

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**INTEGRACIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LOS
DISTRITOS MINEROS UBICADO ENTRE LOS MUNICIPIOS
ROSCIO, EL CALLAO Y SIFONTES EN EL EDO. BOLÍVAR,
VENEZUELA, A ESCALA 1:50.000**

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los bachilleres:
Ana E. Cuba R.
Elvi M. Montero P.
Para optar al título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, 2016

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**INTEGRACIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LOS
DISTRITOS MINEROS UBICADO ENTRE LOS MUNICIPIOS
ROSCIO, EL CALLAO Y SIFONTES EN EL EDO. BOLÍVAR,
VENEZUELA, A ESCALA 1:50.000**

TUTORES ACADÉMICO: Prof. Ander De Abrisqueta

Prof. David Mendi

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los bachilleres:
Ana E. Cuba R.
Elvi M. Montero P.
Para optar al título de
Ingeniero Geólogo

Caracas, 2016

Agradecimientos

A mi Universidad Central de Venezuela, por abrirnos las puertas del conocimiento y contribuir a nuestra formación como profesionales, a los profesores de la escuela de Geología, Minas y Geofísica que nos brindaron toda su asistencia en beneficio de la carrera.

A Dios por sobre todas las cosas, por quitarme, darme salud y fuerza para superar cada obstáculo en este duro y largo camino, y poder alcanzar un escalón más de mis metas.

Agradecida con el personal de Ingeomin por su colaboración durante la etapa de compilación del proyecto. Gracias al Prof. William Meléndez de la Facultad de Ciencias por su asistencia y cooperación académica.

Gracias al prof. Rthman Hurtado por todo el apoyo y la ayuda que nos brindó.

A mis tutores el Prof. Ander de Abrisqueta y Prof. David Mendi por su disposición, asesoría y orientación para llevar a cabo la realización de este proyecto.

A mi madre querida Ana, por todo su apoyo y amor incondicional, por estar siempre presente, levantándose con sus valiosas palabras, gracias por tener tanta paciencia, por enseñarme los valores, principios y sentimientos, por estar cerca cuando te encontrabas lejos, por esas llamadas cada viernes para saber a qué hora llegaba para recibirme con una sonrisa y un plato con mi comida favorita, este logro también es tuyo! TE AMO MAMI!

A mi padre Antonio, gracias por la ayuda y el apoyo que me brindaste en esta etapa de mi vida. Al mejor hermano que Dios me pudo dar mi querido Rodolfo por estar siempre a mi lado apoyándome en cualquier momento. A mi cuñada Yeli por el cariño y estar siempre pendiente. A mi nerrito bello Dieguito y a mi adorada Sofía Angelit quienes son mi motivación, que con sus sonrisas me llenan de alegría. Los adoro!

A toda mi bella familia que de alguna forma u otra me acompañaron durante este lapso de mi vida, en especial a mi abuela Palmenia por estar siempre pendiente de mí, a mis tías Meña y Luzmila por su cariño y atención. A todos mis niños bellos Ángel, Daniel, Meño, Kenyo, Yoscari y el tremendín Luisito. A mi compañera de tesis Elvi Mar, a quien nunca hallaré la forma de agradecer la paciencia, el cariño, la comprensión y el apoyo brindado en los buenos y malos momentos en esta etapa de mi vida, hago este triunfo compartido.

A la familia Montero Pérez mi segunda familia, gracias por el enorme amor que me han brindado desde niña, sus consejos, sus enseñanzas, su hospitalidad y su sencillez, no tengo palabras por todo su cariño infinito.

A mi súper amiga "Tu, Poma" María Astrid que de manera incondicional siempre has estado a mi lado ofreciéndome tu apoyo, cariño, confianza y aliento para seguir adelante, gracias por tu paciencia y por los todos los momentos que hemos compartidos, siempre estarás en mi corazón.

Un especial agradecimiento a todo el Combo, a Taco por volver a nacer conmigo, gracias por tu afecto, cariño y apoyo eres un gran amigo, a mi ami Katheanny por tus consejos y por ayudarme a tomar decisiones siempre acertadas, a mi chipolina Naly por estar siempre pendiente de mí, a mi bella amiga Adel por el cariño y la solidaridad que me has brindado desde que nos conocimos. Norelys La peque gracias por haber vivido conmigo inolvidables experiencias. Los quiero!

Zuiero agradecer a Pedro Gonzales, Angely Romero, Andrés Miranda, Miquel Uzcátequi, Gabo Uzcátequi, Jesús F, Anny, Yordi, Esparti, Osberth, Galy, Henry (Sheldon), Wliden, Javi Javi y a todos mis amigos y compañeros que de una forma u otra compartieron conmigo durante mi estadía en la universidad, los recordare siempre.

Y finalmente, a todas y cada una de las personas que de alguna u otra manera, contribuyeron a que lograra esta meta que me propuse en la vida, y que me ha permitido crecer intelectualmente como persona y como ser humano.

Ana E. Cuba R

Primeramente le agradezco a Dios por todo, por haberme otorgado salud, para lograr mis metas propuestas hasta ahora, y si el me lo permite seguiré luchando por todo lo que me proponga.

A la Ilustre UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, LA CASA QUE VENCE LAS SOMBRAS, por abrir las puertas del conocimiento y permitirme el estudiar para tener una formación como profesional

A mis padres, Xiomara, Elvira y Martin por haberme apoyado incondicionalmente en todo momento, los amo inmensamente.

A los profesores de la escuela de Geología, Minas y Geofísica que nos llevaron por el camino del conocimiento, y por la paciencia que nos tuvieron.

Al profesor William Meléndez que nos apoyó en la compilación de la información, al igual que a las personas que laboran en la biblioteca de INGEOMIN y el IVIC y al profesor Ruthman Hurtado por todo el apoyo brindado durante la realización del proyecto.

A toda mi familia que siempre estuvo presente en todos mis pasos en especial a mis hermanos Walter, Maikol, Frankevel, Brayan, Johan, Jesús y Jetzaid.

A mi papá Walter gracias por el apoyo que me has dado en esta etapa de mi vida.

A mi querido José Gabriel Carrero Rivas que siempre me apoyó e impulsó por hacer las cosas bien, con corazón y pasión, y que siempre me escucha y aconseja. Siempre estaré agradecida por todos los momentos que hemos pasado y pasaremos, TAM.

A mi compañera de tesis Ana Enyibel Cuba Rodríguez que me acompañó durante mi aprendizaje, en campo y en este proyecto, de verdad que gracias por todo y por la paciencia que tuviste conmigo, el apoyo que me brindaste en todos los momentos y por el cariño, gracias infinitamente.

A mis tutores, el Prof. Ander de Abrisqueta y Prof. David Mendi, por su paciencia, disposición, asesoría y orientación que nos dedicaron para la realización de este proyecto.

A mis locas amigas Jessica, Daniela, Naliesky y Angely que siempre estuvieron allí y siempre me hacen reír con sus locuras, no sé qué haría sin ustedes mis locas.

Al Combo Taco, Katheanny, Anny, Adelmara y Osberth por su apoyo, consejos y cariño que siempre manifestaron, siempre están presentes en mi corazón.

A Henry y Wilden que siempre estuvieron allí para que utilizáramos el laboratorio, gracias infinitas.

A todas aquellas personas que siempre estuvieron presentes a lo largo de esta etapa, mil gracias a todos.

Elvi M. Montero P

Caracas, Junio de 2016

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Ana E. Cuba R. y Elvi M. Montero P., titulado:

**“INTEGRACIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LOS
DISTRITOS MINEROS UBICADO ENTRE LOS MUNICIPIOS
ROSCIO, EL CALLAO Y SIFONTES EN EL EDO. BOLÍVAR,
VENEZUELA, A ESCALA 1:50.000”**

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

Prof. Ruthman Hurtado
Jurado

Prof. Lenín González
Jurado

Prof. Ander De Abrisqueta
Tutor Académico

*Cuba R. Ana E.
Montero P. Elvi M.*

INTEGRACIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA DE LOS
DISTRITOS MINEROS UBICADO ENTRE LOS MUNICIPIOS
ROSCIO, EL CALLAO Y SIFONTES EN EL EDO. BOLÍVAR,
VENEZUELA, A ESCALA 1:50.000

Tutores académico: Prof. David Mendi, Prof. Ander de Abrisqueta. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología. 2016, 183 p.

Palabras clave: Mapa geoquímico, anomalías, geoestadística, oro, prospección, Kriging-método.

Resumen: Para la integración geológica y geoquímica de este estudio obtuvimos 2.575 muestras en total, recolectadas de estudios previos, clasificadas en: 1.889 muestras de suelo, 196 muestras de sedimento y 490 muestras de roca, situado en las localidades de El Callao, Piedra del Supamo y El Dorado, edo. Bolívar, con el propósito de realizar un sistema de información geográfico (SIG). Se compiló y sistematizó las características de una tesis doctoral, catorce tesis especial de grado, seis informes inéditos y seis mapas geológicos en una metadata. La información geológica y geoquímica existente se organizó, integró y actualizó, clasificando según el tipo de muestra roca, suelo y sedimento. La integración geológica consistió en compilar la cartografía ya existente en algunas localidades, tales como: curvas de nivel, drenaje, toponimia, vialidad, litología y estructuras del área. Generando 3 mapas a escala 1:100.000 y 12 mapas a escala 1:50.000. La fase de mapas geoquímicos consistió en búsqueda y clasificación de la bibliografía con datos compilados, digitalizando y sistematizando la información obtenida, analizando la distribución de los datos por medio de estudios estadísticos, como: análisis exploratorio de los datos y prueba de bondad de ajuste por medio del software estadístico R, luego con ayuda del software ArcGIS 9.3® creando 85 mapas geoquímicos con criterios geoestadísticos tomando como base los mapas topográficos a escala 1:100.000, de acuerdo al criterios de distribución espacial de los datos. Los datos que presentan una distribución aleatorias o por picas crearon 67 mapa geoquímico

de punto con la distribución de concentraciones y para los datos en forma de mallado obteniendo 18 mapas de isoconcentraciones por el método de interpolación kriging ordinario, con información básica de la química de suelos y sedimentos.

Adquiriendo anomalías con respecto a la población de los datos obtenidos, dividiendo el área en tres zonas anómalas. La zona de suelo presentan anomalías en Au, Ag, As, Cu, C, Ca, Co, Hg, K, Mn, N, Ni, P, Pb, V y Zn; y para los datos de mallado las anomalías fueron: Ag(M2), Au (M1), Au (M2), Au (M3), Co (M1), Cu (M1), Cu (M3), Fe(M3), Hg(M2), Mn (M1), Ni(M2), Pb(M2), V(M1), Zn (M1) y Zn (M3), siendo sustancias características en el cinturón de rocas verdes.. La zona de sedimentos I, presenta las siguientes anomalías: Al, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti y Zn; así mismo, los elementos Nb, Mn y Ta componen los minerales tantalita y columbita. La zona de sedimentos II, determinó valores anómalos de Ag, Ag, Au, Hg y Pb.

índice

CAPÍTULO I	1
Introducción	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Ubicación.....	1
1.3. Planteamiento del problema	4
1.4. Justificación.....	4
1.5. Alcance.....	5
1.6. Objetivo General.....	5
1.6.1. Objetivos Específicos.....	5
1.7. Antecedentes	6
1.7.1. Antecedentes Geológicos:	6
1.7.2. Antecedentes Geoquímicos:	8
CAPITULO II	20
2. Marco teórico	20
2.1. Mapa Geológico:	20
2.2. Geoquímica:	20
2.3. Mapa geoquímico:	22
2.4. Sistema de información geográfica (SIG):.....	24
2.4.1. Algunas definiciones de diferentes autores sobre el SIG:	25
2.4.2. Características básicas de los SIG:	26
2.4.3. Aplicaciones de los SIG:	26
2.5. Análisis estadístico	27
2.5.1. Análisis exploratorio de los datos:	27
2.5.1.1. Pruebas de bondad de ajuste:	27
2.5.1.2. Estadística descriptiva:	28
2.6. Análisis Geoestadístico:	35
2.6.1. Semivariograma:	36
2.6.2. Análisis Estructural de los datos:.....	41
CAPÍTULO III	46
3. Geología Regional	46
CAPITULO IV	59
4. Geología Local	59
4.1. Aspectos Topográficos:	59
4.2. Aspectos Geológicos:	61
4.3. Geología Estructural.....	66
4.4. Pliegues:	67
4.5. Modelo Evolutivo	67
CAPITULO V	70
5. Metodología	70
5.1. Fase de metadata:	70
5.2. Fase de mapas geológicos:	72
5.3. Fase de mapas geoquímicos:	75
5.4. Fase del SIG:	79

CAPÍTULO VI	80
6. <i>Resultados y análisis de resultados</i>	80
6.1. Resultado de la metadata	80
6.2. Resultado y análisis geológico.	82
6.3. Resultados de análisis geoquímico de suelo y sedimento:	88
6.4. Resultados del SIG	116
CAPÍTULO VII	117
<i>Conclusiones</i>	117
<i>Recomendaciones</i>	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
APÉNDICE A TABLA DE BASE DE DATOS.	I
APÉNDICE B. TABLAS DE ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS. II	
<i>Tabla N° B1. Análisis exploratorio de los datos de sedimentos sin transformar. ..</i>	<i>II</i>
<i>Tabla N° B2 Análisis exploratorio de los datos de sedimentos transformados.</i>	<i>V</i>
<i>Tabla N° B3. Análisis exploratorio de los datos de suelo sin transformar (picas).</i>	
.....	<i>VI</i>
<i>Tabla N° B4. Análisis exploratorio de los datos de suelo transformados (picas).</i>	<i>VII</i>
<i>Tabla N° B5. Análisis exploratorio de los datos de suelo sin transformar</i>	
<i>(mallado).</i>	<i>VIII</i>
<i>Tabla N°B6. Análisis exploratorio de los datos de suelo transformados (mallado).</i>	
.....	<i>IX</i>
APÉNDICE C. RESUMEN GRAFICO DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE	
SEDIMENTOS	X
<i>Ilustración C1 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ag.</i>	<i>X</i>
<i>Ilustración C2 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au.</i>	<i>X</i>
<i>Ilustración C3 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Al</i>	<i>X</i>
<i>Ilustración C4 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ba.</i>	<i>XI</i>
<i>Ilustración C5 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ca.</i>	<i>XI</i>
<i>Ilustración C6 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ce.</i>	<i>XI</i>
<i>Ilustración C7 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cd.</i>	<i>XII</i>
<i>Ilustración C8 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Co</i>	<i>XII</i>
<i>Ilustración C9 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cr. Con</i>	
<i>datos sin transformar.</i>	<i>XII</i>
<i>Ilustración C10 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cr (con los</i>	
<i>datos transformados).</i>	<i>XIII</i>
<i>Ilustración C11 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cu.</i>	<i>XIII</i>
<i>Ilustración C12 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Er.....</i>	<i>XIII</i>
<i>Ilustración C13 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Eu.</i>	<i>XIV</i>
<i>Ilustración C14 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Fe.</i>	<i>XIV</i>
<i>Ilustración C15 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ga.</i>	<i>XIV</i>
<i>Ilustración C16 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ge.</i>	<i>XV</i>
<i>Ilustración C17 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Gd.</i>	<i>XV</i>
<i>Ilustración C18 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Hf.....</i>	<i>XV</i>
<i>Ilustración C19 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ho.....</i>	<i>XVI</i>
<i>Ilustración C20 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento K.....</i>	<i>XVI</i>

<i>Ilustración C21 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento La.</i>	<i>XVI</i>
<i>Ilustración C22 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Lu.</i>	<i>XVII</i>
<i>Ilustración C23 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mg.</i>	<i>XVII</i>
<i>Ilustración C24 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mn.</i>	<i>XVII</i>
<i>Ilustración C25 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Na</i>	<i>XVIII</i>
<i>Ilustración C26 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Nb</i>	<i>XVIII</i>
<i>Ilustración C27 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Nd.</i>	<i>XVIII</i>
<i>Ilustración C28 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ni.....</i>	<i>XIX</i>
<i>Ilustración C29 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ni (con los datos transformados).....</i>	<i>XIX</i>
<i>Ilustración C30 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pb.</i>	<i>XIX</i>
<i>Ilustración C31 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pr.....</i>	<i>XX</i>
<i>Ilustración C32 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sb.....</i>	<i>XX</i>
<i>Ilustración C33 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Rb</i>	<i>XX</i>
<i>Ilustración C34 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sc.....</i>	<i>XXI</i>
<i>Ilustración C35 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sm.....</i>	<i>XXI</i>
<i>Ilustración C36 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sn.....</i>	<i>XXI</i>
<i>Ilustración C37 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sr.....</i>	<i>XXII</i>
<i>Ilustración C38 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ta</i>	<i>XXII</i>
<i>Ilustración C39 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Tb</i>	<i>XXII</i>
<i>Ilustración C40 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Th</i>	<i>XXIII</i>
<i>Ilustración C41 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ti</i>	<i>XXIII</i>
<i>Ilustración C42 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ti (con los datos transformados).....</i>	<i>XXIII</i>
<i>Ilustración C43 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Tm....</i>	<i>XXIV</i>
<i>Ilustración C44 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento U.....</i>	<i>XXIV</i>
<i>Ilustración C45 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento V</i>	<i>XXIV</i>
<i>Ilustración C46 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Y</i>	<i>XXV</i>
<i>Ilustración C47 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Yb</i>	<i>XXV</i>
<i>Ilustración C48 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn</i>	<i>XXV</i>
<i>Ilustración C49 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn (con los datos transformados).....</i>	<i>XXVI</i>
<i>Ilustración C50 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zr.</i>	<i>XXVI</i>
APÉNDICE D. RESUMEN GRAFICO DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICO	
DE SUELO EN PICAS	XXVII
<i>Ilustración D1 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ag</i>	<i>XXVII</i>
<i>Ilustración D2 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au</i>	<i>XXVII</i>
<i>Ilustración D3 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento As</i>	<i>XXVII</i>
<i>Ilustración D4 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento C.....</i>	<i>XXVIII</i>
<i>Ilustración D5 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ca.....</i>	<i>XXVIII</i>
<i>Ilustración D6 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Co.....</i>	<i>XXVIII</i>
<i>Ilustración D7 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cu.....</i>	<i>XXIX</i>
<i>Ilustración D8 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Hg.....</i>	<i>XXIX</i>
<i>Ilustración D9 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento K.....</i>	<i>XXIX</i>
<i>Ilustración D10 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mg</i>	<i>XXX</i>

<i>Ilustración D11 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mn</i>	....XXX
<i>Ilustración D12 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mo</i>	....XXX
<i>Ilustración D13 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento N</i>	....XXXI
<i>Ilustración D14 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ni</i>	....XXXI
<i>Ilustración D15 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento P</i>	....XXXI
<i>Ilustración D16 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pb</i>	....XXXI
<i>Ilustración D17 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento V</i>	....XXXII
<i>Ilustración D18 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn</i>	...XXXII
Análisis Estadístico en suelo de Mallado 1 (M1)	.....XXXIII
<i>Ilustración D19 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au</i>	...XXXIII
<i>Ilustración D20 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cu</i>	...XXXIII
<i>Ilustración D21 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento K</i>	....XXXIII
<i>Ilustración D22 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Na</i>	...XXXIII
<i>Ilustración D23 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mn</i>	..XXXIV
<i>Ilustración D24 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento V sin transformar</i>	.....XXXIV
<i>Ilustración D25 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento V transformado</i>	.....XXXIV
<i>Ilustración D26 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn</i>	...XXXIV
Análisis Estadístico Mallado 2 (M2)	.....XXXV
<i>Ilustración D27 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au</i>	....XXXV
<i>Ilustración D28 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ag</i>	....XXXV
<i>Ilustración D29 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Co</i>	....XXXV
<i>Ilustración D30 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Hg</i>	....XXXV
<i>Ilustración D31 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ni</i>	....XXXVI
<i>Ilustración D32 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pb</i>	...XXXVI
Análisis Estadístico Mallado 3 (M3)	.....XXXVI
<i>Ilustración D33 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au</i>	...XXXVI
<i>Ilustración D34 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cu</i>	...XXXVI
<i>Ilustración D35 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Fe</i>	..XXXVII
<i>Ilustración D36 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pb</i>	..XXXVII
<i>Ilustración D37 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn</i>	..XXXVII
APÉNDICE E. TABLAS DE CORRELACIÓN DE PEARSON	.....XXXVIII
<i>Tabla N° E1 Correlación de Pearson de sedimento</i>	.....XXXVIII
<i>Tabla N° E2 Correlación de Pearson de suelo (picas)</i>	.....XXXIX
<i>Tabla N° E3 Correlación de Pearson de suelo (mallado)</i>	.....XL
APÉNDICE F. SEMIVARIOGRAMAS DE LOS ELEMENTOS DE SUELO (MALLADO)	.....XLI
ANEXOS	.....XLII

Índice de Figuras

<i>Fig. N° 1ubicación Del Área En Venezuela</i>	.....2
<i>Fig. N° 2ubicación Del Área De Estudio</i>	.....3

