutitas	Calizas	Suelos	Aguas de Ríos
Nb	20	15	20	20	20	-	-	-	
Y	30	-	25	30	40	25	15	-	0,7
Zr	165	50	150	140	180	160	20	300	-
Sr	375	1	465	450	285	300	500	50-1000	50
Cr	1000	2000	200	20	4	100	10	5-1000	1
Zn	70	50	100	60	40	100	25	10-300	20
Ti	5700	3000	9000	8000	2300	4600	400	5000	3
Cu	55	10	100	30	10	50	15	2-100	7
Rb	90	-	30	120	150	140	5	20-500	1
Mn	950	1300	2200	1200	500	850	1100	850	7

Por otra parte, existe un conjunto de elementos químicos llamados trazadores (*Pathfinder*), estos son definidos como elementos relativamente móviles, que se encuentran asociados estrechamente con el elemento que se busca. Estos elementos pueden ser encontrados más fácilmente, ya que el halo de dispersión de los mismos, es más amplio que el halo del elemento que se busca, o pueden ser detectados más fácilmente por los métodos analíticos. Por ejemplo el mercurio, es usado como elemento trazador para la búsqueda de depósitos de oro, debido a que el mercurio presenta una mayor movilidad desde la fuente primaria a diferencia del oro (Levinson, 1974).

El propósito de la cuantificación y el estudio de la distribución de los elementos químicos en un área, es el descubrimiento de patrones de dispersión geoquímica, relacionadas con una mineralización (Hawkes y Webb, 1962; Sun et al., 2002).

## **Dispersión de los elementos químicos**

La dispersión puede ser definida como un proceso causado por la distribución o redistribución de los elementos químicos, por agentes químicos y físicos. Los métodos de prospección están basados en gran medida, en un estudio sistemático de la dispersión de los elementos químicos, en materiales naturales o asociados a cuerpos mineralizados. (Levinson, 1974).

Es importante conocer como los elementos químicos son dispersados y concentrados para formar, en algunos casos, acumulaciones minerales de interés económico (Mendoza, 1993). Los procesos de dispersión se clasifican en dos tipos de patrones de dispersión primaria y secundaria (Levinson, 1974).

### **Dispersión primaria**

La dispersión primaria, está definida como el proceso relacionado con la distribución de los elementos en rocas y minerales durante la formación del yacimiento (Hawkes y Webb, 1962).

La dispersión primaria está por lo general relacionada a condiciones de temperaturas y presiones relativamente altas. Estas condiciones se distinguen de las bajas presiones y temperaturas que prevalecen en la superficie de la Tierra, donde operan los procesos de dispersión secundaria (Hawkes y Webb, 1962).

Los patrones de dispersión primaria se dividen en dos, los patrones sinécticos que se definen como la dispersión de los elementos químicos al mismo tiempo que se forma la roca caja y los patrones epigenéticos que son generados por material introducido posteriormente a la formación de la roca que la contiene (Levinson, 1974).

Los patrones epigenéticos pueden ser clasificados principalmente por el efecto de la introducción y precipitación de nuevo material, como los patrones de dispersión hidrotermal y de procesos de fraccionamiento original de los constituyentes. En respuesta a los cambios en las condiciones de presión y temperatura, los patrones de dispersión gaseosa son algo similar al patrón de dispersión hidrotermal, en que ambos son epigenéticos y no directamente relacionados a los procesos de meteorización (Hawkes y Webb, 1962; Levinson, 1974). Las características principales de los patrones de dispersión primaria son expuestas en la Tabla 2.

### **Dispersión secundaria**

La dispersión secundaria, corresponde a los procesos que ocurren cuando la roca está expuesta al ambiente exógeno o cercano a éste, donde es atacada por los agentes de meteorización, para que posteriormente, los componentes de las rocas sean dispersados a una distancia lejana de su origen (Hawkes y Webb, 1962).

La meteorización, es la suma de los procesos derivados de la exposición a los agentes atmosféricos, la presión y la temperatura, en o cerca de la superficie de la Tierra, por medio de los cuales las rocas son químicamente alteradas o físicamente disgregadas en fragmentos con muy poco o sin transporte ( Méndez, 2006).

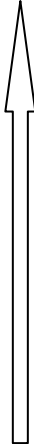
Desde el punto de vista geoquímico, los cambios que experimentan las fases minerales durante la meteorización son los más importantes. Estos cambios son termodinámicamente exotérmicos, debido a que liberan parte de la energía interna acumulada en los retículos cristalinos, durante su formación a las altas temperaturas magmáticas o metamórficas, para formar nuevos minerales en equilibrio con las temperaturas propias de la superficie terrestre (González, 1972).

**Tabla 2.** Clasificación de las características generales de los principales tipos de patrones de dispersión primaria. (Tomada de Hawkes y Webb, 1962).

Clasificación Genética		Origen	Emplazamiento	Matriz	Patrón de Dispersión	
Patrones singenéticos	Provincias Geoquímicas	Variaciones de composición que afectan un gran segmento de la corteza terrestre	Intrusiones ígneas, granitización o sedimentación	Diversidad de tipos de rocas y sus edades de origen en el área	Variada	
	Patrones singenéticos locales	Procesos locales de petrogénesis, diferenciación, metamorfismo o sedimentación		Cuerpo plutónicos locales o rocas sedimentarias		
Patrones epigenéticos	Patrones de dispersión hidrotermal	Anomalías en la pared de la roca	Movimiento de soluciones; difusión de solutos	Rocas adyacentes al depósito mineral	Aureolas	
		Anomalías de fuga	Movimiento de soluciones	Rocas adyacentes a los canales ascendentes de la mineralización	Halos	
		Zonificación composicional		Agotamiento diferencial de ciertos constituyentes, de los fluidos formadores del depósito mineral con respecto a la distancia de la fuente	Minerales depositados por soluciones hidrotermales	Variación sistemática con la distancia de la fuente
	Efectos de la presión y la temperatura en los minerales epigenéticos	Reconstrucción mineral	Controles de la presión y temperatura sobre la estabilidad de algunas especies minerales	Mayoría de componentes presentes en la reacción	Alteración de halos	Isotermas generalmente concéntricas, indicadoras de altas temperaturas en el canal mineralizado
		Geotermómetros químicos	Controles de la presión y temperatura de la fracción de elementos coexistentes entre las fracciones minerales		Roca Mineralizada	
		Geotermómetros Isotópicos	Controles de la presión y temperatura entre la fracción de isótopos estables y fluidos hidrotermales			

La Tabla 3, indica los grados de estabilidad mineral, en forma similar a lo establecido por Goldich (1938) (Méndez, 2006).

**Tabla 3.** Grados de estabilidad de los minerales, en forma similar a lo establecido por Goldich (Tomado de Méndez, 2006).

Minerales	Grados de estabilidad mineral
<p style="text-align: center;">Cuarzo, Circón, Turmalina Chert Moscovita Microclino Ortoclasa Plagiocla sódica (Albita) Anfíboles (Horblenda) Piroxenos (Augita) Plagiocla cálcica (Anortita) Olivino</p>	

La estabilidad de los minerales y la tendencia de los mismos a transformarse por la acción de agentes de meteorización en otras especies minerales que están en equilibrio con el ambiente, es a veces designada por el potencial de meteorización. Desde el punto de vista geoquímico, los cambios que experimentan las fases minerales durante la meteorización son los más importantes. Estos cambios son termodinámicamente exotérmicos, debido a que liberan parte de la energía interna acumulada en los retículos cristalinos durante su formación a las altas temperaturas magmáticas o metamórficas, para formar nuevos minerales en equilibrio con las temperaturas propias de la superficie terrestre (González, 1972).

La transformación química fundamental por la meteorización que produce la descomposición química total o parcial de los minerales, es la hidrólisis, siendo el agua su agente esencial (Mason, 1966; González, 1972).

La hidrólisis consiste en la penetración o entrada de iones  $H^+$  y  $OH^-$  en la estructura de cristalina de los minerales, produciendo la ruptura de la misma. El ion  $H^+$  reemplaza los cationes que están dentro de la estructura de los minerales, a su vez, éstos entran en solución en equilibrio con los aniones  $OH^-$ ,  $CO_3^{2-}$  y  $HCO_3^-$  (González, 1972; Alvarado, 1985). Un claro ejemplo de esto, es la hidrólisis de los silicatos, que consiste en la ruptura de la estructura cristalina por el enlace iónico que une a los cationes Na, K, Ca, Mg, Fe, etc; con los aniones  $AlSi_3O_8^-$ ,  $Al_2Si_3O_8^{2-}$ ,  $SiO_3^{2-}$ , etc. El hidrogeno ocupa los sitios de los cationes metálicos dentro de estructura cristalina del silicato, haciendo a éste inestable. Por lo tanto, esta estructura colapsa convirtiéndose en un agregado amorfo, que tiende a reordenarse después en una estructura laminar en coordinación octaédrica, que da origen a los diferentes tipos de minerales de arcilla. (González, 1972).

Los materiales sedimentarios producidos por la disgregación química y física de las rocas, son transportados en forma de detritos y de soluto. Previo, durante y después de estos procesos de transporte, las especies químicas son liberadas de la estructura de los minerales y expuestas al ambiente químico (Mason, 1966; González, 1972).

Durante los procesos de transporte y depositación de los productos de meteorización, la redistribución de los elementos puede llegar a ser de largo alcance. Ésta redistribución es gobernada por las propiedades químicas y físicas que tengan los diferentes elementos químicos (Mason, 1966; Levinson, 1974).

El entendimiento de los factores químicos, físicos y biológicos que controlan la dispersión de los elementos químicos en el ambiente exógeno, es clave en la prospección geoquímica, para la búsqueda de depósitos minerales de interes económico (Hawkes y Webb, 1962; Levinson, 1974).

➤ Factores químicos

Los factores o parámetros químicos que controlan la movilidad de los productos de meteorización en el ambiente sedimentario, pueden ser agrupados en dos conjuntos, factores químicos internos y externos. Los factores internos, dependen de los mismos materiales sedimentarios y de los factores externos y están condicionados por el medio de transporte. Entre los factores internos, el principal es el potencial iónico de los cationes en solución (González, 1972).

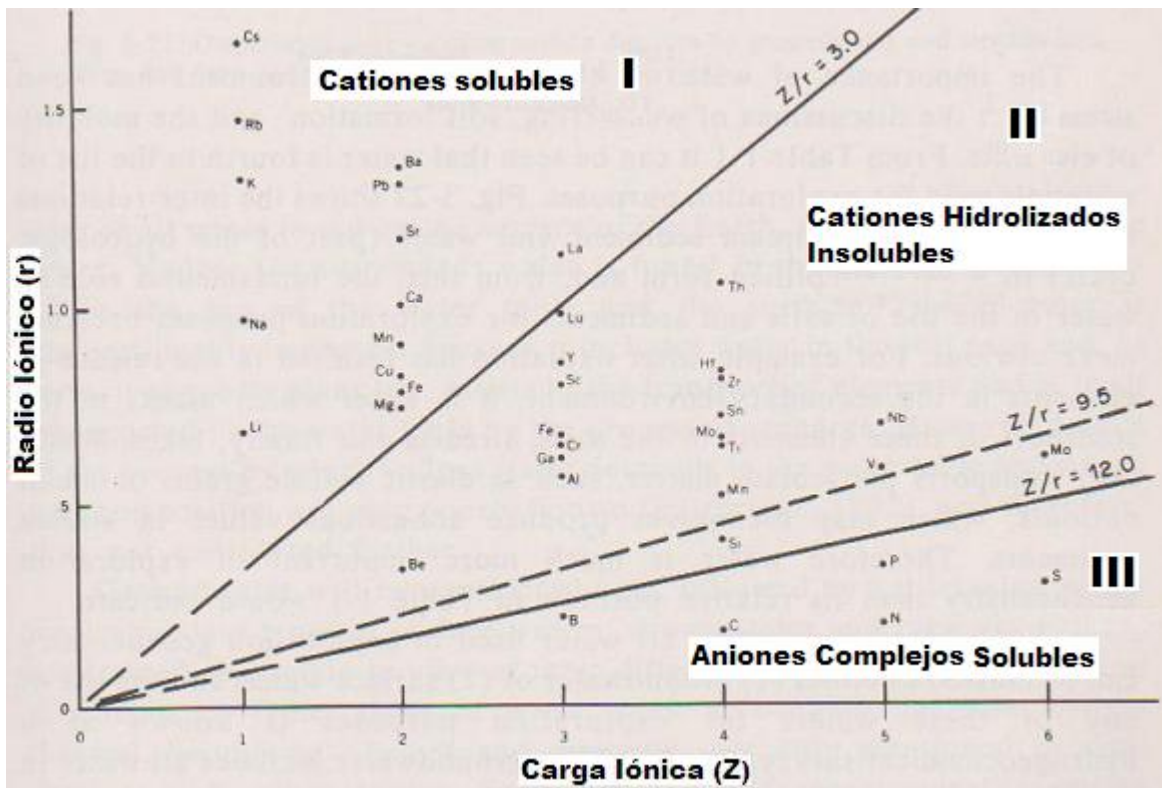
✓ Potencial Iónico

El potencial iónico, es conocido como el valor de la relación entre la carga de un ión ( $Z$ ) y su radio ( $r$ ), por lo tanto, este parámetro da una idea del grado de solvatación de los iones en solución, debido a que el número de moléculas de agua que puede atraer un ión determinado, será función de su carga y su radio (Mason, 1966).

El potencial iónico influye en la capacidad de solvatación de las sales, en solventes polares como el agua (Huheey, 2005). En agua, el anión disponible es  $\text{OH}^-$  y sobre él ejerce el ion su poder polarizante en relación directa con la magnitud de la fracción de carga que le corresponde (González, 1972). No obstante, la polarización sigue cierta relación de carga respecto a tamaño y los cationes que presentan potenciales iónicos grandes son los que tienden a combinarse con aniones polarizables para formar compuestos parcialmente covalentes (Huheey, 2005). La polarización favorece a la formación de enlaces covalentes y este tipo de enlace es favorable a la solvatación (González, 1972).

Goldschmidt (1937) fue el primero en señalar la relación entre el potencial iónico y el comportamiento de los elementos en el ambiente de meteorización, proponiendo una clasificación según su potencial iónico, en tres grupos (Figura 1) (Levinson, 1974). Esta

clasificación está basada en la capacidad de un ion en mantenerse en solución o para precipitarse en soluciones provistas del ion  $\text{OH}^-$  (González, 1972).



**Figura 1.** Clasificación geoquímica de los elementos según Goldschmidt (1937), de acuerdo a su potencial iónico, en el ciclo exógeno, tomado de Gordon et al. (1958) en (Levinson, 1974).

En la (Figura 1), es posible distinguir tres grupos de elementos, donde el grupo (I) está compuesto por iones con un bajo potencial iónico ( $Z/r < 3,0$ ), tales como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ , los cuales entran en solución durante los procesos de meteorización y transporte y son móviles aún a pH elevado. El grupo (II), está compuesto por iones con un potencial iónico intermedio ( $Z/r$  entre 3,0 y 12,0), en donde son apreciables cationes como  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$  y  $\text{Mn}^{4+}$ ; estos iones de radio mediano, se hidrolizan fácilmente y se precipitan como hidróxidos, de allí su nombre de cationes

hidrolizados insolubles, estos productos de meteorización se convierten en residuos tales como lateritas y bauxitas. Por último, se tiene el grupo (III), compuesto por iones de tamaño pequeño y carga más o menos elevada, con un alto potencial iónico ( $Z/r > 12,0$ ). Los cuales forman complejos anicónicos muy solubles con el oxígeno, tales como,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , etc (Levinson, 1974; González, 1972).

El potencial iónico, tiene importancia en las soluciones acuosas y, por consiguiente, en los procesos sedimentarios. Un ejemplo típico de su influencia en el comportamiento de los iones en el ambiente sedimentario, es el del hierro, el cual como ion divalente, pertenece al grupo (I), y al grupo (II) como trivalente, por lo tanto, el  $\text{Fe}^{2+}$  es soluble y se comporta como un elemento móvil, en tanto el  $\text{Fe}^{3+}$  es uno de los iones más difíciles de transportar (González, 1972).

Por otra parte, entre los factores químicos externos más importantes, están el pH y el Eh, ambos factores no sólo controlan la depositación de los sedimentos, sino también todas las transformaciones que ocurren en éstos, después de depositados y mientras estén en contacto con las aguas de la cuenca (González, 1972).

#### ✓ pH (Potencial de hidrógeno)

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una disolución. El pH es definido como, el logaritmo negativo en base 10, de la actividad de los iones hidronio  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  en solución (Brown, 1997).

El pH es un parámetro químico que puede modificar sustancialmente un sedimento, por lo tanto, el grado de acidez y alcalinidad de las aguas es un factor primordial en la sedimentación (Mendez, 2009). La solubilidad de las especies químicas puede estar controlada por el pH, un claro ejemplo de esto, es la solubilidad de cationes como el  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , que son prácticamente insolubles en ambientes alcalinos, pero son

altamente solubles en ambientes de un medio ligeramente ácido, propio de las zonas de meteorización (González, 1972).

✓ Potencial Redox (Eh)

El potencial de oxidación o potencial redox (Eh), es una medida de la energía necesaria para la oxidación de un elemento y se mide tomando como término de comparación, la energía necesaria para oxidar el átomo de hidrogeno, a la que se le asigna el valor de (0,00 voltios). Todo elemento con mayor potencial que el hidrógeno tendrá potencial superior a cero (White, 2005).

El potencial redox en el ambiente sedimentario, está condicionado principalmente por la presencia de oxígeno en agua y en menor grado por la presencia de iones o especies químicas en diversos estados de oxidación (González, 1972).

En las reacciones que participan  $H^+$  u  $OH^-$ , el potencial de oxidación disminuye al incrementar el pH. La combinación de diferentes valores de Eh y pH, determina una gran variedad de comportamientos de algunos elementos, en el ciclo exógeno. Las diversas combinaciones del pH y el Eh permiten la separación de elementos que, por su similitud de propiedades geoquímicas, se mantienen unidos. Un ejemplo de esto, es el comportamiento de los elementos hierro, níquel y cobalto, en depósitos primarios (magmáticos), donde se encuentran juntos, pero se separan durante la meteorización, debido a la mayor facilidad de oxidación del hierro y su consecuente menor movilidad. El níquel y el cobalto son más fácilmente transportados, pero el cobalto en medio ácido es más difícil de oxidar que el níquel, en tanto en medio alcalino ocurre lo contrario. Esto abre posibilidades para la migración diferencial de estos elementos (González, 1972).

El potencial redox y el pH, son factores químicos que controlan en buena parte los procesos sedimentarios. Sin embargo muchos de estos procesos, están sujetos a variaciones por acción de agentes biológicos (Méndez, 2009).

Muchas especies de plantas y animales tienen un gran efecto en distribución de los elementos (Levinson, 1974). Sin embargo, en lo que concierne a la prospección geoquímica de los elementos metálicos, es más notorio el estudio de la interacción de los compuestos orgánicos con los elementos, debido a que estos juegan un papel más importante en la dispersión de los elementos químicos, que las plantas y animales (Hawkes y Webb, 1962).

Los compuestos orgánicos pueden acomplejar elementos químicos metálicos, desempeñando de esta manera, un papel significativo en la dispersión de metales, en el ambiente exógeno. Los metales pueden combinarse con los compuestos orgánicos, para formar complejos organometálicos, tales como las porfirinas. Algunos de estos compuestos pueden ser solubles o no en agua. La formación de compuestos organometálicos es considerada la responsable de la movilización y acumulación de muchos elementos metálicos (Hawkes y Webb, 1962).

La movilización y acumulación de los materiales sedimentarios, no sólo dependen de factores químicos o biológicos, sino que también depende de agentes físicos o mecánicos (González, 1972).

➤ Factores mecánicos

La dispersión por el movimiento de fragmentos clásticos, está restringida en gran parte, a la zona superficial del regolito, donde se llevan a cabo los procesos erosionales. La principal fuerza responsable de los procesos de dispersión mecánica, son la acción de la gravedad y los flujos de agua y hielo (Hawkes y Webb, 1962).

✓ Movimiento gravitacional

Por procesos gravitacionales se entienden los movimientos pendiente abajo de roca, regolito o suelo bajo la influencia directa de la gravedad. Se diferencian de los procesos erosivos porque los procesos gravitacionales no precisan un medio de transporte (Gutiérrez, 2004).

La superficie de la Tierra nunca es perfectamente plana, sino que consiste en laderas de muchas variedades diferentes, algunas son empinadas y escarpadas; otras son moderadas, onduladas o suaves; algunas son largas o graduales, otras cortas y abruptas. Las laderas pueden estar cubiertas de un manto de suelo y vegetación o consistir de roca estéril y escombros. En conjunto, las laderas son los elementos más comunes de nuestro paisaje físico. Algunas laderas pueden parecer estables e invariables, pero la fuerza de la gravedad hace que los materiales se desplacen pendiente abajo (Gutiérrez, 2004).

Cuando los movimientos gravitacionales toman lugar, las anomalías en suelos y regolitos pueden ser interrumpidas, desplazadas o enterradas. Por lo tanto, los deslizamientos pueden tener una influencia más importante en terrenos montañosos (Hawkes y Webb, 1962).

✓ Mecanismos de dispersión en aguas superficiales

La dispersión de los productos de meteorización en aguas superficiales, toma lugar en dos tipos de ambientes principales: en flujos de escorrentía y corrientes de agua.

✓ Dispersión por escorrentía superficial.

La magnitud de la escorrentía superficial depende de muchos factores, principalmente de la pendiente y otros factores, como son la sobrecarga, la intensidad y la cantidad de precipitación y la cantidad de agua que penetra en el suelo.

Bajo condiciones favorables, grandes cantidades de materiales geológicos sólidos pueden ser erosionados y transportados por simple escorrentía superficial (Hawkes y Webb, 1962).

✓ **Dispersión en corrientes de agua**

Las corrientes adquieren una carga por la erosión de los sedimentos y suelos. La materia sólida transportada por una corriente se denomina carga del río. Esta carga puede ser transportada de tres formas. La materia disuelta es transportada de forma de iones químicos. Todas las corrientes llevan sales disueltas resultantes de la descomposición de las rocas. Las arcillas y las arenas finas son transportadas en suspensión, siendo esta fracción denominada carga en suspensión. Las arenas, las gravas y los cantos se mueven como carga de fondo, cerca de la base del cauce y se desplaza por rodadura, deslizamiento o saltación (Gutiérrez, 2004).

Por último, se tiene que el estudio de los sedimentos transportados por los flujos de agua (sedimentos activos de ríos), constituye una de las herramientas más utilizadas a la hora de encontrar posibles fuentes de mineralización de importancia económica. (Fernández y Hidalgo, 2008).

### **Sedimentos activos de ríos**

Los sedimentos activos de ríos representan la carga generalmente asociada a corrientes de agua; incluye material hidromórfico provenientes de zonas de infiltración, así como del cauce del río. Como las anomalías geoquímicas asociadas a este tipo de material, en algunos casos, pueden extenderse cientos de kilómetros aguas abajo de la fuente, la utilidad del sedimento activo de río está ampliamente justificada en labores de reconocimiento, exploración y localización de provincias geoquímicas, provincias metalogénicas o depósitos minerales de gran tamaño (Hawkes y Webb, 1962).

➤ Provincia geoquímica

Una provincia geoquímica puede ser definida como un segmento relativamente grande de la corteza de la tierra, donde la composición química es significativamente diferente a la de los alrededores. Sobre una amplia escala, continentes y cuencas oceánicas difieren en composición. En los continentes existen provincias geoquímicas más pequeñas que en las cuencas oceánicas. Las provincias geoquímicas que se observan comúnmente corresponden a emplazamientos de rocas ígneas, relativamente ricas o relativamente empobrecidas en ciertos elementos químicos. Estas rocas no necesariamente pueden ser de la misma edad (Hawkes y Webb, 1962).

➤ Provincia metalogénica

Una provincia metalogénica, es definida como un área caracterizada por una asociación particular de depósitos minerales, constituidos por uno o más tipos característicos de mineralizaciones. Una provincia metalogénica puede contener más de un episodio de mineralización o época metalogénica (unidad de tiempo geológico favorable para la depositación de mineralizaciones o caracterizada por una asociación particular de depósitos minerales). Las provincias metalogénica pueden coincidir con las provincias geoquímicas (Evans, 1993).

➤ Deposito mineral

Un depósito mineral, es una ocurrencia mineral (mineralización) de suficiente tamaño y tenor que puede, bajo las más favorables circunstancias ser considerada de importancia económica (Evans, 1993). La formación de estos, está condicionada fundamentalmente por la fuente geológica de donde provengan los elementos, de las propiedades físicas y químicas de los fluidos presentes en el sistema, de los modelos migratorios que operan en la roca caja y de los tipos de depositación que se puedan lograr en un ambiente favorable (Grande, 2000).

## **Sedimentos finos y su importancia**

Los sedimentos clásticos terrígenos están compuestos por fragmentos de rocas, que son el resultado de los procesos de meteorización y erosión de las rocas preexistentes. Estos materiales sedimentarios, se clasifican de acuerdo al tamaño del clasto presente y a la composición del material (Nichols, 2009).

Entre la variedad de sedimentos existentes, en esta investigación se utilizaron sedimentos finos (clastos que están compuestos por un tamaño de grano correspondiente a la fracción arcilla (<0,0039 mm) y la fracción limo (0,0039 mm- 0,0625 mm) (Nichols, 2009)), debido a que a los sedimentos finos constituyen una fracción de interés que puede ser empleada en la prospección geoquímica, para el estudio de la dispersión secundaria, ya que los elementos metálicos se encuentran preferiblemente en esta fracción. Los sedimentos finos son considerados un tipo de muestra muy útil y económica, porque con pocas muestras se puede obtener el reflejo de áreas mineralizadas de extensión considerables, ésto es debido a que pueden ser transportados a distancias largas desde su fuente (Xie et al., 2001).

Debido a lo expuesto anteriormente, es fundamental el análisis estadístico e interpretación de los datos geoquímicos, provenientes de las concentraciones de metales en muestras de sedimentos, ya que con dicha información se puede inferir la presencia de una posible mineralización en el área de estudio (Spadoni et al., 2004).

## **Tratamiento de datos geoquímicos**

El análisis de datos, en lo que concierne a la exploración geoquímica, por mucho tiempo fueron en gran medida empíricos, debido a su carácter numérico, junto con la falta de modelos matemáticos bien definidos que describieran la fuente. Sin embargo, con la introducción y desarrollo de programas de computación se ha optimizado todo lo referente a los métodos para la búsqueda de depósitos minerales (Levinson, 1974).

El principal objetivo de la exploración geoquímica, es el descubrimiento de patrones geoquímicos anormales o anomalías geoquímicas, relacionadas a la mineralización. En un estudio de prospección geoquímica, la determinación del fondo regional y local es sumamente importante; con esta información es posible localizar, delimitar y establecer zonas anómalas de forma preliminar, en toda una región. En ríos de alto orden que drenan áreas extensas, el factor de dilución es generalmente elevado y encontrar valores anómalos da información relevante que convierte a la zona en una localidad atractiva para realizar más estudios de prospección geoquímica con mayor detalle (Hawkes y Webb, 1962).

➤ Valores de fondo (Background Values)

La abundancia de un elemento en un material terrestre (agua, suelo, sedimento, roca, atmósfera, etc.) es comúnmente referida como valor de fondo. La concentración de fondo para un elemento, es considerada como el intervalo normal de concentración para un elemento en un área, en un ambiente o tipo de material (Hawkes y Webb, 1962).

El valor de fondo, es determinado a partir de un tratamiento estadístico. La determinación de valores de fondo, representa una línea base hipotética de concentraciones para los elementos, por lo tanto, la determinación de este rango de valores, requiere del conocimiento especializado acerca del comportamiento geoquímico de los elementos en las condiciones ambientales predominantes (Matshullat et al., 2000).

Para cualquier elemento en particular, el valor de fondo puede variar considerablemente de acuerdo a la naturaleza del material terrestre en el cual éste se encuentre, debido a que la distribución de un elemento en cualquier material geológico no es uniforme (Hawkes y Webb, 1962).

Hawkes and Webb (1962), definen el valor de fondo geoquímico como el siguiente rango: media aritmética  $\pm 2SD$ ; donde SD es la desviación estándar. Esta definición estadística empleando  $+ 2SD$ , es utilizada en algunos programas de prospección geoquímica para definir el valor umbral y valores superiores a dicha definición matemática son considerados como valores anómalos. Sin embargo, para el cálculo de los valores de fondo, umbral y anómalos para elemento químico se empleó el método de MAD.

Por último, se tiene que el cálculo de los valores de fondo, principalmente para componentes traza, es importante para generar modelos geoquímicos teóricos que permitan dar respuestas a una determinada problemática, objeto de estudio en una región (Matshullat et al., 2000).

➤ Anomalía geoquímica

La definición de anomalía geoquímica en relación a uno o varios elementos, implica más que solo un conjunto de valores inusuales, que pueden ser bajos o altos, en cuanto a la concentración de un elemento o varios elementos, con respecto al valor de fondo (Levinson, 1974). Las anomalías se denominan en términos de anomalías significativas o anomalías no significativas (Levinson, 1974; Matschullat et al., 2000).

Las anomalías o valores anómalos, en el ámbito de la prospección geoquímica pueden indicar la presencia de una mineralización y en lo que respecta al ámbito de la geoquímica ambiental, éstas pueden relacionarse a contaminación sea, de origen natural o contaminación de origen antrópico (Reimann, 2002).

➤ Umbral (*threshold*)

El umbral, es considerado como el límite superior de los valores de fondo, a partir del cual los datos son considerados anómalos. Al igual que los valores de fondo, los

valores de umbral pueden variar para cada elemento, en cada tipo de roca y en cada región (Levinson, 1974).

Los datos geoquímicos obtenidos pueden ser representados en un mapa geoquímico, siendo este un método eficaz para la interpretación y significado de los datos (Spadoni et al., 2004).

### **Mapa geoquímico**

Los mapas geoquímicos muestran el comportamiento espacial de las variables, en los puntos de muestreo seleccionados, con gran precisión, haciendo uso de modelos matemáticos. En el campo de la geoquímica, la actividad de mapeo tiene un papel fundamental, en parte de interpretación de los datos, mostrando el comportamiento espacial de los patrones de dispersión. Los mapas geoquímicos dependen de las opciones metodológicas utilizadas para generarlos, que sustancialmente influyen en la representación de los patrones mostrados por las variables (Spadoni et al., 2004).

Numerosas técnicas de mapeo han sido desarrolladas para mostrar las características geoquímicas de los sedimentos de corrientes y su representatividad espacial. Entre las más utilizadas se encuentran los mapas áreales, mapas de símbolos de puntos y los mapas de interpolación espacial o de isoconcentración. Sin embargo, ninguna de estas técnicas tiene en cuenta los procesos de erosión que acontecen en las cabeceras de las cuencas y subcuencas y que van a ser los responsables de la dispersión de los distintos elementos (Fernández y Hidalgo 2008).

➤ Tipos de mapas geoquímicos

✓ Mapa de símbolos de puntos

Estos son los mapas más convencionales y fiables en el campo de la geoquímica, ya que estos muestran los datos en los sitios de muestreo, haciendo uso de símbolos de puntos. Los valores de la variable estudiada, son agrupados en intervalos y estos a su vez muestran la progresión de los valores. La dimensión de los puntos varía proporcionalmente al valor del intervalo, es decir el tamaño de los símbolos varía con el valor del intervalo al que representan. Una desventaja de esta clase de mapas, radica en que los valores de las variable en el intervalo de clases, pueden influir en la exactitud de los mapas ya que puede ocultar pequeñas, pero significativas variaciones en la variable (Spadoni et al., 2004).

✓ Mapas de contorno o isoconcentración

Esta clase de mapas representan la distribución espacial de un valor numérico de las variables y consisten en líneas de contorno rellenas con un color, donde el tono del color se degrada, a medida que disminuye los intervalos de valores de la variable o pueden estar representados por una gama de colores diferentes, donde cada color indica los intervalos de valores de la variable o puede ser representado por curvas de igual valor como en el caso de las curvas de nivel de los mapas topográficos (Spadoni et al., 2004).

✓ Mapas de areales

En este tipo de mapas, los valores de las de las variables se asignan a las celdas de una cuadrícula, donde varios puntos de muestreo pueden caer dentro de la celda. Cuando varios puntos de muestreo caen dentro de la celda, el valor de la misma será el promedio entre los valores y en el caso de que no exista un punto de muestreo dentro

de la celda, el valor de la misma se calcula por interpolador estadístico. La forma regular y dimensión de las celdas no está asociada con características físicas, morfológicas o geológicas. Este tipo de mapa es conveniente para visualizar tendencias regionales de una variable (Spadoni et al., 2004).

➤ Otros tipos de mapa

✓ Mapas topográficos

El mapa topográfico es una representación de la superficie terrestre que tiene como finalidad mostrar las variaciones del relieve de la Tierra, mediante curvas de nivel, las cuales son líneas que unen puntos con la misma altitud. Cuanto más fuerte sea la pendiente, tanto más próximas estarán las curvas de nivel. Los mapas de curvas de nivel permiten determinar, con pocos metros de error, la altura de cualquier punto, ya que todos ellos están comprendidos entre dos curvas de altitud conocida (Gutiérrez, 2004).

✓ Mapas geológicos

Estos mapas representan la naturaleza y edad de las rocas, permitiendo conocer exactamente la estratigrafía, o sea la sucesión de los estratos que afloran en una región. A menudo indican también el buzamiento, o inclinación de las capas y las estructuras, como pliegues, fallas, etc (Gutiérrez, 2004).

✓ Imágenes de radar (SLAR)

Son imágenes en blanco y negro, que permiten la observación precisa del relieve, debido a que la observación es lateral y la vegetación es suprimida, lo que vendría a ser de gran utilidad para la interpretación de estructuras geológicas mayores, tales como pliegues, fallas, entre otras. La imagen de radar, a su vez, permite apreciar diferencias

texturales en macroescala, que en otros casos puede estar enmascarada por la presencia de vegetación (Chuviecos, 1990).