Fig. N° 3 mapa De Isoconcentraciones De Nitratos En La Localidad Carracillo, España.....	23
Fig. N° 4 Mapa De Concentración De Puntos De Cao, Chile	24
Fig. N° 5 distribución Normal.....	29
Fig. N° 6 Tipos De Moda.....	30
Fig. N° 7 Tipos De Coeficiente De Sesgo O Asimetría.....	32
Fig. N° 8 Tipos De Coeficiente De Curtosis.....	33
Fig. N° 9 Distribución De Los Datos En El Histograma.	34
Fig. N° 10 Diagrama De Caja.	35
Fig. N° 11 Ilustración De Componentes De Rango, Meseta Y Nugget.....	37
Fig. N° 12 Modelo Esférico De Semivariograma	39
Fig. N° 13 Modelo Exponencial De Semivariograma.	39
Fig. N° 14 Ilustración De Modelo De Semivarianza Esférica.	40
Fig. N° 15 Ilustración De Modelo De Semivarianza Circular.	40
Fig. N° 16 Ilustración De Modelo De Semivarianza Exponencial.	41
Fig N° 17 Ilustración De Modelo De Semivarianza Gaussiano.....	41
Fig N° 18 Ilustración De Modelo De Semivarianza Lineal.	41
Fig. N° 19 Mapa De Provincias Geológicas Del Escudo De Guayana.	46
Fig. N° 20 Mapa Geológico Generalizado Del Estado Bolívar.	48
Fig N° 21 Secciones Vertical Del Escudo De Guayana. Modificado De Mendoza (2012).....	55
Fig. N° 22 Mapa De La Zona De Estudio Con Divisiones Topográficas.	59
Fig. N° 23 Mapa Geológico De La Zona De Estudio.	61
Fig. N° 24 Esquema Del Método De Trabajo Para Generar Los Mapas Geológicos. 72	
Fig. N° 25 Esquema Del Método De Trabajo Para Generar Los Mapas Geoquímicos.	75
Fig. N° 26 Clasificación Química De Rocas Volcánicas Según Cox Et Al. (1979)...	86
Fig. N° 27 Mapa Geoquímico De Sedimento De Cr En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Ii, Fig. N° Ii-10).	96
Fig. N° 28 Mapa Geoquímico De Sedimento De Fe En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Ii, Fig. N° Ii-15).	97
Fig. N° 29 Mapa Geoquímico De Sedimento De Nb En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Ii, Fig. N° Ii-31).....	98
Fig. N° 30 Mapa Geoquímico De Sedimento De Ta En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Ii, Fig. N° Ii-43).	99
Fig. N° 31 Mapa Geoquímico De Sedimento De Mn En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Ii, Fig. N° Ii-29).....	100
Fig. N° 32 Mapa Geoquímico De Sedimento De Ag En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Ii, Fig. N° Ii-1).....	102
Fig. N° 33 Mapa Geoquímico De Sedimento De Au En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Ii, Fig. N° Ii-4).	103
Fig. N° 34 Mapa Geoquímico De Sedimento De Pb En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Ii, Fig. N° Ii-34).	104
Fig. N° 35 Mapa Geoquímico De Suelo En Picas De Ag En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Iii, Fig. N° Iii-1).....	107

Fig. N° 36 Mapa Geoquímico De Suelo En Picas De Hg En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Iii, Fig. N° Iii-8).....	108
Fig. N° 37 Mapa Geoquímico De Suelo En Picas De Au En Ppm. (Ver Mapa Completo En Los Anexo Iii, Fig. N° Iii-3).....	109
Fig. N° 38 Mapa Geoquímico De Suelo En Mallado De Cu (M1) En Ppm, (Ver Mapa Completo En Anexo Iv, Fig. N° Iv-9).....	113
Fig. N° 39 Mapa Geoquímico De Suelo En Mallado De Au(M2) En Ppm, (Ver Mapa Completo En Anexo Iv, Fig. N° Iv-2).	114
Fig. N° 40 Mapa Geoquímico De Suelo En Mallado De Fe(M3) En Ppm, (Ver Mapa Completo En Anexo Iv, Fig. N° Iv-16).	115

Índice De Tablas

Tabla N° 1 Abundancia Normal De Los Elementos Químicos De La Corteza Terrestre (Rose Et Al., 1979).....	21
Tabla N° 2 Provincias Geológicas Y Sus Divisiones.	47
Tabla N° 3 Base De Datos General.....	71
Tabla N° 4 Base De Datos De Roca.	71
Tabla N° 5. Base De Datos De Suelo.....	71
Tabla N° 6 Base De Datos De Sedimentos.	72
Tabla N° 7 Datos De Parámetros Estadísticos.	77
Tabla N° 8 Resultados De La Compilación En La Ucv.....	80
Tabla N° 9. Resultados De La Compilación En Ingeomin.	81
Tabla N° 10 Resultados De La Compilación En El Ivic.	81
Tabla N° 11 Resultados De La Compilación En La Udo.	81
Tabla N° 12 . Metadata.	82
Tabla N° 13 Tabla De Óxidos Y Elementos Traza En Roca. Sánchez (1986)	87
Tabla N° 14. Valores De Alta Concentraciones De Las Muestras Estudiadas En Sedimentos.....	88
Tabla N° 15 Valores Anómalos De Las Muestras Estudiadas En Sedimento.	90
Tabla N° 16 Valores De Alta Concentraciones De Las Muestras Estudiadas En Suelo (Picas).	90
Tabla N° 17 Valores Anómalos De Las Muestras Estudiadas En Suelo (Picas).	91
Tabla N° 18 Valores De Alta Concentraciones De Las Muestras Estudiadas En Suelo (Mallado).	91
Tabla N° 19 Valores Anómalos De Las Muestras Estudiadas En Suelo (Mallado). ..	92

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Contraste De Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors.	28
Ecuación 2 Contraste De Shapiro-Wilks.....	28
Ecuación 3 Media.....	30
Ecuación 4 Mediana.....	30
Ecuación 5 Moda.....	30
Ecuación 6 Desviación Estándar.	31
Ecuación 7 Varianza.	31

Ecuación 8 Coeficiente De Sesgo.	32
Ecuación 9 Coeficiente De Curtosis.	33
Ecuación 10 Semivariograma.	36
Ecuación 11 Fórmula De Kriging.	44
Ecuación 12 Kriging Ordinario.	45
Ecuación 13 Kriging Simple.	45

CAPÍTULO I

Introducción

1.1. Generalidades

Desde la antigüedad el ser humano ha estado vinculado a la búsqueda de metales y minerales, pues estos son la fuente de materiales, aleaciones y energía que han sido utilizados a lo largo del tiempo, para múltiples aplicaciones en diversos campos, como por ejemplo la construcción, ornamentación, ciencia, tecnología, entre otros; el cual se han vuelto indispensables para el bienestar, la salud y el nivel de vida de nuestra sociedad hasta hoy en día. Venezuela es un país que posee grandes y variados recursos minerales, y el estado Bolívar cuenta con una gran cantidad de importantes depósitos metálicos, no metálicos y energéticos, lo que ha generado el desarrollo de diversas investigaciones en el área geológica y geoquímica que están en el Escudo de Guayana. Sin embargo, estos estudios actualmente existen de manera dispersa y desorganizada, y es por ello que es necesario generar una base cartográfica digitalizada donde integre la información geológica y geoquímica de manera sistematizada y unificada en un Sistema de Información Geográfica.

Este diseño de recopilación e integración de datos geológicos y geoquímicos, son base para usos amplios en proyectos organizados en el que se desarrolle métodos de prospección de los recursos minerales, análisis de nuevos mercados, sistemas de información del suelo, planificación urbana y regional, entre otros, el cual es un soporte para el desarrollo sustentable del país, puesto que un sistema de información geográfica sostiene la información georreferenciada para hacer uso de dicha información en su contexto geográfico.

1.2. Ubicación

La zona de estudio está ubicada al NE del estado Bolívar, Venezuela, el cual abarca un área de 6.048 km².

Comprendida entre los siguientes puntos geográficos: Latitud norte 7° 40' N y 6°40' N; Longitud oeste 62° 00' W y 61° 30' W (Ver Fig. N° 1).



Fig. N° 1 Ubicación del área en Venezuela.

El recuadro de color rojo representa la zona de estudio el cual esta detallada en la Fig. 2.

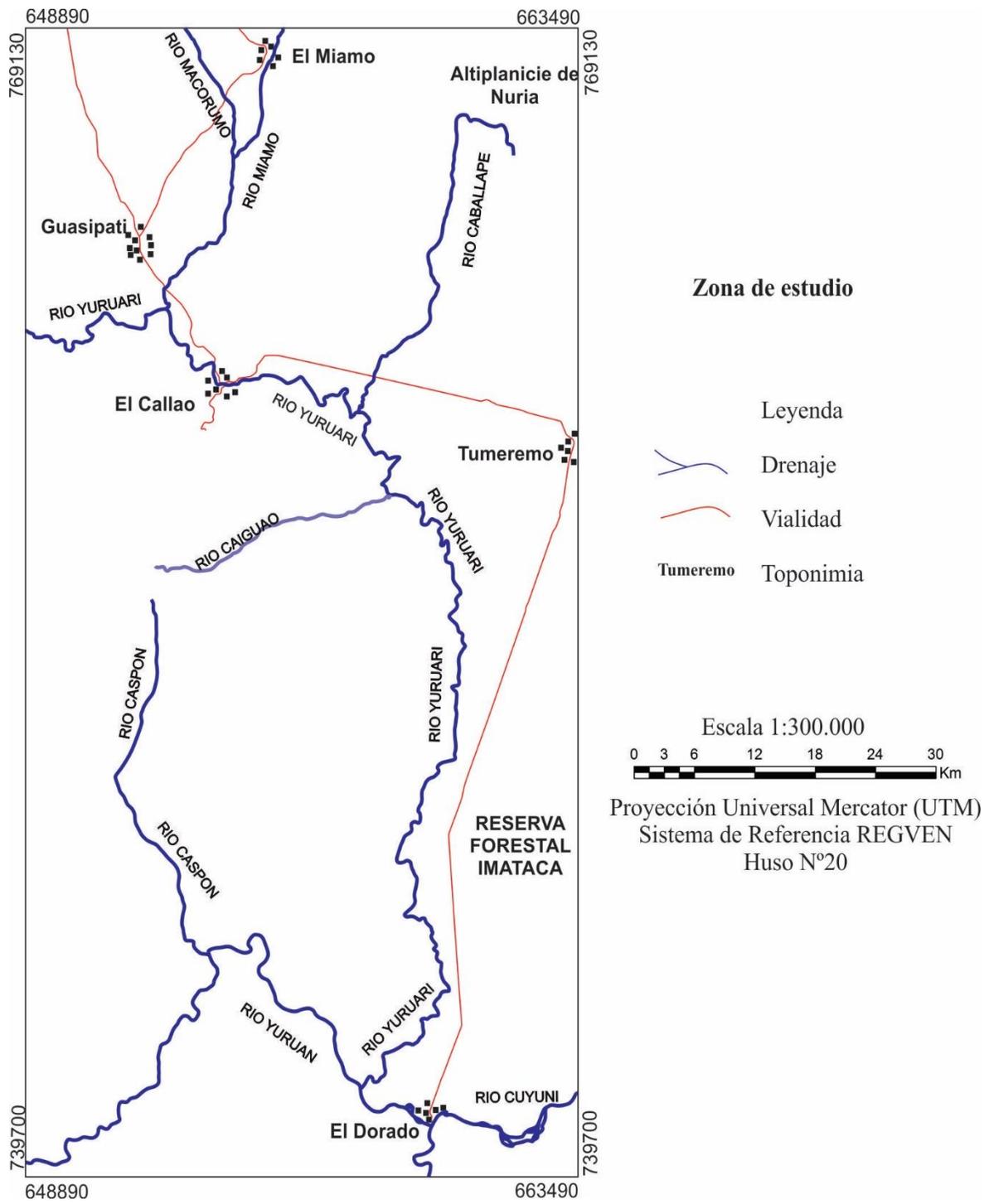


Fig. N° 2 Ubicación del área de estudio

1.3. *Planteamiento del problema*

Actualmente existen numerosos estudios científicos en el área, pero estos no se encuentran establecidos y sistematizados en un Sistema de Información Geográfica, es por ello que el desarrollo de este proyecto de integración cartográfica que tiene como propósito crear una base integradora con la información geológica y geoquímica de la zona de estudio, ubicados entre los municipios Roscio, El Callao y Sifontes, generando un soporte de investigaciones previas, recopilando, integrando, validando y actualizando la información geológica accesible de la zona, así como también compilar e incluir datos químicos con el fin de proporcionar una base temática, que permita definir las características y verificar la posible existencia, localización y evaluación de sectores con interés de mineralización en superficie que sirva como base para la planificación en el desarrollo del país.

1.4. *Justificación*

El desarrollo del presente trabajo surgió de la necesidad de unificar y disponer de una base geológica-geoquímica de la zona de estudio con fines de planificación ya que permite saber las características básicas del entorno y a partir de ello se tienen herramientas desarrollarlo, mantenerlo y protegerlo. Cabe destacar que el área de estudio se encuentra dentro del Escudo de Guayana y en él se halla presente los Distritos Mineros con los depósitos de oro más importantes del país el cual están ubicados en el Cinturón de Rocas Verdes de Pastora. Por ende, esto ha intensificado los trabajos de búsqueda y explotación durante años en este estado, debido a que Bolívar es un estado minero y es considerado una zona importante por sus recursos minerales como el oro, hierro, aluminio, entre otros. Por tal motivo, este trabajo de investigación está enfocado en generar un sistema de información geográfica con fines de planificación en el área tanto geológica como geoquímica que sirva como soporte para el desarrollo de trabajos a futuro en el territorio.

1.5. Alcance

El producto de este Trabajo de Especial de Grado está establecido por la generación de la metadata, 12 mapas geológicos a escala 1:50.000, 3 mapas geológicos a escala 1:100.000, 85 mapas geoquímicos que será tomada como base para la realización del sistema de integración geográfica que servirá para la realización de este proyecto y posteriores. Así como dar las respectivas recomendaciones donde se pueda proponer áreas prioritarias en función de la interpretación de los resultados obtenidos.

1.6. Objetivo General

Integrar los datos cartográficos, geológicos y geoquímicos de los distritos mineros El Callao y El Dorado, ubicada al este del estado Bolívar en el Municipio Sifontes.

1.6.1. Objetivos Específicos

- Generar una metadata geológica y geoquímica a partir de los datos obtenidos.
- Elaborar 12 mapas geológicos a escala 1:50.000 de la zona de estudio a partir de la integración geológica.
- Elaborar 3 mapas geológicos a escala 1:100.000 con la información integrada de las 12 hojas previas.
- Integrar datos geoquímicos en un sistema cartográfico a partir de la información obtenida.

1.7. Antecedentes

1.7.1. Antecedentes Geológicos:

a) Korol, B. et al. 1961 “Estratigrafía de la serie Pastora en la Región Guasipati-El Dorado” Ministerio de Minas e Hidrocarburos.

Las rocas de la serie Pastora son de edad Precámbrico y se acumularon en un geosinclinal (ver Anexo V, Fig. N° V-1), el cual ha sido destruido en parte por la intrusión de un batolito de granito y por la erosión subsecuente. Esta serie está formada por rocas sedimentarias metamórficas y lavas almohadilladas, el cual se encuentra subdividida en tres unidades, que desde la más antigua a la más joven son: formación Yuruarí, El Callao y Caballape infrayacentes a la serie Pastora se encuentran rocas metamórficas de origen sedimentario denominado río Yama. Después una breve interrupción de la sedimentación, se da inicio a la fase geosinclinal rellenándose con sedimentos de grano grueso provenientes de las áreas adyacentes característico de la Formación Yuruarí. En la región de El Callao solo hay diques ácidos y finalizando el periodo volcánico submarino continúa la sedimentación de grano fino de la Formación Caballape y se inicia la fase de plegamiento, acompañada de intrusiones básicas.

b) Menéndez, A. 1972 “Geología de la región de Guasipati, Guayana Venezolana” Ministerio de Minas e Hidrocarburos.

Este estudio se basó en dar a conocer la geología de la región de Guasipati, ubicado en la parte central de la Provincia Geológica de Pastora, el cual comprende un área de 8.000 km², en esta zona las rocas supracorticales más antiguas se agrupan en dos unidades que se hayan separadas por una discordancia angular, la inferior Supergrupo Pastora y la superior Formación Caballape. El Supergrupo Pastora está formado por el Grupo Carichapo, en su parte inferior está constituido por lavas basálticas a andesíticas (Formación El Callao) y por rocas volcaniclásticas andesíticas (Formación Cicapra), en su parte superior hay rocas epiclásticas feldespáticas, capas mangasíferas y rocas volcánicas dacíticas (Formación Yuruari); la Formación

Caballape está formada por arenisca y limolita grauváquica, conglomerado volcánico y rocas piroclásticas andesítico-riodacítico. La tectónica se dividió en tres fases, la primera el Supergrupo Pastora fue extensamente plegado durante una primera reactivación del basamento granítico; la segunda fase ocurre cuando es erosionado antes de la sedimentación turbidíticas de la Formación Caballape, la tercera ocurrió durante una nueva reactivación de las rocas del basamento, generando arqueamientos dómicos de gran extensión que están constituidos por migmatitas, paragneises y rocas graníticas el cual constituyen el Complejo Granítico de Supamo ver Anexo V, Fig. N° V-2.

c) Benaím, N. et al. 1973 “Excursión N°7 Precámbrico del Escudo de Guayana: Puerto Ordaz – El Pao – Upata – Guasipati – Tumeremo – Santa Elena – Canaima” Ministerio de Minas e Hidrocarburos.

Este informe informa cómo son las características litológicas, morfológicas y tectónicas distintivas de las Provincias Geológicas: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima; que conforman el Escudo de Guayana, a través de una excursión que se realizó por vía aérea y terrestre.

d) Bellizzia, A. et al. 1976 “Gurí” Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología.

El mapa Gurí, muestra la distribución general de las formaciones pertenecientes a las cuatro provincias del Escudo de Guayana (Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima), y las estructuras más importantes en una escala 1:500.000 al NE del estado Bolívar como el geosinclinal que se halla entre las localidades Guasipati El Callao y la Serranía de Nuria, también las falla Nacupay, de Capia y de Guasipati (ver Anexo V, Fig. N° V-3).

e) Benaím, N. 1987 “Mapa Geológico de la región alto Cuyuní- río Venamo a escala 1:100.000” Ministerio de Energía y Minas.

Anexo V, Fig. N° V-4 se observa la geología ubicada en las cercanías de El Dorado y Las Claritas, el cual se encuentran grandes pliegues y sistemas de fallas a lo largo del área, que definen la morfología de la zona.

f) García, A. 1989 “NB-20-3” a escala 1:250.000, C.V.G. TECNICA MINERA CA.

El mapa NB-20-3 muestra los geosinclinorios existentes en la Provincia Pastora, los pliegues productos de las colisiones entre provincias y las fallas más importantes como Gurí, de Capia, Guasipati y Nacupay, entre otros. (Anexo V, Fig. N° V-5).

g) García, A. 1989 “NB-20-7” a escala 1:250.000, C.V.G. TECNICA MINERA CA.

El mapa NB-20-3 se observa los sistemas de fallas ubicados en varias provincias como Pastora, Cuchivero y Roraima, intrusiones, diques entre otros. (Anexo V, Fig. N° V-6).

1.7.2. Antecedentes Geoquímicos:

a) Cardenas, H 1975 “Expresión geoquímica superficial de la anomalía electromagnética las Flores, Dtto. Roscio, Edo Bolívar”.

Este informe se basó en el análisis de muestras de suelos para la expresión geoquímica superficial de una anomalía electromagnética detectada por métodos geofísicos aéreos asociada a un contacto intrusivo de rocas graníticas en anfibolitas de la Provincia Pastora, el cual se obtuvo como resultado anomalías de Cu y Ni en donde se concluyó la posible presencia de una mineralización diseminada de sulfuros originada probablemente por soluciones hidrotermales. Anexo V, Fig. N° V-7

b) Pascuali, J. 1977 “Interpretación de la expresión geoquímica de la mineralización aurífera del Dtto minero de El Callao Edo. Bolivar y su extensión a sistemas hidrotermales en general”.

Se estudió la expresión geoquímica superficial de la mineralización aurífera en el Distrito Minero de El Callao con el fin de determinar si la superficie topográfica corta la mineralización en la zona de precipitación de Au, en donde la anomalía asociada en los suelos incluye los elementos Au, Ag, Pb y Zn, o si la superficie topográfica corta la mineralización mucho más arriba que la zona de precipitación de Au, en el cual la anomalía asociada incluye los elementos Mn, V y As. Teniendo como resultado que los elementos químicos más útiles para la exploración de la zona son Au, Pb, Hg, Mn y V, donde Mn y V tienen gran dispersión lateral y vertical desde el sistema hidrotermal que dio origen a las vetas de cuarzo aurífero, siendo útiles para las exploraciones regionales, Hg tiene una gran dispersión vertical y la horizontal es moderada su utilidad es para delinear la zona de interés local, el Pb y Au tienen dispersión vertical y lateral pequeña donde su utilidad es mayor para trabajos detallados previos a la perforación. (Ver anexos V, Fig. N° V-8).

c) Serrano, J. 1977 “Distribución de C, N, P, Ca, Mg y K durante la meteorización de rocas ácidas y básicas en ambiente de selva tropical húmeda”.

Este trabajo tuvo como objetivo, conocer los mecanismos de migración de C, N, P, Ca, Mg y K a través de perfiles de suelos desarrollados sobre rocas ácidas y básicas en ambiente de selva tropical húmeda, a partir de la determinación de pH, Eh, capacidad de intercambio catiónico total y el análisis de los elementos por espectrofotometría de absorción atómica, el método Kjeldahl, fotolorimetría y por método Walkley-Black; de acuerdo a los resultados obtenidos se observa que en suelos desarrollados sobre rocas básicas hay un enriquecimiento de C, N, P, Mg y Ca a través de los perfiles de suelo, mientras que en los suelos desarrollados sobre rocas ácidas hay un enriquecimiento de Potasio y un empobrecimiento en C, N, P, Mg y Ca. Anexo V, Fig. N° V-9.

d) Cardona, I. 1980 “Ubicación de una anomalía geoquímica de oro en una zona ubicada al oeste de la población El Callao, estado Bolívar”.

El presente trabajo tiene como objetivo ubicar y delimitar una anomalía geoquímica de oro, a través de análisis químicos de muestras de suelos y sedimentos de las quebradas existentes en el área de estudio, por medio del método de absorción atómica para Co, Ni, Hg y Au y el método de espectrografía de emisión para Ag y Pb. A partir de estos análisis se obtuvo como resultado que los elementos Ag, Pb, Hg y Au están íntimamente relacionados debido a que coinciden en la mayoría de los casos sus valores anómalos y de fondo, y el Co y Ni presentan un comportamiento geoquímico diferentes a las antes ya nombradas debido a que son relacionados con suelos desarrollados a partir de rocas de composición básica. Anexo V, Fig. N° V-10.

e) Romero, G., 1980 “Geoquímica del oro y algunos elementos asociados en una zona anómala al oeste de El Callao, edo. Bolívar”.

Este trabajo se basó en el estudio de la distribución de oro y otros elementos asociados en una zona del distrito minero de El Callao. Este se realizó analizando el contenido de los elementos Au, Cu, Zn, Mn, V, Na, K y As en una total de 108 muestras tomadas en intervalos de 50 m a lo largo de picas, a través de la técnica de espectrofotometría de emisión para el V, Absorción Atómica para Au, Cu, Zn, Mn y As y Emisión de Llama para Na y K. Como resultado se obtuvo que las distribuciones para los elementos Cu, Zn, Mn, V, Na y K no presentan relación directa evidente con respecto a la distribución de oro en la zona. Anexo V, Fig. N° V-11.

f) Muñoz, N. 1981 “Estudio de la expresión geoquímica superficial en las inmediaciones de los poblados Caratal y El Callao, Distrito Roscio, edo. Bolívar”.

El trabajo se basó en un estudio de la dispersión geoquímica secundaria en suelos, en las inmediaciones de los poblados de Caratal y El Callao, con el fin de desarrollar un modelo de exploración geoquímica, que permita la localización de nuevas mineralizaciones de oro en el área de El Callao, a través de picas paralelas perpendiculares a las estructuras. A partir de los elementos asociados al oro y a su distribución espacial alrededor de las vetas se determinó la expresión geoquímica superficial de las mismas, estableciendo que el Au, As, Ag, Pb, y algunas veces Ni,

reflejan la veta cortada a nivel de la mineralización por la superficie topográfica actual; la asociación de As y Mn caracteriza la mineralización ubicada a profundidad y el K revela la presencia del metasomatismo potásico que acompaña el emplazamiento de la veta. Estas asociaciones determinaron 25 anomalías, que permiten definir grandes posibilidades de esta zona como fuente del mineral y se estableció diferencias entre la expresión geoquímica superficial de las vetas y aquellas correspondientes al reflejo de zonas contaminadas por labores mineras Anexo V, Fig. N° V-12.

g) Breto, D. 1982 “Dispersión secundaria del oro y sus elementos asociados en fase de sedimentos en la región de El Callao, estado Bolívar”.

Este realizó la prospección geoquímica en fase de sedimentos en una zona al oeste de El Callao, donde se había detectado por trabajos previos una anomalía aurífera en suelos. Se planteó el estudio de la posible relación entre las anomalías auríferas detectadas en trabajos previos de la zona con los sedimentos del drenaje existente en el área de estudio. Para ello se realizó un muestreo sistemático de sedimentos en dos quebradas relacionada con la anomalía antes nombrada, para realizar los análisis de los elementos Au, Pb, Hg y Ag se utilizó la técnica de absorción atómica, el cual dió como resultado una acumulación anormal de oro, plomo, mercurio, y plata en las zonas donde se habían detectado anomalías en el suelo. Dicha anomalía aurífera detectada en muestras de suelos esta correlacionada con los sedimentos Anexo V, Fig. N° V-13.

h) Gutierrez, L. 1982 “Estudio geoquímico detallado de una anomalía aurífera superficial en la región de El Callao Edo. Bolívar”.

Este informe trató del estudio de la distribución del oro y otros elementos de muestras en suelos, teniendo como objetivo definir de manera precisa la expresión superficial de una área anómala en oro y otros elementos como el Hg, Pb y Ag, ubicada en las cercanías de El Callao, Distrito Roscio, edo. Bolívar. Las muestras se tomaron de manera sistemática a través de una red de picas, y para determinar las concentraciones de los elementos se usó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, obteniendo así los siguientes resultados, los elementos Au y Hg tienen un

comportamiento semejante y el Pb y Ag no presenta relación con el Au, por consiguiente estos elementos se hallan de esa manera por la acumulación progresiva del material arrastrado por los drenajes generando un suelo residual. Anexo V, Fig. N° V-14.

i) Korban, S. 1985 “Estudio de la Dispersión Geoquímica primaria del oro y elementos asociados en la mina Colombia, El Callao”.

El trabajo consistió en un estudio geoquímico del oro y de los elementos Mn, V, Zn, Ag, Pb, Hg y W, en un ambiente de dispersión primaria, en una mina mineralizada de El Callao. Para esto se tomaron 51 muestras del nivel 4 de la mina Colombia de tres tipos de litologías diferentes, las cuales son, una veta, la roca caja alterada y la roca caja fresca; a estas se le hizo análisis mineralógico por la técnica de petrografía y difracción de rayos X, dando como resultado tres tipos litológicos; el análisis químico se realizó mediante la técnica de espectrografía y espectrofotometría de absorción atómica en donde se obtuvo que los elementos Mn, V y Zn se concentran en orden decreciente en las tres litologías de forma opuesta a la tendencia de la concentración del oro, por lo que no se correlacionan las variaciones anteriores con las de oro el cual son producto de soluciones hidrotermales, El Pb, Hg y W no se encontraron y el Ag se detectó en 4 muestras de las cuales tres tienen alto contenido de Au, como conclusión la zona tuvo al menos dos eventos hidrotermales diferentes. Anexo V, Fig. N° V-15.

j) Sánchez, H., 1986 “Estudio de la dispersión Geoquímica de las Mineralizaciones de Oro en las cercanías del Dique Laguna, El Callao, estado Bolívar”.

Este trabajo se basó en el estudio de la dispersión geoquímicas de las mineralizaciones de oro en las cercanías del Dique Laguna, para ello se analizaron los elementos de Au, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Fe, Mn, Ca y K en las 37 muestras tomadas, y además en algunas de estas muestras se analizó Si, Al, P, Ti, Na y Mg, a través de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica y emisión de Llama y

espectrometría de fluorescencia de rayos X, también se le realizaron petrografías a cada una de ellas. Como resultado se obtuvo que los elementos de Au y Ca se encuentran en concentraciones altas en muestras de vetas y roca caja alterada, lo que indican que fueron aportados por soluciones hidrotermales; los elementos K y Rb se encuentran en concentraciones más altas en las roca alterada, lo que sugiere que son aportados principalmente por la roca caja; los elementos Cu, Zn, Fe y Mn se concentran más en muestras de metalavas alteradas. En conclusión los halos primarios de los elementos Rb, K, Cu y Zn y la relación Rb/Sr son útiles para indicar la zona próxima a la mineralización aurífera óptima; y que no hay removilización observable de Au por efecto de la intrusión del dique de diabasa. Anexo V, Fig. N° V-16.

k) Tossiani, T. 1992 “Estudio geoquímico y modelaje petrogenético de las rocas máfico-ultramáficas, ubicadas al sur de El Callao, edo. Bolívar”.

Este trabajo tuvo como objetivo la caracterización y el estudio petrogenético de las unidades máfico-ultramáficas ubicada en la región de Supamo, a unos 130 km al sur de El Callao, como resultados se obtuvo que la asociación de rocas máfico-ultramáficas están conformados por una secuencia estratiforme constituida por dunitas, piroxenitas cálcicas y gabros; y asociado a la secuencia estratiforme se presentan rocas volcánicas basalto-andesíticas. Además con la integración de los resultados obtenidos a través del trabajo de campo, el estudio petrográfico y el análisis de las rocas (elementos mayoritarios, elementos de transición y tierras raras) se postula que las unidades máfico-ultramáficas se originaron mediante un proceso de cristalización fraccionada, a partir de un líquido de composición komatítica, generado mediante un 27% de fusión de manto pirolítico primitivo, se propone que la fuente en el manto nunca ha sufrido un fraccionamiento previo y tiene una distribución inicial de tierras raras igual a dos veces el valor condrítico. El proceso de fusión ocurrió a una profundidad correspondiente al campo de estabilidad del granate (mayor a 100 km). Además se detectó la presencia de diversas rocas volcánicas basalto andesíticas, clasificándolas en dos grupos de acuerdo a sus características geoquímicas y al origen establecido en los modelos propuestos. El primer grupo corresponde a las rocas

volcánicas cuyas características son similares a los basaltos centro oceánicos “MORB”, el segundo de rocas volcánicas está asociado a la secuencia estratiforme máfico-ultramáfica. En cuanto a la distribución de los elementos de transición, las concentraciones de Sc, Ti, Co, Mn, Fe y Cr en el complejo estratiforme coincide con el modelo establecido por las tierras raras, en conclusión el autor planteó que pudo existir una segregación de sulfuros de Ni como una fase líquida inmiscible antes de iniciarse el proceso de cristalización fraccionada, y de haber ocurrido, la fase líquida inmiscible y segregada, no debe haber sido mayor del 0,05% de la masa total de fundido.

l) Hernández, O., 1993 “Características geoquímicas de las mineralizaciones auríferas de El Callao, edo. Bolívar: Dispersión primaria y condiciones de Formación”.

Este proyecto consistió en un estudio geoquímico de las mineralizaciones auríferas de origen hidrotermal pertenecientes al yacimiento de la mina Colombia, el cual está ubicado en las cercanías de la población de El Callao, para esto se recolectaron 118 muestras que corresponden a testigos de perforación y a muestras de mina, en donde se le realizaron estudios petrográficos y de difracción de rayos X, con el fin de determinar la mineralogía características de los diferentes tipos litológicos de la zona, estos estudios junto a análisis químicos de 38 muestras de mina determinó que el Au y B se encuentran en las vetas y el Ba se encuentra de manera creciente hacia la veta lo que sugiere que estos elementos fueron aportados por soluciones hidrotermales.

m) Vargas, M. 1993 “Estudio químico y mineralógico de yacimientos auríferos en la región de El Callao, estado Bolívar”.

Este se basó en el estudio de la dispersión geoquímica de las mineralizaciones auríferas de la mina Colombia, estado Bolívar. Para ello se analizaron los elementos de Au, As, Sb, Cu, Mo, Hg, Pb, Ca, K y Fe a través de las técnicas analíticas de activación de neutrones y/o plasma (ICP) a 28 muestras de perforación y 24 muestras recolectadas en toda la mina. Además, a 38 muestras se les determinó Au, Cu, Ca, Fe y Mo,

utilizando un ataque vía sintetización con ataque ácido parcial (Au), siendo analizadas por ICP y absorción atómica. También se analizaron 83 muestras por microscopio petrográfico, y 14 muestras se caracterizaron mineralógicamente por medio de difracción de rayos X. Se obtuvo que las concentraciones de los elementos Au, Sb, As, K, Pb y Mo, son más altas en muestras de materiales de veta o cercana a esta. Los elementos Cu, Fe, presentan su mayor concentración promedio en muestras alejadas de las vetas de cuarzo aurífero y el Ca se encuentra distribuido en forma relativamente homogénea en todos los tipos de rocas estudiadas. Los elementos Au, As y Sb pueden ser utilizados como indicadores de las mineralizaciones auríferas, mientras que el K y Fe, son indicadores de zonas afectadas por eventos hidrotermales no necesariamente auríferos. Además de acuerdo con estudios químicos y mineralógicos, es posible la presencia de por lo menos dos pulsos de soluciones mineralizantes y que las mismas pueden estar asociados al magma que dio origen a la intrusión de pórfido de cuarzo.

n) Higuera, A. 1996 “Estudio geoquímico de los Elementos Al, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Sr, Ti, V, Zn, Pd y Pt, en los sedimentos pesados y la fracción pesada de los suelos, provenientes de litologías Máfica-Ultramáfica de la región de Supamo, Estado Bolívar”.

El siguiente estudio consistió en el análisis del comportamiento geoquímico de los elementos Al, Co, Fe, Mg, Mn, Ni, Sr, Ti, V, Zn, Pt y Pd en la fracción pesada de suelo y sedimentos provenientes de litologías máfica-ultramáficas y graníticas en la región de Supamo, con el fin de establecer la distribución de los elementos antes mencionados en las diferentes fracciones granulométricas magnéticas y no magnéticas de los sedimentos pesados y su relación con la fracción pesada de los suelos; las muestras de sedimentos fueron tomadas en quebradas y las de suelos en áreas que drenan una de las quebradas, el Pt y Pd de las muestras se analizaron por el método de fusión y copelación utilizando Ag como colector, los demás elementos se determinaron por análisis total y parcial mediante la técnica de espectroscopía de emisión atómica acoplada a plasma, obteniendo como conclusión la correlación de la fracción no magnética entre los elementos Mg, Zn, Co, Mn, Fe, V, Ti, Ni, Al y Sr corresponden a

pequeñas coberturas de óxidos de Fe y Mn que se forman en la superficie de los anfíboles y en donde los elementos que se hallaban en la estructura cristalina quedan adsorbidos en la superficie mineral (espinela). Anexo V, Fig. N° V-17.

o) Gutiérrez, J. 1999 “Aspectos petrogenéticos de rocas básicas del cinturón verde de El Callao, Edo Bolívar. Venezuela”.

El trabajo se basó en establecer posibles relaciones petrogenéticas entre rocas máficas, extrusivas e intrusivas, donde las muestras se recolectaron dentro del cinturón de rocas verdes de El Callao y que afloraron alrededor de la población del mismo nombre. Para ello se utilizó la distribución de elementos mayoritarios y traza, y se modeló el proceso de cristalización fraccionada, utilizando los diagramas recomendados por la IUGS mediante el análisis petrográfico de secciones finas, a través del análisis normativo (norma CIPW) y se analizaron por difracción de rayos X, obteniendo como resultado que las rocas volcánicas se clasificaron como metabasaltos con distintos grados de anfibolitización y las rocas intrusivas como metagabros piroxénicos, y según el patrón de distribución de los elementos de tierras raras, los líquidos basálticos se clasificaron como basaltos toleíticos con bajo contenido de potasio del tipo proveniente de la fusión parcial del manto primitivo, y se logró determinar que los basaltos muestreados se correlacionan como integrantes de una serie de generación de distintos líquidos a partir de la misma fuente. Además modelando el proceso de generación de los gabros a partir de la serie de basaltos, como producto de cristalización fraccionada, y comparándolos con los patrones de distribución de elementos trazas incompatibles, se concluyó que los gabros no se pudieron generar a partir de la cristalización directa de uno de estos líquidos basálticos sino que ocurrió un evento de “contaminación” con otros líquidos (posiblemente el granito de Supamo) o simplemente el basalto que dio origen a estos gabros no aflora actualmente en la zona de estudio. Anexo V, Fig. N° V-18.

p) Tosiani, T. et al 2004 “Major and trace elements in river-borne materials from the Cuyuni basin (southern Venezuela): evidence for organo-colloidal control

on the dissolved load and element redistribution between the suspended and dissolved load”.

La cuenca del Cuyuní es una zona rica en metalogénico y comprende dos zonas geológicamente distintas, uno con cúpulas de granito y rocas verdes intercaladas en la parte norte y occidental de la cuenca y la otra con depósitos arenosos estratificados en el sur. Los elementos suspendidos, se disolvieron y el total de la carga de los ríos que drenan estas zonas, muestran características similares a las observadas en otros grandes ríos tropicales, como el Congo y Amazonas, que varían en composición entre las diferentes áreas de origen. Aunque el material de río transmitidas en esta cuenca varía en composición de un río a otro y contiene proporciones variables de los constituyentes disueltos, la relación entre el suspendido y la carga disuelto ($M_{\text{susp}} / M_{\text{diss}}$) parece estar relacionado con la relación de suspensión de los contenidos de carbono orgánico disuelto (SS / DOC), de acuerdo con la relación: $M_{\text{susp}} = M_{\text{diss}} \frac{1}{4} K_i SS = DOC$. El coeficiente de proporcionalidad K_i en esta ecuación varía de un elemento a otro. Esta relación nos lleva a reconocer el importante papel de las fases órgano-coloidal en el control de los elementos de la solución la aparición de una redistribución de elementos entre la carga suspendida y disuelta en el medio ambiente río. Según este análisis, los coeficientes K_i parece representar coeficientes de partición entre dos fases, la suspendida la carga y la fracción coloidal orgánica de la carga disuelta. Estos coeficientes, que se estima a partir del análisis del total / la carga disuelta frente SS / DOC diagramas, valores de rendimiento que clasifican en un orden similar a la clásica propuesta para la capacidad relativa de los elementos para formar ligandos orgánicos o su capacidad de adsorción. Los coeficientes de hecho varían como una función de las constantes de hidrólisis de los elementos respectivos. Consideraciones teóricas muestran que el equilibrio procesos entre las superficies de material suspendido y los de las especies de tipo coloidal en solución son capaces de explicar la relación observada. Se demuestra que estos equilibrios superficiales pueden extenderse a la totalidad del producto en condiciones que puede prevalecer en las aguas de los ríos tropicales, que se suspende la materia que consiste principalmente de las fases para que la superficie compleja es importante, como es el caso de las arcillas u óxidos de hierro-

manganeso producido por la intemperie de la actual suelos tropicales. Por último, se analiza el comportamiento específico de la REE en los ríos de la cuenca del Cuyuní. Anexo V, Fig. N° V-19.

q) López, K. 2010 “Caracterización geológica - geoquímica para determinar anomalías auríferas asociadas al Cu, Fe, Zn y Pb en la zona I de la concesión minera Chocó 3, perteneciente a C.V.G MINERVEN. Municipio autónomo El Callao, estado Bolívar.

El proyecto consistió en realizar una caracterización geológica-geoquímica en la zona I de la concesión minera Chocó 3 a fin de determinar anomalías auríferas y guías de mineralización que sirvan para planificar, programar, y ejecutar sondeos cortos, para la evaluación de reservas geológicas. Se realizó un muestreo de una red de picas en un área de 108 hectáreas, estas muestras fueron analizadas por el método de absorción atómica, obteniendo como resultado zonas anómalas de oro con tendencia estructural NW-SE como conclusión se obtiene que las anomalías geoquímicas encontradas en la zona de prospección estén reflejando en superficie una posible mineralización a profundidad. Además la zona está dominada por un sistema de fallas de tipo "shear zone" (zona de cizalla) con dirección NE-SO. Anexo V, Fig. N° V-20.

r) Velásquez, G. y Tossiani, T. 2010 “Modelado petrogenético de los basaltos de la Formación El Callao, en la región de El Callao, estado Bolívar”.

Este trabajo se basó en el estudio de los basaltos de la Formación El Callao, en el Bloque B de la Empresa MINERA HECLA VENEZOLANA, C.A., estado Bolívar, obteniendo que los basaltos se caracterizan químicamente por tener una restringida variación en la concentración de SiO₂ (44,45%-51,15%), con una concentración de MgO de 5,12% a 7,08%; Fe₂O₃ de 13,3% a 17,63% y TiO₂ de 0,81% a 1,47%, los cuales han sido clasificados como basaltos con una tendencia química toleítica rica en hierro. En cuanto a las REE se refiere, los basaltos presentan un patrón casi plano, como se puede determinar de las relaciones La/Sm_{NC} (0,84–1,16), La/Yb_{NC} (0,88–1,39) y la relación Eu/Eu* (0,90–1,17). La uniformidad presentada por los elementos

mayoritarios, minoritarios y traza, establece que los basaltos de la formación, pudieron haber sido originados a partir de un único pulso magmático. De los modelos de fusión desarrollados, se determinó que dichos basaltos pueden corresponderse con el producto de la solidificación en superficie, de un fundido generado a partir de una fusión parcial de 17% de la fuente mantelar, con una composición química similar a la del manto pirolítico propuesto por Ringwood (1979), luego que este fundido sufriera un proceso de cristalización fraccionada en su ruta hacia la superficie, siendo el producto los gabros que se encuentran en el área de estudio, estableciendo así una relación genética entre los basaltos y los gabros, ya que pudieron haber sido generados de un mismo magma. Por medio de la caracterización química realizada, se logró determinar un ambiente de formación relacionado con un plateau oceánico, originado a partir de una pluma mantelar, evidenciado principalmente por el comportamiento del Nb-Ta, los cuales no muestran anomalías en los diagramas de variación. Anexo V, Fig. N° V-21.

CAPITULO II

2. Marco teórico

En esta sección desarrolla los principales conceptos tales como: geoquímica, mapas, estadística, sistema de información geográfica, geoestadística, semivariograma, entre otros, que se utilizaron para la progreso de este proyecto, la aplicación de esta teoría nos va a permitir estudiar las aproximaciones de los elementos muestreados en la zona de estudio, tomando en cuenta su distribución espacial.

2.1. Mapa Geológico:

Es la representación en un plano de la geología de una zona en específico, donde están presentes los siguientes elementos (Martínez, 1979):

- a) Proyección sistema de coordenadas, escala.
- b) Información marginal.
- c) Leyenda.
- d) Signos convencionales.
- e) Colores convencionales.
- f) Toponimia.
- g) Título, recuadro y detalles complementarios.
- h) Tipos de rocas de la superficie terrestre
- i) Tipo de contacto entre ellas
- j) Estructuras geológicas
- k) Elementos geomorfológicos.