### **Análisis de asociaciones geoquímicas multielementales**

El análisis espacial de los elementos químicos, empleando mapas geoquímicos a su vez acompañados de métodos análisis estadísticos multivariados, permiten apreciar las distribuciones relativas de cada uno de elementos y las distribuciones de las posibles asociaciones multielementales. Para realizar mejores interpretaciones geoquímicas acerca de los sistemas naturales, es recomendable combinar ambos métodos de análisis (Fernandez y Hidalgo, 2011; El-Makky y Sediek, 2012).

En el campo de la prospección geoquímica, es usual realizar estudios a una serie de elementos y no sólo a un elemento en particular, ya que un determinado grupo de elementos, pueden ser relacionados de forma precisa a un tipo de ambiente, es decir, las correlaciones multielementales pueden utilizarse para interpretar, la presencia de un posible depósito mineral en el área. Estas asociaciones multielementales, también permiten identificar falsas anomalías, que pueden llevar a interpretaciones incorrectas (Levinson, 1974).

En la actualidad existen una variedad métodos, para análisis de asociaciones geoquímicas multielementales, entre estos métodos destacan los denominados métodos estadísticos multivariados (Kurinnaya et al., 2011).

#### ➤ Análisis estadístico multivariado

El análisis multivariado, corresponde a un conjunto de métodos estadísticos cuyo objeto, es analizar simultáneamente conjuntos de datos multivariados, en el sentido de que existen varias variables medidas para cada individuo u objeto estudiado. El empleo

de estos métodos estadísticos multivariados, radica en un mejor entendimiento del fenómeno estudiado, ya que puede obtener información que los métodos estadísticos univariantes (análisis de distribuciones de una sola variable) y bivariantes (análisis de distribuciones de dos variables) no son capaces de brindar (Davis, 2002; Figueras, 2000 en Hernández, 2009).

Los métodos estadísticos multivariados en el campo de la prospección geoquímica, han sido aplicados para reconocer información geológica y minera, estudiando el comportamiento de patrones geoquímicos y sus distribuciones espaciales (Sun et al., 2009).

En la actualidad, es conocido que los datos geoquímicos regionales prácticamente nunca muestran una distribución normal, por ello se recomienda realizar una normalización de los datos, empleando transformaciones logarítmicas o aplicando transformaciones algorítmicas como Box-Cox, como paso previo al análisis multivariado (Peh et al., 2009).

Existen una variedad de métodos estadísticos multivariados aplicados en el campo de la geoquímica, para determinar la correlación entre los elementos. Entre esta variedad de métodos destaca el método de análisis de factores (Kurinnaya et al., 2011).

✓ Análisis de factores

El análisis de factores (AF), es una técnica multivariada que se basa en una matriz de correlación reducida, donde se insertan las varianzas compartidas en la diagonal de la matriz de correlación y los factores extraídos se basan solamente en la varianza común, con la exclusión de las varianzas específicas y de error. Este método está caracterizado por medir si los indicadores tienen algo en común, es decir, si tienen un común denominador llamado factor (Hair et al., 2004).

Existen dos métodos de análisis de factores, para la extracción de los factores comunes: análisis de factores principales (AFP) y el método de máxima verosimilitud (ML). Con el propósito de establecer las correlaciones multielementales, en esta investigación se utilizará el método de análisis de factores principales y no el método el método de máxima verosimilitud, debido a la complicada optimización estadística que se produce para extraer los factores. El método de análisis de factores principales, es un método estadístico multivariado robusto en comparación a otros métodos multivariados. Sin embargo, este método es está basado la matriz de covarianza y esta se puede ver afectada por la presencia de valores anómalos, por ello se recomienda realizar transformaciones a los datos que no presenten una distribución normal, con el fin de obtener resultados más óptimos (Reimann et al., 2002).

## ANTECEDENTES

Con la finalidad de aportar información que puede ser de utilidad en el desarrollo de la investigación, se realizó una revisión de antecedentes que describen varios estudios realizados en la cuenca del Alto Paragua, así como trabajos de investigación, donde la cartografía geoquímica y métodos de análisis de datos juegan un papel fundamental en la búsqueda de depósitos minerales de interés económico.

Torres (1984), realizó un análisis sedimentológico y geoquímico en sedimentos del río Paragua, estudiando la granulometría, textura y mineralogía. Concluyendo que los minerales livianos se encuentran en la fracción de arenas medias, formadas básicamente por cuarzo anguloso y los minerales pesados corresponden a arenas finas, formada por una fase mineral de ilmenita angulosa y en menor proporción por circón. En cuanto al análisis geoquímico, determinó el fondo regional para los elementos Ti, Mn, Fe, Zr y Nb en muestras de resistatos pesados.

Narvan (1984), realizó una caracterización geoquímica y sedimentológica de los limos del Bajo y Medio Paragua y sus afluentes principales, indicando que la granulometría de los limos está constituida en promedio de, 25% de arenas finas y muy finas, 50% de limos y 25% de arcillas, siendo la mineralogía mayoritariamente constituida por cuarzo y caolinita y en menores cantidades gibbsita, goethita, hematita, ilmenorutilo, rutilo y circón.

Moreno et al. (1985), realizaron un reconocimiento geológico del Alto Paragua, describiendo las unidades litológicas que afloran en esa área, basándose en datos de campo y análisis de elementos mayoritarios, así como los rasgos estructurales más destacados, indicando que las unidades litológicas encontradas en la zona de estudio son: la Formación Caicara (rocas volcánicas piroclásticas, mayoritariamente de carácter ácido, principalmente riolitas con pocas dacitas-andesitas asociadas) y el Grupo Roraima, con rocas básicas ultrabásicas intrusivas asociadas.

Menéndez (1992), realizó un estudio de las fracciones magnéticas y no magnéticas de minerales pesados en 29 muestras de sedimentos, correspondiente a la fracción granulométrica (0,417-0,750 mm) provenientes de los ríos Paragua, Carún y Antabará. Indicando que la mineralogía presente está constituida mayoritariamente por ilmenita, circón, ilmenorutilo y cuarzo, siendo identificadas estas fases minerales por la técnica de difracción de rayos X y a través de la técnica de fluorescencia de rayos X, realizó la determinación cualitativa de algunos elementos trazas como Sn, Y, U, Th, La, Nb y Sr estando estos en mayor proporción en la fracción no magnética.

Mendoza (1993), efectuó un reconocimiento geoquímico del Alto Paragua, a través del estudio de 42 muestras de concentrados pesado de río que fueron analizadas utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X. El análisis multielemental del concentrado pesado, incluyó al K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Rb, Pb, Y, Zr, Nb y Sr, indicó que la región del Alto Paragua y la cuenca del río Antabará presentan un comportamiento anómalo de gran expresión superficial, considerándolos como provincias metalogénicas de interés para futuros trabajos prospectivos.

García et al. (2003), desarrollaron una metodología para la separación de valores anómalos del rango de valores del fondo. Esta metodología se basa en la proyección complementaria de cada una de las muestras tomadas de un subconjunto de "candidatos anómalos", implementando el concepto de "intensidad de anomalía". Señaló que la metodología propuesta, ha demostrado ser un procedimiento fiable para la identificación de anomalías, basándose en las relaciones entre las concentraciones de un conjunto de elementos determinados para conjuntos de muestras pequeñas.

Nakić et al. (2007), utilizaron una hoja de cálculo macro como (MS Excel), haciendo uso de la técnica iterativa  $2\text{-}\sigma$  para el cálculo de los valores geoquímicos de fondo y del umbral que los separa de las anomalías, basándose en un método unimodal y de distribuciones asimétricas, indicando que esta técnica ofrece el tratamiento de los datos

geoquímicos con una alta confiabilidad para la generación de un rango de fondo, umbral y valores anómalos de los parámetros químicos.

Zumlot et al. (2009), realizaron una cartografía geoquímica regional, donde contemplaron para la realización de este estudio los elementos Al, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sc, Th, Ti, U, V, y Zn, empleando 27798 muestras de sedimentos de corriente, en Nuevo México, Estados Unidos. Utilizando métodos estadísticos como el análisis de factores e integrando los resultados obtenidos a un sistema de información geográfica, se pudo determinar la distribución espacial de los elementos y clasificar la proveniencia de los mismos. La clasificación de los elementos, permitió identificar patrones geoquímicos locales y regionales relacionados a la fuente de los mismos, teniendo estos una fuente de origen natural en su gran mayoría, y siendo asociados a rocas de composición félsica y máfica presentes en la región y no a fuentes antropogénicas.

El-Makky (2011), llevo a cabo un estudio prospectivo a las afueras de la mina de oro de Um Garayat, en Egipto. Para ello, analizó muestras de rocas metavolcánicas para los elementos Ti, P, Zr, Nb, Y, La, Nd y Ce, obteniendo los valores de fondo y el umbral para cada elemento, empleando métodos de cajas gráficas e histogramas. En cuanto al análisis estadístico empleado para agrupar a los elementos y asociarlos a fases minerales, para esta investigación se utilizó método de análisis de factores, el cual permitió clasificar a los elementos en tres factores: factor 1 (P, Ti, Zr), factor 2(Nb, Y) y factor 3(La, Nd, Ce). Los factores 1 y 2, fueron asociados con minerales magmáticos relacionados a mineralizaciones ricas en oro y a procesos metasomáticos, mientras que el factor 3 fue asociado a mineralizaciones ricas en oro y cobre.

El-Makky y Sediek (2012), realizaron un estudio de prospección geoquímica empleando sedimentos de corriente, en el noroeste de Wadi Allaqi, Egipto. Para la realización de esta investigación se estimó los valores de fondo y umbral de As, Cu, S, Mo, Pb, Zn,

Co, Ni, Rb, Ba, Sr, Nb, V, U, Th, Cr, Zr, La, Ce, Nd, y Y. Adicionalmente empleando la técnica de análisis de factores a datos geoquímicos, fueron establecidos ocho factores. Se encontró que los factores 1 (Zr, Nb, Nd, La, y Y), 2 (V, Sr, y Zn) y 4 (Ba y Rb), corresponden a una mineralización de sulfuros y oro. El factor 3 (Cu, S, As, Ce y Mo) se asoció a depósitos de cobre, para dicho fin este factor fue correlacionado con anomalías de Pb y Zn. El factor 5 (Ni y Co) y 8 (Pb) se interpretó como trazadores de mineralizaciones de Fe y sulfuros de Cu. El factor 6 (Cr) se asoció a serpentinitas. Por último el factor 7 (Th y U), se asoció a rocas graníticas. Esta investigación indicó la presencia de posibles mineralizaciones en el área, por ello la importancia de hacer investigaciones posteriores más detalladas.

Los estudios previos en redes hidrográficas similares a la cuenca hidrográfica del Alto Paragua, acoplados a métodos estadísticos y de cartografía geoquímica, han mostrado resultados efectivos para la localización de anomalías geoquímicas, siendo estas de vital importancia en la prospección geoquímica de minerales metálicos.

## **ÁREA DE ESTUDIO**

A continuación se describen algunos aspectos relacionados con la zona de estudio, donde se incluyen tanto la ubicación geográfica, extensión, formas de acceso y una breve reseña de las características fisiográficas y geológicas del Alto Paragua.

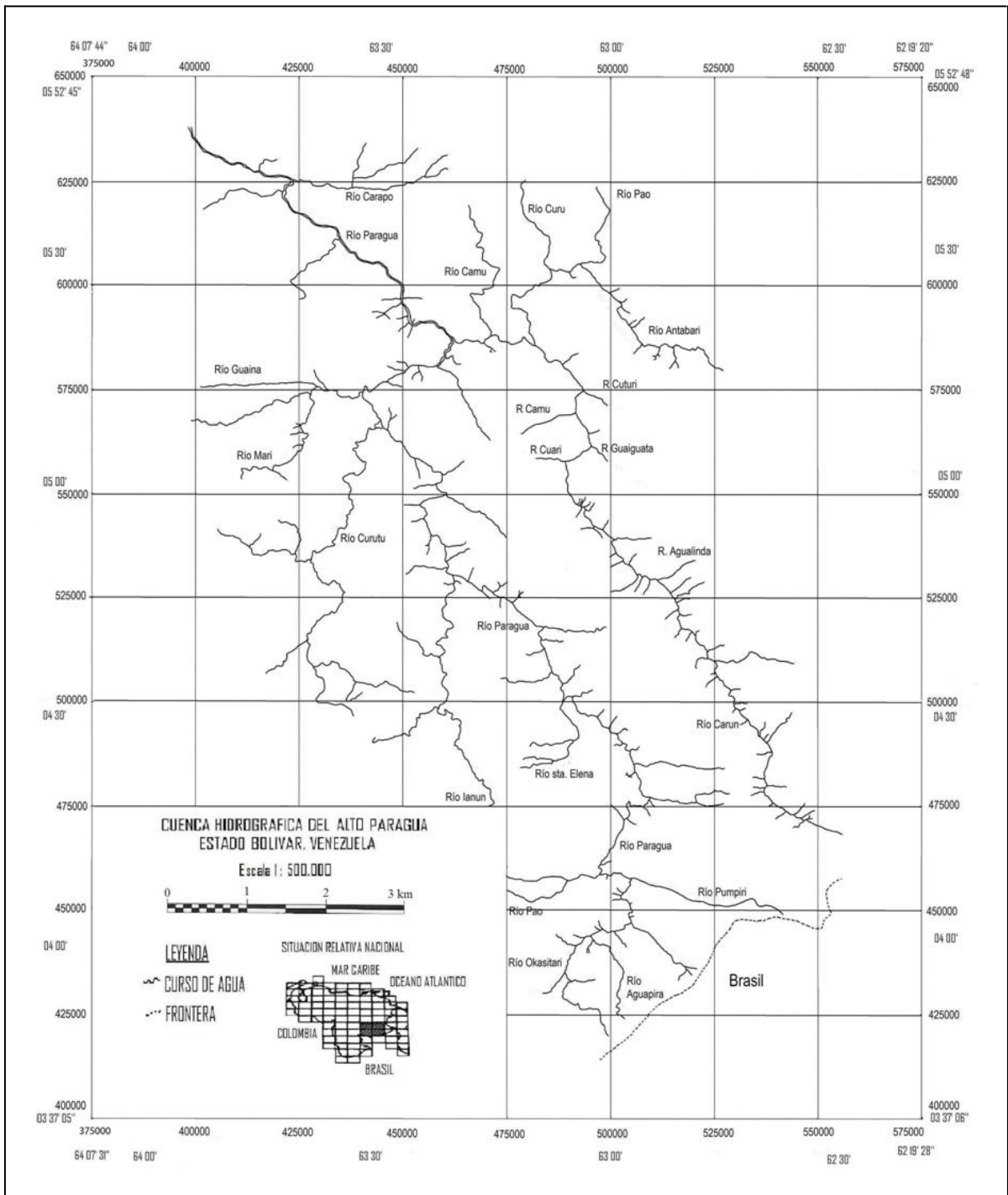
### **Localización y acceso**

El área de estudio está localizada en el Municipio Heres del Estado Bolívar (Figura 2); comprende el río Paragua, desde su nacimiento hasta su curso Medio y está situada entre los paralelos 3° 37' y 5° 52' y los meridianos 62° 19' y 64° 07', cubriendo un área aproximada de 14000 km<sup>2</sup> localizada geográficamente en el extremo sur, desde los límites con Brasil hasta el río Carún (Moreno et al. 1985; Menéndez, 1992).

La población más cercana al río Paragua es el pueblo de La Paragua, Municipio Heres, encontrándose a 200 Km al sur de Ciudad Bolívar, por carretera pavimentada. El acceso a la zona de estudio fue a través de embarcaciones fluviales y helicóptero. Para tal efecto, fueron creados helipuertos en algunos afluentes importantes del río Paragua pertenecientes a la empresa CVG.

### **Aspectos fisiográficos**

A continuación se presenta, de forma general, una revisión de las características fisiográficas relacionadas con la zona de estudio, donde se incluyen aspectos relacionados con el relieve, el clima, la vegetación, los suelos, la hidrografía y geología tanto regional como local.



**Figura 2.** Ubicación geográfica, de la cuenca hidrográfica del río Paragua Estado Bolívar, Venezuela (La base cartográfica es el mosaico de radar 1:25000, año 1979, PDVSA S.A.).

➤ Relieve

La región presenta una topografía muy accidentada, cubierta por selva bastante densa. Los principales accidentes topográficos son: en la parte norcentral la meseta de Ichún, en el extremo sur, limitando a Venezuela con Brasil, la serranía Arutaní y al oeste, la meseta de Guanacoco (Mendoza, 1995).

➤ Clima

El área de estudio se ubica en forma general en la zona intertropical. La cuenca del río Paragua, se caracteriza por presentar una temperatura anual promedio de 23°C aproximadamente, con máximos de 28°C en los sitios más bajos y temperaturas mínimas de 12°C en las regiones más altas (Edelca, 1984, en Mendoza, 1993).

➤ Vegetación

La vegetación registrada en la cuenca Caroní- Paragua corresponde a selva, sabana, vegetación arbustiva y vegetación litófila pionera, asociada, a las cumbres de los tepuyes. El alto Paragua presenta una vegetación tipo selva amazónica (Huber, 1986, en Mendoza, 1993).

➤ Suelos

De forma general, los suelos de la cuenca Caroní- Paragua, presentan un pH ácido, exhiben fuerte lixiviación con grados de saturación variable en su mayoría; presentan baja concentración de minerales primarios; son ricos en óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio (Guzmán, 1986, en Mendoza, 1993).

➤ Hidrografía

El río Paragua y sus afluentes, forman parte de la cuenca del río Caroní. Nace en la sierra de Arutaní y desemboca en la represa del Gurí, en las cercanías de la población

de La Paragua. El patrón de drenaje del río Paragua, es del tipo enrejado dendrítico manifestando un patrón rectangular en algunos de los tramos del mismo.

Por otra parte, en las cabeceras del río Paragua, el patrón de drenaje predominante es el de forma radial. La longitud del río Paragua es de un aproximado de 550 km, con un área de drenaje calculada en 39605 km<sup>2</sup> correspondiente a un orden 9. En cuanto a los ríos afluentes se encuentran el río Carún, Ichún, Curutú y Marí, siendo estos ríos con órdenes entre 7 y 8 (Perdomo, 1980, en Mendoza, 1993).

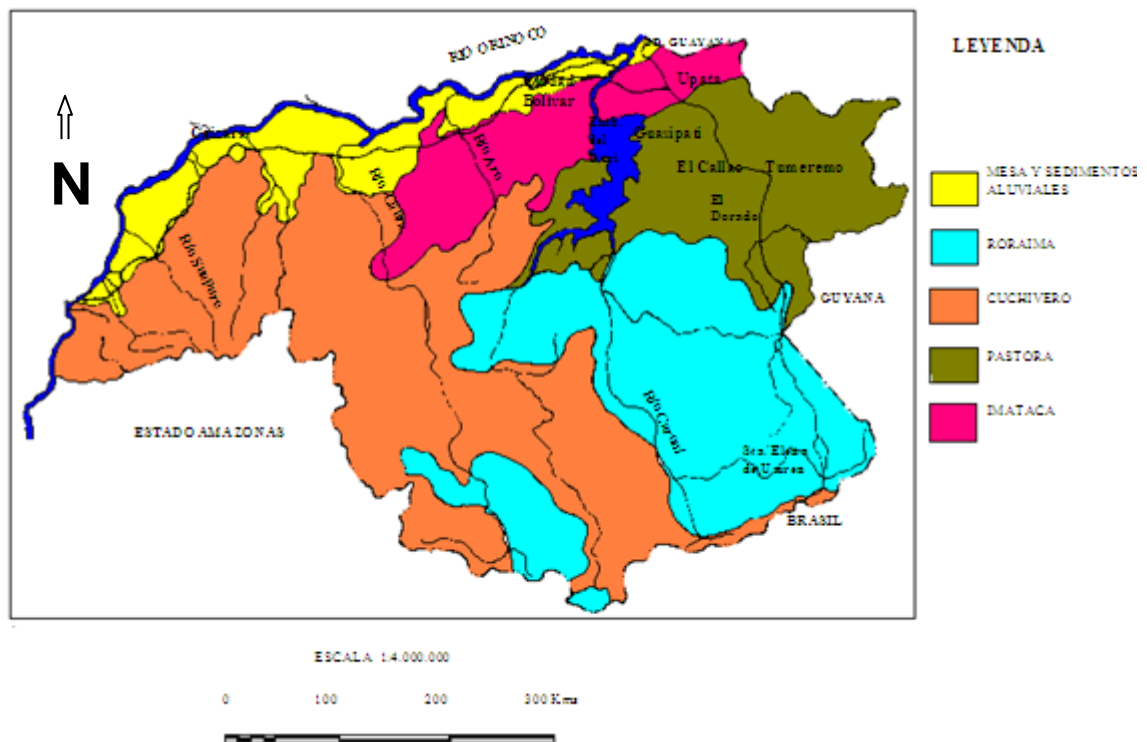
### **Marco geológico regional**

El Escudo de Guayana forma parte del Cratón Amazónico del Precámbrico de Sur América y se extiende por Brasil, Colombia, Surinam, Guayana Francesa y Venezuela. El Escudo de Guayana (Figura 3) ocupa aproximadamente el 46% de la superficie de Venezuela y está compuesto por las Provincias de Imataca o Bolívar (Arqueozoico), Provincia de Pastora o Esequibo (Paleoproterozoico), Provincia de Cuchivero-Amazonas (Paleoproterozoico) y Provincia de Roraima o Canaima (Paleoproterozoico) (Mendoza, 2005).

#### ➤ Provincia de Imataca

La Provincia de Imataca se extiende en dirección SW-NE desde las proximidades del río Caura hasta el delta del Orinoco y en dirección NW-SE. Aflora desde el curso del río Orinoco hasta la Falla de Guri por unos 550 km. Las rocas que componen la Provincia 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 (Glikson, 1976, en Mendoza, 2005).

La provincia de Imataca 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. Las edades más antiguas en rocas de la Provincia Imataca alcanzan valores entre 3500-3600 Ma, procedentes posiblemente de las rocas originales previas al metamorfismo (Mendoza, 2005).



**Figura 3.** Provincias geológicas del Escudo de Guayana Venezolano (Tomado de Mendoza, 2005).

➤ Provincia de Pastora

La Provincia Pastora se extiende desde la Falla de Gurí al norte del estado Bolívar, hasta las proximidades del Parque Nacional Canaima al sur (km 95 carretera El Dorado-

Santa Elena), por el este hasta los límites con la Zona en Reclamación del Esequivo y al oeste hasta el Río Caura (Mendoza, 2005).

La Provincia de Pastora se caracteriza litológicamente por una secuencia de rocas volcánicas ácidas y básicas y 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 (Menéndes, 1972, en González de Juana et al., 1980). 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 (Mendoza, 2005). La edad de las rocas graníticas del Complejo de Supamo, intrusivas en CRV tipo Grupo Carichapo dieron edades por U-Pb en circones, entre 2.800 a 2.600 millones de años (Gaudette y Olsewski, 1978, en Mendoza, 2005).

#### ➤ Provincia de Cuchivero

Mendoza (1977 en González de Juana et al., 1980) indican que la Provincia estructural de Cuchivero 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, comagmaticas 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 (Mendoza, 1974 en Mendoza, 2005). Mendoza (1977 en González de Juana et al., 1980), interpreta la Provincia de Cuchivero como resultado de la orogénesis Trans-Amazónica, cuya edad varia de un extremo a otro del escudo, postulando que mientras en la parte oriental pudo iniciarse hace 2000-2100 Ma, en la parte occidental quizás no comenzó hasta hace 1900 Ma.

➤ Provincia de Roraima

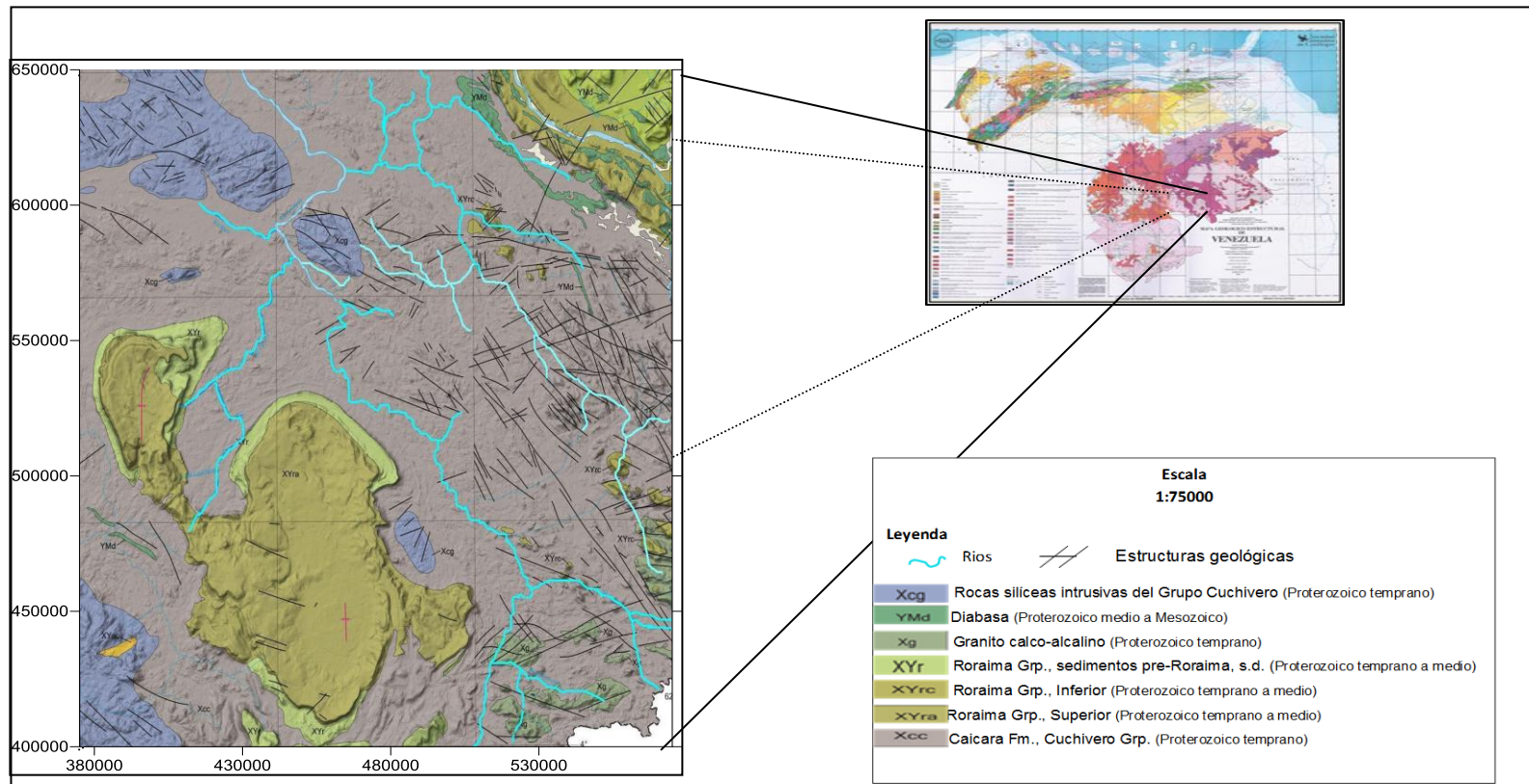
El Grupo Roraima cubre un área de afloramiento de aproximadamente 450.000 km<sup>2</sup> desde Tafelberg, Surinam, hasta la Sierra de la Macarena, Colombia (Mendoza, 2005).

La Provincia Geológica de Roraima 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 EW. También se extiende hacia el sur-sureste del escudo de Guayana hasta el área del Río Branco, Brasil (Reid, 1974, en Mendoza, 2005).

La Provincia de Roraima 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 (Reid, 1974, en Mendoza, 2005). Roraima es la provincia más joven con edades de 1.730 +/- 120 millones de años, obtenidas en tobas de Canaima por el método de Rb/Sr (Sidder y Mendoza, 2000, en Mendoza, 2005).

## Marco geológico local

La cuenca hidrográfica del Alto Paragua, está enmarcada geológicamente entre las provincias de Cuchivero y Roraima (Figura 4).



**Figura 4.** Geología de la cuenca hidrográfica del Alto Paragua (Hackley et al., 2006).

➤ Grupo Cuchivero

Moreno et al. (1985) establecen semejanzas composicionales y texturales entre las rocas volcánicas del Alto Paragua y las descritas por Mendoza (1977) en la zona del Municipio Cedeño y parte del Estado Amazonas. Señalando por lo tanto que debe mantener el nombre de Formación Caicara para estas rocas. La litología está constituida por rocas volcánicas ácidas e intermedias asociadas a un volcanismo de carácter continental. Las rocas volcánicas ácidas, asignadas a la Formación Caicara, presentan fundamentalmente un marcado carácter piroclástico e incluye tobas de lapilli y brechas volcánicas de composición riolítica. También hay presencia de andesitas y otro tipo de rocas volcánicas intermedias.

➤ Grupo Roraima

Moreno et al. (1985) establecen que las rocas pertenecientes a este grupo, afloran en las localidades de del río Ichun, río Paramichí, río Curutú, río Okasiarí y río Pao. Este grupo está conformado por rocas sedimentarias de ambiente continental. El cuerpo ígneo más importante en el Alto Paragua, presenta una extensión aproximada de 120 km<sup>2</sup>, clasificado como un sill ultrabásico de grano grueso. De manera general, la litología asociada al Alto Paragua puede ser dividida en rocas sedimentarias y rocas básicas intrusivas y volcánicas piroclásticas.

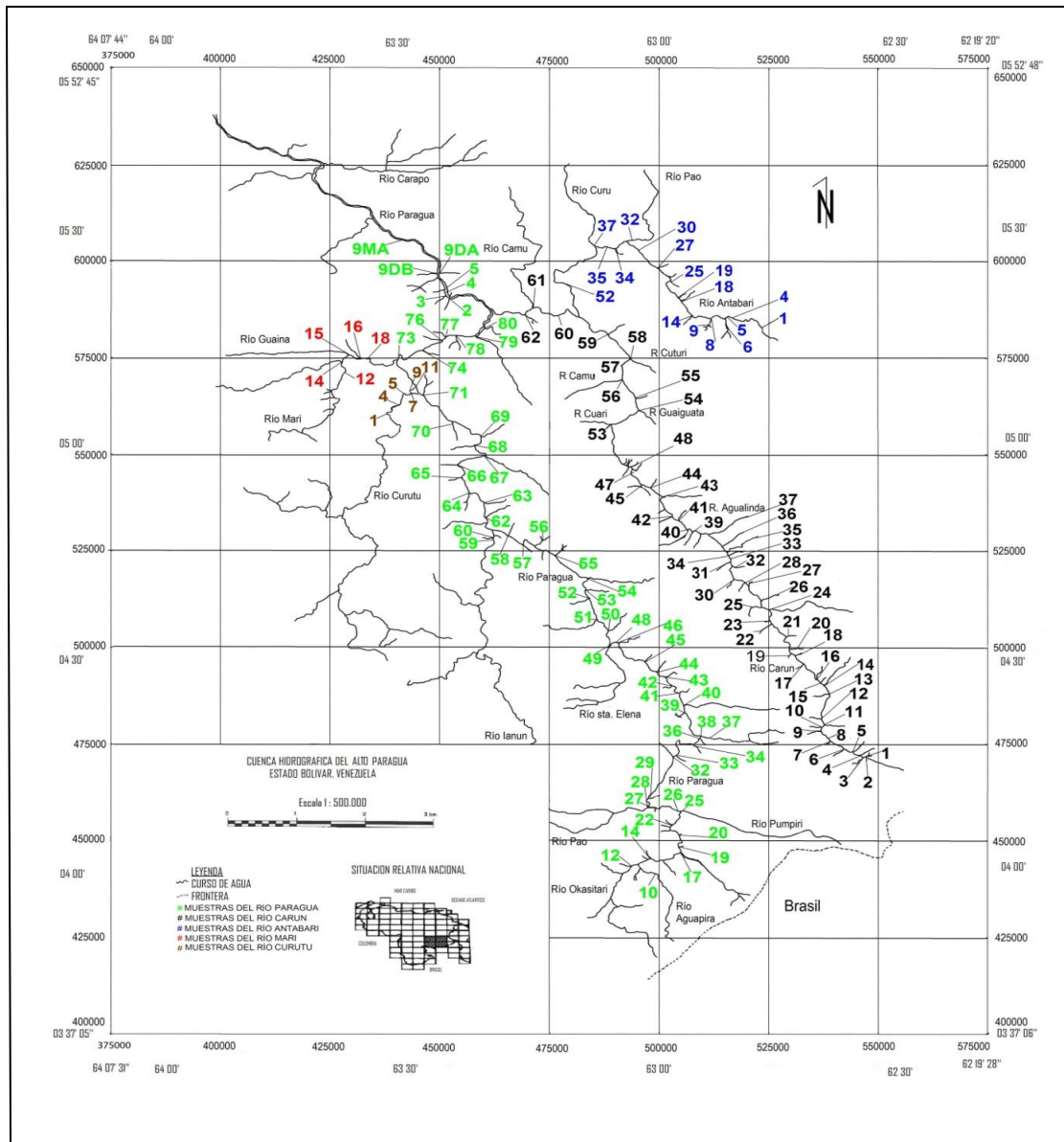
## **METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

A continuación, se exponen los aspectos concernientes al diseño metodológico, para el desarrollo de los objetivos planteados. Para el siguiente trabajo, se analizarán estadísticamente los datos provenientes de muestras de sedimentos de los ríos Paragua (orden 9), Carún (orden 8), Mari (orden 7), Curutú (orden 7) y Antabará (orden 8) tomadas por un grupo de investigadores de pertenecientes a la Universidad Central de Venezuela y de la Corporación Venezolana de Guayana Técnica Minera C.A. (TECMIN) en el año de 1988. Los órdenes de los ríos fueron determinados de acuerdo a imágenes de radar pertenecientes al ministerio de Energía y Minas (Pasquali et al., 1991 en Menéndez, 1992).

Esta sección adicionalmente incluye de forma resumida una etapa de campo, donde se exponen los aspectos más importantes durante la recolección de las muestras, una etapa de laboratorio que corresponde al tratamiento de las muestras y su posterior análisis químico.

### **Etapa de campo**

La recolección de muestras fue llevada a cabo durante los meses de febrero, marzo y abril de 1988, durante la época de baja pluviosidad en la zona y estuvo enmarcado dentro del Proyecto Inventario de la Guayana Venezolana, amparado por un acuerdo entre la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra y la Corporación Venezolana de Guayana Técnica Minera C.A. (TECMIN). El demuestre fue ejecutado con la ayuda de curiaras y canoas de aluminio, navegando aguas abajo, en sentido aproximadamente sur-norte (Menéndez, 1992). En el mapa anexo (Figura 5) se indican los puntos donde fueron tomadas las muestras y las coordenadas UTM, se encuentran reflejadas en la Tabla A1 Apéndice A.



**Figura 5.** Sitios donde fueron tomadas las muestras en la cuenca del Alto Paragua. (La base cartográfica es el mosaico de radar 1:25000, año 1979, PDVSA S.A).

Para la toma de las muestras de sedimentos, fue utilizado el método de concentración de batea para minerales pesados, además fueron tomados muestras de limos depositados en el cauce de los ríos. El muestreo presentó una densidad aproximada de una muestra por cada 130 km<sup>2</sup>.

## **Etapa de laboratorio**

Posteriormente al trabajo de inventario de las muestras, se llevó a cabo el tratamiento de las mismas, con el propósito de prepararlas físicamente para los respectivos análisis químicos a los cuales se les sometería.

### ➤ Tratamiento físico de las muestras

Las muestras fueron tratadas por Mendoza y Menéndez (1992), donde las mismas fueron secadas al aire libre, por un intervalo de tiempo de una semana y luego fueron tamizadas en varias fracciones de grano; posteriormente cada fracción fue sometida a un proceso de homogeneización y cuarteo manual, separando el testigo de la porción a ser analizada. Cada muestra una vez cuarteada, fue preparada para el análisis químico por fluorescencia de rayos X; para ello se pulverizó 2 gramos de cada muestra con un mortero de ágata. Las muestras pulverizadas fueron aglomeradas con alcohol polivinílico al 5% y utilizando una prensa mecánica se generó una pastilla. Las muestras fueron prensadas hasta veinte toneladas (20 ton/pulg<sup>2</sup>) empleando ácido bórico como base. Para el presente trabajo se utilizarán los datos obtenidos de la fracción limo, fracción de 230 mallas (<0,063 mm).

### ➤ Análisis químico

El análisis químico fue realizado por el personal técnico del Instituto de Ciencias de La Tierra de la UCV (1993), empleando un espectrómetro de fluorescencia de rayos X con un contador Si (Li) (EDFRX), acoplado a un analizador multicanal, marca Kevex modelo 0700, que a su vez, está acoplado a una computadora (Mendoza, 1993). La Tabla B1 Apéndice B muestra la concentración de cada uno de los elementos analizados en las muestras, correspondiente a la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos de corriente de los ríos Paragua, Carún, Mari, Curutú y Antabará.

## **Tratamiento estadístico de los datos**

### ➤ Análisis exploratorio de datos

El análisis exploratorio de datos, fue llevado a cabo empleando gráficos de papel probabilístico, cajas gráficas e histogramas, utilizando para ello el programa estadístico STATISTIC 10.0. Donde, se pudo apreciar de forma cualitativa la distribución de los datos y la asimetría existente en los mismos, a su vez, se pudo identificar valores anómalos de forma cualitativa y cuantitativa (Isaaks y Srivastava, 1989).

El ajuste a una distribución normal de los datos, se comprobó mediante la aplicación de la prueba de hipótesis de Kolmogorov-Smirnov con el ajuste de probabilidades de Lilliefors, ya que la media y la desviación estándar de la distribución normal hipotética no son conocidas a priori, por ello deben emplearse los valores de probabilidad de Lilliefors, debido que la media y la desviación estándar serán estimados a partir de los datos (Lilliefors, 1967 en Davis, 2002). Dicha prueba de hipótesis arrojó un estadístico denominado “p” y cuando el valor de probabilidad del mismo fue menor de 0,05, se rechazó la hipótesis de que los datos provinieran de una población con una distribución normal, los cálculos de probabilidad fueron realizados empleando el programa estadístico STATISTIC 10.0 (Zumlot, 2009). La prueba de evaluación de normalidad antes mencionada se aplicó antes y después de aplicar las transformaciones Box-Cox y Ln, todo esto se realizó mediante el programa STATISTIC 10.0 (Hernández, 2009; Reinann et al., 2000).

### ➤ Análisis de las posibles asociaciones multielementales

Con la finalidad de establecer una correlación multielemental entre las variables químicas estudiadas, fue aplicado a los datos la técnica de análisis multivariado de análisis de factores, dicho análisis fue ejecutado empleando el programa STATISTIC 10.0. Esta técnica ayudo a reducir la dimensionalidad de una población de numerosos

datos a un número pequeño de relaciones. Para la realización de dicho análisis multivariado se empleó los datos transformados con Box-Cox y Ln, los cuales permitieron clasificar los datos de las variables en 4 subpoblaciones de datos. Para la realización del el análisis de factores se extrajeron los factores sin rotar y empleando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax, obteniéndose resultados similares sin rotar y rotando los factores (Reimann et al, 2002; Templ et al., 2008).

- Cálculo de los valores de fondo, valores altos y valor de umbral para cada una de las variables estudiadas

Con el propósito de determinar los valores de fondo, umbral y anómalos, fueron empleados métodos de estadística descriptiva, mediante el cálculo de parámetros de tendencia central como la mediana, para cada elemento contemplado en éste estudio (Seo, 2002).

El intervalo de valores de fondo calculado para cada uno de los elementos analizados, fue estimado utilizando el método de MAD, donde el intervalo de valores de fondo fue definido como:  $\text{mediana} \pm 1,5\text{MAD}$  (Baptista, 2007). Donde  $(\text{MAD} = \text{mediana} ( | Xi - X_{\text{mediana}} | )$ , donde Xi es el valor de concentración de cada muestra y Xmediana es la mediana del conjunto de datos (Reimann et al., 2005).

Una vez estimado los valores de fondo, umbral y anómalos para cada elemento de interés, se integró esta información a una hoja cartográfica, basada en el mosaico de radar escala 1:25000 año 1979 de PDVSA S.A, para la cuenca hidrográfica del Alto Paragua, donde se graficó sobre los puntos de muestreo, los rangos de valores para cada elemento, con ello se pudo observar las variaciones espaciales que presentan los elementos dentro de la cuenca relacionándolos con el entorno geológico presente en la misma (Fernández y Hidalgo, 2008). Los mapas geoquímicos que fueron generados, corresponden a los mapas de símbolos de puntos, ya que son los mapas más

convencionales y que representan de manera más fidedigna, los parámetros estudiados (Spadoni et al., 2004).

- Análisis espacial de las asociaciones geoquímicas multielementales encontradas

Finalmente, integrados los análisis estadísticos y los mapas geoquímicos, fueron delimitadas 4 zonas con una alta potencialidad para albergar concentraciones importantes de minerales de interés económico, basándose en la densidad de anomalías presentes en la zona.

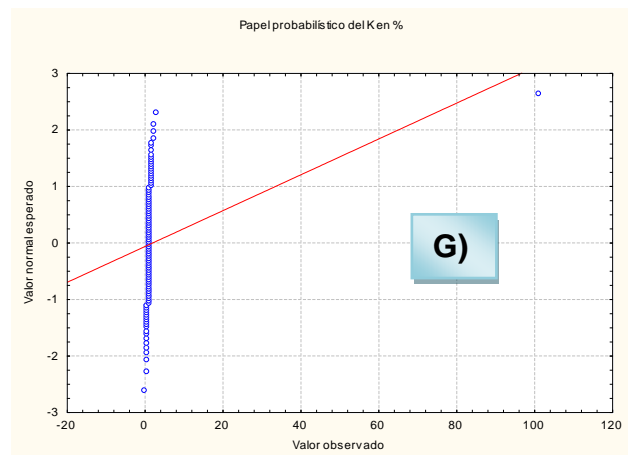
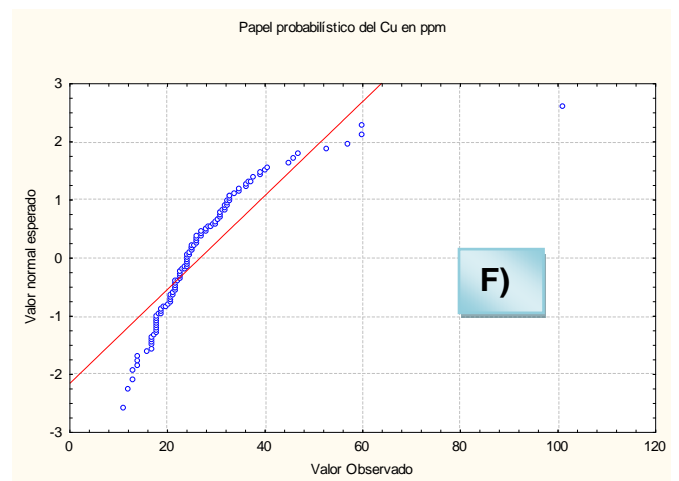
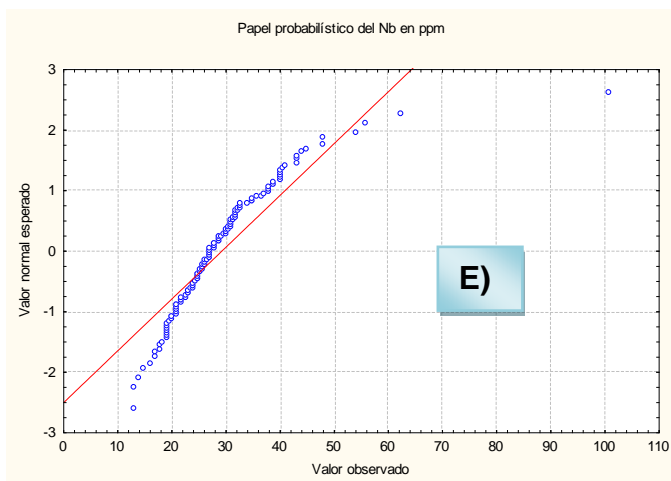
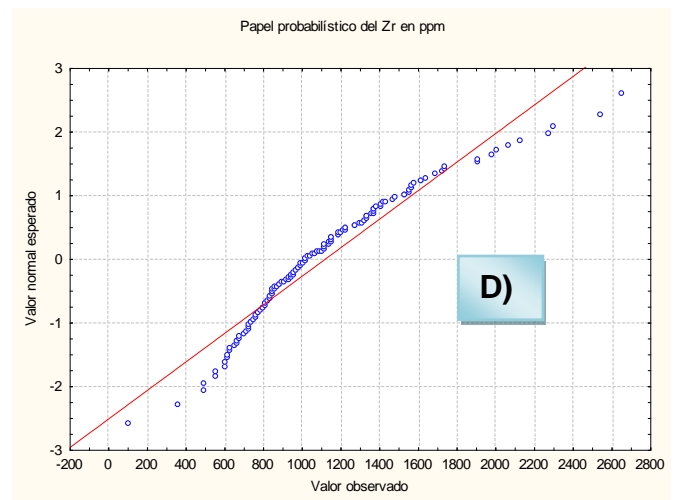
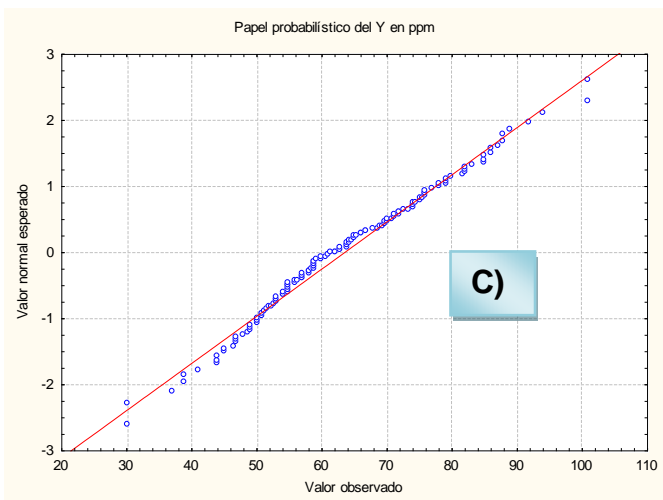
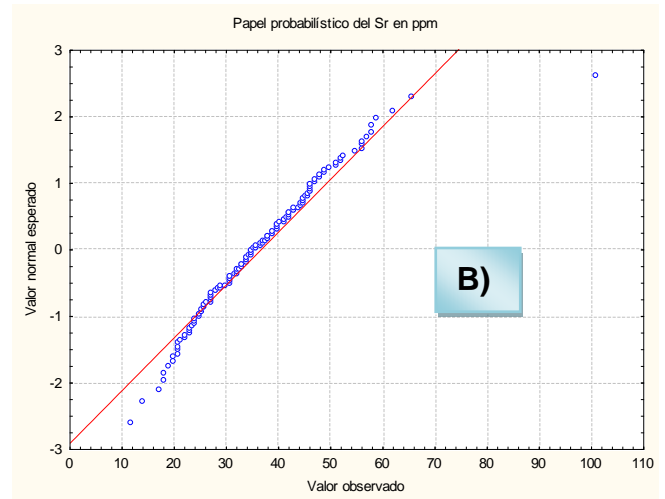
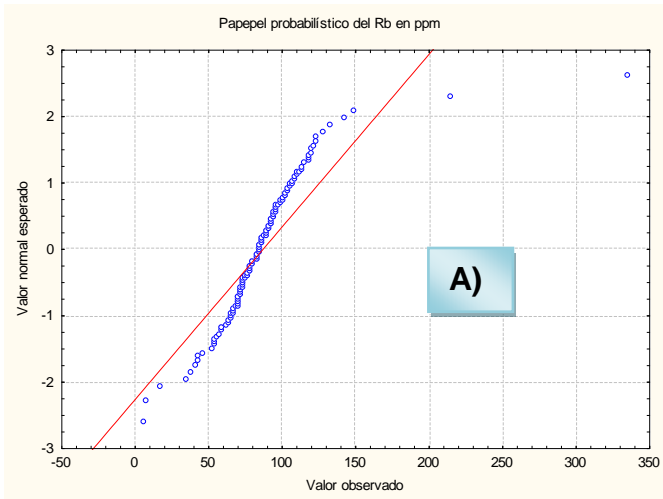
## **PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En esta sección son presentados y discutidos los resultados obtenidos para este proyecto de investigación. Los tópicos a discutir en esta sección del trabajo se desarrollaran en el siguiente orden: 1.- Análisis exploratorio de datos; 2.- Aplicación de estadística multivariada a los datos, empleando el método de análisis de factores, con el propósito de determinar las posibles asociaciones geoquímicas multielementales; 3.- Cálculo de los valores de fondo, valores altos con respecto al fondo y valores de umbral para cada una de las variables estudiadas (elementos químicos) a nivel regional y local; 4.- Generación de mapas geoquímicos y análisis espacial de las asociaciones geoquímicas multielementales encontradas, con el propósito de relacionar las mismas con la litología de la región.

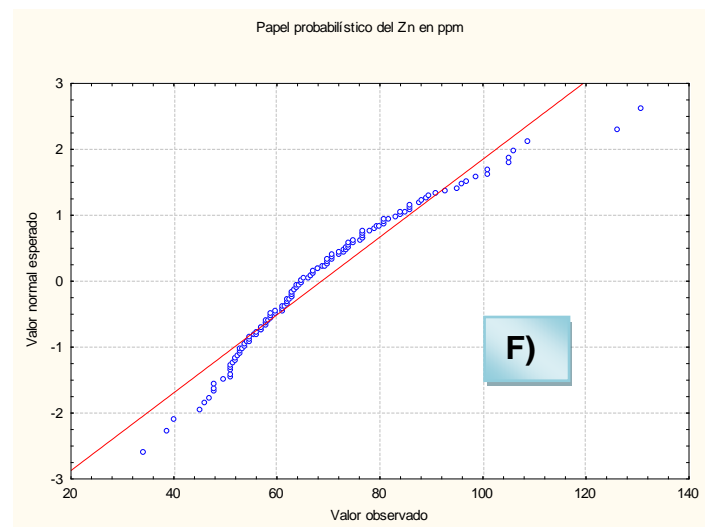
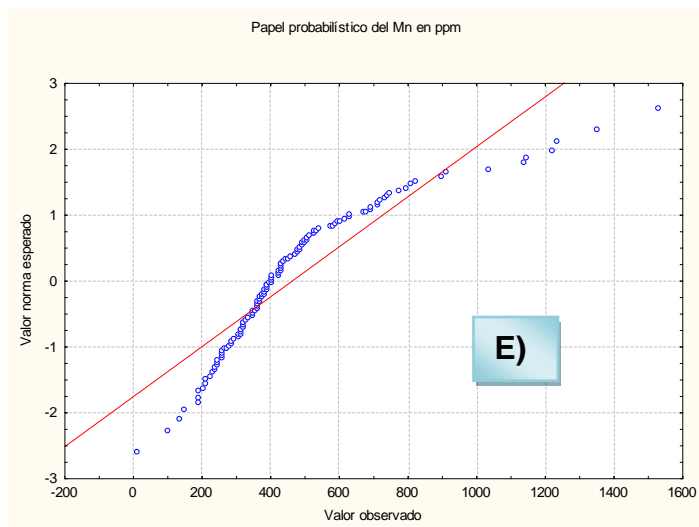
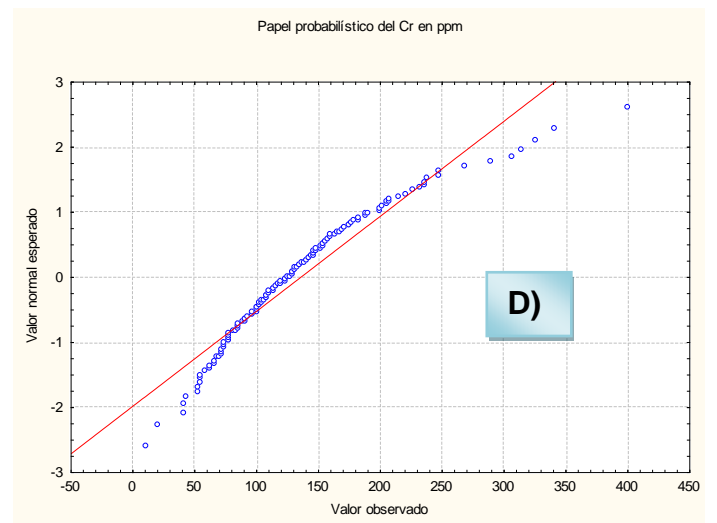
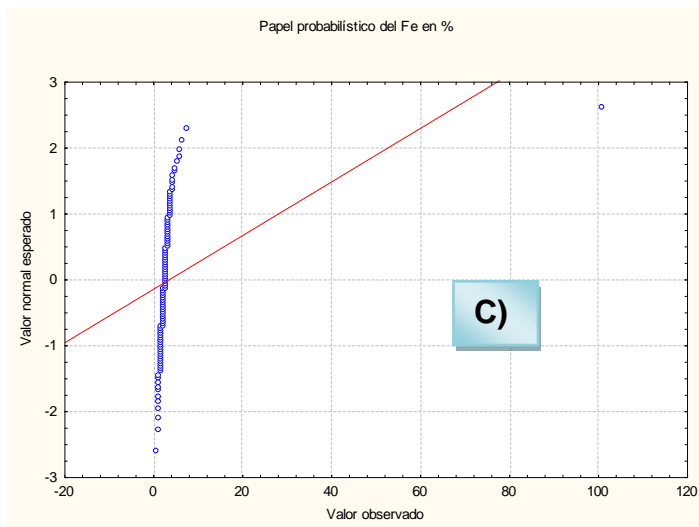
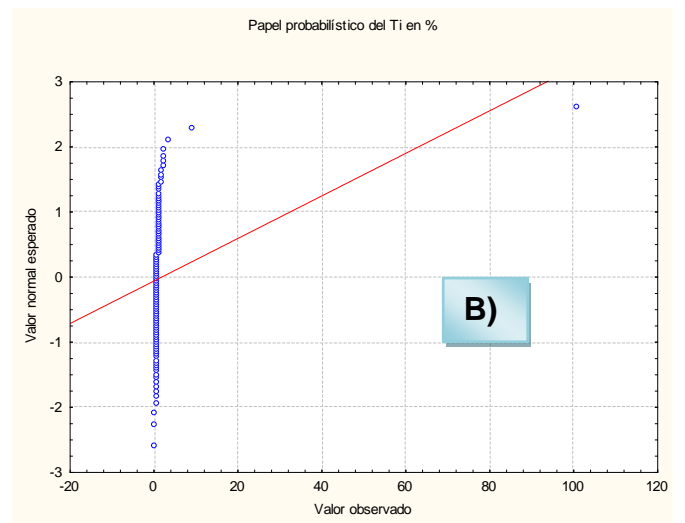
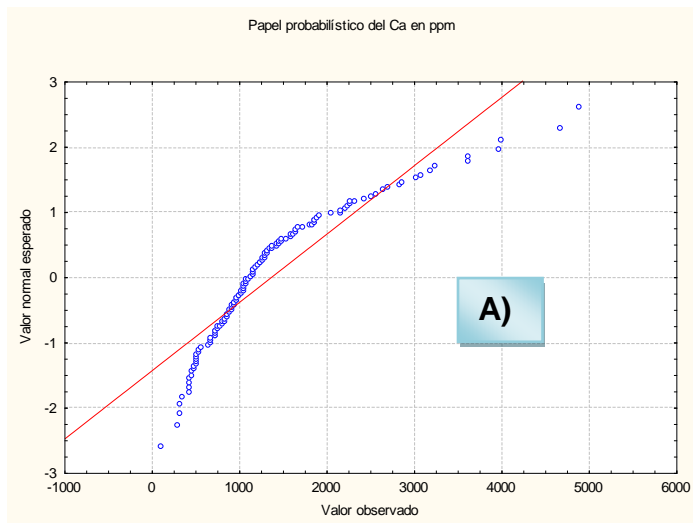
### **Análisis exploratorio de datos**

Los datos iniciales de cada variable objeto de estudio, fueron sometidos a un proceso de análisis exploratorio de datos, a través, del empleo de gráficos de papel probabilístico, histogramas y cajas gráficas (Filzmoser et al., 2009).

Los gráficos de papel probabilístico Figuras 6 y 7, permitieron inferir de forma cualitativa, que sólo los datos correspondientes a las variables Y y Sr aparentemente presentaban una distribución normal. La inferencia expuesta anteriormente, está basada en que los gráficos probabilísticos de ambas variables (itrio y estroncio), los cuales muestran una tendencia casi lineal a diferencia de los gráficos correspondientes al resto de variables estudiadas. La tendencia a la no linealidad mostrada por cada una de las variables, a excepción del itrio y estroncio, es asociada a la presencia de posibles distribuciones multimodales y valores atípicos y extremos, encontrados en el conjunto de datos de la mayoría de los atributos químicos estudiados, los cuales afectan la distribución de los datos, alejándolos de una distribución normal.



**Figura 6.** Graficos probabilísticos de: A) Rb, B) Sr, C) Y, D) Zr, E) Nb, F) Cu y G) K

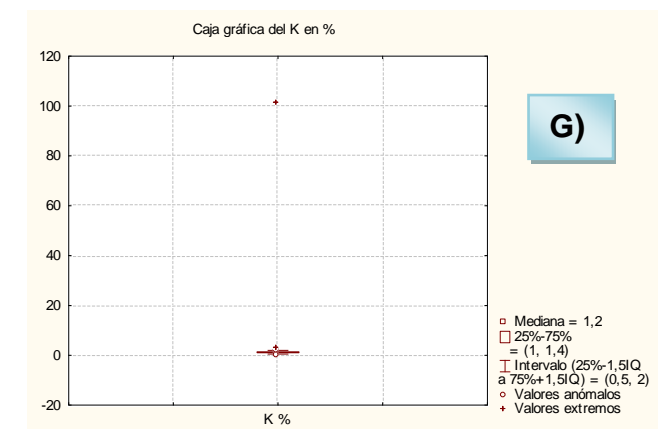
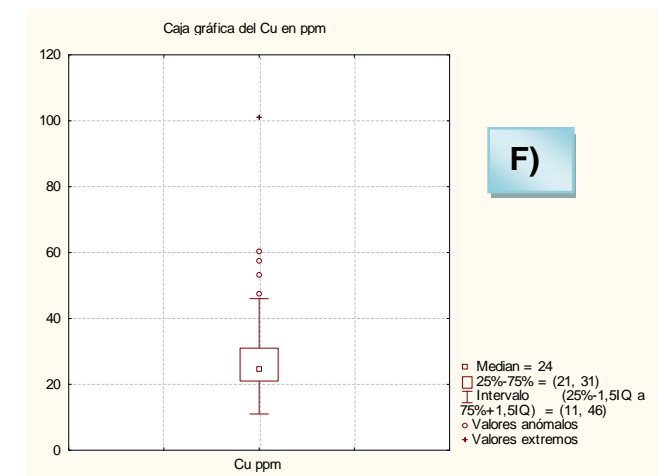
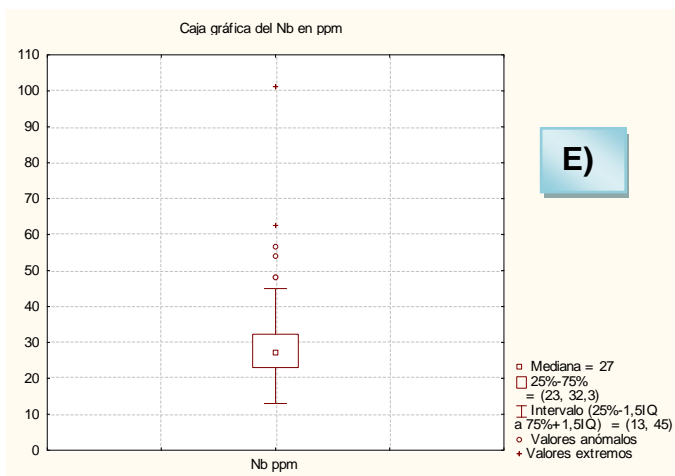
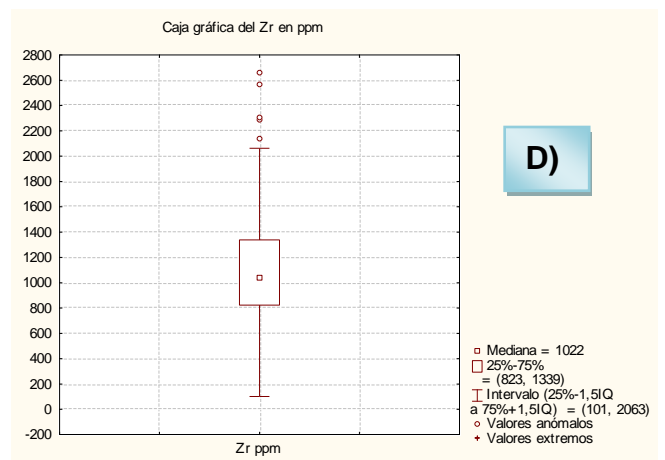
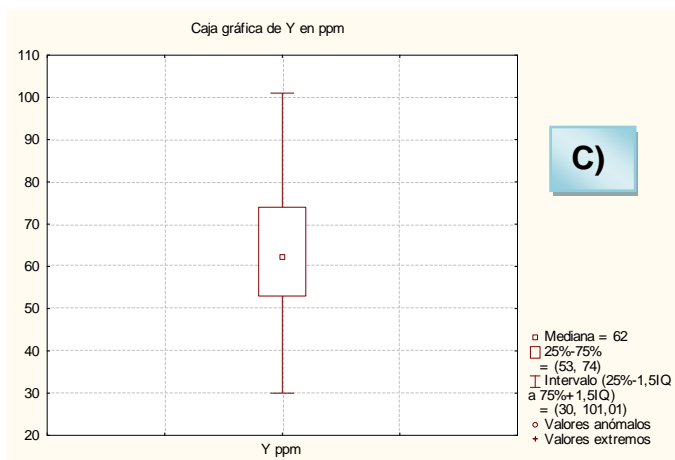
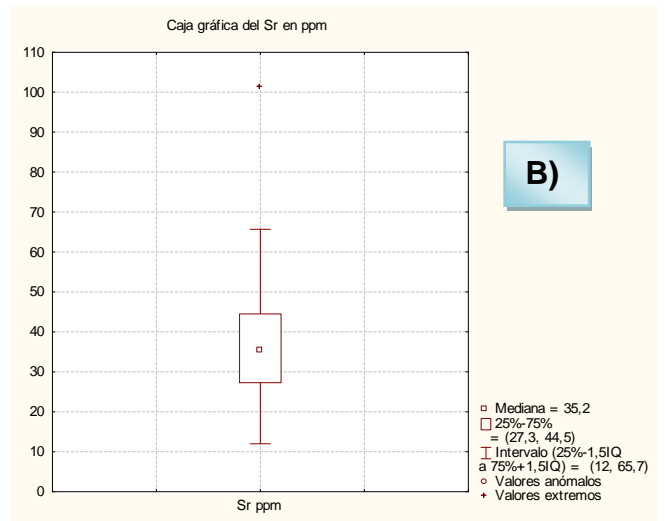
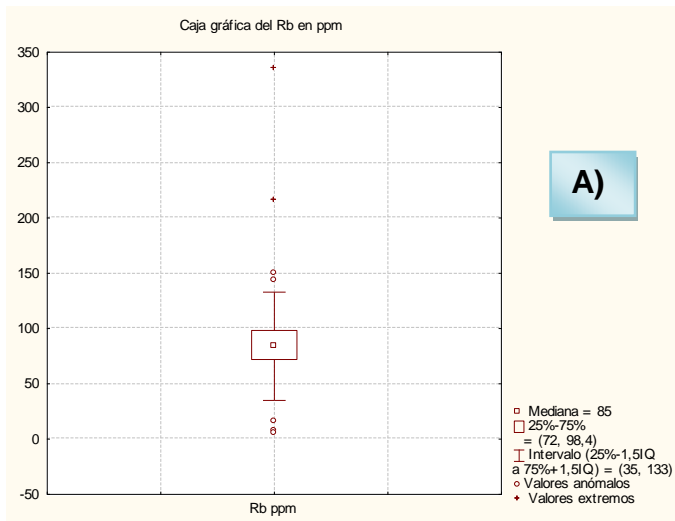


**Figura 7.** Graficos probabilísticos de: A) Ca, B) Ti, C) Fe, D) Cr, E) Mn y F) Zn

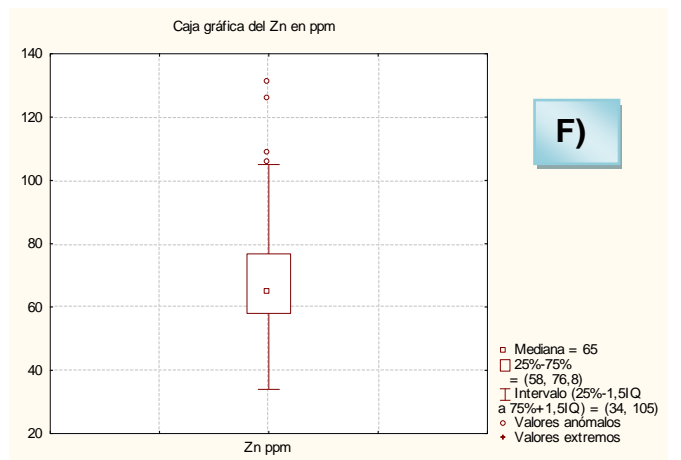
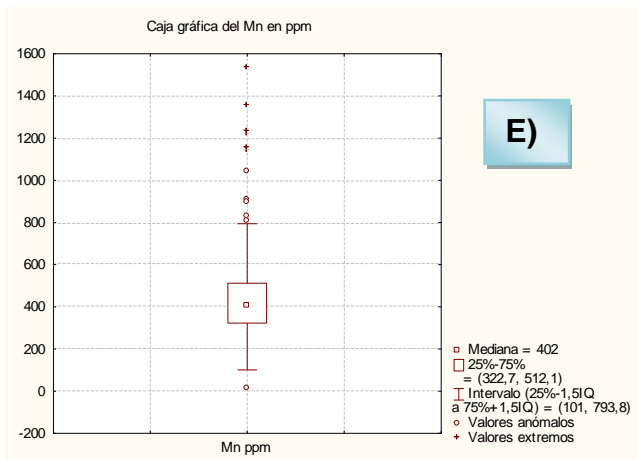
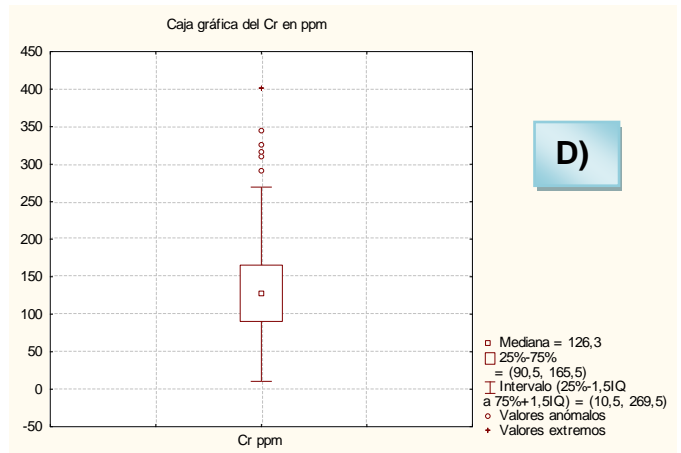
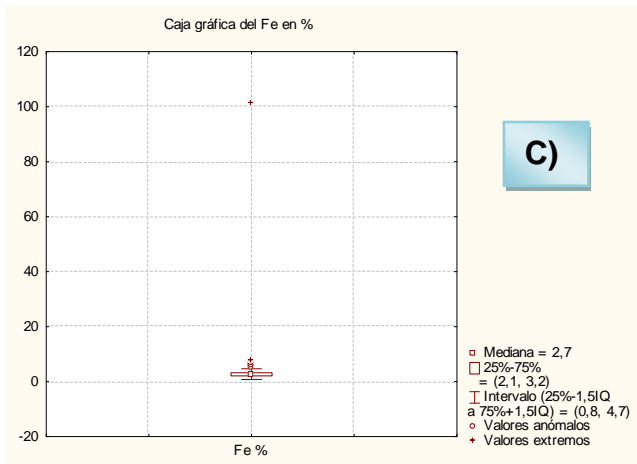
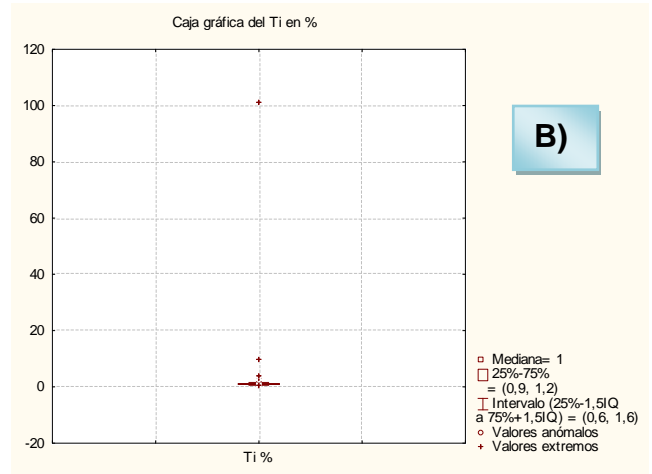
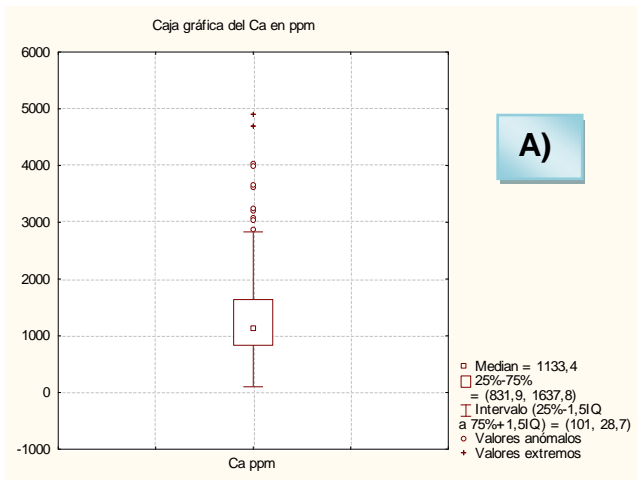
Reimann et al. (2005), señalan que en la mayoría de los casos, las distribuciones para datos de elementos mayoritarios y traza, son más cercanas a distribuciones con un comportamiento lognormal que normal. Debido a ésto, los autores destacan que el empleo herramientas gráficas, tales como, histogramas y cajas gráficas en el análisis exploratorio de datos, permite identificar valores anómalos e inferir el tipo de distribución presente en los datos.