2.2. Geoquímica:

La Geoquímica consiste en medir sistemáticamente una o más propiedades químicas, principalmente el contenido de elementos menores y trazas de una sustancia o material que se presente en estado natural. Uno de los objetivos de la prospección geoquímica, como herramienta de búsqueda, es identificar y localizar contenidos anormales de uno o varios elementos químicos, de tal manera, que cuando se

identifique y se conozca su distribución podamos localizar yacimientos ocultos, asociados a ambientes geológicos favorables para su formación (A. W. Rose, 1979).

La tabla siguiente presenta la composición media de las rocas. Dicha tabla ilustra el rango de algunos elementos en la corteza terrestre de los subgrupos del sistema periódico con base en la composición media de los tipos de rocas principales, como las rocas ígneas ultramáfica, máfica y granítica, la arenisca, la caliza y la pelita.

Tabla N° 1 Abundancia normal de los elementos químicos de la corteza terrestre (Rose et al., 1979).

Elemento	Símbolo	Abundancia (ppm)	Elemento	Símbolo	Abundancia (ppm)
Bromo	Br	1,8	Mercurio	Hg	0,02
Cadmio	Cd	0,1	Molibdeno	Mo	1,5
Calcio	Ca	33000	Niobio	Nb	20
Carbono	C	230	Níquel	Ni	75
Cerio	Ce	81	Oro	Au	0,003
Cesio	Cs	3	Oxígeno	O	473000
Cinc	Zn	2	Paladio	Pd	0,01
Circonio	Zr	150	Plata	Ag	0,05
Cloro	Cl	130	Platino	Pt	0,0005
Cobalto	Co	25	Plomo	Pb	10
Cobre	Cu	50	Potasio	K	25000
Cromo	Cr	100	Renio	Re	0,0006
Escandio	Sc	13	Rubidio	Rb	150
Estaño	Sn	80	Selenio	Se	0,1
Estroncio	Sr	300	Silicio	Si	291000
Flúor	F	600	Sodio	Na	25000
Fósforo	P	900	Talio	Tl	0,45
Galio	Ga	26	Tantalio	Ta	2
Germanio	Ge	2	Telurio	Te	0,002
Hafnio	Hf	3	Titanio	Ti	4400
Hierro	Fe	46500	Torio	Th	10
Indio	In	0,1	Uranio	U	2,5
Lantano	La	25	Vanadio	V	150
Litio	Li	30	Volframio	W	1
Magnesio	Mg	17000	Yodo	I	0,15
Manganeso	Mn	1000			

Metadata:

Constituyen la información que describe los datos en cuanto a sus características en una tabla y permite que éstos sean bien entendidos, compartidos y aprovechados de manera eficaz por cualquier tipo de usuario a lo largo del tiempo.

La metadata se utiliza para identificar, consultar y utilizar los datos. En este sentido, permiten a los usuarios descubrir datos existentes, comprender “lo que representan” y utilizarlos de manera eficiente. IGVSB (2015)

La información incluida en los metadatos de datos describe: el sistema de referencia espacial, la representación espacial de los datos, su distribución, restricciones de seguridad y legalidad de los datos, frecuencia de actualización, calidad, entre otros. IGVSB (2015)

Baso de datos:

Es el conjunto de datos informativos organizados en un mismo contexto para su uso y vinculación. Se le llama base de datos a los bancos de información que contienen datos relativos a diversas temáticas y categorías de distintas maneras, pero que comparten entre sí algún tipo de vínculo o relación que busca ordenarlos y clasificarlos en conjunto. IGVSB (2015).

2.3. Mapa geoquímico:

Para la realización de mapas geoquímicos se debe previamente hacer un análisis estadístico con el fin de aproximarlos más a la condición de normalidad. El tratamiento estadístico consta en determinar qué tipo de distribución tienen los datos y hacerles la transformación según sea el caso, para así utilizar un método geoestadístico y generar el o los mapas.

Se puede definir mapa geoquímico como una representación gráfica que contiene información sobre la concentración de elementos químicos en un área específica. Los mapas geoquímicos se utilizan primordialmente en la prospección minera, pero también se emplea en la determinación de riesgos a la población por la presencia de altas concentraciones de elementos químicos, en la determinación de riesgos ambientales causados por la obra humana, entre otros.

La determinación de la concentración de los elementos químicos, se realizan a través de diversas técnicas, como lo son: absorción atómica, espectrometría de emisión óptica y masa con plasma inductivamente acoplado (ICP OES y MS), espectrofotometría de absorción atómica, método Kjeldahl, fotocolorimetría, método Walkley-Black, espectrografía de emisión, espectrofotometría de emisión, difracción de rayos X, emisión de llama, entre otros. Estas concentraciones pueden proceder de diferentes muestras como lo son, sedimentos, suelo, elementos suspendidos, agua, etc.

Existen varios tipos de mapas geoquímicos, como lo son, el de isoconcentraciones, el de puntos, se utilizan para obtener una estimación de las variaciones relativas de concentración de cada uno de los elementos, de unos puntos a otros dentro de la zona analizada, donde el tamaño del punto es proporcional a lo que se quiere representar.

- Los mapas de isoconcentraciones (isolíneas):

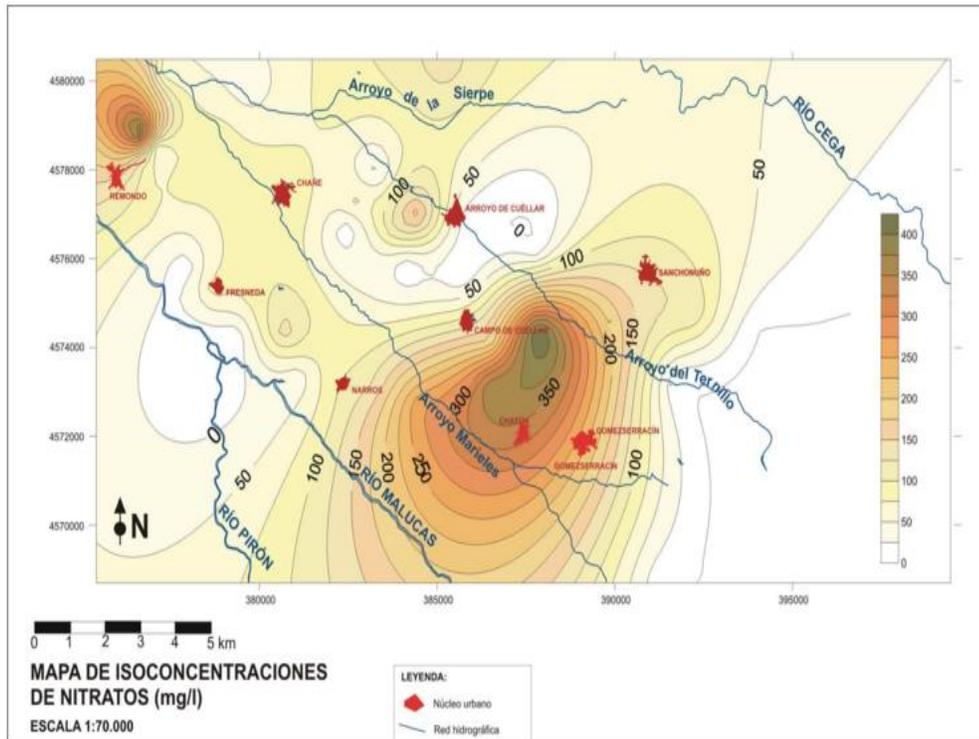


Fig. N° 3 Mapa de isoconcentraciones de Nitratos en la localidad Carracillo, España.

(Tomado de Cartografía geológica española del IGME).

- Los mapas por puntos:

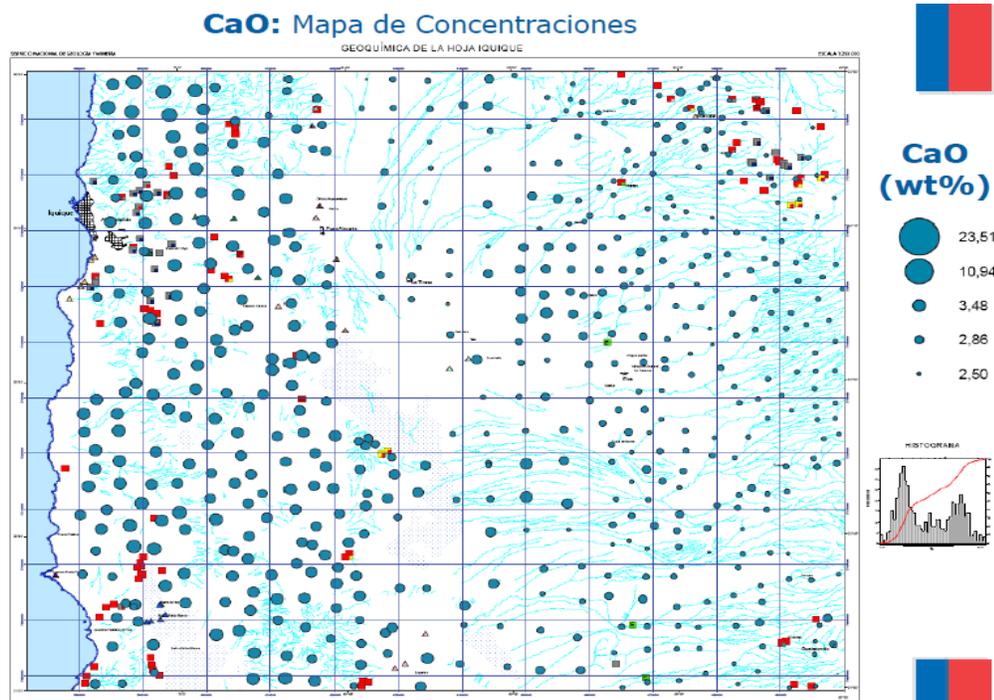


Fig. N° 4 Mapa de Concentración de puntos de CaO, Chile

(Tomado de <http://www.sernageomin.cl/geoquimica.php>)

2.4. Sistema de información geográfica (SIG):

Desde hace cuatro décadas el uso del sistema de información asociada a bases de datos geográficos ha tenido grandes y rápidos progresos, llevando a cabo un efectivo análisis, transformación, manejo y representación de los datos, los cuales son de gran interés para una serie de disciplinas o campos altamente relacionados. Este contexto el campo de la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ofrece un amplio rango de aplicación.

La definición de SIG es confuso, el tratar de abarcar en una sola idea todas las directrices y punto de vista del manejo y la aplicación de esta técnica, ha generado diferentes conceptos a lo largo del tiempo. Para algunos los SIG representan la

información derivada de una interpretación de datos geográficos la cual es expresada como un sistema con avanzadas capacidades de modelaje espacial.

2.4.1. Algunas definiciones de diferentes autores sobre el SIG:

Algo manual o computarizado basado en un conjunto de procedimientos usados para almacenar y manipular datos referenciados geográficamente (Aronoff, 1989).

Un caso especial de sistemas de información en el que la base de datos consiste en las observaciones de atributos, actividades o eventos distribuidos espacialmente representados mediante puntos, líneas o polígonos (Dueker, 1979).

El SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente, para resolver problemas complejos de planeación y administración (NCGIA, 1990).

El SIG es un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización (mismas coordenadas) en todos los mapas incluidos en el sistema de información. De este modo, resulta posible realizar análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de esa zona (Bosque, 2000).

Los conceptos anteriormente descritos tienen algo en común: “la información geográfica” siendo una de las características clave que representa un SIG.

Un SIG permite la realización de las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) o la componente temática (el valor o el elemento en sí).

- Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc.

2.4.2. Características básicas de los SIG:

- Son técnicas creados para la visualización de información geográfica expresada en forma de mapas.

- El eje central de su funcionamiento (análisis, consultas, recuperación de información, entre otros) se halla en la posición del elemento geográfico, representado por elementos gráficos (puntos, líneas y polígonos) y su información temática asociada.

- Dispone de un gran número de funciones de análisis y consulta para explotar la información geográfica enfocada hacia la resolución de un problema o necesidad, pudiendo realizar análisis simultáneos sobre diversos estratos de información.

- Son el resultado de múltiples disciplinas de las que se han extraído capacidades para el manejo de información geográfica.

- Almacenan las relaciones espaciales entre los diferentes elementos, lo que permite hacer preguntas al sistema de acuerdo con la capacidad del SIG y la necesidad del usuario.

2.4.3. Aplicaciones de los SIG:

- Planificación urbana y regional.
- Ingeniería de transporte.
- Explotación de recursos minerales.
- Análisis de nuevos mercados.
- Aplicaciones de seguridad pública.
- Aplicaciones de salud pública.
- Turismo.
- Prevención de riesgos naturales.
- Sistemas de Información del suelo.

El SIG es un método de representación espacial que permite ver la información espacial desde diferentes puntos de vista, que sirven de ayuda para la toma de decisiones.

2.5. Análisis estadístico

2.5.1. Análisis exploratorio de los datos:

El análisis exploratorio consiste en identificar el modelo teórico más apropiado para representar la población de la cual provienen los datos muestrales por medio de cualquier técnica estadística. Dicho análisis se fundamenta en gráficos y estadísticos que permiten explorar la distribución identificando particularidades tales como: valores atípicos u outliers, saltos o discontinuidades, concentraciones de valores, forma de la distribución, etc. Para el estudio del análisis exploratorio de los datos se utilizó el programa estadístico R en conjunto con el paquete R-Commander.

2.5.1.1. Pruebas de bondad de ajuste:

Estas pruebas consisten en identificar que la población de la cual proviene una muestra tiene una distribución especificada o supuesta.

De acuerdo al número total de muestra se utilizó el tipo de pruebas de bondad de ajuste, para las muestras con un número de muestras mayor a 50 se aplicó el contraste de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors por ser uno de los más utilizados debido a su veracidad para poblaciones grandes y para las muestras pequeñas con un número de muestras menor a 50 se utilizó el contraste de Shapiro-Wilk.

2.5.1.1.1. Contraste de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors:

Se aplica para comparar la función de distribución empírica muestral con la teórica de una población normal, de manera que se rechazaría la hipótesis nula de normalidad cuando el valor experimental del estadístico (que sería la mayor diferencia registrada entre ambas funciones) es significativamente grande. Este contraste no

resulta muy apropiado cuando el tamaño de muestra es pequeño porque para ese tipo de muestras su potencia es baja.

$$D_n = \sup_{x \in \mathbb{R}} \left| F_n(x) - \Phi\left(\frac{x - \bar{x}}{s_x}\right) \right|$$

Ecuación 1 Contraste de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors.

Donde Φ es la función de distribución de una normal estándar, $N(0, 1)$.

El estadístico representa la máxima discrepancia entre la función de distribución empírica y la función de distribución de la normal ajustada (Guisande, 2007).

2.5.1.1.2. *Contraste de Shapiro-Wilk:*

Mide el grado de ajuste a una recta de las observaciones de la muestra representadas en un gráfico de probabilidad normal, de forma que se rechazará la hipótesis nula de normalidad cuando el ajuste sea malo, situación que se corresponde con valores pequeños del estadístico de contraste. Este contraste es el más adecuado cuando el tamaño de muestra es pequeño (no superior a 50) y tampoco requiere que los parámetros de la distribución estén especificados.

$$W = \frac{D^2}{nS^2}$$

Ecuación 2 Contraste de Shapiro-Wilks.

Donde D es la suma de las diferencias corregidas.

Se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el estadístico W es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y el nivel de significación dado (Guisande, 2007).

2.5.1.2. *Estadística descriptiva:*

Antes de aplicar la geoestadística, es preciso hacer un análisis exploratorio de los datos, que son necesarios para realizar un análisis geoestadístico con el software.

La estadística descriptiva, consiste en un proceso de recolección, descripción, visualización y resumen de datos, producidos a partir de los fenómenos de estudio. Para examinar los datos se calculan las siguientes características: la media, mediana, moda,

desviación estándar, la varianza, coeficiente de curtosis, coeficiente de sesgo, coeficiente de variación, cuartiles, deciles y percentiles. Estos parámetros se agrupan en diferentes clases conocidas como: medidas de tendencia central, medidas de dispersión y medidas de forma, para ello se digitalizo los datos geoquímicos primeramente.

Distribución normal:

Es cuando la representación gráfica de su función de densidad tiene una curva positiva continua, siendo simétrica respecto a la media, el punto máximo es la media, y tiene dos puntos de inflexión situados a ambos lados de la media y a distancia igual a la desviación estándar (Ross, 2007).

Para que se cumpla los criterios de normalidad debe tener las siguientes características:

- Tiene una moda única, que coincide con su media y su mediana.
- La curva normal es asintótica al eje de las abscisas.
- Es simétrica respecto a su media.
- El coeficiente de sesgo y la curtosis es igual a cero.

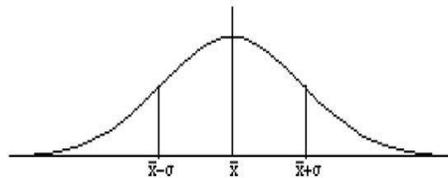


Fig. N° 5 Distribución Normal.

2.5.1.2.1. Medidas de Tendencia Central:

Determinan las características de distribución de los valores centrales los datos.

Las medidas de tendencia central son:

- 2.5.1.2.1.1. **Media aritmética:** Es la suma de los valores de todas las observaciones divididas por el número total de datos (Ross, 2007).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^h f_i X_i}{n}$$

Ecuación 3 Media.

\bar{X} =Media.

n= Número de datos.

f= Frecuencia absoluta de cada intervalo.

X_i =Marca de clase.

2.5.1.2.1.2. **Mediana:** Es el valor de la serie de datos que deja la mitad de las observaciones por debajo de ella y la otra mitad por encima (Ross, 2007).

$$M_e = L_i + \frac{\left(\frac{n}{2} - F_{i-1}\right) a}{f_i}$$

Ecuación 4 Mediana.

L_i = Extremo inferior del intervalo en el que se encuentra la mediana.

a= Amplitud de la clase.

f_i =Frecuencia absoluta del intervalo en el que se encuentra la mediana.

n= Número de datos.

f_{i-1} = Frecuencia absoluta acumulada del intervalo al que se encuentra la mediana.

2.5.1.2.1.3. **Moda:** Es el dato que más veces se repite, es decir, aquel dato o rango que presenta mayor frecuencia absoluta (Ross, 2007).



Fig. N° 6 Tipos de moda

Ubicar la mayor frecuencia absoluta (F_{modal}), para hallar el intervalo modal.

$$M_o = L_i + \frac{d_1 a}{d_1 + d_2}$$

Ecuación 5 Moda.

L_i = Extremo inferior del intervalo en el que se encuentra la moda.

a= Amplitud de la clase.

d_2 = Valor que se obtiene al restar la F_{modal} con la frecuencia absoluta del intervalo siguiente al que contiene la moda.

d_1 = Valor que se obtiene al restar la F_{modal} con la frecuencia absoluta del intervalo anterior al que contiene la moda.

2.5.1.3. **Medidas de dispersión:**

Las medidas de dispersión muestran la mayor o menor concentración de los datos con respecto a las medidas de centralización. Dando una idea sobre la homogeneidad o que tan agrupado están los datos (Solano 2006). Las medidas de dispersión son:

2.5.1.3.1. **Desviación estándar:** Indica cuánto tienden a alejarse los valores puntuales de la media.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot f_i}{n - 1}}$$

Ecuación 6 Desviación estándar.

X_i =Marca de clase.

\bar{X} = Media.

F_1 =Frecuencia absoluta.

S=Desviación estándar.

n= número de datos.

2.5.1.3.2. **Varianza:** Es la medida de la desviación o dispersión de la distribución.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot f_i}{n - 1}$$

Ecuación 7 Varianza.

2.5.1.3.3. **Coficiente de variación:** Mide la representatividad de la media.

- Si $CV < 100$, no hay problema con los valores extremos de los datos
- Si $100 < CV \leq 200$, Los efectos causados por los valores extremos de los datos son tolerables

- Si $CV > 200$, se tiene problemas severos con los valores extremos de los datos.

2.5.1.4. *Medidas de forma* (Webster, 2001):

Calculan el valor de deformación respecto a una distribución normal. Las medidas de forma son las siguientes:

2.5.1.4.1. **Coefficiente de sesgo o asimetría:** Evalúa el grado de distorsión o inclinación que adopta la distribución de los datos respecto a su valor promedio tomado como centro de gravedad.

$$CS = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1) \cdot S^3}$$

Ecuación 8 Coeficiente de sesgo.

- Si $CS = 0$, la distribución es simétrica, en ese caso las desviaciones a la derecha y a la izquierda de la media se compensan.
- Si $CS < 0$, la distribución es asimétrica negativa. La mayoría de las observaciones están a la derecha de la proyección de la media.
- Si $CS > 0$ la distribución es asimétrica positiva. La mayoría de las observaciones están a la izquierda de la proyección de la media.

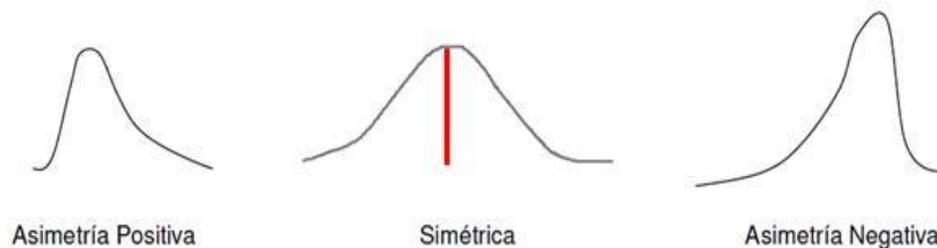


Fig. N° 7 Tipos de coeficiente de sesgo o asimetría.