Las cajas gráficas, Figuras 8 y 9, muestran que la distribución de los datos no es simétrica para la mayoría de los atributos químicos estudiados, siendo notable una fuerte asimetría hacia la derecha, en la mayoría de los casos. Producto de dicha asimetría, los datos correspondientes a cada una de las variables tienden con mayor o menor intensidad, a un desplazamiento de la mediana del centro de la caja, así como una diferencia en la amplitud del rango intercuartílico. De lo expuesto anteriormente, solamente las variables Y y Sr muestran una distribución bastante simétrica de los datos, este comportamiento permite inferir que ambas variables, provienen de una distribución normal. Adicionalmente, fueron identificados algunos valores atípicos y extremos que en promedio no exceden al 4,65 % de los datos totales, para cada variable.

La interpretación geoquímica de las distribuciones observadas en el conjunto de datos, tanto sobre las cajas gráficas como los gráficos de papel probabilístico, evidencian la presencia de algún proceso natural que da lugar a este tipo de distribuciones, a su vez, la observación sobre dichos gráficos, permito la identificación de algunos valores anómalos. Estas observaciones, permiten inferir que el área objeto de estudio pude ser considerada, como un terreno con una alta potencialidad para la realización de estudios más detallados, con el propósito de localizar y delimitar mineralizaciones presentes.



**Figura 8.** Cajas gráficas de: A) Rb, B) Sr, C) Y, D) Zr, E) Nb, F) Cu y G) K



**Figura 9.** Cajas gráficas de: A) Ca, B) Ti, C) Fe, D) Cr, E) Mn y F) Zn.

La tendencia mostrada por la mayoría de las variables a la no normalidad, fueron corroboradas por medio de la prueba de hipótesis de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con el ajuste de probabilidades de Lilliefors. El estadístico “p” arrojado por dicha prueba Tabla 4; mostró valores de probabilidad menores a 0,05 para las todas las variables a excepción Y y Sr, cuyo valores de probabilidad fueron mayores a dicho valor, por lo tanto, se puede aceptar la hipótesis de que las distribuciones pertenecientes a los datos de las variables itrio y estroncio son normales, teniendo estas un valor de probabilidad “p” mayor a 0,20.

**Tabla 4.** Valor del estadístico “p” arrojado por la prueba de hipótesis de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con el ajuste de probabilidades de Lilliefors, para cada una de las variables iniciales.

Elementos	Valor p	Tipo de distribución	Elementos	Valor p	Tipo de distribución
Rb	<0,01	No es normal	Cu	<0,01	No es normal
Sr	>0,20	Normal	Ti	<0,01	No es normal
Y	>0,20	Normal	Fe	<0,01	No es normal
Zr	<0,01	No es normal	Cr	<0,01	No es normal
Nb	<0,01	No es normal	Mn	<0,01	No es normal
K	<0,01	No es normal	Zn	<0,01	No es normal
Ca	<0,01	No es normal			

El análisis exploratorio de datos, reflejó que la mayoría de las variables estudiadas no mostraban una distribución normal de probabilidad. La no normalidad de los datos, puede indicar la presencia de un tipo de distribución específica o la presencia de poblaciones múltiples, que generan este tipo de distribuciones (Reimann et al., 2005).

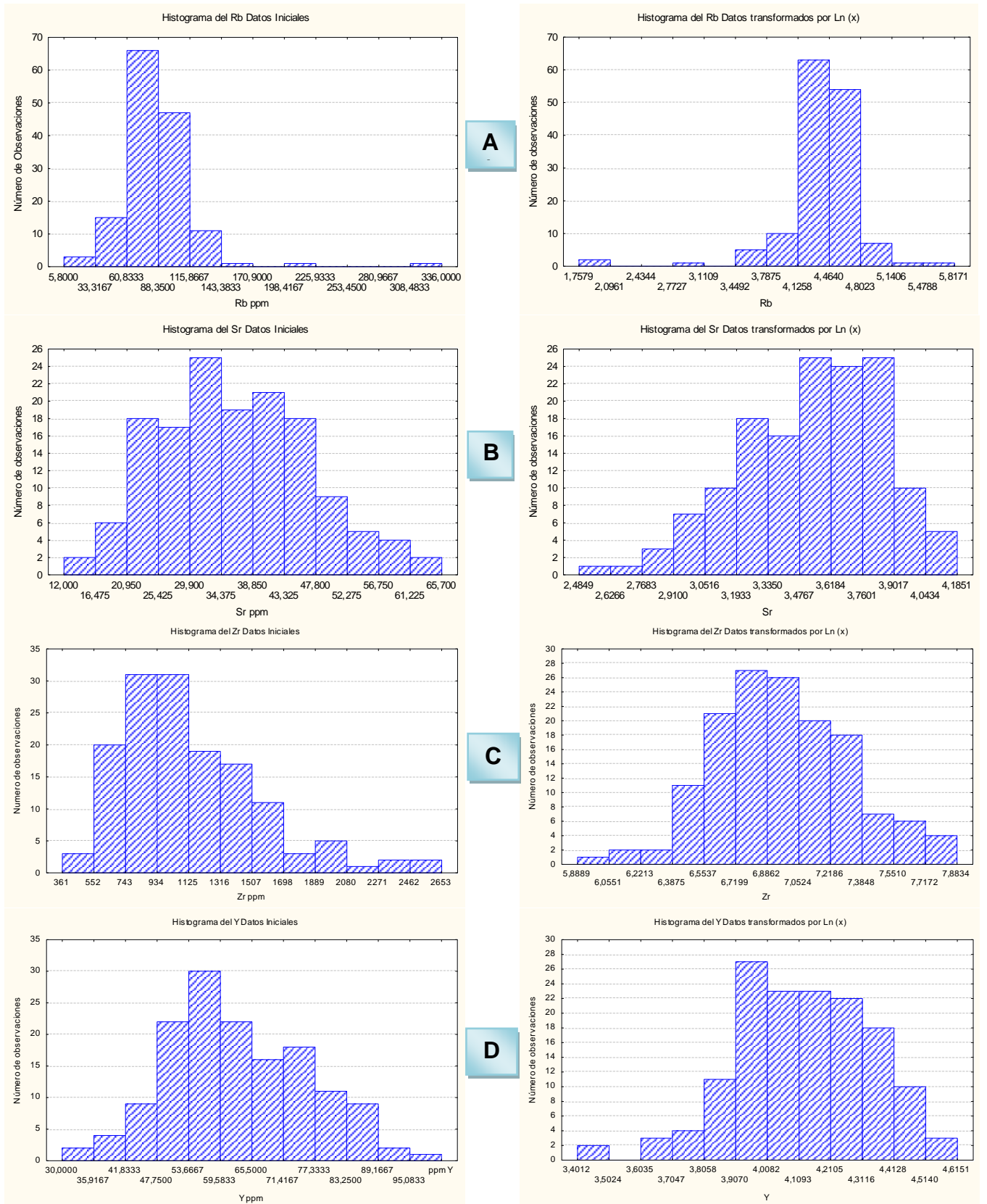
En general, es común observar tendencias con una fuerte asimetría hacia la derecha, para distribuciones probabilísticas de datos geoquímicos. Dicha tendencia, es una

característica distintiva de las distribuciones con un comportamiento logarítmico normal (Reimann y Filmozer, 1999).

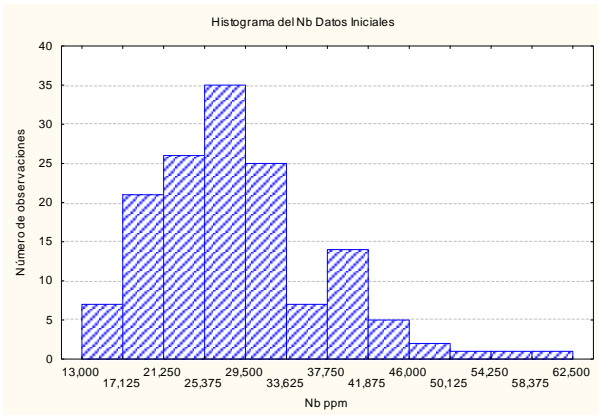
Una distribución logarítmica normal o lognormal, se presenta si una variable  $X$  tiene una distribución lognormal, es decir, si su logaritmo se distribuye normalmente, proporcionándose de esta manera, una curva de distribución normal (Miller y Miller, 2002). Basándose en esta definición, los datos originales fueron transformados empleando la función  $\ln(X)$  (Tabla C1 Apéndice C). Los datos log-transformados y los datos originales, se emplearon para la generación de histogramas, con el propósito de comparar de forma gráfica si la transformación lognormal de los datos, se aproximaba o no a una distribución con una forma Gaussiana.

Los histogramas correspondientes a las figuras 10, 11, 12 y 13 permitieron inferir de forma visual, que los datos log-transformados correspondientes a las variables Zr, Nb, Ca, Fe y Zn muestran una forma aproximada a la descrita por una curva gaussiana, por lo tanto, se puede inferir que la distribución presente para dichas variables, corresponden a una distribución logarítmica normal.

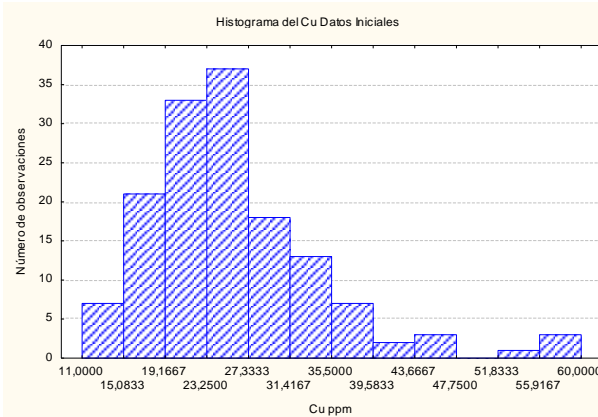
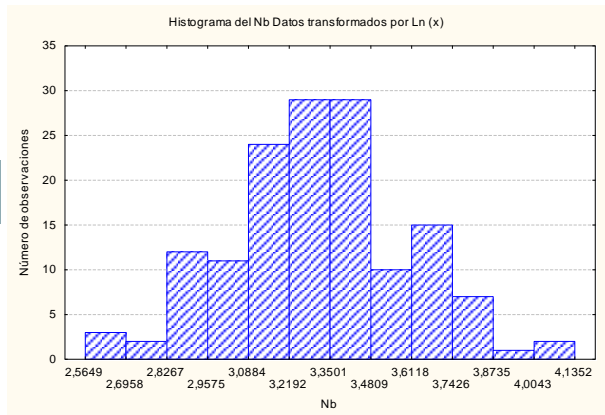
La transformación logarítmica aplicada a los datos iniciales, aparentemente no lograron normalizar todas las variables. Sin embargo, es notable que posterior a la transformación logarítmica de los datos, algunas variables como Cu, K y Ti aunque no mostraban de forma precisa si la curva generada presentaba o no, una tendencia cercana a la descrita por una distribución normal, sin embargo, dicha transformación de los datos permitió disminuir el sesgo mostrado por estas variables, logrando que las distribuciones de las mismas, tuvieran un comportamiento lo más cercano a una distribución lognormal.



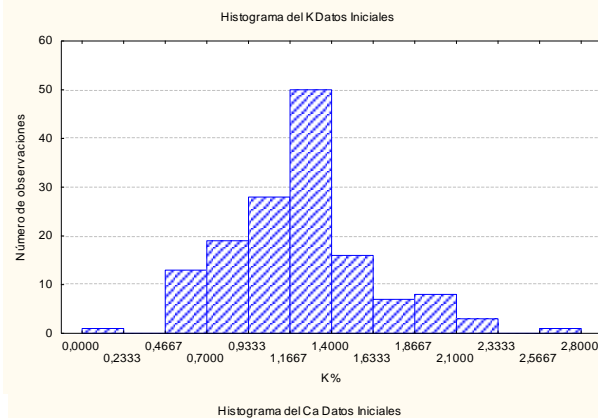
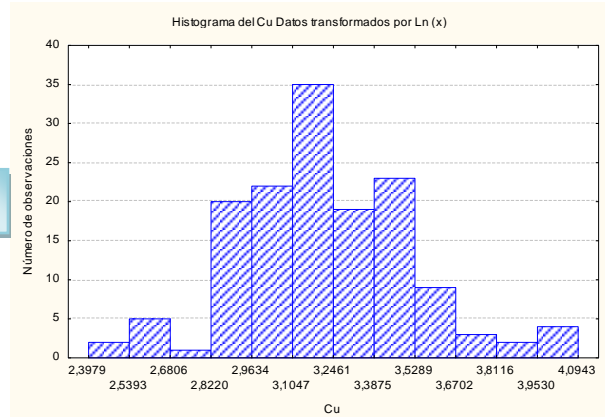
**Figura 10.** Histogramas para los datos iniciales y datos transformados por Ln(X): A) Rb, B)Sr, C)Zr y D) Y.



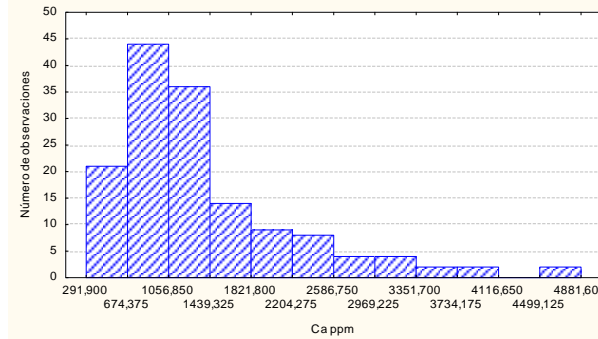
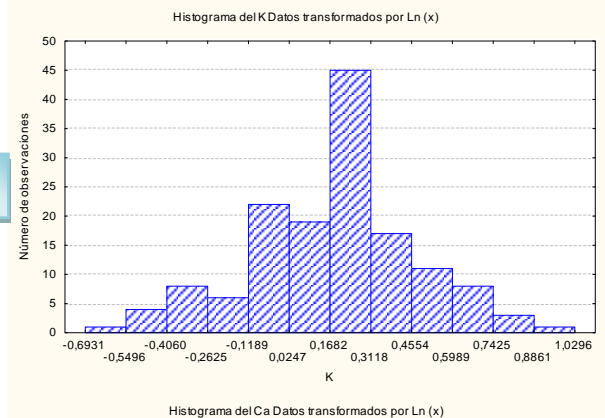
**A**



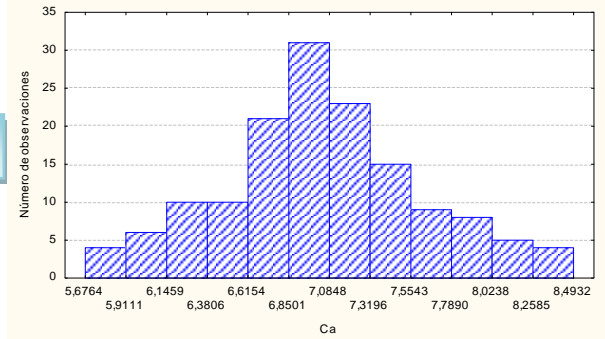
**B**



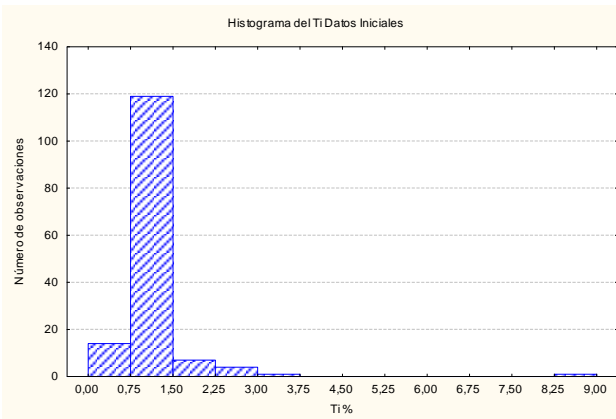
**C**



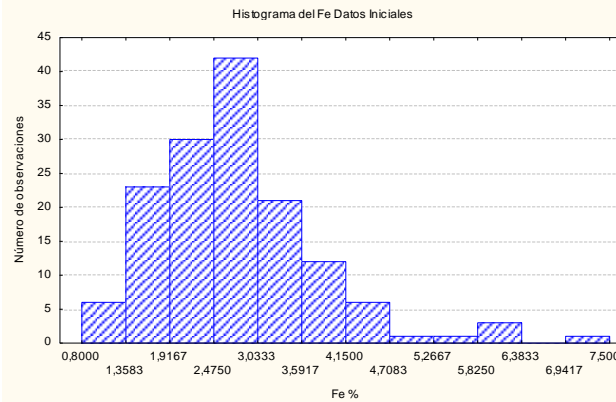
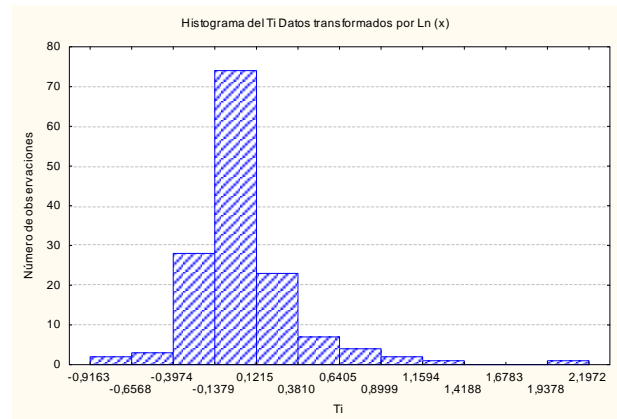
**D**



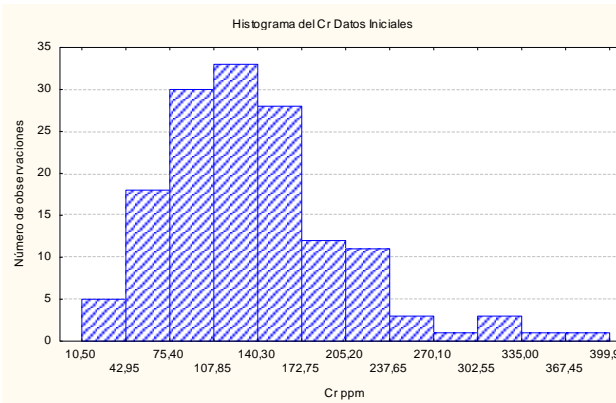
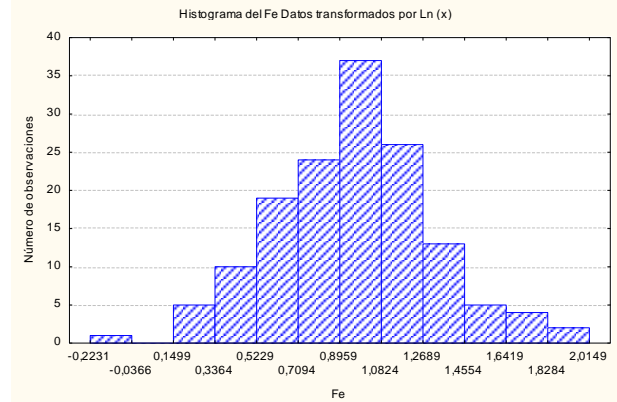
**Figura11.** Histogramas para los datos iniciales y datos transformados por Ln(X): A) Nb, B)Cu, C)K y D) Ca.



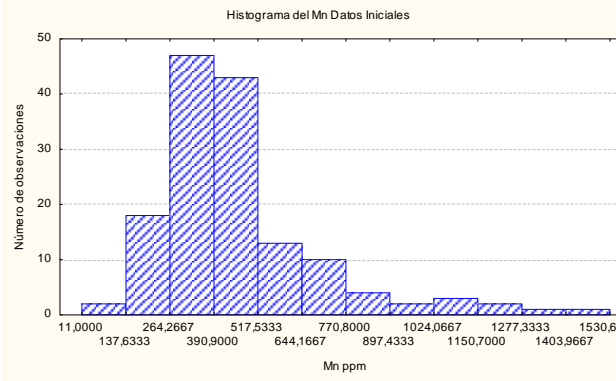
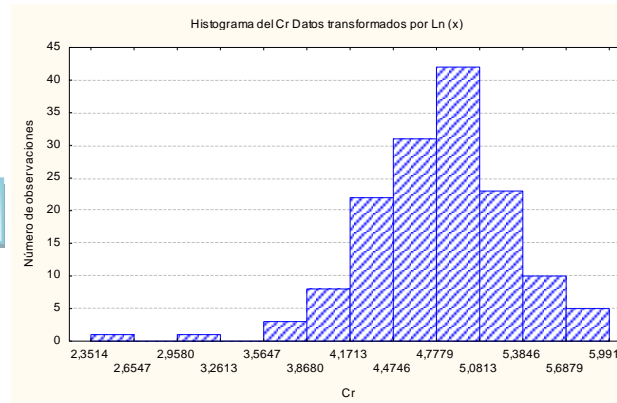
A



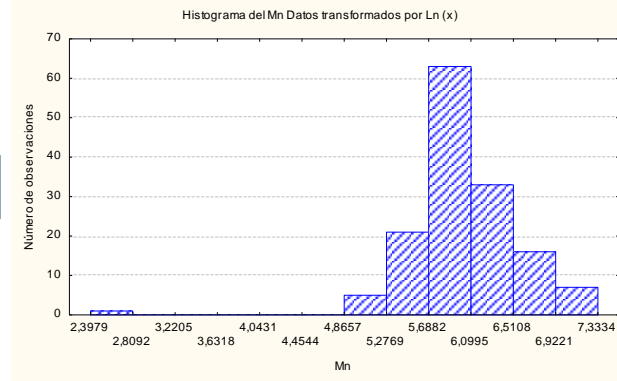
B



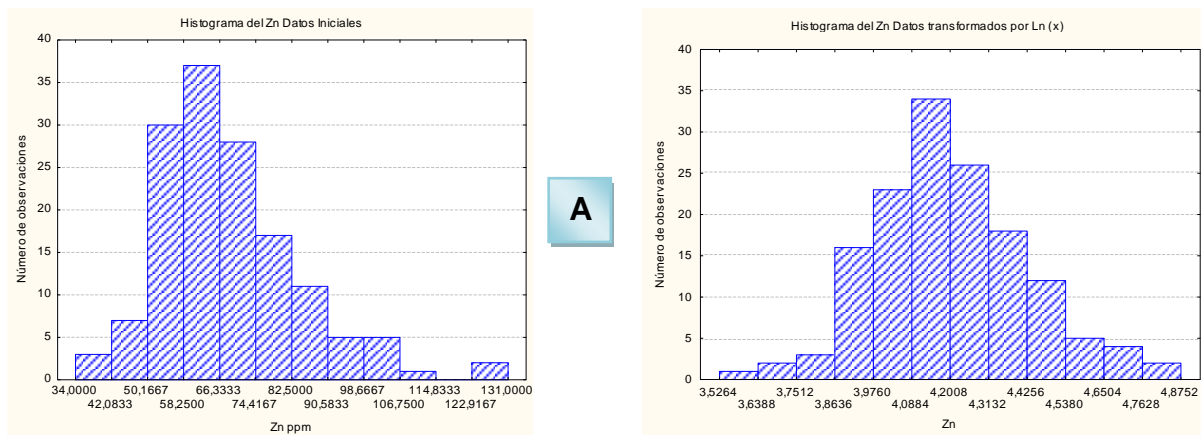
C



D



**Figura 12.** Histogramas para los datos iniciales y datos transformados por Ln(X): A) Ti, B) Fe, C) Cr y D) Mn.



**Figura 13.** Histogramas para los datos iniciales y datos transformados por  $\ln(X)$ : A) Zn.

Templ et al. (2008), indican que en la mayoría de los casos, la transformación logarítmica de los datos disminuye la asimetría mostrada por los mismos, a su vez, indican que una de las transformaciones más empleadas por sus óptimos resultados, es la transformación Box-Cox.

Partiendo de lo expuesto anteriormente, los datos iniciales fueron transformados empleando el método de Box-Cox (Tabla D1 Apéndice D), con el propósito de intentar normalizar las variables. Dicha transformación, sumada a la transformación logarítmica natural de los datos, permitieron confirmar por medio de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (Tabla 5), que las variables Zr, Nb, Ca, Fe, Cr y Zn presentan una distribución normal. A su vez, ambas transformaciones permitieron confirmar que las variables Rb, K, Cu, Ti y Mn presentan un tipo de distribución diferente a las antes mencionadas (distribución normal y distribución logarítmica normal), debido a que las mismas no pudieron ser normalizadas aplicando estos métodos de transformación.

Reimann y Filzmozer (1999), señalan que existe una alta probabilidad de que algunos conjuntos de valores altos o anómalos, no pertenecen solamente a una población dentro del conjunto de datos, pudiendo indicar con ello, una distribución regional o local de los elementos, que está siendo influenciada por más de un proceso natural o fuente, los cuales posibilitan inferir la presencia de una mineralización.

**Tabla 5.** Valor del estadístico “p” arrojado por la prueba de hipótesis de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para cada una de las variables las cuales no se consideraban con una distribución normal, transformadas con los métodos de Box-Cox y Ln.

Transformación Box-Cox			Transformación Ln		
Elementos	Valor p	Tipo de distribución	Elementos	Valor p	Tipo de distribución
Rb	<0,01	No es normal	Rb	<0,01	No es normal
Sr	>0,20	Normal	Sr	>0,20	Normal
Y	>0,20	Normal	Y	>0,20	Normal
Zr	>0,20	Normal	Zr	>0,20	Normal
Nb	<0,15	Normal	Nb	<0,20	Normal
K	<0,01	No es normal	K	<0,01	No es normal
Ca	>0,20	Normal	Ca	>0,20	Normal
Cu	<0,05	No es normal	Cu	<0,01	No es normal
Ti	<0,01	No es normal	Ti	<0,01	No es normal
Fe	>0,20	Normal	Fe	>0,20	Normal
Cr	>0,20	Normal	Cr	<0,20	Normal
Mn	<0,01	No es normal	Mn	<0,01	No es normal
Zn	>0,20	Normal	Zn	>0,20	Normal

Lo indicado anteriormente, toma una alta relevancia en el desarrollo de esta investigación, debido a que pudiera explicar la presencia de poblaciones multimodales en algunas de las variables estudiadas y con ello permitir un mejor entendimiento de los procesos geoquímicos que gobiernan una región poco explorada, como lo es el Alto Paragua.

El análisis exploratorio de los datos, permitió determinar el comportamiento de las variables, las cuales presentan en líneas generales distribuciones asimétricas que se alejaban de un comportamiento normal, por este motivo, se hace necesario el empleo de métodos multivariados que permitan relacionar las variables estudiadas y un método

estadístico robusto, para estimar los valores de fondo geoquímico y umbral de forma confiable.

### **Análisis estadístico multivariado**

En razón de establecer una correlación multielemental entre las variables químicas estudiadas, fue empleada la técnica de análisis multivariado, análisis de factores. Esta técnica permite reducir la dimensionalidad de una población de numerosos datos, a un número pequeño de relaciones, sin una pérdida significativa en la contribución de la varianza (Reimann et al., 2002).

La aplicación del método análisis de factores, fue desarrollado empleando los datos originales y los datos normalizados por las funciones matemáticas de Box.Cox y  $\ln(X)$ . Para este propósito, fueron extraídos un número máximo de factores de 1, 2, 3, 4 y 5 sin rotar y rotándolos, con las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax, como parte de un análisis exploratorio de factores, donde sería determinado el número de factores a extraer (Kieffer, 1988 en Hernández, 2009).

El método de análisis de factores, fue implementado dejando constante el valor de 1 para el parámetro del autovalor, debido a que este valor, es el recomendado por el programa STATISTIC 10.0, para este parámetro. A su vez, con el propósito de agrupar a las variables en cada uno de los distintos factores, el valor mínimo aceptado para la carga de factores (parámetro, que entre más cercano a la unidad en valor absoluto, mayor será el factor de correlación o covarianza entre las variables) fue de 0,70; valor recomendado por el programa STATISTIC 10.0, lográndose agrupar a las variables de esta manera, en cada uno de los distintos factores (Kieffer, 1998 en Hernandez 2009).

El número máximo de factores 3 y 4, aplicando o no las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax (tablas 6, 7, 8 y 9), explicaron un porcentaje acumulado de la varianza mayor a los niveles estimados como satisfactorios del 75% o 80% (Reimann et al.,

2002). Mientras que números máximos de factores mayores a 4 o igual al mismo valor, siempre arrojaron un número total de 4 factores, quienes explicaban un porcentaje de varianza cercano al 98%. A su vez, valores menores a 3, es decir, 1 y 2 explicaron porcentajes acumulados de la varianza, menor al 70%. Sin embargo, para propósitos de esta investigación, sólo serán expuestos 12 ensayos con los datos normalizados, empleando las funciones matemáticas de Box.Cox y Ln(X) , debido a que desde el punto de vista estadístico (mayor porcentaje de varianza explicada) y geoquímico (relación geoquímica entre los elementos) mostraron resultados que fueron considerados como satisfactorios.

**Tabla 6.** Porcentajes de varianza explicada para los datos normalizados por medio de la función

Rotación ortogonal	Varianza explicada en %				Elementos químicos		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Total	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Ln Sin Rotar	48,790780	20,142986	15,722321	84,656087	Ca, Fe, Cr, Sr	Zr	-
Ln Varimax	40,524679	25,80656	18,32485	84,656089	Ca, Fe, Cr, Mn	Zr, Y, Nb	Rb, K
Ln Quartimax	42,63936	24,32588	17,69085	84,656090	Ca, Fe, Cr, Mn	Zr, Y, Nb	Rb, K

Ln(X), empleando un coeficiente numérico para un máximo de factores igual a 3, sin aplicar y aplicando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax.

**Tabla 7.** Porcentajes de varianza explicada para los datos normalizados por medio de la función Box-Cox, empleando un coeficiente numérico para un máximo de factores igual a 3, sin aplicar y aplicando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax.

Rotación ortogonal	Varianza explicada en %				Elementos químicos		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Total	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Box-Cox Sin Rotar	49,03709	19,80579	16,0682	84,91108	Ca, Fe, Cr, Sr	Zr	-
Box-Cox Varimax	40,61407	26,10393	18,19307	84,91107	Ca, Fe, Cr, Mn, Ti	Zr, Y, Nb	Rb, K
Box-Cox Quartimax	42,74245	24,31879	17,84984	84,91108	Ca, Fe, Cr, Mn, Ti	Zr, Y, Nb	Rb, K

**Tabla 8.** Porcentajes de varianza explicada para los datos normalizados por medio de la función Ln (X), empleando un coeficiente numérico para un máximo de factores igual a 4, sin aplicar y aplicando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax.

Rotación ortogonal	Varianza explicada en %					Elementos químicos			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Total	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Ln Sin Rotar	48,79078	20,14299	15,72232	11,04416	95,70025	Sr,Ca, Fe, Cr	Zr	-	Cu
Ln Varimax	39,36375	26,15597	17,55398	12,62655	95,70025	Ca, Fe, Cr, Mn	Zr, Y, Nb	Rb, K	Cu
Ln Quartimax	42,00572	24,64476	17,06994	11,97983	95,70025	Ca, Fe, Cr, Mn	Zr, Y, Nb	Rb, K	Cu

**Tabla 9.** Porcentajes de varianza explicada para los datos normalizados por medio de la función Box-Cox, empleando un coeficiente numérico para un máximo de factores igual a 4, sin aplicar y aplicando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax.

Rotación ortogonal	Varianza explicada en %					Elementos químicos			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Total	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Box-Cox Sin Rotar	49,03709	19,80579	16,0682	12,4692	97,38028	Ca, Fe, Cr, Mn, Ti	Zr, Y, Nb	Rb, K	Cu
Box-Cox Varimax	39,16843	26,47979	17,8036	13,92847	97,38029	Ca, Fe, Cr, Mn, Ti	Zr, Y, Nb	Rb, K	Cu
Box-Cox Quartimax	42,07212	24,66545	17,56279	13,07993	97,38029	Ca, Fe, Cr, Mn, Ti	Zr, Y, Nb	Rb, K	Cu

Los ensayos realizados, permitieron establecer que los resultados óptimos, para la interpretación estadística y geoquímica de las variables, fueron los ensayos, donde el número máximo de factores introducidos en el programa estadístico STATISTIC 10.0, fue de 4 factores aplicando las rotaciones ortogonales Varimax y Quartimax a los datos transformados por Box-Cox, debido a que el porcentaje total explicado para la varianza de los factores (97,38029 %) fueron los más altos. Adicionalmente, estos ensayos relacionaron de mejor forma los atributos químicos estudiados, permitiendo realizar una correlación coherente entre los mismos, es decir, permitió realizar una interpretación geoquímica de las agrupaciones elementales encontradas.

Los valores obtenidos para la carga de factores (tabla 10 y 11) empleando las rotaciones ortogonales de Varimax y Quartimax, permitieron establecer 4 agrupaciones de elementos, en los siguientes factores: Factor 1 (Ca, Fe, Cr, Mn, Ti), Factor 2 (Zr, Y,

Nb), Factor 3 (K, Rb) y Factor 4 (Cu). Es importante señalar que solamente las variables Zn y Sr, no presentaron un valor superior a 0,70 en los resultados arrojados por la carga de los factores, por lo tanto, no se encuentran reflejados dentro de ninguno de los factores obtenidos. Sin embargo, dichas variables fueron relacionadas con el Factor 1.

**Tabla 10.** Valores obtenidos para la carga de factores, empleando la rotación ortogonal Varimax (en rojo, los valores mayores a 0,70 en valor absoluto).

Elementos	Factor	Factor	Factor	Factor
Rb ppm	-0,344665	-0,133337	<b>-0,822898</b>	0,139170
Sr ppm	0,590230	0,326813	0,001038	0,284708
Y ppm	-0,176810	<b>-0,860624</b>	-0,272474	0,055362
Zr ppm	-0,114430	<b>-0,813598</b>	0,302484	-0,072846
Nb ppm	-0,322715	<b>-0,814340</b>	0,039885	-0,021219
Cu ppm	0,119096	0,008399	0,037747	<b>0,917582</b>
K %	0,083243	0,091795	<b>-0,926532</b>	-0,132716
Ca ppm	<b>0,750749</b>	0,378905	0,155329	-0,023885
Ti %	<b>0,753470</b>	0,037957	0,123386	-0,213414
Fe %	<b>0,881011</b>	0,179597	-0,017886	0,214113
Cr ppm	<b>0,775978</b>	0,193357	-0,063175	0,374219
Mn ppm	<b>0,842907</b>	-0,057793	0,003348	-0,296225
Zn ppm	0,591844	-0,222944	0,090713	0,139371

**Tabla 11.** Valores obtenidos para la carga de factores, empleando la rotación ortogonal Quartimax (en rojo, los valores mayores a 0,70 en valor absoluto).

Elementos	Factor	Factor	Factor	Factor
Rb ppm	-0,322413	-0,158183	<b>-0,831841</b>	0,110321
Sr ppm	0,537226	0,367085	0,016808	0,335548
Y ppm	-0,109451	<b>-0,871297</b>	-0,276713	0,039184
Zr ppm	-0,055286	<b>-0,819661</b>	0,299698	-0,084375
Nb ppm	-0,259510	<b>-0,835730</b>	0,031569	-0,050498
Cu ppm	0,036894	0,009903	0,040931	<b>0,924392</b>
K %	0,112313	0,100071	<b>-0,923990</b>	-0,122655
Ca ppm	<b>0,715461</b>	0,433019	0,175356	0,041842
Ti %	<b>0,760701</b>	0,094733	0,143675	-0,147121
Fe %	<b>0,843531</b>	0,242229	0,005820	0,290425
Cr ppm	<b>0,725507</b>	0,247046	-0,042298	0,440884
Mn ppm	<b>0,867023</b>	0,006646	0,026147	-0,221666
Zn ppm	0,589697	-0,180045	0,106775	0,189940

➤ Factor 1 (Ca, Fe, Cr, Mn, Ti)

El factor 1, contribuye aproximadamente con un 40% de la varianza total explicada y está conformado por elementos con comportamientos siderófilos o litófilos, como el Fe, Cr, Mn, Ti y Ca. Este factor refleja la contribución de minerales máficos a los sedimentos.

En las rocas ígneas la distribución del Cr aparece en las primeras etapas de cristalización magmática, asociada a rocas ricas en magnesio, tales como rocas oliviníferas y en menor proporción en piroxenitas, sustituyendo al Mg y al Fe, en los olivinos y piroxenos de hierro (Goldschmidt, 1970 en Hernández, 2009). Sin embargo, la principal fase mineral asociada al Cr, la constituye la cromita asociada a rocas ultramáficas. Por su parte el Fe, además de estar relacionado al Cr en la cromita, está asociado a minerales ferromagnesianos como olivinos y piroxenos; también puede encontrarse formando su propia fase mineral, como la magnetita  $Fe_3O_4$  (González, 1972). En rocas gabroides, es posible encontrar segregaciones importantes de óxidos de Fe y Ti (Grande, 2000).

Elementos de transición como el Ti tiende a precipitar principalmente como constituyente esencial del mineral ilmenita ( $FeTiO_3$ ) (González, 1972).

Otro elemento presente en el factor relacionado a minerales formadores de rocas, es el Ca. Éste está asociado principalmente a la plagioclasa cálcica, sin embargo el mismo, al igual que otros elementos presentes en este factor, como el Fe, Cr, Mn y Ti pueden formar parte de la composición química de los piroxenos (Klein y Hurlbut, 2003).

Por último, los elementos Zn y Sr aunque, no fueron considerados dentro del factor, pueden ser relacionados al mismo. El Sr es un elemento con un radio iónico similar al del Ca, permitiendo el reemplazo de un ion por otro en la estructura de la plagioclasa rica en calcio (Dill, 2011). Por su parte, el Zn un elemento calcófilo presenta un

comportamiento geoquímico distinto al de los elementos contenidos en el factor. No obstante, este elemento en rocas básicas, puede sustituir al Fe en la estructura de la magnetita (Beus y Grigorian, 1975).

➤ Factor 2 (Zr, Y, Nb)

El factor 2, contribuye aproximadamente con un 25% de la varianza total explicada y está conformado por elementos litófilos, como son el Y, Zr y Nb. Los elementos que conforman este factor están asociados a rocas alcalinas (Levinson, 1974), encontrándose en minerales complejos, que generalmente se distribuyen zonalmente en los cuerpos de dichas rocas, entre algunos minerales resaltan la columbita (mena de niobio), circonio (mena de circón), xenotima y monacita (menas de itrio) (González, 1972).

Usualmente las rocas alcalinas intrusivas ácidas, pueden caracterizarse por presentar asociaciones multielementales de elementos litófilos entre los que destacan elementos de tierras, Y, Nb y Zr, presentando altas concentraciones de los mismos (Sørensen, 1974). Geoquímicamente, el Nb puede estar asociado a magmas alcalinos y calcoalcalinos. Dicho elemento puede encontrarse en la estructura de los minerales formadores de roca comunes, tales como, feldespatos o micas como la mica biotita, donde el niobio puede intercambiarse con elementos como el titanio en la estructura de las micas (Dill, 2011).

Otro elemento dentro del factor es el Zr. Este elemento es común dentro de una gran variedad de rocas ígneas como son las rocas magmáticas alcalinas, basálticas alcalinas y rocas nefelínicas (Dill, 2011). El Zr puede estar formando su propia fase mineral como circón ( $ZrSiO_4$ ), en rocas graníticas (González, 1972).

El-Makkey (2011), señala que la asociación multielemental de Y, Zr y Nb, puede ser atribuida principalmente a minerales accesorios, que pueden estar asociados a alteraciones hidrotermales particularmente, en áreas mineralizadas; a su vez, los autores indican que el enriquecimiento de estos elementos refleja la inmovilidad de los mismos durante, los procesos de alteración.

➤ Factor 3 (K, Rb)

El factor 3, contribuye aproximadamente con un 17,5% de la varianza total explicada y está conformado por las variables K y Rb, cuyos radios iónicos y cargas son similares.

El K es un elemento relativamente abundante, que forma parte esencial de minerales comunes en las rocas, como son el feldespato potásico y las micas. El rubidio, cuya abundancia relativa, Rb/K es de 1/250, no forma un mineral propio, si no que se encuentra reemplazando al potasio en minerales como los citados anteriormente. La diferencia de tamaños entre el Rb ( $r=1,45 \text{ \AA}$ ) y el potasio ( $r=1,33 \text{ \AA}$ ), aunque pequeña, es fundamental cuando la mica y el feldespato potásico cristalizan simultáneamente y donde el lugar disponible para el catión es algo mayor que en el feldespato (González, 1972).

Entre los feldespatos potásicos más comunes destaca la ortoclasa ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), que es un componente mineral importante de los granitos, granodioritas y sienitas que han enfriado a moderada profundidad y con bastante rapidez. En granitos y sienitas enfriados más lentamente el feldespato potásico característico es la microclina ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ). En rocas ígneas extrusivas como riolitas y traquitas el feldespato encontrado es la sanidina (K, Na)  $\text{AlSi}_3\text{O}_8$ .

➤ Factor 4 (Cu)

El factor 4, contribuye aproximadamente con un 13,5% de la varianza total explicada y está conformado sólo por el elemento Cu. El porcentaje explicado para la varianza es mayor a un 10% y el número obtenido para la carga de factores cercano a la unidad. Desde la perspectiva estadística, los criterios para la toma del factor como válida, sugieren que no se debe descartar el mismo. Geoquímicamente, el Factor 4 puede indicar que el cobre puede estar asociado a una mineralización de carácter local.

El promedio de cobre en la corteza es de 58 ppm, sin embargo, el valor promedio estimado para esta variable, en la cuenca hidrográfica estudiada, es alrededor de 30 ppm. Según esto, es posible inferir que el Cu en las muestras de sedimentos empleadas para esta investigación, está asociado a minerales accesorios en las rocas fuentes, como la calcopirita.

**Cálculo de los valores de fondo, valores altos y valores de umbrales para cada una de las variables estudiada**

Estimar el intervalo de valores de fondo e identificar anomalías para cada uno de los elementos objeto de estudio, con el propósito de delimitar e identificar acumulaciones minerales de interés económico, es uno de los principales objetivos de un programa de prospección geoquímica de minerales metálicos (Levinson, 1974).

Reimann et al. (2005), indican la importancia de estudiar la distribución de los datos, para un mejor entendimiento de los mismos y de esta forma estimar el porcentaje de valores anómalos presentes, con el objetivo de aplicar un procedimiento adecuado en la estimación del intervalo de valores de fondo. A su vez, los autores señalan que en la actualidad existen amplia variedad de métodos para estimar los valores de fondo y umbral, entre los cuales destacan el método de mediana  $\pm 2MAD$  y cajas gráficas.

Los porcentajes estimados de anomalías (valores atípicos y valores extremos) detectadas empleando los métodos de cajas gráficas y mediana  $\pm$  2MAD, se encuentran reflejados en la (Tabla 12), donde es apreciable que el porcentaje de anomalías encontradas para todas las variables empleando el método de cajas gráficas, es menor al 10%, a su vez, los porcentajes de anomalías estimadas empleando el método de mediana  $\pm$  2MAD, para algunas variables, supera dicho porcentaje.

**Tabla 12.** Porcentaje (%) de anomalías detectadas empleando los métodos de cajas gráficas y MAD.

Elementos	Porcentaje (%) de anomalías detectadas empleando el método de cajas gráficas	Porcentaje (%) de anomalías detectadas empleando el método de MAD
Rb	3,43	4,11
Sr	0,69	6,85
Y	0,69	8,22
Zr	4,11	9,59
Nb	4,11	11,64
K	5,48	10,96
Ca	6,85	12,33
Cu	4,11	10,96
Ti	8,91	8,90
Fe	4,80	8,22
Cr	4,80	9,59
Mn	8,23	6,16
Zn	4,11	10,27

Los resultados obtenidos muestran que el método de cajas gráficas, puede ser considerado como un método óptimo para la estimación del intervalo de valores de fondo y valor de umbral de las variables estudiadas, debido a que dicho método puede ser aplicado con una alta confiabilidad, para porcentajes de valores anómalos desde

0% hasta un máximo del 15%. A su vez, los resultados obtenidos empleando el procedimiento de mediana  $\pm$  2MAD, incrementaron el número de valores anómalos encontrados en las variables, en comparación a los encontrados empleando el método de las cajas gráficas. Dicho procedimiento detectó un número de anomalías más elevado que el método de cajas gráficas, debido a que este método es más robusto en presencia de valores atípicos o extremos, por lo tanto, permite detectar mayor número de valores anómalos. No obstante, este método sólo puede ser implementado, cuando el número de anomalías detectadas en el análisis exploratorio previo es mayor al 15% (Reimann et al., 2005).

Reimann et al. (2005), señalan que en un estudio de exploración geoquímica la identificación de valores atípicos en los datos, toma un mayor interés que la identificación de valores extremos. Por lo tanto, es aceptable el empleo de un procedimiento como mediana  $\pm$  2MAD a pesar del bajo porcentaje de valores anómalos detectados, con el propósito de obtener un mayor número de valores atípicos, que pueden dar indicios de una mineralización.

Basado en lo citado anteriormente y a pesar de los resultados óptimos encontrados aplicando los métodos de cajas gráficas, los valores de umbral para cada variable, fueron estimados empleando el método de mediana  $\pm$  2MAD, con el propósito de detectar un mayor número de valores atípicos, dentro del rango de valores altos. Sin embargo, la estimación del intervalo de valores de fondo fue realizado empleando un coeficiente de 1,5 debido a que al aplicar este coeficiente, se obtuvieron valores para el fondo geoquímico, análogos al del método de cajas gráficas, donde el rango intercuartílico concentra un 50% de los datos totales. Por último, la diferencia entre el límite superior del intervalo de valores de fondo y el umbral, fue definido como el intervalo de valores altos con respecto a los valores de fondo, pero menor al valor de umbral estimado para cada variable.

El intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para cada una de las variables estudiadas a nivel regional, empleando el método de mediana  $\pm$  2MAD, para cada elemento químico objeto de estudio, aparece en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) a nivel regional, para cada elemento químico objeto de estudio, empleando el método de mediana  $\pm$  2MAD.

Elementos	Valores de fondo		Valores altos		Umbral
Rb	54,69	115,31	115,31	125,41	125,41
Sr	21,8	48,2	48,2	52,61	52,61
Y	45,59	78,41	78,41	83,88	83,88
Zr	540,35	1503,65	1503,65	1664,2	1664,2
Nb	17,34	36,66	36,66	39,89	39,89
K	0,78	1,62	1,62	1,76	1,76
Ca	257,87	2008,94	2008,94	2300,78	2300,78
Cu	14,82	33,18	33,18	36,24	36,24
Ti	0,56	1,44	1,44	1,58	1,58
Fe	1,58	3,83	3,83	4,2	4,2
Cr	53,52	199,08	199,08	223,34	223,34
Mn	535,69	665,69	665,69	865,93	865,93
Zn	47,12	82,88	82,88	88,84	88,84

Una vez, estimado a nivel regional, el intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral a nivel regional, se procedió a realizar la misma estimación, pero a cada uno de los ríos, donde fueron tomadas las muestras. Lo citado anteriormente, fue realizado con el propósito de hacer algunas comparaciones, entre el fondo regional y local de las variables, debido al grado de dilución presente en la cuenca.

El intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para cada una de las variables estudiadas, en los ríos Carún, Paragua, Marí, Antabará y Curutú aparecen en las tablas 14, 15, 16 y 17.

**Tabla 14.** Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Carún, para cada elemento químico objeto de estudio, empleando el método de mediana  $\pm$  2MAD.

Elemento	Valores de fondo		Valores altos		Umbral
ppm Rb	55,68	126,52	126,52	160,55	160,55
ppm Sr	21,67	44,33	44,33	48,10	48,10
ppm Y	54,63	84,57	84,57	89,57	89,57
ppm Zr	712,00	1633,00	1633,00	1786,50	1786,50
ppm Nb	20,32	37,98	37,98	40,92	40,92
ppm Cu	16,86	29,84	29,84	32,00	32,00
%K	0,81	1,79	1,79	1,95	1,95
ppm Ca	180,22	1922,58	1922,58	2212,97	2212,97
%Ti	0,45	1,55	1,55	1,73	1,73
%Fe	1,32	3,68	3,68	4,08	4,08
ppmCr	32,96	187,04	187,04	212,71	212,71
ppm Mn	187,09	770,91	770,91	868,22	868,22
ppm Zn	54,38	93,62	93,62	100,16	100,16

**Tabla 15.** Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Paragua, para cada elemento químico objeto de estudio empleando, el método de mediana  $\pm$  2MAD.

Elemento	Valores de fondo		Valores altos		Umbral
ppm Rb	52,57	105,43	105,43	114,24	114,24
ppm Sr	22,04	51,16	51,16	140,50	140,50
ppm Y	41,41	76,59	76,59	82,45	82,45
ppm Zr	545,24	1384,76	1384,76	1524,68	1524,68
ppm Nb	16,73	37,27	37,27	40,70	40,70
ppm Cu	13,23	34,77	34,77	38,37	38,37
%K	0,78	1,42	1,42	1,53	1,53
ppm Ca	257,42	2219,58	2219,58	2546,61	2546,61
%Ti	0,60	1,40	1,40	1,54	1,54
%Fe	1,66	3,74	3,74	4,08	4,08
ppmCr	67,03	194,97	194,97	216,30	216,30
ppm Mn	167,61	611,79	611,79	685,82	685,82
ppm Zn	43,63	80,37	80,37	86,50	86,50

**Tabla 16.** Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Marí, para cada elemento químico objeto de estudio, empleando el método de mediana  $\pm$  2MAD.

Elementos	Valores de fondo		Valores altos		Umbral
ppm Rb	49,17	84,23	84,23	90,07	90,07
ppm Sr	16,71	37,89	37,89	41,41	41,41
ppm Y	58,79	80,61	80,61	84,24	84,24
ppm Zr	1241,34	1996,66	1996,66	2122,54	2122,54
ppm Nb	24,91	39,09	39,09	41,46	41,46
ppm Cu	18,96	35,04	35,04	37,71	37,71
%K	0,46	1,14	1,14	1,26	1,26
ppm Ca	111,58	918,62	918,62	1053,13	1053,13
%Ti	0,54	1,06	1,06	1,14	1,14
%Fe	1,25	2,75	2,75	3,23	3,23
ppmCr	54,74	101,06	101,06	102,53	102,53
ppm Mn	190,79	435,81	435,81	476,64	476,64
ppm Zn	53,79	72,21	72,21	75,29	75,29

**Tabla 17.** Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Curutú, para cada elemento químico objeto de estudio, empleando el método de mediana  $\pm$  2MAD.

Elementos	Valores de fondo		Valores altos		Umbral
ppm Rb	65,88	78,13	78,13	80,17	80,17
ppm Sr	37,75	45,25	45,25	46,50	46,50
ppm Y	42,75	57,25	57,25	59,67	59,67
ppm Zr	499,63	1411,38	1411,38	1563,33	1563,33
ppm Nb	23,13	29,88	29,88	31,00	31,00
ppm Cu	21,25	28,75	28,75	30,00	30,00
%K	1,28	1,33	1,33	1,33	1,33
ppm Ca	1240,28	2729,53	2729,53	2977,73	2977,73
%Ti	1,20	1,40	1,40	1,43	1,43
%Fe	2,93	3,38	3,38	3,45	3,45
ppmCr	128,33	174,08	174,08	181,70	181,70
ppm Mn	386,53	559,28	559,28	588,07	588,07
ppm Zn	57,25	63,75	63,75	64,83	64,83

**Tabla 18.** Intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral (en ppm) para el río Antabará, para cada elemento químico objeto de estudio empleando, el método de mediana  $\pm$  2MAD.

Elementos	Valores de fondo		Valores altos		Umbral
ppm Rb	71,61	94,88	94,88	116,86	116,86
ppm Sr	21,76	46,93	46,93	54,99	54,99
ppm Y	48,14	64,41	64,41	68,81	68,81
ppm Zr	639,33	924,14	924,14	1242,89	1242,89
ppm Nb	18,02	23,52	23,52	29,64	29,64
ppm Cu	23,69	32,12	32,12	40,75	40,75
%K	0,98	1,59	1,59	1,96	1,96
ppm Ca	714,71	1160,45	1160,45	1578,95	1578,95
%Ti	0,81	1,19	1,19	1,26	1,26
%Fe	1,98	2,63	2,63	3,12	3,12
ppmCr	102,74	186,01	186,01	273,21	273,21
ppm Mn	308,19	386,91	386,91	478,08	478,08
ppm Zn	54,91	64,45	64,45	74,95	74,95

Los resultados obtenidos para cada elemento, permitieron identificar los valores más altos y bajos para el intervalo de valores fondo y valor de umbral de cada una de las variables estudiadas, para cada uno de los ríos tributarios con respecto a los valores estimados para el intervalo de valores fondo y valor de umbral a nivel regional.

El río Carún, presenta los valores más altos para el intervalo de valores fondo y valor de umbral en comparación a los valores estimados a nivel regional, para los elementos Rb, K, Y, Ti, Fe, Cr, Mn y Zn. Los primeros elementos (Rb, K, Y) son asociados a litologías graníticas y el resto de los elementos (Ti, Fe, Cr, Mn y Zn) a litologías máficas. Lo indicado anteriormente permite inferir, que el río Carún discurre por litologías tanto de carácter máfico como félsico.

Los elementos Nb y Zr presentan los valores más altos de umbral en comparación al umbral regional estimado, en el río Marí. Estos elementos son asociados al parecer un pequeño cuerpo intrusivo, de carácter ácido en el área del Caño Marí (Moreno et al., 1985).

El río Paragua, presenta los valores más altos para el intervalo de valores fondo y valor de umbral en comparación a los valores estimados a nivel regional, para los elementos Sr, Ca y Cu. Es importante reseñar que en general los valores estimados para el fondo y valor de umbral de la gran mayoría de los elementos en este río son los más bajos, sin embargo, hay zonas dentro del área que discurre este río que fue posible identificar varias anomalías de elementos asociados a diferentes litologías.

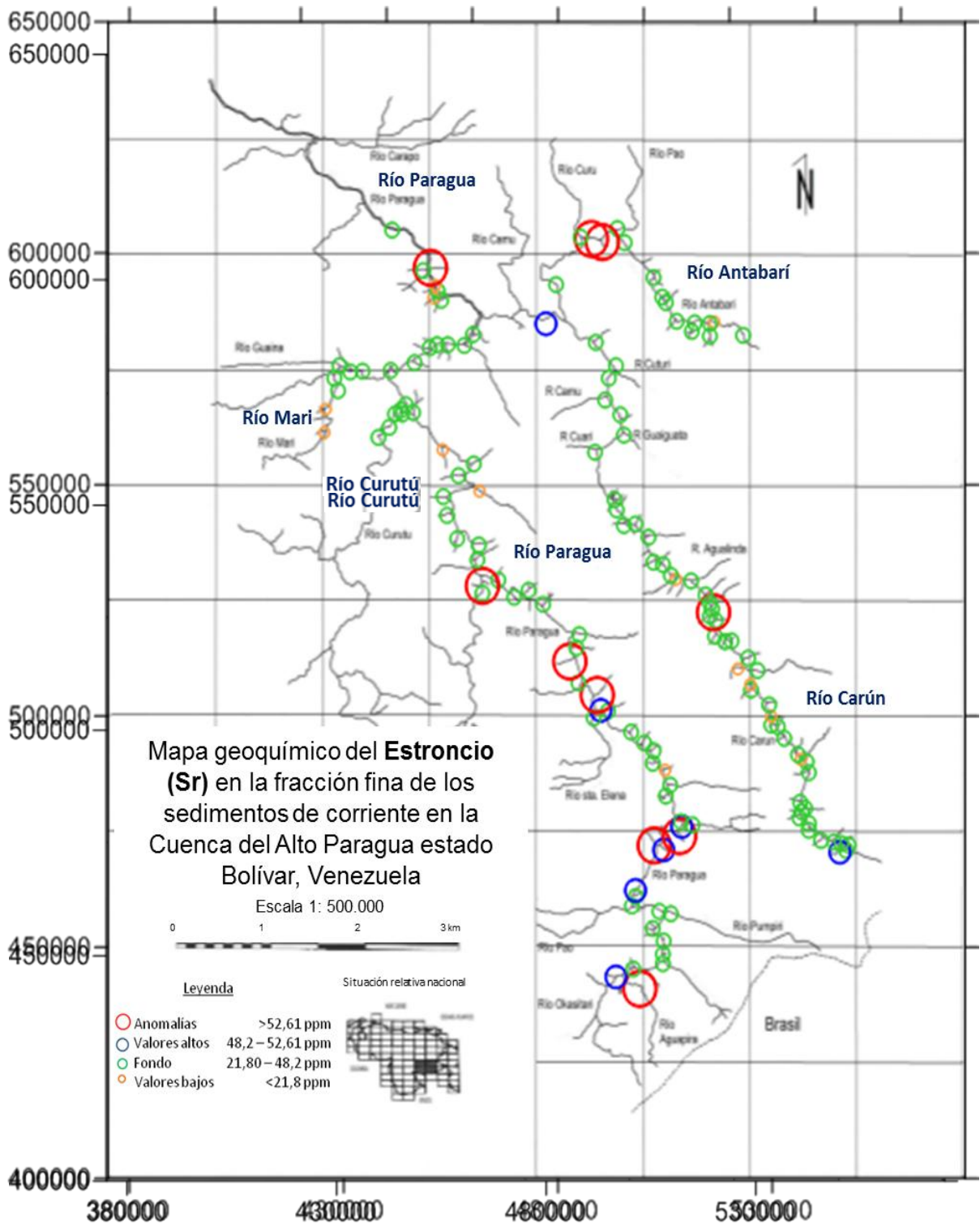
En última instancia, los valores estimados para el intervalo de valores de fondo, valores altos y valor de umbral, para cada una de las variables estudiadas a nivel regional, fueron graficados a una hoja cartográfica, basada en el mosaico de radar escala 1:25000 año 1979 de PDVSA S.A, para la cuenca hidrográfica del Alto Paragua.

### **Generación de mapas geoquímicos y análisis espacial de las asociaciones geoquímicas multielementales encontradas**

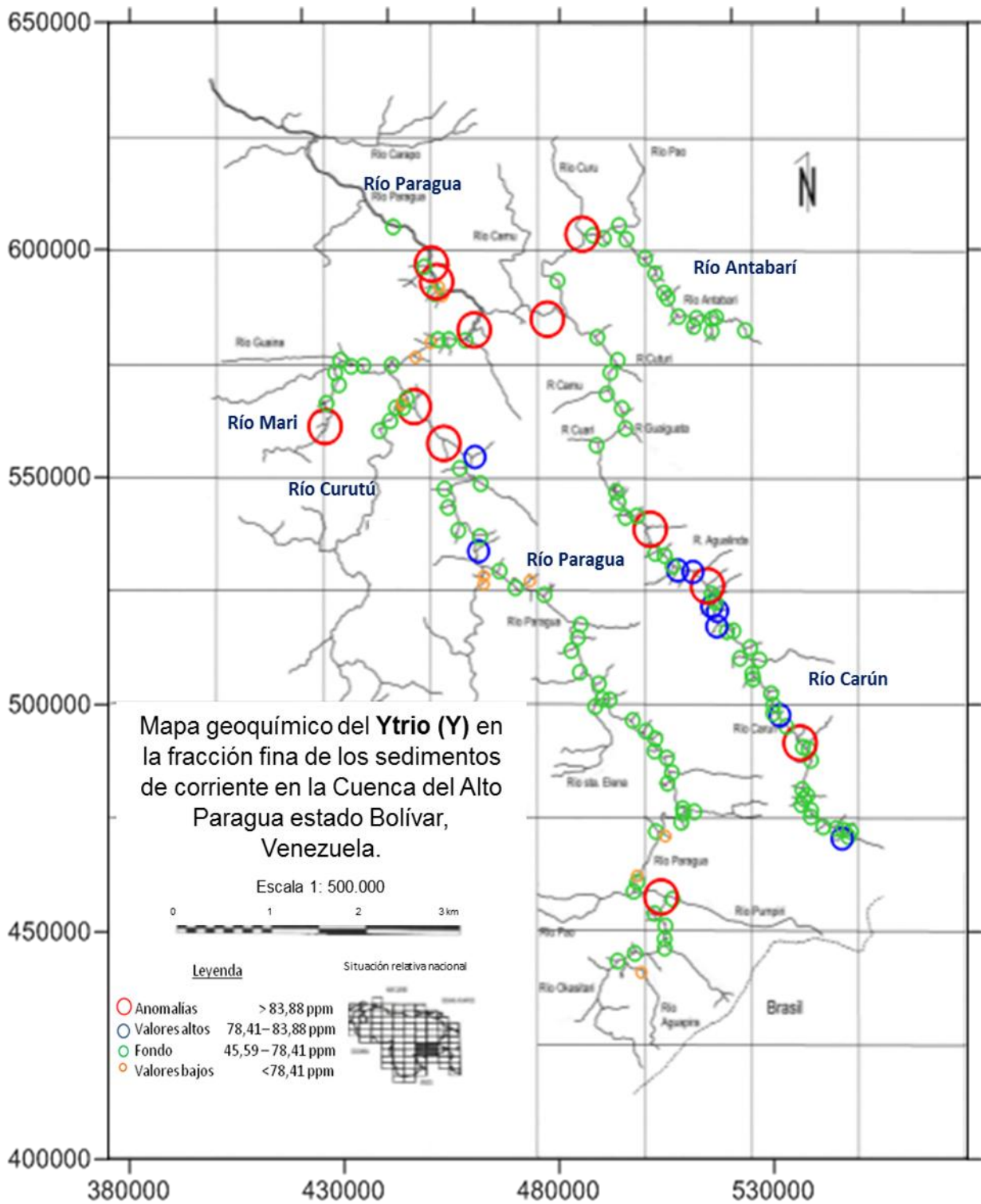
#### ➤ Mapas geoquímicos

Beus y Grigorian (1975), señalan que los mapas geoquímicos, son utilizados como una herramienta que permite evaluar la distribución de los elementos como indicadores de una mineralización.

Los mapas geoquímicos realizados a partir de los valores estimados para el intervalo de valores de fondo y umbral a nivel regional (Figuras 14-26), permitieron evaluar la distribución de las variables y relacionarlas con el entorno geológico de la región, estableciéndose un conjunto de zonas anómalas, que posiblemente estén relacionadas a mineralizaciones o depósitos minerales.