2.5.1.4.2. **Coefficiente de curtosis:** Mide el grado de aplastamiento o apuntamiento de la gráfica de la distribución de la variable estadística.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n - 1) \cdot S^4} - 3$$

Ecuación 9 Coeficiente de curtosis.

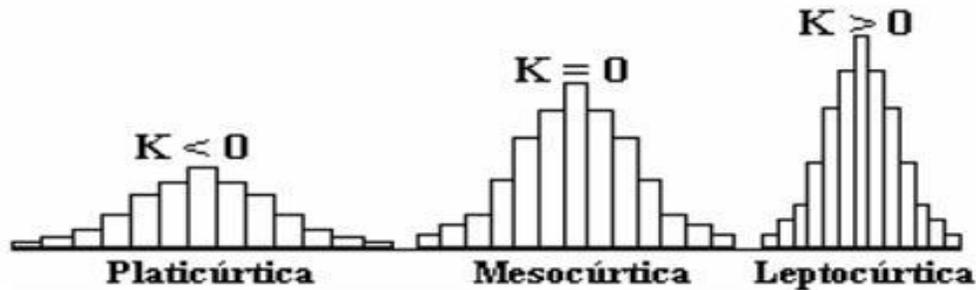


Fig. N° 8 Tipos de coeficiente de curtosis.

2.5.1.5. Medidas de posición (Solano 2006):

Las medidas de posición distribuyen un conjunto de datos en grupos con el mismo número de individuos. Para calcular las medidas de posición es necesario que los datos estén ordenados de menor a mayor.

2.5.2.5.1. Deciles: Cada uno de los valores que señala la división de frecuencias en diez partes iguales. Los deciles corresponden a los valores al 10%, al 20%... y al 90% de los datos. El D_5 coincide con la mediana.

2.5.2.5.2. Percentiles: Cada uno de los valores que señala la división de frecuencias en cien partes iguales.

Si a través de estas demostraciones se deduce que la variable se puede aproximar a una distribución normal, el problema se facilita, se confirma la estadística descriptiva y finalmente se puede continuar con el análisis geoestadístico; de lo contrario, es necesario realizar una transformación de los datos que puede ser de raíz cuadrada o logarítmica y hacer nuevamente las confirmaciones.

2.5.3. Transformación de los datos:

Es un proceso que utiliza funciones matemáticas y otros métodos para transformar datos desde un tipo de distribución a otra. Las más utilizadas son de tipo logarítmica, raíz cuadrada o inversa. El tipo de transformación se aplica según el criterio de Wester & Oliver (2001).

- Si $0 < |CS| < 0,5$; se acepta y se puede aplicar la geoestadística.
- Si $0,5 < |CS| < 1$; se normalizan los datos aplicando una transformación de tipo raíz cuadrada.
- Si $|CS| > 1$; se normalizan los datos aplicando una transformación de tipo logarítmica.

2.5.4. **Histograma:**

Se utiliza como representación gráfica de la variación del conjunto de datos de las medidas de tendencia central (media, moda, mediana, desviación estándar, curtosis, coeficiente de sesgo), clasificada y ordenada a través de un gráfico de rectángulos, que ayuda a visualizar la distribución de los datos, su forma y su dispersión, ya sea en forma diferencial o acumulada (Solano, 2006).

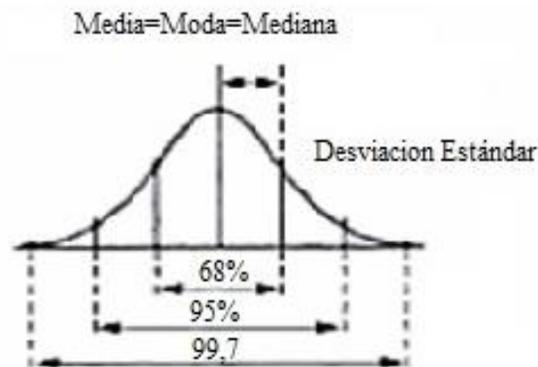


Fig. N° 9 Distribución de los datos en el histograma.

2.5.5. **Diagrama de caja:**

Un diagrama de caja es un gráfico, basado en cuartiles, mediante el cual se visualiza un conjunto de datos. Está compuesto por un rectángulo, la caja, y dos brazos, los bigotes. Es un gráfico que se suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los cuartiles Q1, Q2 o mediana y Q3, y sobre la existencia de valores atípicos y simetría de la distribución:

2.5.5.1. **Valor de Fondo:** Son los valores comprendidos en el intervalo de 0 a 50% de frecuencia acumulada.

2.5.5.2. **Valor de Umbral:** Son los valores comprendidos en el intervalo de 50 a 95% de frecuencia acumulada.

2.5.5.3. **Valor Anómalo:** Son los valores mayores a un 95% de frecuencia acumulada (Ross, 2007).

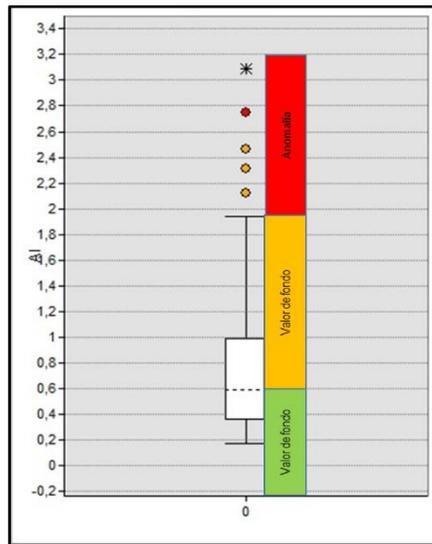


Fig. N° 10 Diagrama de caja.

2.6. **Análisis Geoestadístico:**

En diversos escenarios geológicos, los valores de las variables están distribuidos en el espacio mostrando una distribución espacial, es decir, los valores de las variables medidos en puntos cercanos entre ellos son parecidos y a medida que aumenta la distancia, la analogía entre estos valores se reduce. A partir de esta característica la geoestadística toma importancia y obtiene la relación espacial por medio de funciones de correlación. Para observar la relación espacial que muestra la variable, se realiza un modelaje mediante la función estadística, semivariograma. Cabe destacar que este análisis se aplicó en las muestras que fueron recolectadas en forma de mado y las muestras que presentaron una distribución espacial de manera aleatoria se procedió a realizar los mapas de concentraciones de tipo: por punto.

La **Geoestadística** es una rama de la estadística aplicada que estudia en el análisis y el modelo de la variabilidad espacial en ciencias de La Tierra, que permite representar cuantitativamente la variación de un fenómeno regionalizado en el espacio

a través de una interpretación de estructuras de correlación espacial. (Isaaks & Srivastava, 1989; Druck, et al. 2004).

Variables Regionalizadas:

La Geoestadística es la aplicación de la Teoría de las Variables Regionalizadas a la estimación de procesos o fenómenos geológicos en el espacio (Matheron 1962). Se nombra como variable regionalizada $z(x)$ a la variable distribuida en el espacio de manera tal que presenta una estructura espacial de correlación.

Matemáticamente consiste en decir que una variable regionalizada es una variable aleatoria z definida en un punto del espacio x . Donde en el caso más general x es un punto en el espacio tridimensional, es decir $x = x_1, x_2, x_3$ (Díaz, 2002).

Variable Aleatoria:

Si a cada punto x que pertenece a un dominio en el espacio le hacemos pertenecer una variable aleatoria $z(x)$, que en sentido general pueden ser dependientes, entonces el conjunto de variables aleatorias espacialmente distribuidas $\{z(x), x \in \Omega\}$ será una función aleatoria $Z(x)$ (Díaz, 2002).

2.6.1. Semivariograma:

Es un estimador no paramétrico. Es óptimo cuando se dispone de una malla regular de muestreo que sea característica y la distribución sea normal. En estas condiciones el sesgo es el mínimo posible.

El semivariograma es una función que relaciona la semivarianza con el vector h conocido como "lag", el cual denota la separación en distancia y dirección de cualquier par de valores $Z(x)$ y $Z(x+h)$ (Díaz, 2002).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var} [Z(x) - Z(x+h)] = \frac{1}{2} E[(Z(x) - Z(x+h))^2]$$

Ecuación 10 Semivariograma.

$Z(x)$ = Valor de la variable en un lugar.

$Z(x+h)$ = El otro valor muestral separado del anterior por una distancia h y n es el número de parejas que se encuentran separadas por dicha distancia.

Componentes de un semivariograma: rango, meseta y nugget:

Como se indicó anteriormente, el semivariograma es uno de los modelos de la autocorrelación espacial a partir de puntos de muestra medidos, estos puntos medidos que están juntos, así que de cierto modo tendrán una diferencia cuadrada menor que la de aquellos que están más separados. Una vez diagramados todos los pares de ubicaciones después de haber sido colocados en un bin, que se ajusta un modelo para estas ubicaciones. El rango, la meseta y el nugget se utilizan, habitualmente, para describir estos modelos (Webster 1986).

Rango y meseta:

Al observar el modelo de un semivariograma, distinguirá que en una cierta distancia, el modelo se iguala. La distancia donde el modelo empieza a nivelarse se llama rango. Las puntos de muestra espaciadas por longitudes más cortas que el rango están autocorrelacionadas espacialmente, mientras que las ubicaciones que están más alejadas que el rango, no lo están.

El valor en el cual el semivariograma llega al rango (el valor del eje Y) se denomina meseta. La meseta menos el nugget se le llama meseta parcial (Webster 1986).

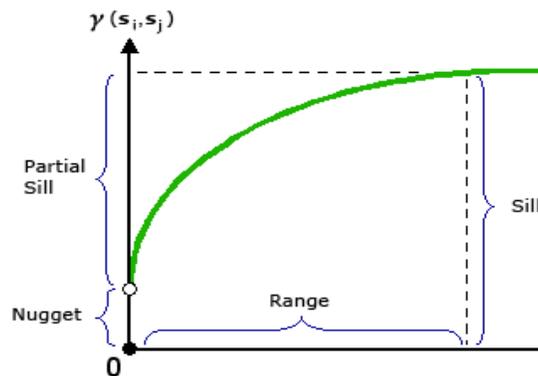


Fig. N° 11 Ilustración de componentes de rango, meseta y nugget.

Nugget o pepita:

A una distancia de separación cero (por ej. intervalo = 0), el valor del semivariograma es 0. No obstante, a una distancia de separación infinitamente inferior, el semivariograma a menudo muestra un efecto nugget, que es un valor

mayor que 0. Si el modelo de semivariograma intercepta el eje Y en 2, entonces el nugget es 2.

El efecto nugget puede estar influenciado a errores de medición o a fuentes espaciales de variación a distancias que son menores que el intervalo de muestreo, o a ambas cosas. Los errores de medición ocurren debido a errores relacionados a los aparatos de medición. Los fenómenos naturales pueden variar espacialmente en un rango de escalas. La variación a micro escalas más pequeñas que las distancias de muestreo aparecerán como parte del efecto nugget. Antes de recopilar datos, es importante lograr comprender las escalas de variación espacial en las que está interesado (Webster 1986).

Modelos de semivariograma:

La herramienta Kriging proporciona las siguientes funciones para elegir el modelado del semivariograma empírico:

- Circular
- Esférica
- Exponencial
- Gaussiana
- Lineal

El modelo escogido interviene en la predicción de los valores desconocidos, en específico cuando la forma de la curva cercana al origen difiere significativamente. Cuanto más acentuada sea la curva cercana al origen, más intervendrán los datos vecinos más cercanos en la predicción. Como resultado, la superficie de salida será menos suave. Cada patrón está planteado para ajustarse a diferentes tipos de fenómenos de forma más precisa (Webster 1986).

En los siguientes diagramas se muestran dos modelos frecuentes y se identifican las divergencias de las funciones:

Ejemplo del modelo esférico:

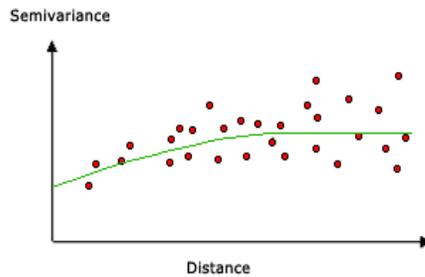


Fig. N° 12 Modelo esférico de semivariograma

Muestra una disminución progresiva de la autocorrelación espacial, así como un aumento en la semivarianza hasta cierto recorrido, después la autocorrelación es cero. Siendo el modelo esférico es uno de los más se empleados (Webster 1986).

Ejemplo del modelo exponencial:

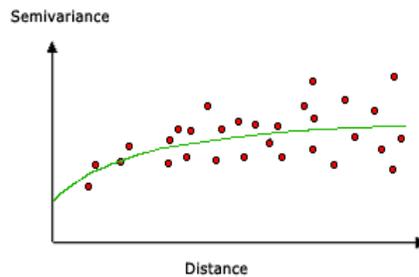


Fig. N° 13 Modelo exponencial de semivariograma.

Este modelo se aplica cuando la autocorrelación espacial se reduce exponencialmente y cuando aumenta la distancia. En este caso, la autocorrelación desaparece por completo a una distancia infinita. El modelo exponencial también es un modelo comúnmente utilizado. Sin embargo, la elección del modelo a utilizar se basada en la autocorrelación espacial de los datos y en el conocimiento previo del fenómeno (Webster 1986).

Gráficos de semivariograma:

A continuación se presentan las formas generales y las ecuaciones de los modelos matemáticos utilizados para describir la semivarianza.

Donde:

$\gamma(h)$: variancia

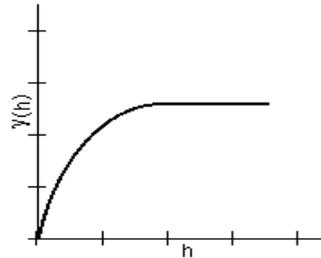
c_0 : Nugget

α : Silo

$c_0 + c$: variancia asintótica

h : distancia de separación.

SPHERICAL



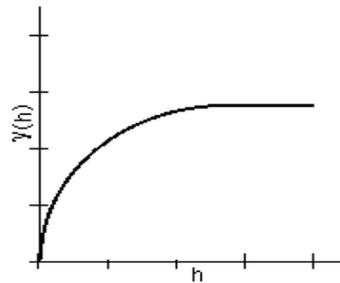
$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 + c \left(\frac{3h}{2\alpha} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{\alpha} \right)^3 \right) \quad 0 < h \leq \alpha$$

$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 + c \quad h > \alpha$$

$$\gamma(\mathbf{0}) = 0$$

Fig. N° 14 Ilustración de modelo de semivarianza esférica.

CIRCULAR



$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 + c \left(1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left(\frac{h}{\alpha} \right) + \sqrt{1 - \frac{h^2}{\alpha^2}} \right) \quad 0 < h \leq \alpha$$

$$\gamma(\mathbf{h}) = c_0 + c \quad h > \alpha$$

$$\gamma(\mathbf{0}) = 0$$

Fig. N° 15 Ilustración de modelo de semivarianza circular.

EXPONENTIAL

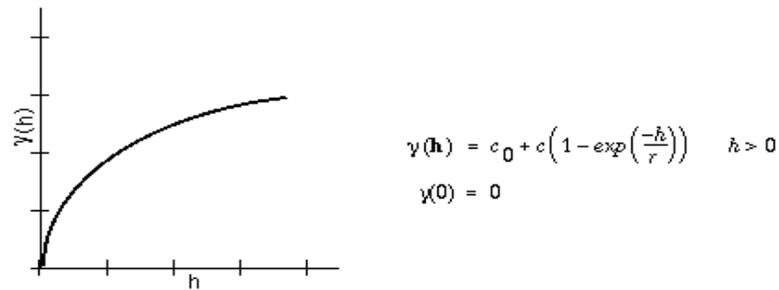


Fig. N° 16 Ilustración de modelo de semivarianza exponencial.

GAUSSIAN

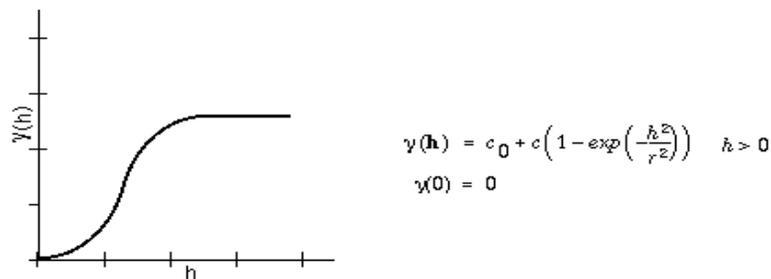


Fig N° 17 Ilustración de modelo de semivarianza gaussiano.

LINEAR

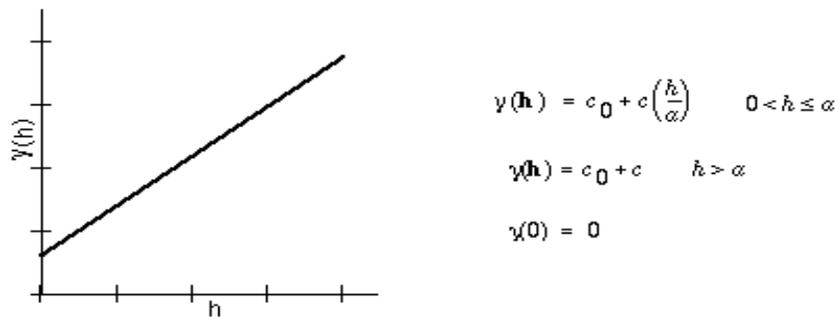


Fig N° 18 Ilustración de modelo de semivarianza lineal.

Su objetivo de estudio es el análisis y la predicción de fenómenos en espacio y/o tiempo, tales como: ley de metales, porosidades, concentraciones de un contaminante, etc. El análisis geoestadístico y la semivarianza, fue elaborado con la herramienta del módulo Geostatistical Analysis®, del programa ArcGIS.

2.6.2. Análisis Estructural de los datos:

Análisis Estructural de los datos:

Métodos de estimación:

- Métodos de Estimación
 - a. Tradicionales:
 - Poligonal
 - Triangulación
 - Inverso a la Distancia
 - b. Geoestadísticos:
 - Kriging

a. Tradicionales

- **Poligonal**

Asigna todo el peso a la muestra más cercana.

Ventajas:

- Fácil de entender.
- Fácil de calcular manualmente.
- Rápido.
- Histograma global de descongestión.

Desventajas:

- Estimaciones locales discontinuas.
- Efecto de borde.
- No muestra anisotropías.
- No calcula estimación del error.

- **Triangulación**

El peso en cada triángulo es proporcional al área del triángulo secundario opuesto.

Ventajas:

- Fácil de entender y calcular manualmente.
- Rápido.

Desventajas:

- No existe solución única.
- Solamente tres muestras reciben peso.

- Extrapolación.
- No muestra anisotropía.
- Ningún control del error.

Inverso a la Distancia (IDW):

Cada factor de peso de la muestra es proporcionalmente inverso a la distancia entre la muestra y el punto que será estimado:

$$z^* = [\sum (1/d_i^p) z(x_i)] / \sum (1/d_i^p) , i = 1, \dots, n$$

Donde:

- z^* es la estimación de la ley de un bloque o de un punto, $z(x_i)$ refiere la ley de la muestra, p es un exponente arbitrario, y n es el número de muestras.
- Si p tiende a cero \Rightarrow promedio local de la muestra.
- Si p tiende a $\infty \Rightarrow$ método del vecino más cercano (poligonal)
- Tradicionalmente, $p = 2$.

Ventajas:

- Fácil de entender.
- Fácil de implementar.
- Flexible para adaptar factores de peso a diversos problemas de la estimación.
- Puede ser modificado para requisitos particulares.

Desventajas:

- Sensible a congestión de los datos.
- No existe anisotropía.
- No hay control de errores.

Una vez establecida la distribución normal de los datos, se procedió al análisis estructural realizando el modelo geoestadístico con dichos datos, para ello se utilizó el método kriging.

El kriging ha sido calificado como el mejor estimador lineal insesgado de un punto y al mejor promedio lineal móvil ponderado de un bloque. Esta técnica creada en Francia por Matheron a partir de los trabajos de D. G. Krige quién fue posiblemente

el primero que hizo uso de la correlación espacial y del mejor estimador lineal insesgado en el campo para la evaluación de yacimientos minerales (Oliver, 1990).

Se puede definir al kriging como un medio geoestadístico desarrollado que crea una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos espaciados con valores z . Este método tiene un proceso complejo que requiere de conocimientos sobre estadísticas, que antes de ser utilizado, debe comprender sus principios básicos y evaluar el ajuste de sus datos para realizar un modelo con esta técnica. Este procedimiento es más apropiado cuando la distancia está correlacionada espacialmente en los datos y se utiliza a menudo en la ciencia del suelo y la geología (Oliver, 1990).

Ventajas de Kriging

- Considera las características espaciales de continuidad.
- Es un estimador exacto.
- Tiene la capacidad incorporada para desagrupar.
- Calcula la varianza de kriging para cada bloque.
- Es robusto.
- Es computarizado.
- Tiene un efecto suavizante de la función.

Desventajas de Kriging

- Supuestos.
- No hay deriva presente en los datos (hipótesis de Fijación).
- La varianza y la covarianza existen y son finitas.
- La ley promedio del depósito es desconocida.

Fórmula de Kriging:

El método Kriging es similar al método de la distancia inversa (IDW) donde asumen que las predicciones son una combinación lineal de los datos, como lo muestra la ecuación (Gotway et al. 1996, Schloeder et al. 2001):

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i)$$

Ecuación 11 Fórmula de Kriging.