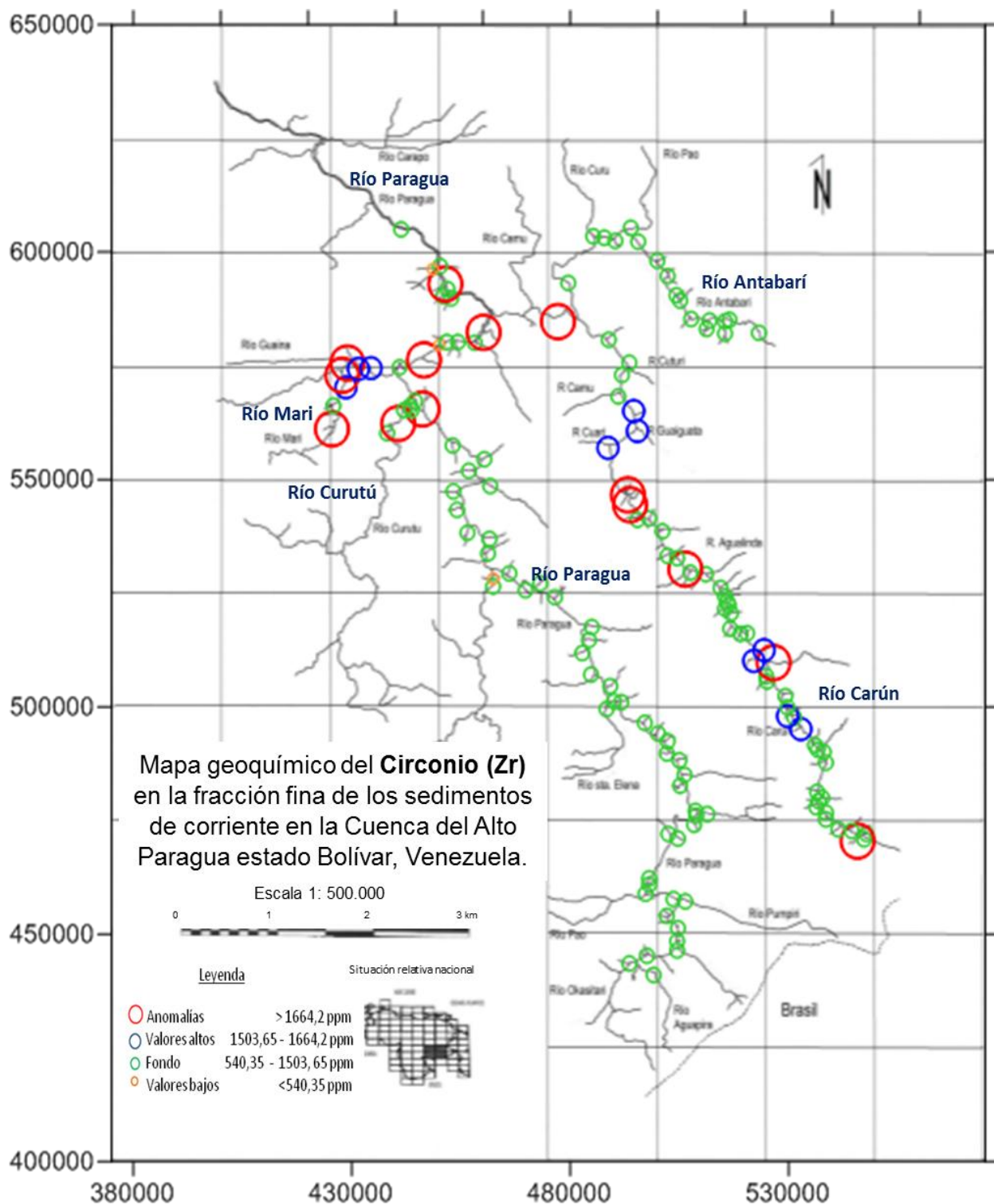


**Figura 14.** Mapa geoquímico del Rb, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la Cuenca del Alto Paragua.



**Figura 15.** Mapa geoquímico del Sr, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la Cuenca del Alto Paragua.

**Figura 16.** Mapa geoquímico del Y, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la Cuenca del Alto Paragua.



**Figura 17.** Mapa geoquímico del Zr, en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la Cuenca del Alto Paragua.



















## **Análisis espacial de las asociaciones geoquímicas multielementales encontradas**

La cartografía geoquímica realizada contribuyó a analizar las variaciones espaciales que presentaba la concentración de cada una de las variables, permitiendo identificar y delimitar cuatro zonas con cierta densidad de anomalías (Figura 27), para las variables estudiadas dentro de la cuenca y de esta forma, integrado la información obtenida, a partir de los mapas geoquímicos con los resultados obtenidos en análisis estadístico multivariado y el entorno geológico, fue posible inferir la presencia de probables zonas acumulaciones de minerales de los elementos estudiados.

### ➤ Zona I

La Zona I, corresponde geográficamente a los sedimentos recolectados en las nacientes de los ríos Paragua y Carún, en el extremo sur de la cuenca, cercano a los límites con Brasil. Esta zona presenta una alta densidad de anomalías y valores altos para los elementos agrupados en el Factor 1 (Ca, Ti, Fe, Cr, Mn) y los elementos Zn y Sr, con respecto al intervalo de valores de fondo estimado para cada uno de ellos. Estos valores altos y anómalos encontrados en la zona, fueron relacionadas a la presencia de un cuerpo máfico-ultramáfico de aproximadamente 120 km<sup>2</sup>, conformado por gabros alcalinos intrusivos en el Grupo Roraima (Moreno et al., 1985). Los resultados obtenidos coinciden con el análisis multivariado realizado (análisis de factores), donde el Factor 1 estaba conformado por estas variables, consideradas como indicadoras de litologías máficas.

Los valores anómalos y altos encontrados para los elementos hierro y titanio fueron asociados principalmente a minerales como la ilmenita, ilmeno-rutilo, hematita y magnetita reportados por Torres (1984) y Menéndez (1992). Por su parte, el Mn fue asociado a la estructura cristalina de la ilmenita como pirofinita (MnTiO<sub>3</sub>) reportado por Menéndez (1992), y a coberturas de óxidos de este elemento sobre minerales como ilmenita y hematita (Torres, 1984).

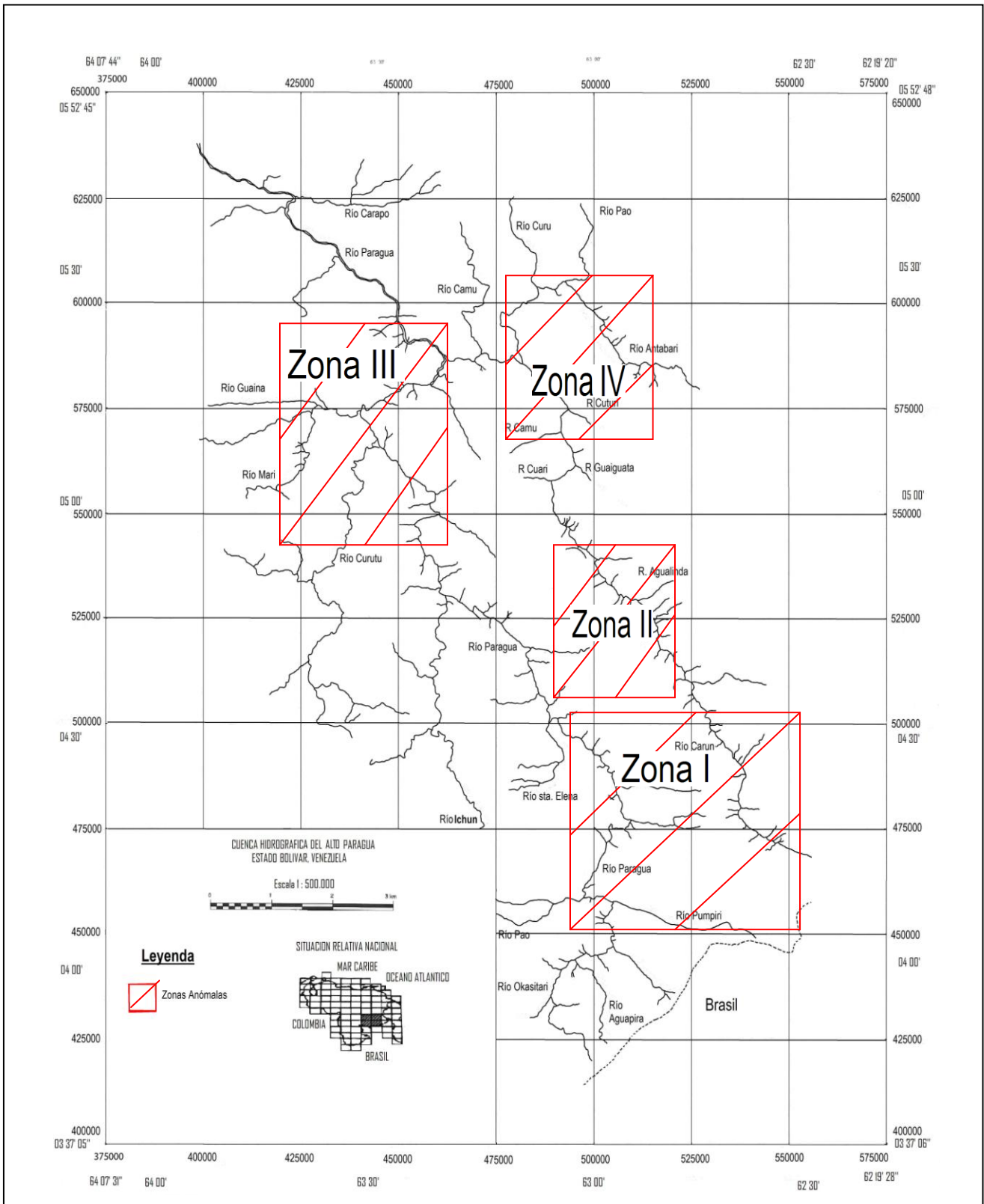


Figura 27. Zonas anómalas identificadas en la Cuenca del Alto Paragua.

El cromo en las rocas ultramáficas en promedio puede ser encontrado entre 1600 ppm y 2000 ppm (Beus y Grigorian, 1975). Sin embargo, algunas rocas ultramáficas alcalinas como las encontradas en la región de Carelia-Cola en Rusia pueden llegar a presentar valores realmente bajos para este tipo de rocas hasta de 30 ppm (Sørensen, 1974). El valor de umbral estimado para el cromo en la cuenca es de 223 ppm pudiéndose inferir que este elemento puede estar asociado a piroxenos y cromita, aunque en trabajos previos, en área de estudio no se han reportado la presencia de cromita, no se descarta la presencia de dicho mineral.

Las anomalías encontradas para los elementos traza estroncio y cinc asociados al Factor 1, fueron relacionadas en el caso del estroncio a la sustitución de dicho elemento por calcio en la estructura de la plagioclasa cálcica, presente en las rocas de composición básica y los valores anómalos encontrados para el cinc, fueron asociados a la posible presencia de sulfuro u óxido de este elemento.

Es importante reseñar que la Zona I, presenta valores para la concentración de titanio superiores al porcentaje promedio estimado para rocas ultramáficas en la litósfera, cuyo valor es de 0,8% (Beus y Grigorian). Las anomalías encontradas en esta zona de Ti, permite inferir la posible presencia de alguna concentración mineral con importancia económica que contenga este elemento.

#### ➤ Zona II

La Zona II, corresponde geográficamente a las muestras de sedimentos recolectadas en el curso medio del río Carún. Esta zona está caracterizada por la presencia de una alta densidad de valores anómalos y altos para las asociaciones geoquímicas descritas por el Factor 2 (Y, Zr, Nb) y Factor 3 (K y Rb).

La Zona II está enmarcada dentro de una secuencia rocas piroclásticas ácidas, como tobas de ceniza, tobas lapilli y brechas, que presentan variaciones a rocas un poco

menos ácidas como dácitas y andesitas hasta que la secuencia se hace totalmente andesítica. Esta secuencia de rocas volcánicas ácidas fueron designadas como parte de la Formación Caicara (Moreno et al., 1985).

El niobio en lavas andesíticas es encontrado en promedio de 63 ppm (Dill, 2011); sin embargo, el valor encontrado para el umbral de dicho elemento en la fracción fina de los sedimentos de corriente de la cuenca, fue aproximadamente de 40 ppm, por lo tanto, es recomendable emplear fracciones de tamaño superior a 0,063 mm para la prospección de este elemento en la cuenca.

Estudios realizados por Moreno et al. (1985) indican que de acuerdo a los diagramas obtenidos a partir de la relación  $K_2O + Na_2O$  y  $SiO_2$ , el conjunto de rocas volcánicas ácidas como intermedias, en su mayoría caen dentro del campo calcoalcalino. A su vez, los autores indican la presencia de minerales como microclino y ortosa, relacionados al Factor 3, donde el rubidio sustituye al potasio dentro de la estructura del feldespato potásico.

Menéndez (1992), señala en su estudio de la cuenca hidrográfica del Alto Paragua, la posibilidad de que el niobio este sustituyendo al titanio dentro de la estructura del rutilo o la ilmenita. Sin embargo, en la Zona II las concentraciones de titanio encontradas corresponden a los valores estimados, para el intervalo de valores de fondo. Esto sugiere que en esta área el niobio puede estar formando su propia fase mineral como columbita. El niobio puede también estar presente en la estructura de minerales formadores de rocas como feldespatos y micas. A su vez, este elemento es indicativo de rocas félsicas alcalinas y calcoalcalinas (Dill, 2011).

Las anomalías localizadas de itrio en esta zona, pueden ser asociadas a fases minerales como el apatito, reportado por Moreno et al. (1985) en muestras de lavas andesíticas. Sin embargo, no fueron identificados anomalías de calcio. Por lo tanto, es

posible inferir que el itrio en esta zona, puede estar presente en su propia fase mineral como xenotima ( $YPO_4$ ) o dentro de la estructura de la monacita (Ce,La,Pr,Nd,Th,Y)  $PO_4$ .

El zirconio es anómalo en toda la cuenca con respecto al promedio estimado para rocas de composición máfica, intermedia y félsica (Beus y Grigorian, 1975). Las altas concentraciones de este elemento son asociadas al mineral circón reportado tanto por Torres (1984) y Menéndez (1992).

Las altas concentraciones de circonio, adicionadas a las concentraciones relativamente elevadas de niobio e itrio, permiten inferir que la Zona II presenta una alta potencialidad para estudios prospectivos más detallados, no solamente para la búsqueda de esta asociación multielemental, sino también de elementos con un alto interés estratégico y económico relacionados a la misma, como lo son los elementos de tierras raras.

### ➤ Zona III

La Zona III, corresponde geográficamente a las muestras de sedimentos recolectadas en los cursos de los ríos Marí y Curutú, Esta zona está caracterizada por la presencia de una alta densidad de valores anómalos y altos para las asociaciones geoquímicas descritas por el Factor 2 (Y, Zr, Nb), Factor 3 (K, Rb) y Factor 4 (Cu).

Mendoza et al. (1985), indican la presencia de un pequeño cuerpo intrusivo de 27 km<sup>2</sup>, de carácter ácido localizado en el Caño Marí, denominado granito de Caño Marí, perteneciente a la Formación Caicara. Los autores indican que la mineralogía de dicho granito corresponde a los minerales ortosa, plagioclasa y cuarzo como minerales esenciales, mientras que minerales como la biotita y la pirita son señalados como minerales accesorios. También están asociadas a esta zona rocas volcánicas encontradas en la Zona II.

El promedio del cobre en la corteza terrestre es de 58 ppm, sin embargo, en rocas graníticas este presenta valores de 13 ppm (Dill, 2011). El valor de umbral estimado para dicho elemento, en el río Marí, es aproximadamente de 37 ppm y en el río Curutú de 30 ppm. Lo descrito anteriormente permite inferir que el cobre en esta zona puede estar asociado a la piritita ( $\text{FeS}_2$ ) formando calcopiritita ( $\text{CuFeS}_2$ ) minerales descritos por Moreno et al. (1985) en el Alto Paragua.

La alta densidad de anomalías para los elementos que conforman los Factores 2 y 3, puede ser explicada de forma análoga a las asociaciones descritas en la Zona II. Lo que permite hacer inferencias similares para el estudio de la zona a mayor detalle, para la prospección de los elementos químicos descritos y los asociados a éstos como los elementos de tierras raras.

#### ➤ Zona IV

La Zona IV, corresponde geográficamente a las muestras de sedimentos recolectadas en el curso del río Antabará. Esta zona está caracterizada por la presencia de una alta densidad de valores anómalos para los elementos Cu, Cr, y K. Además, fueron observados en los mapas geoquímicos algunas anomalías de Ti y Fe.

Hackley et al. (2006), señalan en el mapa geológico de Venezuela, que la localidad donde discurre el río Antabará, afloran rocas intrusivas hipoabisales (diabasas) pertenecientes al grupo Roraima, así como, rocas volcánicas ácidas pertenecientes a la Formación Caicara.

Moreno et al. (1985), describen que las diabasas que afloran en el Alto Paragua, alejadas del cuerpo máfico-ultramáfico que aflora en las cabeceras del mismo, pertenecen al campo de los basaltos alcalinos, no obstante, estas rocas podrían estar relacionadas con el magma básico que dio origen al cuerpo plutónico. La mineralogía descrita por los autores para estas rocas, basados en el análisis de dos rocas

empleando el microscopio petrográfico, consiste en plagioclasa cálcica y clinopiroxeno. Adicionalmente los autores describen estas rocas con un contenido alto de  $\text{TiO}_2$  con un promedio de 3,41 %. Sin embargo, los valores de concentración de Ti en la fracción fina de los sedimentos de corriente en la zona, no son tan altos como los encontrados hacia las cabeceras de los ríos Paragua y Carún, pudiéndose inferir que las rocas emplazadas en esta área pueden tener algunas características diferentes a la descritas por los autores.

La Zona IV, es una zona poco explorada; la posible presencia de rocas alcalinas máficas-ultramáficas y otros tipos de litologías, la convierte en una zona con un alto interés, no sólo para la prospección de los elementos Cu y Cr, sino también de algunos elementos de interés económico.

## CONCLUSIONES

Las investigaciones realizadas permiten llegar a las siguientes conclusiones:

1. Los mapas geoquímicos generados a partir de los datos de concentración 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 hidrográfica del Alto Paragua, permitieron realizar un análisis geoquímico y espacial de las variables, lográndose delimitar e inferir la naturaleza de zonas cuyo potencial para albergar posibles depósitos minerales es alto.

2. El método de mediana  $\pm 2MAD$  a diferencia del método de cajas gráficas detectó una mayor cantidad de valores atípicos dentro del rango de valores altos, lográndose estimar de esta forma, un número más elevado de valores anómalos en los datos, cuyos resultados permitieron localizar zonas con una alta densidad de anomalías en los mapas, con el propósito de detectar depósitos minerales.

3. Las asociaciones multielementales obtenidas empleando el método de análisis de factores fueron : Factor 1 (Ca, Fe, Cr, Ti, Mn) indicador de litologías máficas, Factor 2 (Y, Zr, Nb) y Factor 3 (K, Rb) indicadores de litologías félsicas o intermedias y el Factor 4 (Cu) indicador de mineralizaciones de carácter local del mismo.

4. En la cuenca hidrográfica del Alto Paragua, fueron delimitadas 4 zonas anómalas:

Zona I, ubicada hacia las nacientes de los ríos Paragua y Carún, en el extremo sur cuenca, posee anomalías Ca, Ti, Fe, Cr, Mn, Zn y Sr, posiblemente asociadas a mineralizaciones de Ti.

Zona II y Zona III, la primera ubicada en el curso medio del río Carún y la segunda ubicada hacia los cursos de los ríos Marí y Curutú, poseen anomalías de Y, Zr, Nb, K y Rb, lo que permite inferir que la zona presente una alta potencialidad para la prospección de fases minerales propias de los elementos Y y Nb, además de fases minerales que contengan elementos asociados a estas asociaciones multielementales como los elementos de tierras raras.

La Zona IV, ubicada en el curso del río Antabará, posee una alta densidad de anomalías de Cr, Cu, K y algunos elementos como Fe y Ti, cuya proveniencia es posible que estén relacionadas a la presencia de complejos máfico-ultramáficos alcalinos.

## RECOMENDACIONES

Realizar estudios geoquímicos detallados, en las zonas donde fueron determinadas anomalías de una o más asociaciones elementales, que permiten hacer una interpretación más precisa de dichas zonas. En este sentido pueden 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 a las anomalías encontradas en este trabajo.

Comparar y relacionar, la concentración y distribución de las variables estudiadas con otras fracciones granulométricas.

Realizar estudios mineralógicos más detallados a las muestras de sedimentos de corriente, con técnicas analíticas como: difracción de rayos X o microscopia electrónica. A fin de identificar un mayor número de fases minerales, presentes en el área de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, A. (1985). El Origen de los Suelos. Turrialba, Costa Rica. Publicación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza., 52 pp.

Baptista, C. (2007). Distribución de Ag, Bi, Cd, Cu, Fe, Mn, Mo,Pb, Sb y Zn en sedimentos finos de la cuenca del río Aro, Estado Bolívar Venezuela. Trabajo Especial de Grado en Geoquímica. Escuela de Química, Departamento de Geoquímica, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Beus, A. y Grigorian, S. (1962). Geochemical Exploration Methods For Mineral Deposits. Moscú. Editorial:Applied Publishing. 287 pp.

Brown, T. (1997). Chemistry The Central Science. 7<sup>ma</sup> ed. New Jersey Editorial: Prentice Hall., 991 pp.

Chuviecos, E. (1990). Sensores Remotos, Fundamentos de la Teledetección Espacial. Madrid, España. Editorial: Rialp S.A., 550 pp.

Dill, H. (2010). The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. Earth-Science Reviews. 100, 1- 420 pp.

El-Makky, A. y Sediek, K (2012). Stream Sediments Geochemical Exploration in the Northwestern Part of Wadi Allaqi Area, South Eastern Desert, Egypt. Natural Resources Research. 21, 95-114 pp.

Evans, A. (2003). Ore Geology and Industrial Minerals an Introduction. 3<sup>ra</sup> ed. Editorial: Blackwell., 389 pp.

Fernández, G. y Hidalgo, M. (2008). Mapeo geoquímico ambiental en la cuenca del río Lules mediante el uso de muestras de sedimentos de corriente. *Actas del V Congreso Argentino de Presas y Aprovechamiento Hidroeléctrico*. 3, 33-46 pp.

Fernández, G. y Hidalgo, M. (2011). Análisis geoquímico ambiental de la cuenca del río Lules mediante el uso de muestras de sedimentos de corriente. En Fernández H. y Barber H. (Eds.): *La cuenca del río Lules: Una aproximación multidisciplinaria a su complejidad*. 3, 3-14 pp.

Filzmozer, P. Hron, K. y Reimann, C. (2009). Univariate statistical analysis of environmental (compositional) data: Problems and possibilities. *Science of the Total Environment*. 1, 1-9 pp.

Garcia, H. Renca, S. y Saraiva J. (2003). A case study on geochemical anomaly identification through principal components analysis supplementary projection. *Applied Geochemistry*. 18, 37-44 pp.

González, F. (1972). *Introducción a la geoquímica*. Departamento de Asuntos Científicos de la Secretaria General de los Estados Americanos. Washington, D.C. 140 pp.

González de Juana, C. Iturralde, J. y Picard, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas tomo I*. Caracas, Venezuela. Editorial: FONINVES. 1106 pp.

Grande, S. (2000). *Guía de Yacimientos Minerales Metálicos*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. 245 pp.

Gutiérrez, J. (2004). *Guía Teórica de Geomorfología*. Universidad de Los Andes Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geológica. 105 pp.

Hackley, P. Urbani, F. Karlsen, A. Garrity, C (2006). Mapa Geológico de Venezuela. 2 pp.

Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. y Black, W., (2004). Análisis Multivariante. España. 799 pp.

Hawkes, H. and Webb, J. (1962). Geochemistry in mineral exploration. New York. Editorial: Harper and Row. 415 pp.

Hernández, M. (2009). Evaluación de técnicas de análisis multivariado sobre minerales pesados pertenecientes a sedimentos de drenajes activos de la región de Imataca, estado Bolívar, Venezuela: Implicación en la determinación de proveniencia. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.

Huheey, J. Keiter, E. y Keiter, R. (2005). Química Inorgánica, Principios de la estructura y reactividad. 4<sup>ta</sup> ed. México. Editorial: Alfaomega. 1023 pp.

Isaak, E. and Srivastava, R. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. New York. Editorial: Oxford University Press. 561 pp.

Klein, C y Hurlbut, C. (2003). Manual de Mineralogía, Basado en la obra de de J. Dana. Barcelona. Editorial: Reverté. 679 pp.

Kurinnaya, U. Lapukhov, A. Artamonova, S. Guzman, S. y Kolmogorov, Y. (2011) Application of SR XFA Data to Statistical Studies of Stable Geochemical Associations of the Asachinsky Au–Ag Deposit (Southern Kamchatka). Journal of Surface Investigation. X ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 5,1079–1084 pp.

Levinson, A., 1973. Introduction to Exploration Geochemistry. Illinois. Editorial: Applied Publishing Ltd. 614 pp.

Mason, B. (1966). Principles of Geochemistry. 3<sup>ra</sup> ed. Washington, D.C. Department of Mineral Sciences. 329 pp.

Matschullat, J. Ottenstein, R. y Reimann, C. (2000). Geochemical background – can we calculate it?. Environmental Geology. 39, 990-1000 pp.

Méndez, J. (2006). Petrología y ambientes sedimentarios. Caracas. PDVSA INTEVEP. 363 pp.

Méndez, J. (2009). Carbonatos – Origen y sedimentación. Caracas. Facultad de Ciencias, UCV. Imprenta Universitaria. 270 pp.

Menéndez, G. (1992). Uso de fracciones magnéticas y no magnéticas de minerales pesados de sedimentos de río para la prospección geoquímica del Alto Paragua, Estado Bolívar, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.

Mendoza, V. (2005). Geología de Venezuela. Escudo de Guayana, Andes Venezolanos y Sistema Montañoso del Caribe. Tomo I. Ciudad Bolívar. 418 pp.

Mendoza, W. (1993). Caracterización geoquímica de los resistatos pesados y minerales asociados recolectados en el Alto Paragua, Estado Bolívar, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.

Miller, J y Miller, J. (2002). Estadística y Quimiometría para Química Analítica. 4<sup>ta</sup> ed. Madrid. Editorial: Prentice Hall. 278 pp.

Ministerio de Energía y Minas. (2003). Glosario Técnico Minero. Bogotá. 168 pp.

Moreno, L. Lira, P. y Tylky, R. (1985). Reconocimiento Geológico del Alto Paragua. Primer Simposio Amazónico. Puerto Ayacucho. 1, 100-115 pp.

Nakić, Z. Posavec, y Bačani, A. (2007). A visual basic Spreadsheet macro for Geochemical Background Analysis. *Ground Water*. 45, 642-647 pp.

Narvan, M. (1984). Caracterización geoquímica de los limos del Bajo y Medio Paragua y sus afluentes principales, Estado Bolívar, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.

Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. 2<sup>da</sup> ed. Reino Unido. Editorial: Wiley-Blackwell. 419 pp.

Peh, Z. Miko, S. y Hasan O. (2010). Geochemical background in soils: a linear process domain? An example from Istria (Croatia). *Environmental Earth Science*. 59, 1367-1383 pp.

Reimann, C. Filzmoser, P (1999). Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of myth. Consequences for statistical treatment of geochemical and environmental data. *Environmental Geology*. 39, 1001-1014 pp.

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

Reimann, C. Filzmoser, P. y Garrett, R. (2005). Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the Total Environment*. 346, 1-16 pp.

Seo, S. (2002). A Review and Comparison of Methods for Detecting Outliers in Univariate Data Sets. Trabajo Especial de Maestría en Ciencias. Escuela de Salud Pública. University of Pittsburgh. US.

Sørensen, H. (1974). The Alkaline Rocks. 1<sup>ra</sup> ed. Great Britain. Editorial: John Wiley and Sons. 622 pp

Spadoni, M. Cavarreta, G. y Patera, A. (2004). Cartographic techniques for mapping the geochemical data of stream sediments: the "Sample Catchment Basin" approach. Environmental Geology. 45, 593-597 pp.

Steel, R. (1988). Bioestadística: Principios y Procedimientos. 2<sup>da</sup> ed México. Editorial: Mc Graw Hill. 622 pp.

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

Templ, M. Filzmoser, P. and Clemens, R. (2008). Cluster analysis applied to regional geochemical data: Problems and possibilities. Applied Geochemistry. 23, 2198-2213 pp.

Torres, J. (1984). Analisis geoquímico de resistatos pesados de la Hoya hidrográfica del río Paragua, Estado Bolívar, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química.

Viladevall, M. (2008). Prospección Geoquímica. Barcelona, España. Facultad de Geología, Universitat. 268 pp.

White, W., 2003. Geochemistry. Libro virtual en pdf disponible en: <http://www.geo.cornell.edu/geology/classes/geo455/Geo455.html>.

Xie X. y Cheng C. (2001). Global geochemical and its implementation in the Asia-Pacific región. *Applied Geochemistry*. 16, 1309-1321 pp.

Yusta, I. Velasco, F. y Herrero, J. (1997). Anomaly threshold estimation and data normalization using EDA statistics: application to lithogeochemical exploration in Lower Cretaceous Zn-Pb carbonate-hosted deposits, Northern Spain. *Applied Geochemistry*. 13, 421-439 pp.

Zumlot, T. Goodell, P. and Howari, F. (2009). Geochemical mapping of New Mexico, USA, using stream sediment data. *Environmental Geology*. 58,1479–1497 pp.

## APÉNDICE A – Ubicación de las muestras recolectadas.

**Tabla A1** - Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Paragua.

Ubicación	Muestra	Este	Norte
Río Carún	CAR44D	532751,225	504488,358
"	CAR45D	533256,740	502297,794
"	CAR47D	538648,897	501118,260
"	CAR48D	541513,480	498085,172
"	CAR49D	541176,471	495389,093
"	CAR53DA	544546,569	493704,044
"	CAR54DA	546737,132	493198,529
"	CAR55D	557015,931	488648,897
"	CAR56DA	560723,039	495389,093
"	CAR57DA	565104,167	494546,569
"	CAR58DA	568305,760	491007,966
"	CAR59D	573023,897	491850,490
"	CAR60D	575719,975	493535,539
"	CAR61D	580775,123	488817,402
"	CAR62D	584819,240	477190,564
Río Paragua	PAR10DA	441084,559	499096,201
"	PAR12DA	443612,132	493535,539
"	PAR14D	445297,181	497579,657
"	PAR17DA	446476,716	504488,358
"	PAR19D	448498,775	504488,358
"	PAR20	451363,358	504656,863
"	PAR22D	454059,436	502129,289
"	PAR25DA	457261,029	506341,912
"	PAR26D	457766,544	503645,833
"	PAR27D	458946,078	497242,647
"	PAR28DA	460968,137	498085,172
"	PAR29D	462316,176	498085,172
"	PAR32DA	472089,461	502466,299
"	PAR33DA	471078,431	504656,863
"	PAR34D	474111,520	508363,971
"	PAR36DA	476133,578	508869,485

**Tabla A1 – Continuación- Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Paragua.**

Ubicación	Muestra	Este	Norte
Río Paragua	PAR36DA	476133,578	508869,485
"	PAR37DA	476470,588	511397,059
"	PAR38D	477144,608	508700,980
"	PAR39D	482705,270	505162,377
"	PAR40DA	485064,338	506173,407
"	PAR41D	488265,931	504993,873
"	PAR42D	489782,475	502129,289
"	PAR43DA	492478,554	502297,794
"	PAR44DA	494163,603	500107,230
"	PAR45D	496522,672	497074,142
"	PAR46D	501072,304	491681,985
"	PAR48DA	501240,809	489996,936
"	PAR49DA	499555,760	488311,887
"	PAR50DA	504610,907	489154,412
"	PAR51DA	507138,480	484773,284
"	PAR52DA	511856,618	482751,225
"	PAR53D	514721,201	484267,770
"	PAR54DA	517585,784	484941,789
"	PAR55DA	524157,475	476516,544
"	PAR56D	527190,564	473146,446
"	PAR57D	525674,020	469776,348
"	PAR58D	529381,127	466069,240
"	PAR59DA	526516,544	462362,132
"	PAR60D	528201,593	462362,132
"	PAR62D	533762,255	461182,598
"	PAR63D	536963,848	461519,608
"	PAR64D	538311,887	456464,461
"	PAR65DA	543367,034	454105,392
"	PAR66D	547411,152	453262,868
"	PAR67DA	548590,686	461688,113
"	PAR68D	551960,784	456801,471
"	PAR69DA	554488,358	460340,074
"	PAR70D	557521,446	453094,363
"	PAR71DA	565609,681	446185,662

**Tabla A1** – Continuación- Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Paragua.

Ubicación	Muestra	Este	Norte
Río Paragua	PAR73DA	574708,946	440962,010
"	PAR74D	576393,995	446522,672
"	PAR76D	579595,588	450061,275
"	PAR77D	580269,608	451746,324
"	PAR78DA	580269,608	454273,897
"	PAR79D	580101,103	458149,510
"	PAR80DA	582460,172	460171,569
"	PAR2D	589874,387	452757,353
"	PAR3DA	590379,902	450903,799
"	PAR4D	591896,446	451914,828
"	PAR5D	593075,980	451409,314
"	PAR9DA	596951,593	450229,779
"	PAR9DB	596277,574	448544,730
"	PAR9MA	605039,828	441299,020
Río Marí	MAR2D	561228,554	425459,559
"	MAR6D	566283,701	425796,569
"	MAR12DA	570327,819	428661,152
"	MAR14DA	573023,897	427818,627
"	MAR15DA	575719,975	428998,162
"	MAR16D	574371,936	431525,735
"	MAR18DA	574540,441	434390,319
Río Curutú	CUR1DA	560217,525	438097,426
"	CUR4D	562408,088	440625,000
"	CUR5D	565272,672	441973,039
"	CUR7D	565272,672	443658,088
"	CUR9D	566115,196	443321,078
"	CUR11D	567294,730	444500,613
Río Antabará	ANT1DA	582291,667	523192,402
"	ANT4DA	585156,250	516452,206
"	ANT5D	584819,240	515441,176
"	ANT6DA	582123,162	515441,176
"	ANT8D	584987,745	511902,574
"	ANT9D	583134,191	511228,554
"	ANT14D	585324,755	507689,951

**Tabla A1** – Continuación- Ubicación de los puntos de muestreo en la cuenca del Río Paragua.

Ubicación	Muestra	Este	Norte
Río Antabará	ANT18D	589368,873	505162,377
"	ANT19D	590548,407	504319,853
"	ANT25D	594761,029	502297,794
"	ANT27DA	598131,127	499938,725
"	ANT30D	602343,750	495557,598
"	ANT32DA	605376,838	493872,549
"	ANT34D	602512,255	490333,946
"	ANT35D	603186,275	487806,373
"	ANT37DA	603523,284	485278,799
"	ANT52DA	593244,485	479549,632

**APÉNDICE B – Concentración de cada uno de los elementos analizados en las muestras.**

**Tabla B1** - Concentración de cada uno de los elementos analizados en las muestras, correspondiente a la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos de corriente de los ríos Paragua, Carún, Mari, Curutú y Antabará.