Dónde:

$Z(s_i)$ = el valor medido en la ubicación i

λ_i = una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

S_0 = la ubicación de la predicción

n = la cantidad de valores medidos

Kriging ordinario: Es el más general y utilizado. Asume que el valor medio constante es desconocido, siendo esta una hipótesis razonable a menos que haya una razón científica para rechazarla (Díaz 2002).

$$Z(S_0) = \sum_i^n \lambda_i Z(S_i) + \left[1 - \sum_i^n \lambda_i \right] m$$

Ecuación 12 Kriging ordinario.

Donde:

- La suma de los pesos (λ_i) puede ser menor que 1.
- m =media y se asume constante y conocida.
- Es bueno para una alta densidad de datos

Kriging simple: Válido cuando los fenómenos son estacionarios, se debe conocer el valor de la media poblacional (m) y la covarianza debe ser conocidas (Díaz 2002).

$$Z(S_0) = \sum_i^n \lambda_i Z(S_i)$$

Ecuación 13 Kriging simple.

Donde:

- La suma de los pesos (λ_i) es siempre 1.
- Este re-predice la media local. Esta es constante pero desconocida.
- Este es más inestable que el Kriging simple pero es útil cuando hay muchos pozos.
- Es confiable para puntos que muestran una tendencia.

CAPÍTULO III

3. Geología Regional

El Escudo de Guayana posee aspectos geológicos regionales, de edad Precámbrico y se encuentran ubicadas al sur del río Orinoco, desplegándose por los estados Bolívar, Amazonas, parte de Delta Amacuro y Guayana Esquivia; ocupando la mayor parte del territorio nacional según González de Juana (1980).

Este Escudo forma parte del Cratón Amazónico y del oeste de África, donde las unidades litoestratigráfica y litodémicas forman numerosas áreas con metamorfismo y depósitos minerales, que se correlacionan y se identifican como rocas arqueozoicas y proterozoicas con diferentes litologías, las cuales están alteradas de mayor o menor escala por eventos geotectónicos de gran magnitud, según Mendoza (2012). De acuerdo a sus características petrológicas y tectónicas el Escudo de Guayana ha sido dividido en cuatro Provincias Geológicas; Imataca, Pastora, Roraima y Cuchivero (Fig. N° 19).

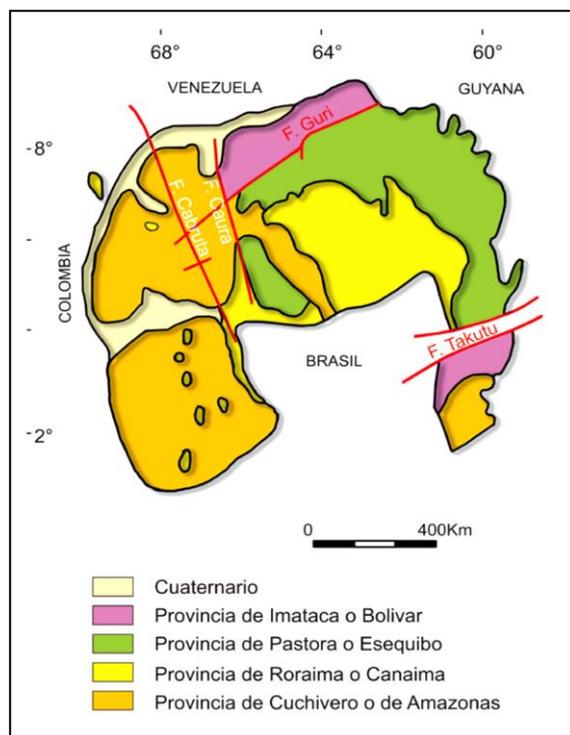


Fig. N° 19 Mapa de Provincias Geológicas del Escudo de Guayana. (Mendoza, 2012).

Dichas provincias presentan divisiones como supergrupo o superasociación producto de la litología y como su génesis, en el cual tienen subdivisiones como grupos y a su vez formaciones (Ver Tabla N° 2), estas tienen una ubicación en específico en el estado Bolívar (ver Fig. N° 20):

Tabla N° 2 Provincias geológicas y sus divisiones.

Provincia Roraima			Formación Mataui	
			Formación Uaimapué	
			Formación Kukenan	
			Formación Uairén	
Provincia Cuchivero	Superasociación Cedeño	Asociación Suapure	Granito del Marieta	
			Granito Guaniamito	
			Granito Rapakivi del Parguaza	
			Granito Pijiguaos	
			Asociación Cuchivero	Metabasitas de Guaniamito
				Granito de San Pedro
				Granito de Santa Rosalía
				Volcánicas de Caicara
Provincia Pastora			Granitos jóvenes	
			Complejo de Supamo	
		Grupo Botanamo	Formación Caballape	
	Supergrupo Pastora		Formación El Callao	
			Formación Yuruari	
			Formación Cicapra	
		Formación Florinda		
Provincia Imataca				

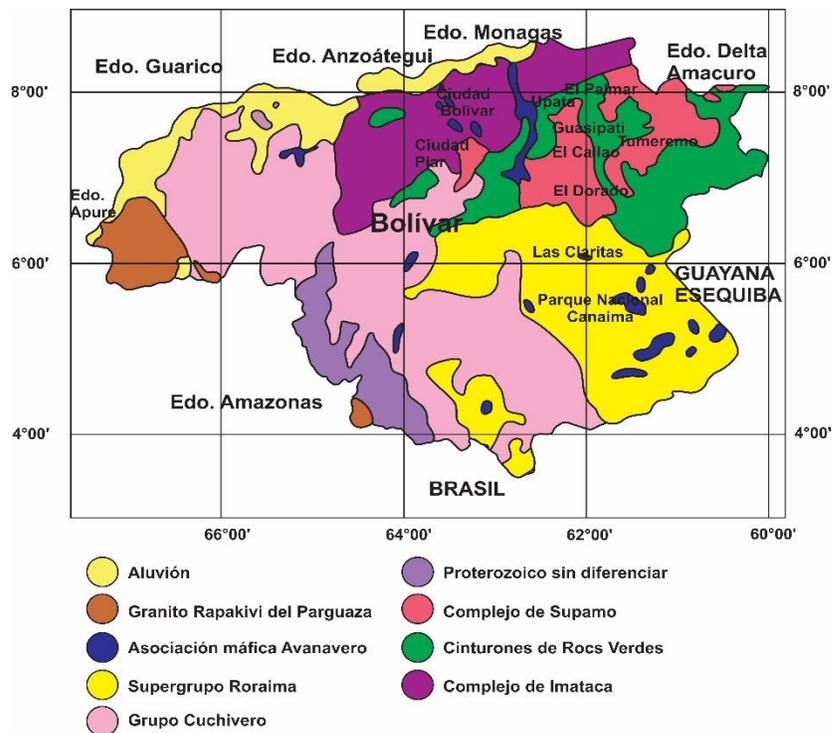


Fig. N° 20 Mapa geológico generalizado del estado Bolívar.

. (Modificado de Sidder y Mendoza, 1995).

5.4. Provincia Geológica Roraima:

La Provincia Geológica de Roraima se conoce también como Provincia Geológica de Canaima.

- **Ubicación:** Se extiende en Venezuela desde los límites del Parque Nacional Canaima hacia el km 95, de la troconal N° 10 cerca de la Piedra de la Virgen, hasta Santa Elena de Uairén y el Tepuy Roraima, en dirección norte,sur y desde el río Venamo hasta las proximidades del río Paragua, en dirección este-oeste (ver Fig. N° 20).

Esta Provincia según Mendoza (2012) se divide en dos supergrupos o superasociaciones litológicas, una depositadas en una atmosfera rica en oxígeno, denominado Supergrupo Roraima y otro depositado en una atmósfera deficiente en oxígeno, denominado Pre-Roraima.

- **Litología:** Según Long (2002) y Reid (1974) la litología del Grupo Roraima desde la más antigua a la más joven es, Formación Uairén, Cuquenán (Kukenan), Uaimapué y Mataui.

5.4.1. **Formación Uairén:** Según Long (2002) y Reid (1974) está formado por areniscas y areniscas conglomeráticas y conglomerados de origen fluvial; esta Formación yace discordantemente de la Formación Volcánica de Caicara.

5.4.2. **Formación Kukenan:** Según Long (2002) está formado por areniscas conglomeráticas y areniscas similares a la Formación Uairén, y sigue areniscas pobremente escogidas de ambientes lacustrinos, las cuales son cubiertas por depósitos eólicos y fluviales suprayacentes.

5.4.3. **Formación Uaimapué:** Según Mendoza (2012) esta formación tiene un espesor de 250m aproximadamente y en la parte inferior, está constituido por areniscas de grano fino a grueso, con estratificación cruzada y conglomerados, intercalados con delgadas capas de limolitas y arcillitas, en su parte superior está formado por arcosas, jaspe limolitas y tobas vítreas.

5.4.4. **Formación Mataui:** Según Reid (1974) está formado por ortocuarcitas y areniscas cuarzo-feldespáticas con estratificación cruzada, marca de oleaje y areniscas masivas, teniendo un espesor que puede ser mayor a los 1.000 m.

Las rocas de Roraima se depositaron en ambientes mayormente fluviales, deltáicos a localmente marino costeros, lacustres, en canales de ríos de baja sinuosidad y llanuras aluviales, deltáicos encima de lagos interdeltáicos, lagunas costaneras a bahías interdeltáicas, playas sin barras y llanuras intramareas.

Cabe destacar que en esta Provincia existen depósitos epitermales aurífero, depósitos aluvionales de oro y/o diamante, depósitos kimberlítico y posibles depósitos de uranio (Mendoza, 2012).

- **Contactos:** La edad de esta Provincia varía entre 1.800 Ma y esta es discordante con la Formación Caicara de la Provincia de Cuchivero y menos de 1500 Ma a 1400Ma para su Formación Mataui que yacen discordantes sobre el Granito Rapakivi del Parguaza.

5.5. Provincia Cuchivero

Esta provincia también es conocida como Provincia Geológica Amazonas según Mendoza (1977).

- **Ubicación:** Este ocupa la parte occidental del Escudo de Guayana y se extiende al SE de Guyana, Surinam, Guayana Francesa y hacia Brasil como la Provincia Ventuari-Parima-Tapajós (ver Fig. N° 20).

Según Mendoza (1974) la Provincia Cuchivero la define con el nombre de Supergrupo Cedeño, que es conformado por el Grupo Cuchivero (Formación Caicara, Granito de Santa Rosalía, Granito de San Pedro y Granito de Guaniamito), metabasitas y el Grupo Suapure (Granito de Pijiguaos y Granito Rapakivi de El Parguaza). El Supergrupo Cedeño es discordante de rocas sedimentarias del Supergrupo Roraima.

Mendoza et al (1977), definen al Supergrupo Cedeño como Superasociación Cedeño, formada por la Asociación Cuchivero (conformada por Volcánicas de Caicara, Granito de Santa Rosalía, Granito de San Pedro y metabasitas de Guaniamito) y la Asociación Suapure (formada por el Granito de Pijiguaos, Granito Rapakivi del Parguaza y sus facies, Granito de Guaniamito, Granito del Marieta, etc.)

- **Litología** presente en la Asociación Cuchivero son rocas volcánicas riolíticas pertenecientes a Volcánicas de Caicara (ignimbritas, tobas de cenizas, brechas y cantidades menores de lavas, obsidianas y domos riolíticos, entre otras de 1760 Ma a 1978 \pm 43 Ma de edad.), granitos biotíticos de Santa Rosalía, y Granito alaskítico de San Pedro ambos de 1880 \pm 31 Ma (Mendoza, 1974). En la Asociación Suapure es el Granito Rapakivi del Parguaza (GRP) y todas sus facies volcánicas como el granito de Pijiguaos, los pórfidos riódacíticos del Guayapo, la Granodiorita del

Sipapo, bauchitas; El GRP es una roca ígnea plutónica granítica masiva de colores grises, de grano muy grueso, textura inequigranular wiborgita Rapakivi. Y estas muestran zonamiento inverso, es decir rocas más félsicas hacia dentro del plutón y más máficas en los bordes, estos tienen 1545 ± 20 Ma.

La Asociación Cuchivero debió emplazarse de un arco magmático tipo Andes, cerca de los 1900- 1950 Ma, aunque las rocas presentes fueron registradas en el evento Orocaima o parte del evento Uatumá de 1,96-1,78 Ga el cual pertenecen a una serie de arcos magmáticos que sucedieron inmediatamente a un arco de islas en un océano que se inició hace unos 2.3 Ga (Mendoza, 2012).

Además en esta provincia se encuentran recursos minerales, como los depósitos de bauxitas, estaño, columbita-tantalita, caolín, diamantes, zirconio, niobio, fósforo y en menor proporción depósitos de oro (Mendoza, 2012).

- **Contacto:** Esta Provincia tiene su mayor desarrollo hacia la parte occidental del Estado Bolívar, y se encuentra en contacto discordante y de falla con las Provincias Imataca y Pastora al este del río Caura.

5.6. Provincia de Pastora:

Es de edad Precámbrico y también es conocida como Provincia Esequibo según Menéndez (1968) y como Provincia del Oro, esta se encuentra limitada al norte por la Falla de Gurí y al sur se extiende hasta las proximidades del Parque Nacional Canaima (km 95 carretera El Dorado-Santa Elena), al este limita con Guayana Esequibo y al oeste con el río Caura (Mendoza, 2012) (ver Fig. N° 20).

La Provincia Pastora se encuentra formada por dos cinturones de rocas verdes, intrusiones de granito, sills y diques de diabasas, entre otros, el cual forma diversas formaciones, las cuales son:

5.6.1. Supergrupo Pastora:

Está integrado por el Grupo Carichapo (metalavas tholeíticas y metalavas comatíticas, rocas meta sedimentarias y metavolcánicas, entre otros).

5.6.1.1. Grupo Carichapo:

Esta unidad agrupa a las rocas más antiguas de la Provincia Pastora, teniendo las formaciones, Florinda, Cicapra, Yuruarí y El Callao de base a tope.

3.3.1.1.1. Formación Florinda:

- **Ubicación:** Se localiza en el estado Bolívar, de edad Precámbrico, según Menéndez (1968, 1972, 1994).
- **Litología:** Está formada por una serpentinita de Corrupia de afinidad komatítica, en donde se integra por metabasaltos toleíticos magnesianos con estructuras de almohadillas.
- **Contacto:** En la base no aflora debido a que está en contacto intrusivo con el Complejo de Supamo e infrayace a la Formación Cicapra donde la Formación El Callao se encuentra ausente. Según González de Juana (1980).

3.3.1.1.2. Formación Cicapra:

- **Ubicación** La localidad tipo de esta formación se encuentra en el río Yuruari, estado Bolívar, es la unidad superior del grupo Carichapo, su espesor mínimo es 200 m al SE de El Callao.
- **Litología:** Según Mendoza (2012), está compuesto por metalavas basáltico-komatítica y meta-lavas basálticas con meta-sedimentos.
- **Contacto:** Con la Formación El Callao es de cuña de falla (Menéndez (1968), e infrayace concondantemente con la Formación Yuruarí. Según Mendoza (2012), la relación entre la formación Cicapra y la Formación Yuruarí es de colisión o interacción de plateau oceánico, relacionado a pluma de calor-arco de islas maduro, en un margen convergente.

3.3.1.1.3. Formación Yuruarí:

- **Ubicación** Se encuentra al nor-este del estado Bolívar y es de edad Precámbrico.

- **Litología** Menéndez (1994), determina que esta formación es producto de volcanismo dacítico o radiodacítico, en donde al tope contiene lavas, brechas, tobas, areniscas y limolitas feldespáticas, y la base contiene filitas manganesíferas y grafiticas interlaminadas con limolitas feldespáticas con un espesor máximo de 1.500 m, según Espejo (1974), la composición litológica es semejante a la de la región el Manteco Gurí, donde la parte inferior se encuentra un material volcánico redepositado con estructuras turbidíticas; Martín (1974), correlaciona a esta unidad con el Grupo Caroní.
- **Contacto** la Formación Yuruarí tiene un contacto transicional con la Formación Cicapra, con la Formación Caballape tiene una discordancia angular.

3.3.1.1.4. Formación El Callao:

- **Ubicación** Se halla al noreste del estado Bolívar; es de edad Precámbrico, tiene un espesor aproximado de 1.200 m; según Menéndez (1972).
- **Litología** Consiste casi en su totalidad de metalavas de composición basáltica, con estructuras en almohadilla y amígdalas de cuarzo en el tope de los flujos; esta ha sido afectada por metamorfismo de bajo grado, facies de los esquistos verdes (Mendoza, 2012). Según Korol (1965), la describió como lavas espilíticas. Menéndez (1994), la describe esencialmente como toleitas normales con tendencia a toleitas ferruginosas.
- **Contacto** Según Menéndez (1994), suprayace a la Formación Florinda y en su tope su contacto es transicional con la Formación Cicapra, sin embargo donde es ausente Cicapra es concordante con la Formación Yuruarí; estas rocas han sido producto de volcanismo fisural en corteza oceánica donde una primera fase fue volcánico sedimentaria dando origen a los cinturones de rocas verdes, según Korol (1965) esta suprayace concordante con la Formación Yuruarí

e infrayace con la Formación Caballape. Espejo (1974), la correlaciona con la Formación La Cuaima

5.6.1.2. Grupo Botanamo:

5.6.1.2.1. Formación Caballape:

- **Ubicación** Se sitúa en la región nororiental del estado Bolívar, y es de edad Precámbrico tardío.
- **Litología** Según Korol (1965), la formación tiene un espesor de 8.000 m, donde está formado en el tope con lodolita laminada, limolita y grauvaca de grano fino a medio, con algunos sedimentos conglomeráticos (hasta 10% de guijarros) y en la base hay capas características de jaspe rojizo, medianamente a finamente estratificadas y a veces brechadas. Según Menéndez (1968), tiene un espesor estimado de 5.000 m, y está constituida por rocas epiclásticas volcánicas: limolita, grauvaca, conglomerado, y rocas piroclásticas: toba y brecha; además este autor describe en 1994 que la unidad fue producto de depósitos de cuencas orientadas este-oeste que dieron origen a cinturones de rocas verdes secundarios.
- **Contacto** Según Korol (1965) esta unidad suprayace concordante y transicionalmente con la Formación Yuruarí. Según Menéndez (1968), esta unidad suprayace discordantemente con la Formación El Callao y la correlacionó con la Formación Cuyuní.

5.6.1.2.2. Complejo de Supamo:

Moreno y Mendoza (1972, 1975), lo consideran como un conjunto de rocas graníticas, intrusivas, y/o reactivadas, en rocas del Supergrupo Pastora, con alto contenido de Na₂O, tales como tonalitas, trondhjemitita, granodiorita (TTG) cuarzo-monzonita, gneises y migmatitas equivalentes. Afirman que son granitos más jóvenes evolucionados intrusivos en el Complejo de Supamo, hasta intrusivos removilizados en los CRV más jóvenes como el de Botanamo. Sin embargo, los granitos del Complejo de Supamo, generalmente, forman domos expandidos y arqueados contra los apretados

y replegados sinformes de CRV (véase Fig. N° 21), como los domos de El Manteco, Santa Justa y otros. Asociados a estas rocas existen una serie de plutones pequeños y pórfidos ricos en cuarzo. Geomorfológicamente forman áreas bajas y planas, sabanas, con escasa vegetación y suelos muy arenosos, ricos en cuarzo y en vetas de cuarzo estériles, que desarrollan suelos arenosos de color blanco grisáceo a amarillento (Mendoza, 2005).

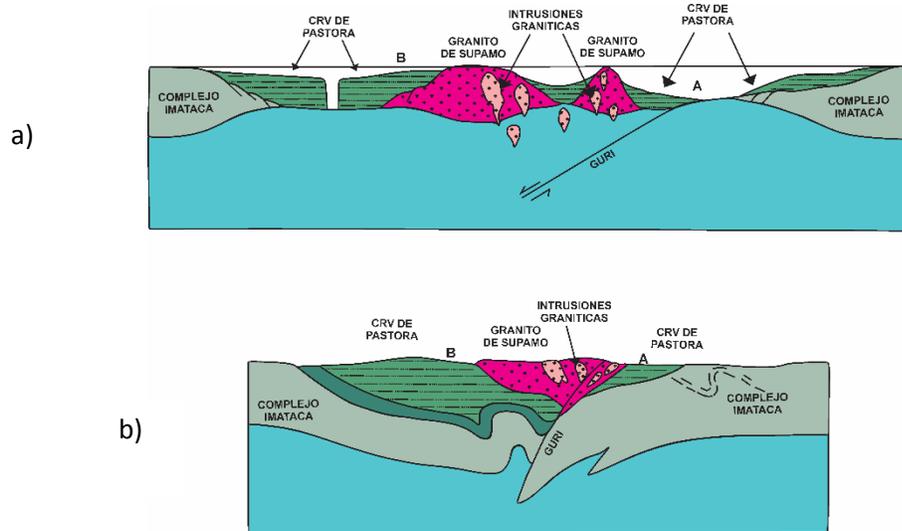


Fig N° 21 Secciones vertical del Escudo de Guayana. Modificado de Mendoza (2012).

En la Fig. N° 21 se observa estructura dómica de los granitos sódicos del Complejo de Supamo y los sinformes de CRV de Pastora y Botanamo (sección a), Cierre Del Océano y Colisión De Los CRV De Pastora y Botanamo contra el Continente Imataca (sección b).