Muestra	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Cu ppm	K %	Ca ppm	Ti %	Fe %	Cr ppm	Mn ppm	Zn ppm
CAR1DA	17	35	51	842	23	13	1,8	2690,7	1,7	4,3	199,8	1530,6	77
CAR2D	89	48	55	683	21	45	1,9	2507	1,6	4	233	1040	131
CAR3DA	72	52	79	2005	32	35	1,5	4675,8	2,5	7,5	399,9	1224,6	97
CAR4DA	86	48	64				1,8	3618,2	1,9	6	307,6	1142,8	99
CAR5DA	96	43	55	802	17	17	2,2	2556,2	1,5	4,6	314,8	1149	74
CAR6DA	85	40	54	770	20	18	1,2	1728	1,1	3,2	154,5	1232,9	86
CAR8DA	97	46	58	973	27	32	1,1	1332,6	1,2	2,7	129,3	631,9	85
CAR10DA	104	45	72	1057	29	22	1,1	2659,8	1	3,6	188	525,5	105
CAR11DA	91	45,5	53	833	24	17	0,9	926,4	0,9	2,1	102,3	406,4	81
CAR12DA	7,8	31	74	1155	27	23	0,9	3195,2	1	3,5	191,3	509,1	109
CAR13DA	5,8	39	51	882	22	22	0,7	1208,7	1	2,5	125,2	479,4	91
CAR14DA	54,8	35,2	57,1	1229,1	22,5	22,8	0,8	1429,3	1,1	2,6	123,8	579,9	84,2
CAR15DA	68,9	37,7	64,4	1015,8	25,9	21,1	0,9	1372,8	1,1	2,5	113,8	439,3	89,7
CAR16DA	72,3	38,1	60,8	1371,1	26,3	19	0,9	1644,5	1	2,8	143,7	716,9	88,4
CAR17DA	71,4	18,1	51,5	1015,9	25,4	20,2	0,9	976,2	0,6	1,4	54,9	319,3	51,1
CAR18D	95	28	86	1391	41	24	1,1	530,7	0,7	1,4	77	306,6	80
CAR19D	77	26	76	1621	31	21	0,9	553,3	0,8	1,8	85,4	323,9	65
CAR20DA	92,8	28,7	81,8	1371	37,3	24,8	0,9	1304,3	0,9	2,5	147	364	89
CAR21DA	102,3	27,4	69,6	1530,3	29,3	23,1	1,2	831,9	0,9	2,1	91,9	365,6	74,2
CAR22D	215	12	59	608	13	16	2,8	853,4	0,4	1,9	122,9	137,5	56
CAR23D	95	36	57	1160	27	31	1,3	1863,9	0,9	2,2	106,1	351,3	62
CAR24DA	98,4	38,8	61,4	1139,4	27,8	32,9	1,2	1051,4	0,9	2,7	129,4	369,7	74,1
CAR25D	109	21	57	993	27	17	1,5	504,5	0,4	0,8	10,5	150,5	47
CAR26DA	91,1	33,8	78	1737,5	31	28	1,3	879,6	0,9	2,3	73,2	477,4	73
CAR28D	93	20	78	1558	40	20	1,1	331,6	0,8	2,1	84,7	575,8	95
CAR30D	87	31	74	1572	40	18	1,3	881,2	1	1,9	88,6	911,3	82
CAR31D	90	33	76	1319	28	26	1,4	1048,9	1	2,7	110	675,1	70
CAR32D	100	31	52	887	26	19	1,8	1177,8	0,8	2,2	62,9	525,1	77
CAR33D	102	31	82	1358	40	27	1,3	730,3	1	2,4	86,1	605,7	86
CAR34D	80	23	82	1418	38	24	1,2	813,9	0,7	1,9	52,5	512,1	81
CAR35D	80	26	82	1296	30	33	1,2	965,4	0,7	1,9	71,2	423,6	64
CAR36D	106	58	59	653	38	24	1,4	2266,9	0,8	2,4	103,2	776	70

**Tabla B1** – Continuación- Concentración de cada uno de los elementos analizados en las muestras, correspondiente a la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos de corriente de los ríos Paragua, Carún, Mari, Curutú y Antabará.

Muestra	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Cu ppm	K %	Ca ppm	Ti %	Fe %	Cr ppm	Mn ppm	Zn ppm
CAR37D	106	24	76	1224	44	18	1,4	477,7	0,7	2	65,8	378,2	73
CAR39D	114	34	55	724	25	25	2	719,6	0,9	1,9	97,5	391,1	55
CAR40D	108	29	85	1049	45	23	1,5	808,4	0,9	1,8	66,8	445,7	67
CAR41D	122	32	83	1154	38	25	1,6	461,1	1	2,3	90,5	327,6	63
CAR42D	119	20	80	823	40	21	1,5	291,9	0,6	1,3	19,99	361	57
CAR43D	91	24	67	1744	29	22	1,7	510,4	1	2,7	96,8	693,7	65
CAR44D	124	32	66	1273	28	31	1,9	1171	0,9	3,6	171,2	441,1	51
CAR45D	87	22	77	1010	39	24	1,3	1032,6	0,9	1,7	130,2	289,8	63
CAR47D	336	24	88	1467	40	19	1,9	444,4	0,6	1,4	52,5	213	48
CAR48D	149	41	72	803	39	21	2,2	1152,6	0,8	2,2	109,2	362	52
CAR49D	96	25	75	1185	43	24	2,2	1153	0,8	2,2	109	362	57
CAR53DA	84,4	30,8	64,3	1692,6	31,1	25,9	1,2	995	1,1	2,7	171,1	479	61,7
CAR54DA	83,6	31,5	75,5	1724,8	32,7	23,6	1,3	675,8	1,1	2,6	104,2	462	76,5
Río	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Cu ppm	K %	Ca ppm	Ti %	Fe %	Cr ppm	Mn ppm	Zn ppm
CAR55D	74	37	75	1528	35	37	0,9	1672,1	0,9	3,3	148,9	389,9	78
CAR56DA	75,8	40,1	71,1	1636,9	25,6	23,7	1	752,6	1,2	3,4	169,6	500	63,7
CAR57DA	76,1	32,5	68,6	1573,9	29,5	22,4	1,1	1431,3	1	2,3	85,9	590,8	69,6
CAR58DA	94	38	71,8	1327,8	30,6	30,6	1,2	1190	1	3,1	188,9	509,6	84,3
CAR59D	114	40	59	1115	26	24	1,3	1263,5	1	3,4	158,6	432,2	58
CAR60D	89	39	61	1034	25	22	1,3	2212,1	9	3,2	166,8	720,9	96
CAR61D	115	41	49	558	26	32	1,7	1001,8	1,1	4,7	235,6	534,3	70
CAR62D	55	52	89	2549	35	30	0,7	1303	1,3	3,8	205,7	712	71
PAR10DA	59	65,7	44	978	19	12,3	1,1	1586	2,3	2,9	74	460,7	54,7
PAR12DA	35	48,7	48,7	1231,7	17	21	0,9	2254,1	2,6	2,9	74,3	490,5	38,7
PAR14D	71	42	49	681	14	26	1,4	3994	1,7	5,5	226,2	825,7	93
PAR17DA	86,8	44,5	52,5	823	24,5	18,5	1,2	1646,7	1,1	2,8	113,4	338,7	53,5
PAR19D	83	40	65	860	27	24	1,1	848,3	0,9	2,7	141,3	322,7	83
PAR20	60	33	53	910	24	18	0,7	1238,5	1,2	3	140,9	401,5	79
PAR22D	70	40	55	850	24	18	1,1	724,4	0,8	2,7	146	389,8	75
PAR25DA	72,8	46,3	62	935	24	21,8	1	1591,4	1,2	3,5	206,7	693,1	76,8
PAR26D	105	28	85	1123	29	31	1,1	521,9	0,8	1,9	54,5	310,2	56
PAR27D	67	43	61	813	21	23	1,1	3620,9	1,2	2,8	116	429,1	57
PAR28DA	64,7	46,3	59	1414,7	25,3	32,3	1,2	4881,6	2,4	4,5	182	793,8	101,3
PAR29D	62	51	44	759	22	25	0,7	2830,7	1,2	4	236	1351,2	105
PAR32DA	39	56,3	51,3	989,3	22,7	21,7	0,6	3230,4	3,6	5,2	178	746,2	76,7
PAR33DA	53	51	39	623,5	18,5	30	0,8	3077	1,3	4,1	237,6	811,8	79,5
PAR34D	100	55	54	665	22	38	1,3	1853,7	1,2	4,2	269,5	426,9	61

**Tabla B1** – Continuación- Concentración de cada uno de los elementos analizados en las muestras, correspondiente a la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos de corriente de los ríos Paragua, Carún, Mari, Curutú y Antabará.

Muestra	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Cu ppm	K %	Ca ppm	Ti %	Fe %	Cr ppm	Mn ppm	Zn ppm
PAR37DA	74	27,3	74,3	1336,3	32	24	1	1248,8	1	2,7	158,4	499,7	70
PAR38D	85	27	64	999	30	18	1,1	888,7	0,9	2,5	93,1	368,8	71
PAR39D	109	46	70	765	43	14	1,2	1829,3	0,9	2,7	129,5	279,7	50
PAR40DA	71,3	30,7	69,7	1083,3	32,7	14	1	1090,4	1,1	2,7	120,1	497	65
PAR41D	97	14	68	814	31	11	1,6	837,3	0,7	1,4	70,2	226,6	34
PAR42D	124	35	74	845	36	18	1,6	675,5	0,7	1,4	41,3	259,5	40
PAR43DA	72,3	46,3	52,3	847,3	21	22	1,1	3020	1,3	3	131	900,2	76,7
PAR44DA	56	44,5	58,5	872,5	28	14	1	1914,5	1,6	3,4	126,3	742,3	86
PAR45D	79	42	63	1438	30	21	1,1	1634,5	1,4	2,2	78,7	451,2	54
PAR46D	88	47	50	742	23	23	1,7	1475,2	1,4	2,3	101,1	432	69
PAR48DA	82,7	49	64	1090,3	25	28,7	1,3	1534,9	1,2	3,2	144,4	629,7	88
PAR49DA	90,3	42,3	73,3	1112,7	30,7	23,3	1,2	1467,2	1	2,6	131	596,5	70,7
PAR50DA	78,7	59	53	632	19	26,3	1,3	2166,9	0,9	4	200,7	484,3	73,7
PAR51DA	85	45,7	65,3	1068,7	24,7	24,7	1,2	1470,2	0,9	2,1	107,9	312,2	54
PAR52DA	103	56	60	660	25	25	1,2	1053,7	1	2,4	110,4	244,8	58
PAR53D	85	37	47	623	16	23	1,5	1378,1	0,8	2,9	159,1	362,8	60
PAR54DA	93,5	36	70	969,5	29	19,5	1,2	1071,1	0,9	2,3	109,4	544,6	64,5
PAR55DA	92,3	35	72,7	1113	31,3	29,7	1,2	942,3	0,9	2,7	142,7	382,3	66,3
PAR56D	79	34	39	612	18	32	1	1024,2	1,1	3	139,1	233,2	75
PAR57D	89	44	56	965	27	34	1,2	1109,5	1	2,9	147	272,6	65
PAR58D	120	25	66	854	31	13	1,6	1049,8	0,8	2,4	134,8	236,5	51
PAR59DA	42	34,3	30	754	19	18,7	0,7	1341,4	2	1,9	40,7	313,6	54,3
PAR60D	47	57	37	499	13	60	0,7	3970,2	1,2	5,9	290,6	682,4	46
Río	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Cu ppm	K %	Ca ppm	Ti %	Fe %	Cr ppm	Mn ppm	Zn ppm
PAR62D	129	31	79	837	35	53	1,5	936,2	0,9	2	131,6	194,9	106
PAR63D	111	38	63	932	29	24	1,5	1021	1	2,3	135,7	323,7	53
PAR64D		34	65	1371	30	18	1,3	922,9	1	2	81,1	383,8	60
PAR65DA	93,3	25,3	69	1142,3	32,7	21	1,1	735,7	0,9	1,6	71,8	239,3	58,3
PAR66D	78	23	64	1160	28	24	1,2	935,9	1	1,9	83,4	258,9	62
PAR67DA	96,3	21,3	74	1195,3	34	21,3	1,1	1295,1	1,1	2,5	108,1	389,7	63
PAR68D	83	27	59	1150	27	17	1,2	773,2	0,9	1,8	72,6	249,9	48
PAR69DA	86,7	23,7	79	1339	40,7	25	1,1	755,2	1,1	2,6	153	262,4	58
PAR70D	65	18	88	1196	38	17	0,9	506,7	1,1	2,1	99,9	208,5	61
PAR71DA	66,5	26	94	1913	62,5	40,5	0,7	1094,7	1,5	2,6	122,8	433,8	66,5
PAR73DA	73,5	36,6	46,5	785,2	25,3	17,4	1	2256,9	0,9	2,8	145,8	429,3	126,2
PAR74D	59	25	41	2274	54	21	0,6	1161,9	1,2	1,6	101,1	260,5	45
PAR76D	44	29	30	493	20	47	0,5	2431	0,9	4,5	325,4	393,5	71

**Tabla B1** – Continuación- Concentración de cada uno de los elementos analizados en las muestras, correspondiente a la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos de corriente de los ríos Paragua, Carún, Mari, Curutú y Antabará.

Muestra	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Cu ppm	K %	Ca ppm	Ti %	Fe %	Cr ppm	Mn ppm	Zn ppm
PAR77D	120	22	50	1407	56	26	0,9	1493,5	0,8	2,6	156,3	358,5	51
PAR78DA	43,3	30	50	1372,7	28	36,3	0,6	1162,5	1	3,6	208,2	407,4	55,7
PAR79D	58	32	47	1210	21	26	0,8	1165,2	1,2	2,8	137,9	348,8	65
PAR80DA	79	36,5	85	2653	32,5	36,5	0,9	877,6	1,1	2,4	133,7	432,8	62
PAR2D	74	27	45	948	21	29	1	493,8	1	2,2	96,3	337,2	67
PAR3DA	68	19	50	1023	27	23	0,6	728,3	0,8	2	105,3	406,5	55
PAR4D	85	45	44	988	20	22	1,2	2060,9	1	3,1	160,6	734	72
PAR5D	73	21	86	2297	48	27	0,8	340,4	1,1	1,8	77,5	319,8	59
PAR9DA	143	58	87	1200	39	57	1,1	644,8	1	1,3	42,9	214,5	51
PAR9DB	83	35	47	361	15	60	1,3	1274,3	0,8	1,3	77	189,6	61
PAR9MA	119	40	60	602	27	33	1,5	428,7	1	1,6	91,8	190,4	77
MAR2D	113	17	ppm Y	1986	48	27	1,2	336,4	0,7	3,1	99,9	368,5	70
MAR6D	54	21	71	1281	31	18	0,7	515,1	0,7	1,5	62,4	290,4	59
MAR12DA	73	27,3	70,7	1559,3	31,7	22	1	924,9	0,8	2	77,9	313,3	65,3
MAR14DA	63,7	35,7	69,7	2063	32	32,3	0,8	1210,6	0,9	2,3	115,1	400,6	63
MAR15DA	66,7	26,3	69,3	2130,7	31,7	30,7	0,8	438,7	0,9	1,2	67,6	246,4	52,3
MAR16D	80	45	58	1577	43	39	0	446,7	0	1,2	54,9	11	67
MAR18DA	66,5	33	64,5	1619	36,5	24,5	0,9	969,4	0,8	2	78	350,4	48
CUR1DA	77,5	35	62	1477,5	31,5	26	1,2	917,6	1,4	2,8	115	295,2	59
CUR4D	70	41	58	1908	29	23	1,3	1637,8	1,3	3,3	148,8	382	58
CUR5D	70	40	48	730	23	28	1,3	2854,9	1,2	3,1	154,1	525,4	64
CUR7D	73	42	49	843	27	31	1,3	1801,7	1,3	3,2	153,6	491,3	63
CUR9D	71	46	45	961	25	23	1,3	2312,6	1,4	3,1	127,5	469,9	62
CUR11D	85	43	51	950	26	24	1,3	2168,1	1,2	3,4	175,1	475,9	59
ANT1DA	86,3	34	59,3	1315,7	25,7	21,3	1,1	674,8	1	2,2	103,6	401,9	62,7
ANT4DA	79,3	21	56,3	1334,7	26,7	28	1,1	430,2	0,8	1,5	58	330,5	51,7
ANT5D	81	23	54	777	24	25	1,2	1133,4	0,8	2,6	117,5	428,1	68
ANT6DA	91	25,5	63	1119,5	24,5	26	1,4	963,7	0,8	2,7	162,9	381	63,5
ANT8D	77	27	55	1021	22	24	1,2	1046,5	0,8	2,5	119,4	424,3	61
ANT9D	70	33	56	759	21	40	1,2	1870,4	0,9	3,7	247,3	316,7	64
ANT14D	85	32	55	898	19	33	1,3	1321,5	1	3,9	205,8	363,3	62
ANT18D	110	39	76	962	23	27	2,1	555,2	1	3	175,8	349,2	57
ANT19D	107	45	57	928	19	29	2	675,6	1	3	156	372,4	53
ANT25D	104	34	55	703	19	39	1,8	856,6	0,8	2,9	165,5	288,2	53
Río	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Cu ppm	K %	Ca ppm	Ti %	Fe %	Cr ppm	Mn ppm	Zn ppm
ANT27DA	133	52,5	65	735	23,5	37,5	2,1	1059,1	1,1	4	247,1	375,8	72
ANT30D	94	38	53	721	18	35	1,5	1257,5	1	4	221,9	407,4	68

**Tabla B1** – Continuación- Concentración de cada uno de los elementos analizados en las muestras, correspondiente a la fracción fina (<0,063 mm) de los sedimentos de corriente de los ríos Paragua, Carún, Mari, Curutú y Antabará.

Muestra	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Zr ppm	Nb ppm	Cu ppm	K %	Ca ppm	Ti %	Fe %	Cr ppm	Mn ppm	Zn ppm
ANT32DA	118	47	57	719,3	19	31,3	1,9	1108,7	0,9	3,4	182	507,9	67,3
ANT34D	72	62	53	557	21	46	1,3	1315,7	1,6	6,3	341,8	429,4	81
ANT35D	84	56	59	858	32	31	1,2	1311,6	0,9	2,9	152,9	484,7	63
ANT37DA	93,7	45,7	91,7	978,3	32,3	32,4	1,5	1085,1	1,2	3,5	215,8	264,4	73,7
ANT52DA	94,7	41,7	66,7	1101,7	25,7	31	1,5	1140,6	1	3,5	202,1	402	66,7

**APÉNDICE C –** Datos originales fueron transformados empleando la función Ln(X).

**Tabla C1-** Datos originales fueron transformados empleando la función Ln(X).

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
CAR1DA	2,83	3,56	3,93	6,74	3,14	2,56	0,59	7,90	0,53	1,46	5,30	7,33	4,34
CAR2D	4,49	3,87	4,01	6,53	3,04	3,81	0,64	7,83	0,47	1,39	5,45	6,95	4,88
CAR3DA	4,28	3,95	4,37	7,60	3,47	3,56	0,41	8,45	0,92	2,01	5,99	7,11	4,57
CAR4DA	4,45	3,87	4,16				0,59	8,19	0,64	1,79	5,73	7,04	4,60
CAR5DA	4,56	3,76	4,01	6,69	2,83	2,83	0,79	7,85	0,41	1,53	5,75	7,05	4,30
CAR6DA	4,44	3,69	3,99	6,65	3,00	2,89	0,18	7,45	0,10	1,16	5,04	7,12	4,45
CAR8DA	4,57	3,83	4,06	6,88	3,30	3,47	0,10	7,19	0,18	0,99	4,86	6,45	4,44
CAR10DA	4,64	3,81	4,28	6,96	3,37	3,09	0,10	7,89	0,00	1,28	5,24	6,26	4,65
CAR11DA	4,51	3,82	3,97	6,73	3,18	2,83	-0,11	6,83	-0,11	0,74	4,63	6,01	4,39
CAR12DA	2,05	3,43	4,30	7,05	3,30	3,14	-0,11	8,07	0,00	1,25	5,25	6,23	4,69
CAR13DA	1,76	3,66	3,93	6,78	3,09	3,09	-0,36	7,10	0,00	0,92	4,83	6,17	4,51
CAR14DA	4,00	3,56	4,04	7,11	3,11	3,13	-0,22	7,26	0,10	0,96	4,82	6,36	4,43
CAR15DA	4,23	3,63	4,17	6,92	3,25	3,05	-0,11	7,22	0,10	0,92	4,73	6,09	4,50
CAR16DA	4,28	3,64	4,11	7,22	3,27	2,94	-0,11	7,41	0,00	1,03	4,97	6,57	4,48
CAR17DA	4,27	2,90	3,94	6,92	3,23	3,01	-0,11	6,88	-0,51	0,34	4,01	5,77	3,93
CAR18D	4,55	3,33	4,45	7,24	3,71	3,18	0,10	6,27	-0,36	0,34	4,34	5,73	4,38
CAR19D	4,34	3,26	4,33	7,39	3,43	3,04	-0,11	6,32	-0,22	0,59	4,45	5,78	4,17
CAR20DA	4,53	3,36	4,40	7,22	3,62	3,21	-0,11	7,17	-0,11	0,92	4,99	5,90	4,49
CAR21DA	4,63	3,31	4,24	7,33	3,38	3,14	0,18	6,72	-0,11	0,74	4,52	5,90	4,31
CAR22D	5,37	2,48	4,08	6,41	2,56	2,77	1,03	6,75	-0,92	0,64	4,81	4,92	4,03
CAR23D	4,55	3,58	4,04	7,06	3,30	3,43	0,26	7,53	-0,11	0,79	4,66	5,86	4,13
CAR24DA		3,66	4,12	7,04	3,33	3,49	0,18	6,96	-0,11	0,99	4,86	5,91	4,31
CAR25D	4,69	3,04	4,04	6,90	3,30	2,83	0,41	6,22	-0,92	-0,22	2,35	5,01	3,85
CAR26DA	4,51	3,52	4,36	7,46	3,43	3,33	0,26	6,78	-0,11	0,83	4,29	6,17	4,29
CAR28D	4,53	3,00	4,36	7,35	3,69	3,00	0,10	5,80	-0,22	0,74	4,44	6,36	4,55
CAR30D	4,47	3,43	4,30	7,36	3,69	2,89	0,26	6,78	0,00	0,64	4,48	6,81	4,41
CAR31D	4,50	3,50	4,33	7,18	3,33	3,26	0,34	6,96	0,00	0,99	4,70	6,51	4,25
CAR32D	4,61	3,43	3,95	6,79	3,26	2,94	0,59	7,07	-0,22	0,79	4,14	6,26	4,34
CAR33D	4,62	3,43	4,41	7,21	3,69	3,30	0,26	6,59	0,00	0,88	4,46	6,41	4,45
CAR34D	4,38	3,14	4,41	7,26	3,64	3,18	0,18	6,70	-0,36	0,64	3,96	6,24	4,39

**Tabla C1-** Continuación- Datos originales fueron transformados empleando la función Ln(X).

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
CAR35D	4,38	3,26	4,41	7,17	3,40	3,50	0,18	6,87	-0,36	0,64	4,27	6,05	4,16
CAR36D	4,66	4,06	4,08	6,48	3,64	3,18	0,34	7,73	-0,22	0,88	4,64	6,65	4,25
CAR37D	4,66	3,18	4,33	7,11	3,78	2,89	0,34	6,17	-0,36	0,69	4,19	5,94	4,29
CAR39D	4,74	3,53	4,01	6,58	3,22	3,22	0,69	6,58	-0,11	0,64	4,58	5,97	4,01
CAR40D	4,68	3,37	4,44	6,96	3,81	3,14	0,41	6,70	-0,11	0,59	4,20	6,10	4,20
CAR41D	4,80	3,47	4,42	7,05	3,64	3,22	0,47	6,13	0,00	0,83	4,51	5,79	4,14
CAR42D	4,78	3,00	4,38	6,71	3,69	3,04	0,41	5,68	-0,51	0,26	3,00	5,89	4,04
CAR43D	4,51	3,18	4,20	7,46	3,37	3,09	0,53	6,24	0,00	0,99	4,57	6,54	4,17
CAR44D	4,82	3,47	4,19	7,15	3,33	3,43	0,64	7,07	-0,11	1,28	5,14	6,09	3,93
CAR45D	4,47	3,09	4,34	6,92	3,66	3,18	0,26	6,94	-0,11	0,53	4,87	5,67	4,14
CAR47D	5,82	3,18	4,48	7,29	3,69	2,94	0,64	6,10	-0,51	0,34	3,96	5,36	3,87
CAR48D	5,00	3,71	4,28	6,69	3,66	3,04	0,79	7,05	-0,22	0,79	4,69	5,89	3,95
CAR49D	4,56	3,22	4,32	7,08	3,76	3,18	0,79	7,05	-0,22	0,79	4,69	5,89	4,04
CAR53DA	4,44	3,43	4,16	7,43	3,44	3,25	0,18	6,90	0,10	0,99	5,14	6,17	4,12
CAR54DA	4,43	3,45	4,32	7,45	3,49	3,16	0,26	6,52	0,10	0,96	4,65	6,14	4,34
CAR55D	4,30	3,61	4,32	7,33	3,56	3,61	-0,11	7,42	-0,11	1,19	5,00	5,97	4,36
CAR56DA	4,33	3,69	4,26	7,40	3,24	3,17	0,00	6,62	0,18	1,22	5,13	6,21	4,15
CAR57DA	4,33	3,48	4,23	7,36	3,38	3,11	0,10	7,27	0,00	0,83	4,45	6,38	4,24
CAR58DA	4,54	3,64	4,27	7,19	3,42	3,42	0,18	7,08	0,00	1,13	5,24	6,23	4,43
CAR59D	4,74	3,69	4,08	7,02	3,26	3,18	0,26	7,14	0,00	1,22	5,07	6,07	4,06
CAR60D	4,49	3,66	4,11	6,94	3,22	3,09	0,26	7,70	2,20	1,16	5,12	6,58	4,56
CAR61D	4,74	3,71	3,89	6,32	3,26	3,47	0,53	6,91	0,10	1,55	5,46	6,28	4,25
CAR62D	4,01	3,95	4,49	7,84	3,56	3,40	-0,36	7,17	0,26	1,34	5,33	6,57	4,26
PAR10DA	4,08	4,19	3,78	6,89	2,94	2,51	0,10	7,37	0,83	1,06	4,30	6,13	4,00
PAR12DA	3,56	3,89	3,89	7,12	2,83	3,04	-0,11	7,72	0,96	1,06	4,31	6,20	3,66
PAR14D	4,26	3,74	3,89	6,52	2,64	3,26	0,34	8,29	0,53	1,70	5,42	6,72	4,53
PAR17DA	4,46	3,80	3,96	6,71	3,20	2,92	0,18	7,41	0,10	1,03	4,73	5,83	3,98
PAR19D	4,42	3,69	4,17	6,76	3,30	3,18	0,10	6,74	-0,11	0,99	4,95	5,78	4,42
PAR20	4,09	3,50	3,97	6,81	3,18	2,89	-0,36	7,12	0,18	1,10	4,95	6,00	4,37
PAR22D	4,25	3,69	4,01	6,75	3,18	2,89	0,10	6,59	-0,22	0,99	4,98	5,97	4,32
PAR25DA	4,29	3,84	4,13	6,84	3,18	3,08	0,00	7,37	0,18	1,25	5,33	6,54	4,34
PAR26D	4,65	3,33	4,44	7,02	3,37	3,43	0,10	6,26	-0,22	0,64	4,00	5,74	4,03
PAR27D	4,20	3,76	4,11	6,70	3,04	3,14	0,10	8,19	0,18	1,03	4,75	6,06	4,04

**Tabla C1-** Continuación- Datos originales fueron transformados empleando la función Ln(X).

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
PAR28DA	4,17	3,84	4,08	7,25	3,23	3,48	0,18	8,49	0,88	1,50	5,20	6,68	4,62
PAR29D	4,13	3,93	3,78	6,63	3,09	3,22	-0,36	7,95	0,18	1,39	5,46	7,21	4,65
PAR32DA	3,66	4,03	3,94	6,90	3,12	3,08	-0,51	8,08	1,28	1,65	5,18	6,61	4,34
PAR33DA	3,97	3,93	3,66	6,44	2,92	3,40	-0,22	8,03	0,26	1,41	5,47	6,70	4,38
PAR34D	4,61	4,01	3,99	6,50	3,09	3,64	0,26	7,52	0,18	1,44	5,60	6,06	4,11
PAR36DA	4,61	3,91	4,07	6,70	2,98	3,26	0,41	7,55	-0,11	1,13	5,19	6,42	3,95
PAR37DA	4,30	3,31	4,31	7,20	3,47	3,18	0,00	7,13	0,00	0,99	5,07	6,21	4,25
PAR38D	4,44	3,30	4,16	6,91	3,40	2,89	0,10	6,79	-0,11	0,92	4,53	5,91	4,26
PAR39D	4,69	3,83	4,25	6,64	3,76	2,64	0,18	7,51	-0,11	0,99	4,86	5,63	3,91
PAR40DA	4,27	3,42	4,24	6,99	3,49	2,64	0,00	6,99	0,10	0,99	4,79	6,21	4,17
PAR41D	4,57	2,64	4,22	6,70	3,43	2,40	0,47	6,73	-0,36	0,34	4,25	5,42	3,53
PAR42D	4,82	3,56	4,30	6,74	3,58	2,89	0,47	6,52	-0,36	0,34	3,72	5,56	3,69
PAR43DA	4,28	3,84	3,96	6,74	3,04	3,09	0,10	8,01	0,26	1,10	4,88	6,80	4,34
PAR44DA	4,03	3,80	4,07	6,77	3,33	2,64	0,00	7,56	0,47	1,22	4,84	6,61	4,45
PAR45D	4,37	3,74	4,14	7,27	3,40	3,04	0,10	7,40	0,34	0,79	4,37	6,11	3,99
PAR46D	4,48	3,85	3,91	6,61	3,14	3,14	0,53	7,30	0,34	0,83	4,62	6,07	4,23
PAR48DA	4,42	3,89	4,16	6,99	3,22	3,36	0,26	7,34	0,18	1,16	4,97	6,45	4,48
PAR49DA	4,50	3,74	4,29	7,01	3,42	3,15	0,18	7,29	0,00	0,96	4,88	6,39	4,26
PAR50DA	4,37	4,08	3,97	6,45	2,94	3,27	0,26	7,68	-0,11	1,39	5,30	6,18	4,30
PAR51DA	4,44	3,82	4,18	6,97	3,21	3,21	0,18	7,29	-0,11	0,74	4,68	5,74	3,99
PAR52DA	4,63	4,03	4,09	6,49	3,22	3,22	0,18	6,96	0,00	0,88	4,70	5,50	4,06
PAR53D	4,44	3,61	3,85	6,43	2,77	3,14	0,41	7,23	-0,22	1,06	5,07	5,89	4,09
PAR54DA	4,54	3,58	4,25	6,88	3,37	2,97	0,18	6,98	-0,11	0,83	4,70	6,30	4,17
PAR55DA	4,53	3,56	4,29	7,01	3,44	3,39	0,18	6,85	-0,11	0,99	4,96	5,95	4,19
PAR56D	4,37	3,53	3,66	6,42	2,89	3,47	0,00	6,93	0,10	1,10	4,94	5,45	4,32
PAR57D	4,49	3,78	4,03	6,87	3,30	3,53	0,18	7,01	0,00	1,06	4,99	5,61	4,17
PAR58D	4,79	3,22	4,19	6,75	3,43	2,56	0,47	6,96	-0,22	0,88	4,90	5,47	3,93
PAR59DA	3,74	3,54	3,40	6,63	2,94	2,93	-0,36	7,20	0,69	0,64	3,71	5,75	3,99
PAR60D	3,85	4,04	3,61	6,21	2,56	4,09	-0,36	8,29	0,18	1,77	5,67	6,53	3,83
PAR62D	4,86	3,43	4,37	6,73	3,56	3,97	0,41	6,84	-0,11	0,69	4,88	5,27	4,66
PAR63D	4,71	3,64	4,14	6,84	3,37	3,18	0,41	6,93	0,00	0,83	4,91	5,78	3,97
PAR64D		3,53	4,17	7,22	3,40	2,89	0,26	6,83	0,00	0,69	4,40	5,95	4,09
PAR65DA	4,54	3,23	4,23	7,04	3,49	3,04	0,10	6,60	-0,11	0,47	4,27	5,48	4,07