5.6.1.2.3. **Marco Geológico:**

La Provincia de Pastora está constituida por dos Cinturones de Rocas Verdes (CRV), uno de ellos se originó cerca de un arco de islas en una zona de convergencia, y se caracteriza por ser más delgada, antigua y tectonizada, con disposiciones estructurales N 10° E N 20° O, este es el Cinturón de Rocas Verdes tipo Carichapo (véase Fig. 21 parte A); el segundo se formó en la cuenca delante del arco de islas creando complejos graníticos sódicos, como el Complejo de Supamo, se diferencian del primero por ser más anchos, jóvenes y menos tectonizados y metamorfozados,

generalmente su estructura muestran una tendencias en ángulo recto próximas a E-O (N 70°-80° E), estos son los Cinturones de Rocas Verdes tipo Botanao. Estas secuencias han sido intrusionada por granitos, dioritas, gabroides, o intrusiones de diques anulares, sills de diabasas, entre otros. En la región de Guasipati-El Callao, se identifica el CRV por el plegamiento sinforme que muestra la secuencia volcánica sedimentaria y su relación semejante con los arqueamientos dómicos del Complejo de Supamo (véase Fig. 21 parte B).

La presencia de basaltos komatíticos podría indicar posiblemente, que el Cinturón de Rocas Verdes de Pastora se creó sobre una pluma de calor del manto superior en una placa oceánica, así mismo este formó parte de un arco de islas oceánicas, más antiguas, pero con menos sedimentos asociados, y con abundancia de basaltos toleíticos oliviníferos o magnesianos, es por ello que Los Cinturones de Rocas Verdes más antiguos de Pastora podría correlacionarse con el Cinturón de Rocas Verdes del Birrimian de África Occidental. (Mendoza, 2012).

5.6.1.2.4. Edad de los cinturones de rocas verdes y del complejo de Supamo

Las rocas graníticas el Complejo de Supamo intrusivas en Cinturones de Rocas Verdes tipo Grupo Carichapo dieron edades por datación U-Pb en circones entre 2,8 - 2,6 Ga (Gaudette y Olsewski, 1978), pero fueron reinterpretadas por Gibbs y Olsewski (1982) determinando 2,25 – 2,10 Ga. Gneises de Bártica, equivalentes del Complejo de Supamo, arrojaron una edad de 2,22 Ga por U/Pb en circones. Actualmente la edad más antigua estimada para las rocas del Complejo de Supamo es 2,30 Ga (Klar, 1979). Rocas volcánicas máficas, en Sm/Nd, arrojaron edades similares de 2,16 – 2,08 Ga (Gruau et al, 1985) para el emplazamiento de lavas de algunos Cinturones de Rocas Verdes y los pórfidos intrusivos de Mandigal y Cerro Pelón. Tobas dacíticas de la Formación Yuruarí, en circones dieron una edad de $2,131 \pm 10$ Ma. (Mendoza, 2012).

En esta Provincia existen depósitos de oro y manganeso siendo la producción de oro en mayor escala, encontrándose en vetas de oro orogénico mesotermales,

depósitos de pórfidos de oro y de oro-cobre, otros asociados a sulfuros masivos volcánicos y sedex y en conglomerados y sedimentos fluviodeltáicos, tipo Roraima y pre-Roraima (Mendoza, 2012), y en menor proporción: manganeso, bauxita, caolín y dolomita (Benaím y Ríos, 1973).

5.7. *Provincia Imataca:*

La Provincia Imataca según Menéndez (1968) también es conocida como Provincia Estructural Bolívar según Mendoza (1977); de edad Precámbrico.

- **Ubicación:** Se localiza en el extremo norte del escudo de Guayana con rumbo SE-NE (norte del Estado Bolívar), limitando al nor-este con el Delta del Orinoco, al SE con la Falla de Gurí, al nor-oeste con el río Orinoco y al SO con el río Caura (ver Fig. N° 20), estas rocas representan hasta ahora las rocas más antiguas conocidas en el Escudo (Mendoza, 2012).
- **Litología:** La provincia se encuentra formada por gneises graníticos y granulitas félsicas, anfibolitas, granulitas máficas, y hasta ultramáficas; en cantidades menores complementarias se hallan formaciones bandeadas de hierro, dolomitas, charnockitas, anortositas, granitos intrusivos más jóvenes y remanentes erosionados menos metamorfizados y más jóvenes que los Cinturones de Rocas Verdes (CRV). En esta provincia se tiene registrado metamorfismo el cual decrece desde la Mina de Hierro El Pao con temperaturas aproximadas entre 750°C a 850°C y presiones de 8 - 8,5 Kbar hacia la zona de Gurí con temperaturas entre 650°C a 700°C y presiones de 4 - 7 Kbar (Mendoza, 2012).

Según Mendoza (1975) las rocas de alto grado metamórfico se interpretan como evolución primitiva de los CRV y complejo graníticos potásicos y sódicos, el cual fueron tectonizados y metamorfizados hasta que alcanzaron las facies anfibolita y granulita en la colisión de las provincias, y luego sufre parcialmente metamorfismo retrogrado el cual permitió registrar toda la historia evolutiva del Escudo de Guayana.

Cabe destacar que en esta Provincia existen depósitos de hierro y manganeso (Mendoza, 2012), y tiene producción de hierro en mayor escala y en menor proporción: manganeso, bauxita, caolín y dolomita (Benaím y Ríos, 1973).

- **Estructuras:** La Provincia Imataca es un área que ha sufrido varios procesos tectónicos que son separados por fallas tipo corrimiento, generando pliegues isoclinales, el cual en la parte norte dichos pliegues tienen un rumbo NW y en la parte sur el rumbo es N 60° -70° E (Mendoza, 2012).
- **Contactos:** Dicha provincia infrayace de las Provincia Pastora y Cuchivero y se infiere que suprayace de un basamento ígneo (González de Juana 1980).

CAPITULO IV

4. Geología Local

La zona de estudio ha sido modelada por muchos episodios geológicos y ambientales desde el Proterozoico hasta el Cenozoico (Holoceno), el cual dan como resultado, la morfología que se observa en el presente, por ende estos aspectos han sido caracterizados, de la siguiente manera:

4.1.Aspectos Topográficos:

El área tiene dos características morfológicas definidas por diferencias de alturas (ver Fig. N° 22), las cuales son:

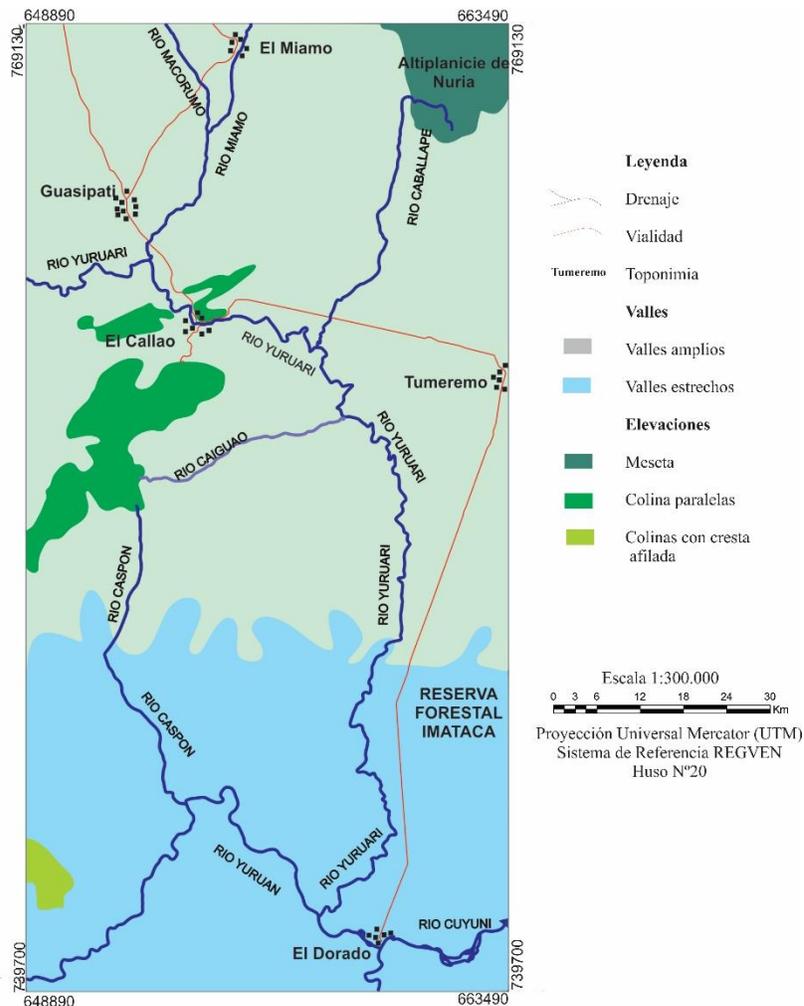


Fig. N° 22 Mapa de la zona de estudio con divisiones topográficas.

- 4.1.1. Elevaciones:** esta abarca aproximadamente un 30% del área de estudio (ver Fig. N° 22) y se subdivide en:
- 4.1.2. Colinas con cresta afilada:** se encuentra en Piedra del Supamo, tiene laderas convexas su cresta es semicircular, cóncava y tiene una orientación aproximada de N15W (ver Anexo I Fig. N° I-3).
- 4.1.3. Meseta:** Se halla en la Altiplanicie de Nuria y sus laderas son convexas y su cresta presenta pequeños promontorios (ver Anexo I Fig. N° I-1).
- 4.1.4. Colinas paralelas:** Estas se hallan en las localidades Cerro El Brujo, Cerro El Purgual, Cerro El Rinoceronte, Cerro La Gloria, Cerro México, al SE de El Increíble y en el Parcelamiento la Iguana, estos tiene una cresta cóncava y su orientación es aproximadamente N30E, las laderas son cóncavas (ver Anexo I Fig. N° I-2).
- 4.1.5. Valles:** Estas abarcan aproximadamente un 70% de la zona (véase Fig. N° 22) y se subdividen en:
- 4.1.6. Valles amplios:** Se encuentran alrededor de las siguientes localidades Guasipati, El Callao, El Miamo, Altiplanicie de Nuria, Tumeremo, tienen forma de U sus laderas son cóncavas, esta morfología tiene un drenaje principal el cual es el río Yuruarí, este no es entallado, los tributarios que drenan el río son escasamente dendríticos (ver Anexo I Fig. N° I-1 y N° I-2).
- 4.1.7. Valles estrechos:** Se encuentra alrededor de las Montañas del Supamo, El Dorado y la Montañas de Miribisi, estos presentan forma de V y sus laderas son convexas y los drenajes principales son el río Yuruán y el río Yuruari, los tributarios en esta área son dendríticos (ver Anexo I Fig. N° I-1 y N° I-2).

4.2.Aspectos Geológicos:

Esta Provincia está formada por el Supergrupo Pastora, el Grupo Botanamo, el Complejo de Supamo, y por unos granitos jóvenes, todos pertenecientes al Eón Proterozoico descritos por varios autores.

Sin embargo la información geológica se discrimina a partir de la compilación geológica, de diversos autores como lo son CVG-TECMIN, Alfredo Menéndez, Vicente Mendoza, Korol Bodan, entre otros.

Por consiguiente, se obtuvo que en la zona de estudio se localizan las siguientes unidades geológicas:

4.2.1. Provincia de Pastora:

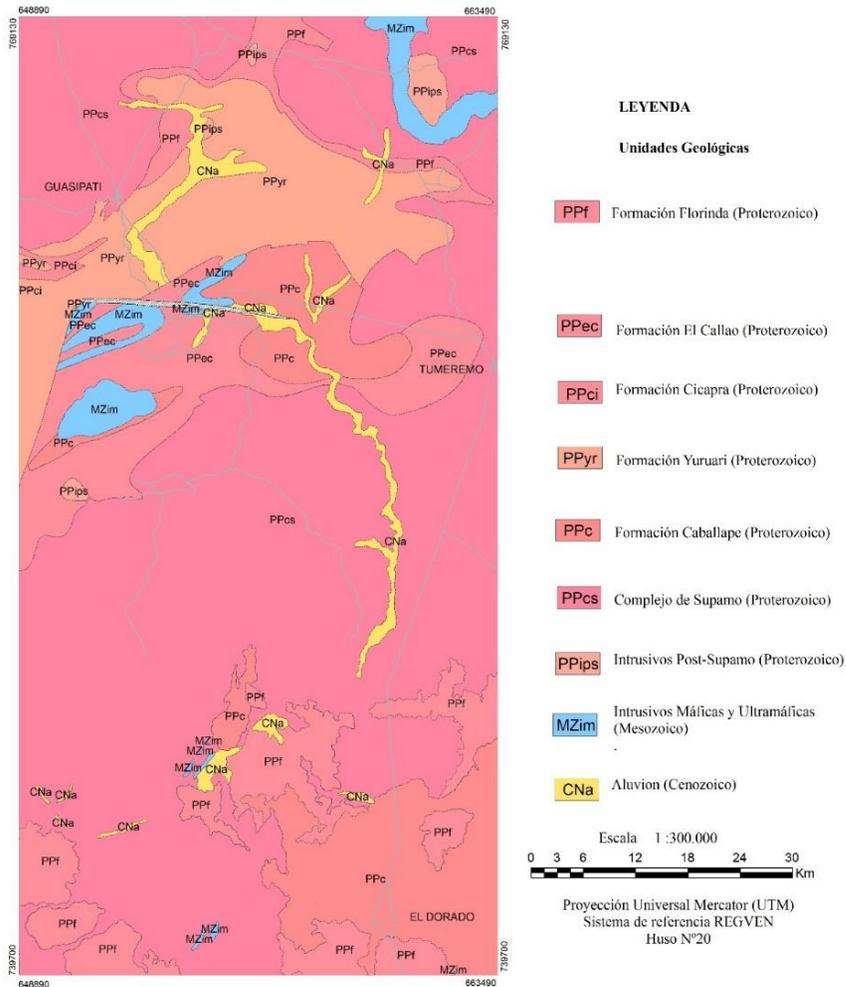


Fig. N° 23 Mapa Geológico de la zona de estudio.

4.2.1.1. Supergrupo Pastora:

Este se encuentra constituido por el Grupo Carichapo y la Formación Yuruari

4.2.1.1.1. Grupo Carichapo:

De base a tope, está integrado por Florinda, la Formación El Callao y la Formación Cicapra:

4.2.1.1.1.1. Formación Florinda (PPf):

- **Ubicación:** Está ubicada a lo largo de la zona de estudio al Nor-este de la Localidad de Guasipati (Las Carmelitas, Cerro La Tocopa, Las Piedritas, Las delicias, Hato las Marías, Al sur de la Altiplanicie de Nuria) (véase Fig. N° I-13), en Piedra del Supamo, Montaña de Miribisi, Cerros la Fundación Reserva Forestal Imataca (véase Fig. N° I-15) y al sur de la población El Dorado.

- **Litología:** De base a tope, está formado por anfibolitas de grano fino a grueso de color gris oscuro, anfibolitas de grano fino a medio de color gris verdoso y posee laminaciones de cuarzo de 2mm aproximadamente, algunas presentan almohadillas achatadas, y otras son fragmentadas, es decir, brechas, que tienen afinidad química de toleitas y komatitas. Continúan lavas basálticas-andesíticas de color verde, gris verdoso y verde negruzco que pueden ser almohadilladas, masivas o foliadas que son asociadas a meta-limolitas, meta-tobas líticas cristalinas basálticas a andesíticas, sills félsicos y máficas, cuarcitas ferruginosas, meta-andesitas, anfibolitas y orto-anfibolitas; meta-tobas andesíticas, cuarzo-andesíticas, riódacíticas, lavas cuarzo-andesíticas, dacíticas, cuarcitas ferruginosas, meta-basaltos y tobas líticas milonitizadas.

- **Contacto:** Infrayace de la Formación El Callao, y se encuentra de manera discordante del Complejo Supamo.

4.2.1.1.1.2. Formación Cicapra (PPci):

- **Ubicación:** Se encuentra en la localidad El Potrero (véase Fig. N° I-9).
- **Litología:** Meta-tobas y meta-brechas básicas y ultrabásicas, esquistos anfibolíticos y cuarcitas.

- **Contacto:** Infrayace de la Formación Yuruari y suprayace de la Formación El Callao, y es discordante con el Complejo de Supamo.

4.2.1.1.1.3. Formación Yuruarí (PPyr):

- **Ubicación:** Se encuentra en las localidades El Porvenir, San Lorenzo, El Increíble, sur de la población Guasipati, Montaña Quebrada Amarilla (véase Anexo N° I-17) y en Los Caños (véase Fig. N° I-18).

- **Litología:** En la base se hayan meta-areniscas cuarzo-feldespáticas sericíticos y filitas manganesíferas meta-areniscas feldespáticas, meta-tobas dacíticas, esquistos cuarzo-feldespáticos y esquistos cloríticos; en su tope se encuentran lavas y brechas dacíticas asociadas, y paquetes lenticulares.

- **Contacto:** Suprayace de la Formación Cicapra, e infrayace de la Formación Caballape del Grupo Botanamo, es discordante del Complejo de Supamo y del aluvión.

4.2.1.1.1.4. Formación El Callao (PPec):

- **Ubicación:** Se ubica en las poblaciones de El Callao, La Iguana, La Ramona (véase Fig. N° I-19), Montañas El Choco, El Brujo, Nuevo México, El Choco, Caratal, Cerro El Rinoceronte, Cerro La Gloria, Cerro México, Asentamiento El Jabón, San Remo, El Jabón, El Guapango, El Cacho, Los Robles (véase Fig. N° I-14).

- **Litología:** En la base se encuentra lavas básicas anfibolitizadas (cornubianitas hornabléndicas) localmente anfibolitas y esquistos anfibolíticos con estructuras de almohadillas, que son en parte magnesianas y otras toleíticas, continúan lavas toleíticas de afinidad komatíticas, esquistos talco-carbonáticos y anfibolitas, en el tope de la formación, hay lavas toleíticas y rocas asociadas en la región de El Callao en La Cuaima y Cerro Azul.

- **Contacto:** Suprayace de la Formación Yuruarí y se halla discordantemente del Complejo Supamo. Según Gray y otros (1995) y Hildebrant (2005) el contacto con la Formación Yuruari es de tipo tectónico, tipo corrimiento (falla inversa de ángulo medio a bajo, y según Mendoza (2012) el contacto con la Formación Caballape es también de tipo tectónico (Napa).

4.2.1.1.2. Grupo Botanamo:

Este se encuentra integrado por la Formación Caballape.

4.2.1.1.2.1. Formación Caballape (PPc):

- **Ubicación:** Esta formación se ubica en las localidades Belén y Tupuquén (véase Fig. N° 44); en las Montañas Las Baldías, Quesera La Pangola y El Santuario y al sur del Cerro El Purgual en su piedemonte (véase Fig. N° I-14).

- **Litología:** En la base se haya sin diferenciar meta-conglomerados, meta-grauvacas, meta-limolitas silíceas, meta-brechas, tobas andesíticas y dacíticas que presentan estructuras típicas de flysch, anfibolitas, meta-basaltos, meta-andesitas tobáceas, meta-tobas cristalinas de cenizas volcánicas de composición cuarzo-andesíticas y basálticas; tobas líticas cristalinas basálticas y cuarzo-andesíticas; volcánicas piroclásticas, meta-cuarzo andesitas y meta-andesitas, meta-micropórfidos graníticos tectonizados.

- **Contacto:** Suprayace de la Formación Yuruarí y es discordante del Complejo del Supamo.

4.2.1.1.2.2. Complejo de Supamo (PPcs):

- **Ubicación:** Se haya desde El Cintillo hasta Guasipati, en El Miamo, también se encuentra en la Serranía de Nuria y al norte de la Altiplanicie de Nuria (véase Fig. N° I-18 y N° I-15); en la Población de El Pariche hasta la Reserva Forestal de Imataca, en las Montañas de Miribisi del Supamo y de la Gloria (véase Fig. N° I-14).

- **Litología:** De base a tope, está constituido por rocas graníticas sódicas, paragneises, migmatitas, cuerpos granodioríticos y algunas pegmatitas, paragneises biotíticos, gneises hornabléndicos, anfibolitas que se alternan con sills de trnhjemitas y granodioritas, paragneises cuarzo-feldespáticos biotíticos alternos con capas lenticulares de anfibolitas y gneises hornabléndicos, trnhjemitas y granodioritas.

- **Contacto:** Esta es discordante de las formaciones que conforman el Grupo Botanamo y el Súper Grupo Pastora y del Aluvión.

4.2.1.1.2.3. Granitos jóvenes (PPips):

Están formados por granitos intrusivos que ocurren Post-Supamo.

- **Ubicación:** Se encuentra en la Altiplanicie de Nuria, entre las poblaciones Las Delicias y El Miamo (véase Fig. N° I-18) y entre El Cerro México y El Cerro La Gloria (véase Fig. N° I-13).

- **Litología:** Estos granitos se subdividen en tres, las cuales son:

- a) Granitos alaskíticos de color gris claro de grano medio a grueso, a veces pegmatítico y con textura hipotomórfica, presentan lineación.
- b) Granitos alcalinos biotíticos.
- c) Granitos potásicos de grano medio a grueso con textura porfídica, homogéneo, masivo y presenta desarrollo de cristales de microclino.

- **Contacto:** Intrusionan a las Formaciones El Callao y Yuruarí, al Complejo Supamo.

4.2.1.1.2.4. Intrusivas máficas y ultramáficas (Mzim):

Estas intrusiones son de Era Mesozoica.

- **Ubicación:** Se hallan entre la Altiplanicie de Nuria y la Serranía de Nuria, en la Localidad de Paraulata, en el Parcelamiento La Iguana, Cerro El Purgual, al norte de la población de El Callao (véase Fig. N° I-15), entre Montaña del Supamo y Montaña de Miribisi (véase Fig. N° I-13) y en las cercanías de la localidad El Dorado (véase Fig. N° I-9) y se dividen en cuatro tipos de litologías, las cuales son::

- a) Gabros metamorfizados y no metamorfizados.
- b) Diabasas en forma de diques, sills o lacolitos, su tamaño de grano es grueso a medio y fino, tiene color gris oscuro a gris verdoso, y algunas presentan pirita de forma diseminada.
- c) Diques de Diabasas delgados y alargados.
- d) Diques de Cuarzo.