**Tabla C1-** Continuación- Datos originales fueron transformados empleando la función Ln(X).

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
PAR66D	4,36	3,14	4,16	7,06	3,33	3,18	0,18	6,84	0,00	0,64	4,42	5,56	4,13
PAR67DA	4,57	3,06	4,30	7,09	3,53	3,06	0,10	7,17	0,10	0,92	4,68	5,97	4,14
PAR68D	4,42	3,30	4,08	7,05	3,30	2,83	0,18	6,65	-0,11	0,59	4,28	5,52	3,87
PAR69DA	4,46	3,17	4,37	7,20	3,71	3,22	0,10	6,63	0,10	0,96	5,03	5,57	4,06
PAR70D	4,17	2,89	4,48	7,09	3,64	2,83	-0,11	6,23	0,10	0,74	4,60	5,34	4,11
PAR71DA	4,20	3,26	4,54	7,56	4,14	3,70	-0,36	7,00	0,41	0,96	4,81	6,07	4,20
PAR73DA	4,30	3,60	3,84	6,67	3,23	2,86	0,00	7,72	-0,11	1,03	4,98	6,06	4,84
PAR74D	4,08	3,22	3,71	7,73	3,99	3,04	-0,51	7,06	0,18	0,47	4,62	5,56	3,81
PAR76D	3,78	3,37	3,40	6,20	3,00	3,85	-0,69	7,80	-0,11	1,50	5,79	5,98	4,26
PAR77D	4,79	3,09	3,91	7,25	4,03	3,26	-0,11	7,31	-0,22	0,96	5,05	5,88	3,93
PAR78DA	3,77	3,40	3,91	7,22	3,33	3,59	-0,51	7,06	0,00	1,28	5,34	6,01	4,02
PAR79D	4,06	3,47	3,85	7,10	3,04	3,26	-0,22	7,06	0,18	1,03	4,93	5,85	4,17
PAR80DA	4,37	3,60	4,44	7,88	3,48	3,60	-0,11	6,78	0,10	0,88	4,90	6,07	4,13
PAR2D	4,30	3,30	3,81	6,85	3,04	3,37	0,00	6,20	0,00	0,79	4,57	5,82	4,20
PAR3DA	4,22	2,94	3,91	6,93	3,30	3,14	-0,51	6,59	-0,22	0,69	4,66	6,01	4,01
PAR4D	4,44	3,81	3,78	6,90	3,00	3,09	0,18	7,63	0,00	1,13	5,08	6,60	4,28
PAR5D	4,29	3,04	4,45	7,74	3,87	3,30	-0,22	5,83	0,10	0,59	4,35	5,77	4,08
PAR9DA	4,96	4,06	4,47	7,09	3,66	4,04	0,10	6,47	0,00	0,26	3,76	5,37	3,93
PAR9DB	4,42	3,56	3,85	5,89	2,71	4,09	0,26	7,15	-0,22	0,26	4,34	5,24	4,11
PAR9MA	4,78	3,69	4,09	6,40	3,30	3,50	0,41	6,06	0,00	0,47	4,52	5,25	4,34
MAR2D	4,73	2,83	4,62	7,59	3,87	3,30	0,18	5,82	-0,36	1,13	4,60	5,91	4,25
MAR6D	3,99	3,04	4,26	7,16	3,43	2,89	-0,36	6,24	-0,36	0,41	4,13	5,67	4,08
MAR12DA	4,29	3,31	4,26	7,35	3,46	3,09	0,00	6,83	-0,22	0,69	4,36	5,75	4,18
MAR14DA	4,15	3,58	4,24	7,63	3,47	3,48	-0,22	7,10	-0,11	0,83	4,75	5,99	4,14
MAR15DA	4,20	3,27	4,24	7,66	3,46	3,42	-0,22	6,08	-0,11	0,18	4,21	5,51	3,96
MAR16D	4,38	3,81	4,06	7,36	3,76	3,66		6,10		0,18	4,01	2,40	4,20
MAR18DA	4,20	3,50	4,17	7,39	3,60	3,20	-0,11	6,88	-0,22	0,69	4,36	5,86	3,87
CUR1DA	4,35	3,56	4,13	7,30	3,45	3,26	0,18	6,82	0,34	1,03	4,74	5,69	4,08
CUR4D	4,25	3,71	4,06	7,55	3,37	3,14	0,26	7,40	0,26	1,19	5,00	5,95	4,06
CUR5D	4,25	3,69	3,87	6,59	3,14	3,33	0,26	7,96	0,18	1,13	5,04	6,26	4,16
CUR7D	4,29	3,74	3,89	6,74	3,30	3,43	0,26	7,50	0,26	1,16	5,03	6,20	4,14
CUR9D	4,26	3,83	3,81	6,87	3,22	3,14	0,26	7,75	0,34	1,13	4,85	6,15	4,13
CUR11D	4,44	3,76	3,93	6,86	3,26	3,18	0,26	7,68	0,18	1,22	5,17	6,17	4,08

**Tabla C1-** Continuación- Datos originales fueron transformados empleando la función Ln(X).

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
ANT1DA	4,46	3,53	4,08	7,18	3,25	3,06	0,10	6,51	0,00	0,79	4,64	6,00	4,14
ANT4DA	4,37	3,04	4,03	7,20	3,28	3,33	0,10	6,06	-0,22	0,41	4,06	5,80	3,95
ANT5D	4,39	3,14	3,99	6,66	3,18	3,22	0,18	7,03	-0,22	0,96	4,77	6,06	4,22
ANT6DA	4,51	3,24	4,14	7,02	3,20	3,26	0,34	6,87	-0,22	0,99	5,09	5,94	4,15
ANT8D	4,34	3,30	4,01	6,93	3,09	3,18	0,18	6,95	-0,22	0,92	4,78	6,05	4,11
ANT9D	4,25	3,50	4,03	6,63	3,04	3,69	0,18	7,53	-0,11	1,31	5,51	5,76	4,16
ANT14D	4,44	3,47	4,01	6,80	2,94	3,50	0,26	7,19	0,00	1,36	5,33	5,90	4,13
ANT18D	4,70	3,66	4,33	6,87	3,14	3,30	0,74	6,32	0,00	1,10	5,17	5,86	4,04
ANT19D	4,67	3,81	4,04	6,83	2,94	3,37	0,69	6,52	0,00	1,10	5,05	5,92	3,97
ANT25D	4,64	3,53	4,01	6,56	2,94	3,66	0,59	6,75	-0,22	1,06	5,11	5,66	3,97
ANT27DA	4,89		4,17	6,60	3,16	3,62	0,74	6,97	0,10	1,39	5,51	5,93	4,28
ANT30D	4,54	3,64	3,97	6,58	2,89	3,56	0,41	7,14	0,00	1,39	5,40	6,01	4,22
ANT32DA	4,77	3,85	4,04	6,58	2,94	3,44	0,64	7,01	-0,11	1,22	5,20	6,23	4,21
ANT34D	4,28	4,13	3,97	6,32	3,04	3,83	0,26	7,18	0,47	1,84	5,83	6,06	4,39
ANT35D	4,43	4,03	4,08	6,75	3,47	3,43	0,18	7,18	-0,11	1,06	5,03	6,18	4,14
ANT37DA	4,54	3,82	4,52	6,89	3,48	3,48	0,41	6,99	0,18	1,25	5,37	5,58	4,30
ANT52DA	4,55	3,73	4,20	7,00	3,25	3,43	0,41	7,04	0,00	1,25	5,31	6,00	4,20

**APÉNDICE D – Datos originales fueron transformados empleando la función Box- Cox.**

**Tabla D1-** Datos originales fueron transformados empleando la función Box-Cox.

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
CAR1DA	7,06	12,48	17,01	12,26	3,92	2,17	1,20	6,14	0,60	1,50	16,72	29,95	2,42
CAR2D	20,88	15,45	17,91	11,64	3,79	2,98	1,25	6,10	0,59	1,42	17,87	26,07	2,55
CAR3DA	18,31	16,29	22,85	15,05	4,45	2,82	1,05	6,46	0,67	2,09	22,47	27,65	2,48
CAR4DA	20,44	15,45	19,85				1,20	6,31	0,62	1,85	20,12	26,97	2,49
CAR5DA	21,88	14,35	17,91	12,11	3,47	2,35	1,38	6,11	0,57	1,57	20,32	27,03	2,41
CAR6DA	20,29	13,67	17,69	11,99	3,71	2,39	0,89	5,87	0,50	1,19	14,94	27,72	2,45
CAR8DA	22,02	15,01	18,57	12,70	4,17	2,77	0,83	5,71	0,52	1,01	13,81	21,74	2,45
CAR10DA	22,98	14,80	21,48	12,95	4,29	2,53	0,83	6,13	0,48	1,31	16,29	20,30	2,50
CAR11DA	21,17	14,91	17,47	12,23	3,99	2,35	0,71	5,49	0,46	0,75	12,43	18,44	2,44
CAR12DA	3,90	11,49	21,88	13,23	4,17	2,56	0,71	6,24	0,48	1,28	16,41	20,07	2,51
CAR13DA	3,02	13,44	17,01	12,40	3,86	2,53	0,57	5,65	0,48	0,93	13,61	19,62	2,47
CAR14DA	15,42	12,53	18,37	13,43	3,89	2,55	0,64	5,76	0,50	0,97	13,54	21,06	2,45
CAR15DA	17,81	13,13	19,93	12,83	4,11	2,50	0,71	5,73	0,50	0,93	13,04	18,99	2,46
CAR16DA	18,35	13,22	19,17	13,78	4,13	2,43	0,71	5,84	0,48	1,05	14,47	22,77	2,46
CAR17DA	18,21	7,84	17,13	12,83	4,08	2,47	0,71	5,52	0,37	0,34	9,29	16,83	2,30
CAR18D	21,74	10,70	24,18	13,83	4,85	2,58	0,83	5,13	0,40	0,34	10,90	16,57	2,43
CAR19D	19,09	10,16	22,27	14,33	4,39	2,50	0,71	5,15	0,43	0,59	11,44	16,92	2,37
CAR20DA	21,43	10,89	23,39	13,78	4,70	2,61	0,71	5,70	0,46	0,93	14,62	17,69	2,46
CAR21DA	22,75	10,54	21,00	14,14	4,30	2,56	0,89	5,42	0,46	0,75	11,83	17,72	2,41
CAR22D	35,65	5,76	18,78	11,31	3,08	2,31	1,63	5,43	0,28	0,65	13,50	12,08	2,33
CAR23D	21,74	12,72	18,35	13,24	4,17	2,75	0,94	5,92	0,46	0,80	12,63	17,45	2,36
CAR24DA	22,21	13,39	19,30	13,19	4,22	2,79	0,89	5,57	0,46	1,01	13,81	17,79	2,41
CAR25D	23,65	8,74	18,35	12,76	4,17	2,35	1,05	5,09	0,28	-0,22	3,77	12,53	2,28
CAR26DA	21,18	12,19	22,66	14,56	4,39	2,68	0,94	5,45	0,46	0,85	10,65	19,59	2,41
CAR28D	21,45	8,43	22,66	14,20	4,81	2,46	0,83	4,81	0,43	0,75	11,40	21,01	2,48
CAR30D	20,59	11,49	21,88	14,23	4,81	2,39	0,94	5,45	0,48	0,65	11,64	24,86	2,44
CAR31D	21,02	11,99	22,27	13,65	4,23	2,64	1,00	5,56	0,48	1,01	12,84	22,28	2,40
CAR32D	22,43	11,49	17,24	12,42	4,12	2,43	1,20	5,64	0,43	0,80	9,91	20,30	2,42
CAR33D	22,71	11,49	23,43	13,75	4,81	2,66	0,94	5,33	0,48	0,89	11,48	21,40	2,45

**Tabla D1-** Continuación- Datos originales fueron transformados empleando la función Box-Cox.

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
CAR34D	19,55	9,32	23,43	13,89	4,73	2,58	0,89	5,40	0,40	0,65	9,09	20,11	2,44
CAR35D	19,55	10,16	23,43	13,60	4,34	2,79	0,89	5,51	0,40	0,65	10,51	18,73	2,37
CAR36D	23,25	17,51	18,78	11,51	4,73	2,58	1,00	6,04	0,43	0,89	12,48	23,44	2,40
CAR37D	23,25	9,61	22,27	13,42	4,97	2,39	1,00	5,06	0,40	0,70	10,13	17,95	2,41
CAR39D	24,31	12,24	17,91	11,81	4,05	2,61	1,29	5,32	0,46	0,65	12,16	18,18	2,33
CAR40D	23,52	10,97	24,00	12,93	5,01	2,56	1,05	5,40	0,46	0,59	10,20	19,09	2,38
CAR41D	25,33	11,74	23,62	13,23	4,73	2,61	1,10	5,03	0,48	0,85	11,75	16,99	2,37
CAR42D	24,95	8,43	23,05	12,19	4,81	2,50	1,05	4,72	0,37	0,26	5,52	17,63	2,34
CAR43D	21,17	9,61	20,47	14,58	4,29	2,53	1,15	5,10	0,48	1,01	12,12	22,50	2,37
CAR44D	25,59	11,74	20,26	13,54	4,23	2,75	1,25	5,63	0,46	1,31	15,63	19,02	2,30
CAR45D	20,59	9,03	22,47	12,81	4,77	2,58	0,94	5,55	0,46	0,54	13,85	16,21	2,37
CAR47D	46,49	9,61	24,56	14,00	4,81	2,43	1,25	5,01	0,37	0,34	9,09	14,39	2,28
CAR48D	28,60	13,90	21,48	12,12	4,77	2,50	1,38	5,62	0,43	0,80	12,80	17,65	2,31
CAR49D	21,88	9,89	22,07	13,31	4,93	2,58	1,38	5,62	0,43	0,80	12,79	17,65	2,34
CAR53DA	20,21	11,43	19,91	14,48	4,40	2,63	0,89	5,53	0,50	1,01	15,63	19,61	2,36
CAR54DA	20,09	11,61	22,17	14,54	4,48	2,57	0,94	5,28	0,50	0,97	12,53	19,35	2,42
CAR55D	18,62	12,96	22,07	14,13	4,59	2,86	0,71	5,85	0,46	1,22	14,70	18,16	2,43
CAR56DA	18,90	13,69	21,30	14,36	4,09	2,58	0,77	5,35	0,52	1,25	15,57	19,93	2,37
CAR57DA	18,95	11,86	20,79	14,23	4,32	2,54	0,83	5,76	0,48	0,85	11,47	21,21	2,39
CAR58DA	21,60	13,20	21,44	13,68	4,37	2,74	0,89	5,64	0,48	1,16	16,32	20,07	2,45
CAR59D	24,31	13,67	18,78	13,12	4,12	2,58	0,94	5,68	0,48	1,25	15,12	18,87	2,34
CAR60D	20,88	13,44	19,21	12,88	4,05	2,53	0,94	6,02	0,83	1,19	15,46	22,82	2,48
CAR61D	24,44	13,90	16,55	11,07	4,12	2,77	1,15	5,53	0,50	1,59	17,96	20,43	2,40
CAR62D	15,45	16,29	24,74	15,90	4,59	2,73	0,57	5,70	0,54	1,37	16,94	22,72	2,40
PAR10DA	16,15	19,01	15,38	12,71	3,63	2,13	0,83	5,82	0,66	1,09	10,70	19,33	2,32
PAR12DA	11,55	15,60	16,49	13,44	3,47	2,50	0,71	6,03	0,68	1,09	10,72	19,79	2,22
PAR14D	18,15	14,12	16,55	11,63	3,18	2,64	1,00	6,37	0,60	1,76	17,65	23,98	2,47
PAR17DA	20,56	14,68	17,35	12,19	4,02	2,41	0,89	5,84	0,50	1,05	13,02	17,21	2,32
PAR19D	20,00	13,67	20,05	12,32	4,17	2,58	0,83	5,43	0,46	1,01	14,37	16,90	2,44
PAR20	16,33	11,99	17,47	12,49	3,99	2,39	0,57	5,67	0,52	1,12	14,35	18,36	2,43
PAR22D	17,99	13,67	17,91	12,29	3,99	2,39	0,83	5,33	0,43	1,01	14,58	18,15	2,41
PAR25DA	18,43	15,08	19,42	12,58	3,99	2,52	0,77	5,82	0,52	1,28	16,97	22,49	2,42
PAR26D	23,12	10,70	24,00	13,14	4,29	2,75	0,83	5,11	0,43	0,65	9,26	16,64	2,33

**Tabla D1-** Continuación- Datos originales fueron transformados empleando la función Box-Cox.

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
PAR27D	17,50	14,35	19,21	12,15	3,79	2,56	0,83	6,31	0,52	1,05	13,15	18,82	2,34
PAR28DA	17,12	15,08	18,78	13,88	4,07	2,77	0,89	6,48	0,67	1,55	16,06	23,64	2,49
PAR29D	16,67	16,08	15,38	11,95	3,86	2,61	0,57	6,17	0,52	1,42	17,97	28,65	2,50
PAR32DA	12,39	17,17	17,08	12,75	3,90	2,52	0,50	6,24	0,73	1,70	15,90	23,11	2,42
PAR33DA	15,09	16,08	14,15	11,38	3,59	2,73	0,64	6,22	0,54	1,45	18,02	23,83	2,43
PAR34D	22,43	16,91	17,69	11,56	3,86	2,87	0,94	5,91	0,52	1,47	19,02	18,79	2,36
PAR36DA	22,53	15,87	18,72	12,15	3,69	2,64	1,05	5,93	0,46	1,16	15,95	21,53	2,31
PAR37DA	18,62	10,52	21,94	13,70	4,45	2,58	0,77	5,67	0,48	1,01	15,11	19,93	2,40
PAR38D	20,29	10,43	19,85	12,78	4,34	2,39	0,83	5,46	0,46	0,93	11,90	17,78	2,40
PAR39D	23,65	15,01	21,08	11,97	4,93	2,22	0,89	5,91	0,46	1,01	13,82	15,99	2,30
PAR40DA	18,19	11,41	21,02	13,03	4,48	2,22	0,77	5,59	0,50	1,01	13,36	19,89	2,37
PAR41D	22,02	6,48	20,67	12,16	4,39	2,05	1,10	5,42	0,40	0,34	10,44	14,74	2,17
PAR42D	25,59	12,48	21,88	12,27	4,64	2,39	1,10	5,28	0,40	0,34	8,08	15,54	2,23
PAR43DA	18,35	15,08	17,31	12,28	3,79	2,53	0,83	6,21	0,54	1,12	13,89	24,75	2,42
PAR44DA	15,63	14,68	18,68	12,37	4,23	2,22	0,77	5,93	0,59	1,25	13,66	23,06	2,45
PAR45D	19,39	14,12	19,64	13,94	4,34	2,50	0,83	5,84	0,56	0,80	11,01	19,18	2,32
PAR46D	20,73	15,23	16,78	11,88	3,92	2,56	1,15	5,78	0,56	0,85	12,36	18,87	2,39
PAR48DA	19,95	15,66	19,85	13,05	4,05	2,70	0,94	5,80	0,52	1,19	14,50	21,71	2,46
PAR49DA	21,07	14,19	21,74	13,11	4,38	2,56	0,89	5,77	0,48	0,97	13,89	21,28	2,40
PAR50DA	19,35	17,71	17,47	11,42	3,63	2,64	0,94	6,01	0,46	1,42	16,76	19,70	2,41
PAR51DA	20,29	14,95	20,12	12,99	4,04	2,60	0,89	5,77	0,46	0,75	12,73	16,68	2,32
PAR52DA	22,84	17,11	19,00	11,54	4,05	2,61	0,89	5,57	0,48	0,89	12,86	15,19	2,34
PAR53D	20,29	12,96	16,09	11,38	3,38	2,56	1,05	5,73	0,43	1,09	15,14	17,67	2,35
PAR54DA	21,53	12,72	21,08	12,69	4,29	2,45	0,89	5,58	0,46	0,85	12,81	20,58	2,37
PAR55DA	21,35	12,48	21,62	13,11	4,41	2,72	0,89	5,50	0,46	1,01	14,43	18,02	2,38
PAR56D	19,39	12,24	14,15	11,33	3,55	2,77	0,77	5,55	0,50	1,12	14,27	14,91	2,41
PAR57D	20,88	14,57	18,13	12,67	4,17	2,81	0,89	5,60	0,48	1,09	14,62	15,84	2,37
PAR58D	25,08	9,89	20,26	12,30	4,39	2,17	1,10	5,56	0,43	0,89	14,07	14,99	2,30
PAR59DA	13,00	12,31	11,77	11,93	3,63	2,42	0,57	5,72	0,63	0,65	8,02	16,71	2,32
PAR60D	13,98	17,31	13,64	10,75	3,08	3,15	0,57	6,36	0,52	1,83	19,64	22,36	2,27
PAR62D	26,21	11,49	22,85	12,24	4,59	3,07	1,05	5,49	0,46	0,70	13,92	13,89	2,50
PAR63D	23,92	13,20	19,64	12,57	4,29	2,58	1,05	5,55	0,48	0,85	14,11	16,92	2,31

**Tabla D1-** Continuación- Datos originales fueron transformados empleando la función Box-Cox.

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
PAR64D		12,24	20,05	13,78	4,34	2,39	0,94	5,48	0,48	0,70	11,17	18,05	2,35
PAR65DA	21,50	9,97	20,88	13,20	4,48	2,50	0,83	5,34	0,46	0,47	10,55	15,06	2,34
PAR66D	19,24	9,32	19,85	13,24	4,23	2,58	0,89	5,49	0,48	0,65	11,32	15,52	2,36
PAR67DA	21,92	8,82	21,88	13,34	4,54	2,51	0,83	5,70	0,50	0,93	12,74	18,15	2,37
PAR68D	20,00	10,43	18,78	13,22	4,17	2,35	0,89	5,37	0,46	0,59	10,61	15,31	2,28
PAR69DA	20,55	9,52	22,85	13,70	4,84	2,61	0,83	5,36	0,50	0,97	14,88	15,60	2,34
PAR70D	17,17	7,81	24,56	13,34	4,73	2,35	0,71	5,10	0,50	0,75	12,29	14,27	2,36
PAR71DA	17,42	10,16	25,66	14,89	5,58	2,91	0,57	5,59	0,57	0,97	13,49	18,90	2,38
PAR73DA	18,54	12,87	15,97	12,05	4,07	2,37	0,77	6,03	0,46	1,05	14,57	18,83	2,55
PAR74D	16,15	9,89	14,64	15,49	5,32	2,50	0,50	5,63	0,52	0,47	12,36	15,56	2,26
PAR76D	13,40	10,97	11,77	10,72	3,71	3,00	0,43	6,08	0,46	1,55	20,61	18,22	2,40
PAR77D	25,08	9,03	16,78	13,86	5,39	2,64	0,71	5,78	0,43	0,97	15,02	17,59	2,30
PAR78DA	13,26	11,23	16,78	13,78	4,23	2,85	0,50	5,63	0,48	1,31	17,02	18,46	2,33
PAR79D	15,98	11,74	16,09	13,38	3,79	2,64	0,64	5,63	0,52	1,05	14,21	17,40	2,37
PAR80DA	19,39	12,84	24,00	16,04	4,47	2,85	0,71	5,45	0,50	0,89	14,02	18,88	2,36
PAR2D	18,62	10,43	15,62	12,62	3,79	2,71	0,77	5,08	0,48	0,80	12,09	17,18	2,38
PAR3DA	17,66	8,13	16,78	12,85	4,17	2,56	0,50	5,33	0,43	0,70	12,59	18,44	2,33
PAR4D	20,29	14,80	15,38	12,74	3,71	2,53	0,89	5,98	0,48	1,16	15,20	22,97	2,40
PAR5D	18,46	8,74	24,18	15,53	5,12	2,66	0,64	4,83	0,50	0,59	10,94	16,84	2,35
PAR9DA	27,90	17,51	24,37	13,35	4,77	3,12	0,83	5,25	0,48	0,26	8,23	14,43	2,30
PAR9DB	20,00	12,48	16,09	9,89	3,28	3,15	0,94	5,69	0,43	0,26	10,90	13,74	2,36
PAR9MA	24,95	13,67	19,00	11,28	4,17	2,79	1,05	4,98	0,48	0,47	11,83	13,77	2,42
MAR2D	24,18	7,49	26,91	15,02	5,12	2,66	0,89	4,82	0,40	1,16	12,29	17,77	2,40
MAR6D	15,27	8,74	21,28	13,56	4,39	2,39	0,57	5,11	0,40	0,41	9,88	16,23	2,35
MAR12DA	18,46	10,52	21,22	14,20	4,43	2,53	0,77	5,48	0,43	0,70	10,96	16,71	2,38
MAR14DA	16,95	12,65	21,02	15,15	4,45	2,77	0,64	5,65	0,46	0,85	13,11	18,34	2,37
MAR15DA	17,45	10,24	20,94	15,26	4,43	2,74	0,64	5,00	0,46	0,18	10,26	15,23	2,31
MAR16D	19,55	14,80	18,57	14,24	4,93	2,89	0,00	5,01	0,00	0,18	9,29	3,62	2,38
MAR18DA	17,42	11,99	19,95	14,33	4,66	2,60	0,71	5,51	0,43	0,70	10,97	17,43	2,28
CUR1DA	19,16	12,48	19,42	14,02	4,42	2,64	0,89	5,48	0,56	1,05	13,10	16,33	2,35
CUR4D	17,99	13,90	18,57	14,88	4,29	2,56	0,94	5,84	0,54	1,22	14,70	18,02	2,34
CUR5D	17,99	13,67	16,32	11,84	3,92	2,68	0,94	6,17	0,52	1,16	14,93	20,30	2,37
CUR7D	18,46	14,12	16,55	12,26	4,17	2,75	0,94	5,90	0,54	1,19	14,91	19,80	2,37

**Tabla D1-** Continuación- Datos originales fueron transformados empleando la función Box-Cox.

Muestra	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cu	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Zn
CUR9D	18,15	15,01	15,62	12,66	4,05	2,56	0,94	6,05	0,56	1,16	13,72	19,47	2,36
CUR11D	20,29	14,35	17,01	12,62	4,12	2,58	0,94	6,01	0,52	1,25	15,79	19,57	2,35
ANT1DA	20,49	12,24	18,85	13,65	4,10	2,51	0,83	5,28	0,48	0,80	12,50	18,36	2,36
ANT4DA	19,44	8,74	18,20	13,69	4,16	2,68	0,83	4,99	0,43	0,41	9,54	17,05	2,31
ANT5D	19,70	9,32	17,69	12,02	3,99	2,61	0,89	5,61	0,43	0,97	13,23	18,81	2,39
ANT6DA	21,17	10,03	19,64	13,13	4,02	2,64	1,00	5,51	0,43	1,01	15,30	18,00	2,37
ANT8D	19,09	10,43	17,91	12,85	3,86	2,58	0,89	5,56	0,43	0,93	13,32	18,74	2,36
ANT9D	17,99	11,99	18,13	11,95	3,79	2,91	0,89	5,92	0,46	1,34	18,33	16,78	2,37
ANT14D	20,29	11,74	17,91	12,45	3,63	2,79	0,94	5,71	0,48	1,40	16,94	17,68	2,36
ANT18D	23,78	13,44	22,27	12,66	3,92	2,66	1,34	5,16	0,48	1,12	15,82	17,41	2,34
ANT19D	23,38	14,80	18,35	12,55	3,63	2,71	1,29	5,28	0,48	1,12	15,01	17,84	2,31
ANT25D	22,98	12,24	17,91	11,73	3,63	2,89	1,20	5,44	0,43	1,09	15,40	16,18	2,31
ANT27DA	26,70	16,40	20,05	11,86	3,96	2,87	1,34	5,57	0,50	1,42	18,33	17,90	2,40
ANT30D	21,60	13,20	17,47	11,80	3,55	2,82	1,05	5,68	0,48	1,42	17,50	18,46	2,39
ANT32DA	24,82	15,23	18,35	11,79	3,63	2,75	1,25	5,60	0,46	1,25	16,06	20,05	2,38
ANT34D	18,31	18,30	17,47	11,06	3,79	2,99	0,94	5,71	0,59	1,90	21,04	18,83	2,44
ANT35D	20,15	17,11	18,78	12,31	4,45	2,75	0,89	5,70	0,46	1,09	14,88	19,70	2,37
ANT37DA	21,55	14,95	25,24	12,71	4,46	2,78	1,05	5,59	0,52	1,28	17,29	15,65	2,41
ANT52DA	21,69	14,06	20,40	13,08	4,10	2,75	1,05	5,62	0,48	1,28	16,81	18,37	2,38

## APÉNDICE E – Estadísticos calculados para los datos de todas las variables.

**Tabla E1** - Estadísticos calculados para los datos de todas las variables.

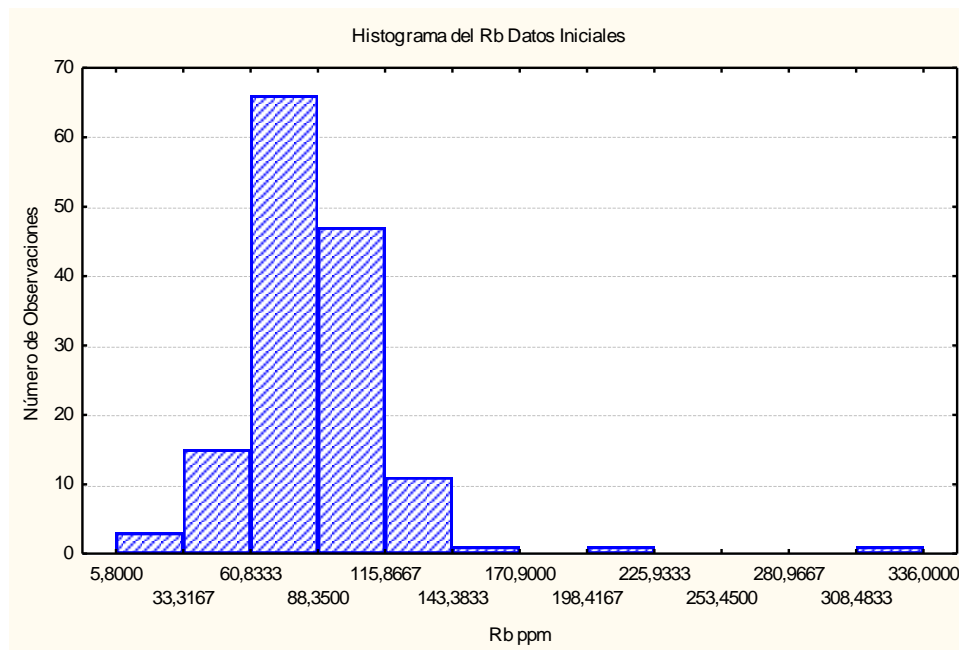
Elementos	Número de muestras	Media	Mediana	Valor Mínimo	Valor máximo	Cuartil 1	Cuartil 3	Rango	Desviación Estándar
Rb ppm	145	86,83	85,00	5,80	336,000	72,0000	97,000	330,200	33,0286
Sr ppm	146	36,18	35,10	12,00	65,700	27,3000	44,500	53,700	10,8320
Y ppm	146	63,21	61,70	30,00	101,000	53,0000	73,300	71,000	13,4794
Zr ppm	145	1124,33	1023,00	361,00	2653,000	823,0000	1339,000	2292,000	420,0487
Nb ppm	145	28,71	27,00	13,00	62,500	23,0000	32,000	49,500	8,4768
Cu ppm	145	26,14	24,00	11,00	60,000	21,0000	30,700	49,000	8,6583
K %	146	1,23	1,20	0,00	2,800	1,0000	1,400	2,800	0,3951
Ca ppm	146	1367,52	1137,00	291,90	4881,600	837,3000	1637,800	4589,700	866,3599
Ti %	146	1,12	1,00	0,00	9,000	0,9000	1,200	9,000	0,7763
Fe %	146	2,78	2,70	0,80	7,500	2,1000	3,200	6,700	1,0534
Cr ppm	146	135,87	126,90	10,50	399,900	90,5000	165,500	389,400	65,4755
Mn ppm	146	464,72	404,20	11,00	1530,600	323,7000	512,100	1519,600	237,5475
Zn ppm	146	68,42	65,00	34,00	131,000	58,0000	76,700	97,000	16,0859

## APÉNDICE F – Construcción de histogramas y cajas gráficas.

La construcción de los histogramas, fue llevada a cabo empleando el programa Statistica 10.0 y el valor de la amplitud del intervalo clases a usar, fue calculado empleando el método de “Raíz cuadrada de N”.

$$A = N^{1/2} \quad A = \text{Amplitud del intervalo}$$
$$N = \text{Número de datos}$$

A continuación se muestra un ejemplo:

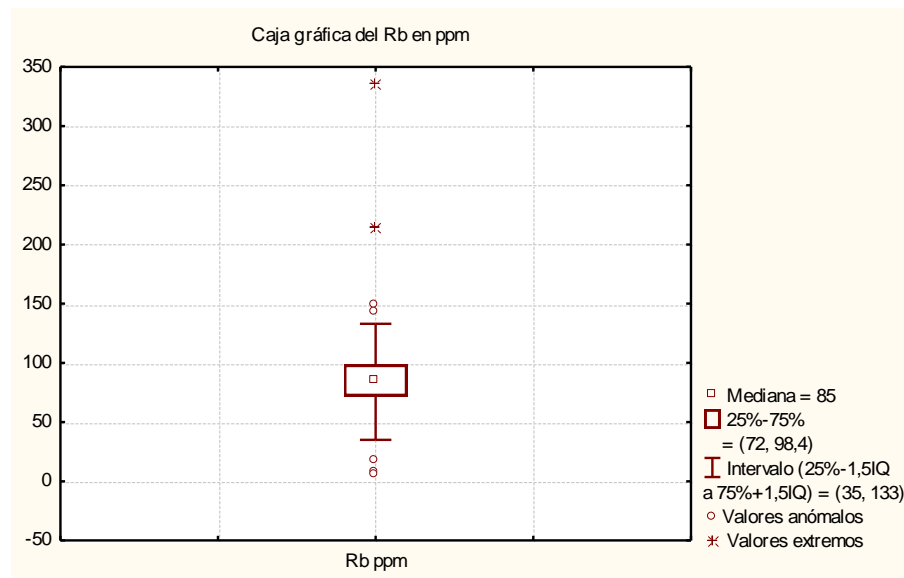


**Figura F 1-** Histograma de la concentración de Rb, en la fracción fina de los sedimentos de corriente de la cuenca hidrográfica del Alto Paragua.

## Construcción de cajas gráficas

La construcción de las cajas gráficas fue realizada a través del programa Statistica 10.0 bajo los siguientes criterios : la caja, que constituye el 50% de los datos, está limitada por los percentiles 75 y 25, dentro de está es señalada la mediana (línea recta); la diferencia entre el 75p y 25p representa el valor de la distancia intercuartil y es representado por los “bigotes”, la estimación de este valor se realiza tomando el 75p y sumándole el 1,5 de la distancia intercuartil para el caso del “bigote” superior, o tomando el 25p y restándole el 1,5 de la distancia intercuartil para el “bigote” inferior; los datos que se encuentren por encima del “bigote” superior representan las anomalías, así como aquellos que se encuentren por debajo del “bigote” inferior las anomalías bajas.

A continuación se muestra un ejemplo:



**Figura F 2-** Caja grafica para el Rb, en la fracción fina de los sedimentos de corriente de la cuenca hidrográfica del Alto Paragua.