- **Contacto:** Intrusionan a las Formaciones El Callao, Caballape, al Complejo de Supamo y los Granitos jóvenes del Post-Supamo.

4.2.1.1.2.5. Aluvión (CNa):

- **Ubicación:** Se localizan a lo largo de los drenajes como los ríos Yuruán, Yuruari, Miamo, Macorumo, quebrada Caratal y en los drenajes de la Reserva Forestal de Imataca (véase Fig. N° I-4, N° I-5 y N° I-6)
- **Litología:** Sedimentos cuaternarios: Arena, limo, arcilla, grava de cuarzo y fragmentos de roca volcánica y sedimentaria.
- **Contacto:** Estos se hallan de forma discordante de las formaciones nombradas anteriormente.

4.3. Geología Estructural

4.3.1. Fallas:

4.3.1.1. Falla de Nacupay:

Según Menéndez (1972), la falla tiene un rumbo N80W, y este incide con un ángulo pequeño entre 10° a 25° respecto al rumbo de los pliegues que afecta. El bloque norte aparentemente tiene un movimiento hacia arriba, esto se deduce por el desplazamiento de los contactos que presentan las Formaciones Yuruarí y El Callao. Esta abarca 1 Km de ancho al norte de la localidad El Callao y aflora esporádicamente a lo largo de unos 20 Km, desde el NE del Cerro de Guasipati hasta 3 Km al SE de Nacupay (véase Fig. N° I-17).

La zona de esta falla trunca geomorfológicamente los Cerros Guasipati, Cerro Grande y los Culíes; y también afecta a las formaciones El Callao, Yuruarí y Caballape.

Esta tiene presencia de una brecha con fragmentos de hasta 30 cm, con una matriz que tiene abundante clorita y está bien cementada por hematita y carbonatos.

4.3.1.2. Falla de Guasipati:

Según Menéndez (1972), esta falla tiene un rumbo aproximado de N60E, a lo largo de esta el bloque de falla norte se encuentra levantado con respecto al bloque sur,

y desplaza apreciablemente a los pliegues isoclinales volcados del Supergrupo Pastora expuestos al sur del arqueamiento Guasipati- El Miamo (véase Fig. N° I-6).

4.3.1.3. Falla de Capia:

Esta falla tiene una orientación aproximada de N10E, el bloque levantado se encuentra al oeste de la falla y al este se halla el deprimido, este se encuentra desde la Falla de Guasipati encontrándose con la Falla de Nacupay y continúa por la Montaña del Supamo (véase Fig. N° I-17 y N° I-4).

4.3.1.4. Conjunto de fallas:

Existen cuatro sistemas de fallas, la primera con orientación aproximada de N10E, la segunda N80E, la tercera N15W, y la cuarta N30W, esto pueden indicar una existencia de cuatro tipos de esfuerzos, el primero y el segundo con dirección SE, NO respectivamente, el tercero y el cuarto con dirección SO, NE respectivamente, o bien puede ser unas fallas conjugadas producto de la orogénesis transamazónica (véase Fig. N° I-4, N° I-5 y N° I-6).

4.4. Pliegues:

La Provincia de Pastora presenta un cuadro estructural de sinclinorios producto de la orogénesis Transamazónicas el cual se encuentra entre la Serranía de Nuria y las Montañas Baldías, este tiene un rumbo aproximado de N70E y presenta un declive al SO del pliegue. (Menéndez, 1972). Existe presencia de pliegues isoclinales el cual constituye al sinclinorio, estos pliegues se encuentran en su mayoría acostados o volcados hacia el norte (véase Fig. N° I-6).

El Complejo Supamo tiene presencia de lineaciones de pliegues pequeños, microcorrugaciones, y se observa en la orientación de anfíbol y biotitas en los esquistos y anfibolitas.

4.5. Modelo Evolutivo

Según Mendoza (2012) el escudo de Guayana presenta grandes rasgos en la historia geológica, desde el Arqueozoico hasta el Mesozoico, el cual registra gran parte de la evolución geotectónica, en los siguientes eventos:

4.5.1. Evento Pre-Transamazónico (Paleoproterozoico >2.15 Ga):

El Complejo de Supamo se empezó a formar por un moderado grado de fusión parcial de corteza oceánica en subducción. La Provincia Pastora, se empieza a formar en un régimen de muy alto gradiente geotérmico en o cerca de un arco de islas en una zona convergente, dando como resultado cinturones de rocas verdes (ver Fig. N° 21 parte A).

4.5.2. Evento Transamazónico (Paleoproterozoico 2,15-1,96 Ga aprox.):

La Orogénesis Transamazónica generó en el área una gran colisión, en donde se logra apreciar:

Las formaciones Florinda, El Callao y Cicpra, dando como resultado el Grupo Carichapo, el cual generó subcuencas y más evoluciones de los cinturones de rocas verdes, y cierre de océanos. Colisión del Grupo Carichapo con Botanamo. La colisión de estas rocas con el Complejo de Supamo, todas estas serían colisión arcos continente, dando como resultado la generación de grandes sinclinorios y varios sistemas de fallas y cizallas en toda la zona. Estas deformaciones condujeron al multicrecimiento costral con aporte juvenil y retrabajamiento de material costral (ver Fig. N° 21 parte B) (Mendoza, 2012).

4.5.2.1. Evento Post-Transamazónico (finales del Paleoproterozoico):

La colisión continua generando un metamorfismo de enterramiento, donde granitos sintectónicos fueron emplazados intrusionando a través de zonas de cizallamientos y cizallas implicando anatexis y engrosamiento del espesor de la corteza continental y amalgamación de los cinturones de rocas verdes dando como resultado un supercontinente denominado Atlántica-Caura (Mendoza, 2012).

Cabe destacar que gracias a la formación de los grandes sinclinorios, y sistemas de fallas y cizallas, se generaron depósitos intrusivos de vetas de cuarzo aurífero por sucesos hidrotermales y politectonismo (Menéndez, 1972)).

4.5.2.2. Evento Intrusivo (Mesozoico):

Estas intrusiones ocurren en forma de diques de diabasas, sills o lacolitos y diques de Cuarzo, en toda la zona (Mendoza, 2012).

4.5.2.3. Evento post intrusivo (Mesozoico hasta el presente):

Este evento ocurre hasta hoy en día el cual las formaciones son erosionadas y meteorizadas (Mendoza 2012).

CAPITULO V

5. Metodología

El método utilizado para la realización de este proyecto consistió en las siguientes actividades:

1. Fase de metadata.
2. Fase de mapas geológicos.
3. Fase de mapas geoquímicos.
4. Fase SIG.

5.1. Fase de metadata:

Esta etapa desarrolló con el fin de sistematizar la información recopilada en una tabla, para así facilitar la visualización de las características de los trabajos, determinando parámetro tales como título, autor, año de publicación, entre otros, a partir de las siguientes actividades:

Búsqueda de información accesible de la cartográfica del área, datos geológicos y geoquímicos tomados en trabajos especiales de grado, mapas inéditos, informes, artículos publicados entre otros, existentes en:

1. La biblioteca Virgil Winkler, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería UCV.
2. La biblioteca Alonso Gamero de la Facultad de Ciencias, UCV.
3. El Instituto Venezolano Geográfico Simón Bolívar (IVGSB).
4. El Instituto de Geología y Minas (INGEOMIN).
5. El Instituto Venezolano de Investigación Científica (IVIC).
6. Búsqueda de información de sensores remotos en:
7. El Instituto Venezolano Geográfico Simón Bolívar (IVGSB).
8. La fototeca, de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería, UCV.
9. En la Agencia Bolivariana para Actividades Espaciales (ABAE).

Esta información fue sistematizada empleando el programa EXCEL, de la siguiente manera (ver Tabla 3):

A partir de los informes hallados, se extrae de cada uno de ellos, los autores, año de publicación, título del trabajo, ubicación de la zona de estudio, sistema de coordenadas que se empleó para la realización de los mapas, coordenadas del mapa (latitud, longitud) y por último se le coloca un código para identificar el informe (véase Tabla A1, A2 y A3, Apéndice A).

Tabla N° 3 Base de datos general

Título	Autor	Año	Ubicación de la información	Tipo de muestra	Coordenadas		Código
					Lat.	Long.	

Sin embargo, algunos mapas no presentan coordenadas y para determinar esta información y plasmarla en la metadata, se digitalizaron los mapas, para así realizar la georreferenciación del mismo, haciendo una intersección de imágenes y finalizando con la extracción de las coordenadas.

Los trabajos hallados en la búsqueda previa tienen información geológica y/o química, por tal motivo fue sistematizada en una base de datos según el tipo de muestras (ver tabla 14).

Para las muestras de rocas colocando el siguiente formato: muestra (nombre), coordenadas X (latitud), Y (longitud), elementos mayoritarios (óxidos), elementos minoritarios y traza y el código (identificación del informe) (véase Tabla A4, Apéndice A).

Tabla N° 4 Base de datos de roca.

Muestra	X	Y	Elementos Mayoritarios	Elementos Minoritarios	Código

Para las muestras de suelo y sedimentos colocando la siguiente información (ver tablas 5 y 6), muestra (nombre), coordenadas X (latitud) e Y (longitud), elementos químicos y código (número de identificación) (véanse Tablas A2 y A3, Apéndice A).

Tabla N° 5. Base de datos de suelo.

Muestra	X	Y	Elementos Químicos	Código

Tabla N° 6 Base de datos de sedimentos.

Muestra	X	Y	Elementos Químicos	Código

Sin embargo, hay muestras que en su informe no tiene las coordenadas, por lo tanto se digitalizaron en un proyecto del programa ArcGIS 9.3®, los mapas de ubicación de muestras, para así georreferenciar. Ya realizado esto se procede a digitalizar a través del elemento editor las muestras, ya finalizado obteniendo las coordenadas de las muestras por medio del elemento Add XY.

5.2. Fase de mapas geológicos:

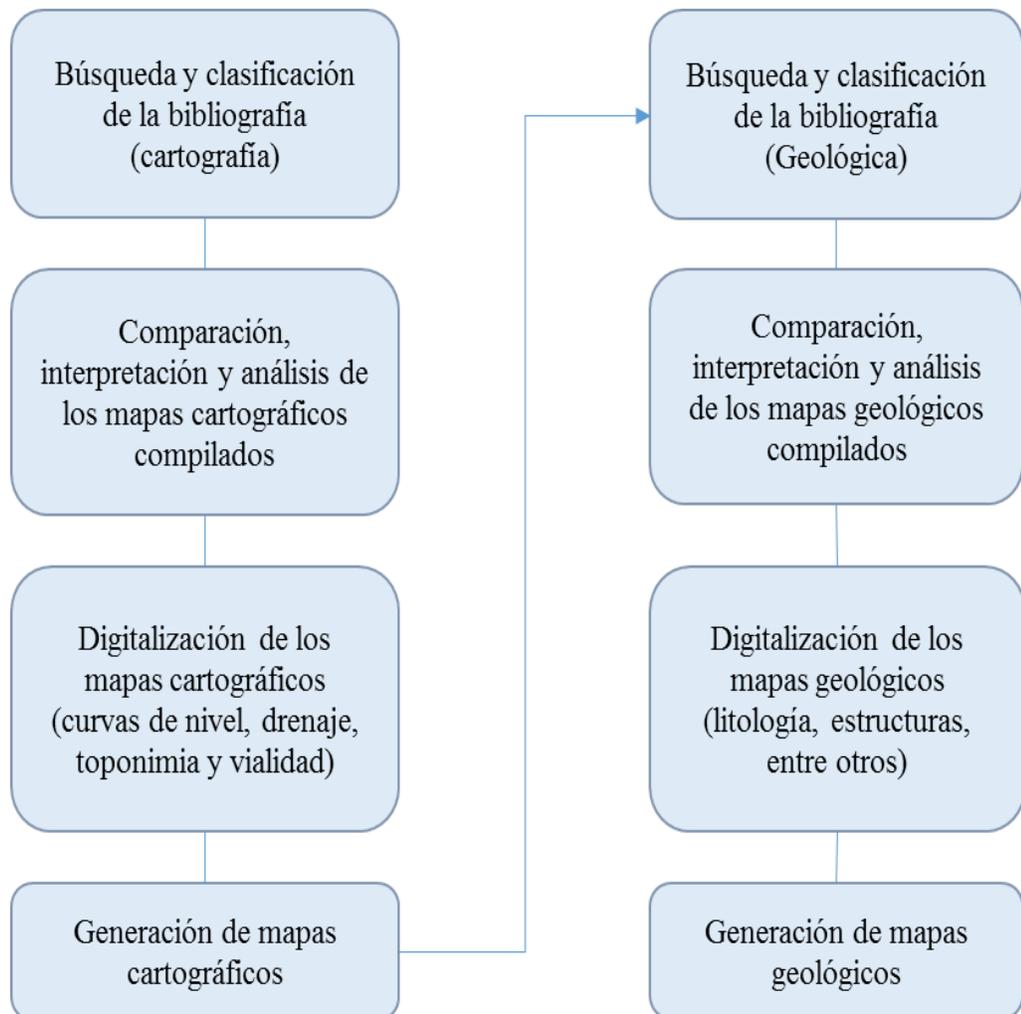


Fig. N° 24 Esquema del método de trabajo para generar los mapas geológicos.

Los mapas cartográficos y geológicos son producto de análisis de estudios previos e incorporación de información de campo por ende a partir de la compilación, se discriminó la información cartográfica, a través de los siguientes pasos utilizando el programa ArcGIS 9.3®.

- 1) Georreferenciando los mapas cartográficos de la zona de estudio a escala 1:100.000 y 1:50.000 hallados en el IGVS y la biblioteca Virgil Winkler de la siguiente manera:
 - a) En la extensión ArcCatalog, se procede a definir el sistema de referencia en el que se encuentra cada mapa cartográfico compilado.
 - b) Con los mapas ya referenciados nuevamente se realizó un enlace con un proyecto en ArcGIS 9.3®. Estos mapas son georeferenciados por puntos con sus coordenadas geográficas (latitud, longitud), estos puntos deben ser fijos en el tiempo, es decir, calles, aeropuertos, intersecciones de drenajes, entre otros.
- 2) Una vez georreferenciados dichos mapas esto permite visualizar las diferencias de curvas de nivel, drenaje, vialidad y toponimia entre los mapas 1:100.000 y 1:50.000 con el fin de completar la información de los espacios vacíos en el área ya sea continuando las curvas de nivel, drenaje, entre otros.
- 3) Digitalizando las curvas de nivel, los drenajes, vialidad y toponimia en el mismo orden que son nombrados de la siguiente manera:
 - a) Generando un “personal geodatabase” en ArcCatalog con el nombre de cartográfico.
 - b) Creando “Feature Class” con los nombres Curvas de Nivel, Drenaje, Vialidad, Toponimia.
 - c) Con la información discriminada de los mapas cartográficos se empieza a vectorizar cada una de las capas por medio de una herramienta denominada editor en el siguiente orden, curvas de nivel, drenaje, toponimia y vialidad.

Obteniendo 3 mapas cartográficos a escala 1:100.000, tomando como base el mapa de CVG-tecmin.

Ya generada los mapas cartográficos, seguidamente fue digitalizada de los mapas geológicos de la zona de estudio.

- 4) Georeferenciando los mapas geológicos recolectados de la misma forma que los cartográficos, con el fin de observar las diferencias y semejanzas entre ellos.
- 5) Ya definidas las diferencias de la información geológica esta se discriminó a través de año de publicación, información descrita en los informes correspondientes.
- 6) Con la información geológica específica procede la digitalización del área de estudio, de la siguiente manera:
 - a) Genera un “Personal Geodatabase” con el nombre de geológico.
 - b) Crear varios “Feature Class” con los nombres de litología, estructuras y planos de discontinuidad.
 - c) Digitalizar la información a través de capas con la herramienta denominada “editor”, en el siguiente orden, litología, estructuras y planos de discontinuidad.

Obteniendo así una geología compilatoria de la zona, generando 3 hojas geológicas a escala 1:100.000 y 12 hojas geológicas a escala 1:50.000, todas con formatos que especifica el IVGSB.

Asimismo se analizaron los datos de las muestras de rocas a través de diagrama Clasificación química de rocas volcánicas (Cox et al. 1979) y el cuadro comparativo de basaltos toleíticos (Brownlow 1996) de la siguiente manera:

Se determinan en la base de datos de rocas (véase Apéndice A, Tabla 14) las muestras con sus respectivos óxidos y sus elementos minoritarios y traza.

Los óxidos NaO, K₂O y SiO₂ son ubicados en el diagrama de clasificación química de rocas volcánicas, con el fin de identificar las rocas.

Esta información obtenida es comparada con la litología del área descrita anteriormente.

5.3. Fase de mapas geoquímicos:

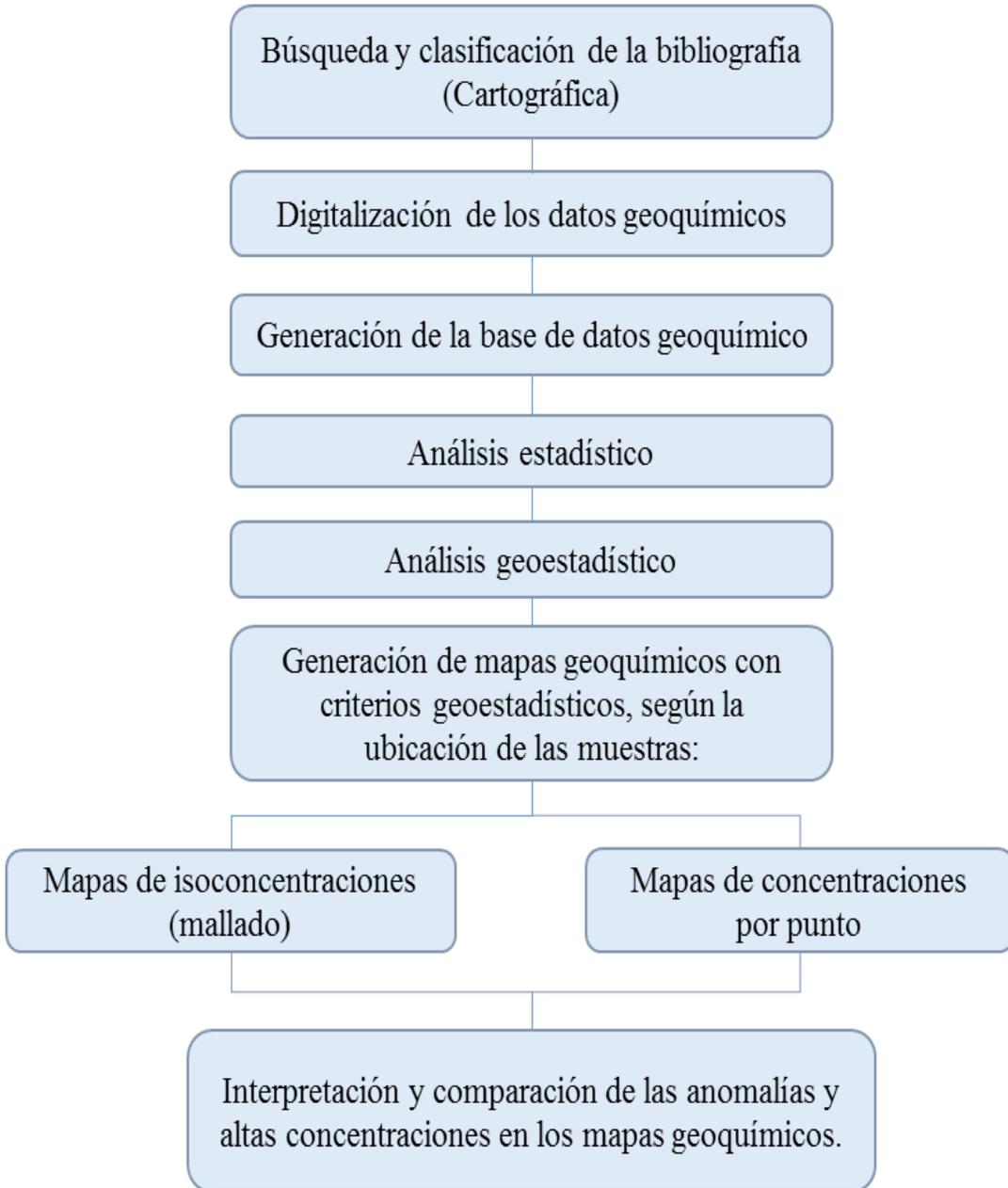


Fig. N° 25 Esquema del método de trabajo para generar los mapas geoquímicos.

Con la información geoquímica compilada, y clasificada, se realizaron los siguientes pasos:

5.3.1. Análisis y clasificación de los datos geoquímicos:

La información de los datos geoquímicos fue desarrollada aplicando el análisis estadístico y una interpretación generalizada de dichos datos, para determinar el comportamiento normal de los datos realizándose de la siguiente manera:

Pasos realizados para el análisis exploratorio de los datos fueron los siguientes:

5.3.1.1. Aplicación de la prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro will), para verificar la normalidad de los datos.

5.3.1.2. Se efectuaron los siguientes gráficos (Apéndice C y D).

- Histograma de frecuencias.
- Diagrama de caja.
- Gráficos Q-Q Plot.

5.3.1.3. Conjuntamente se calculó y comparo los parámetros estadístico siguientes:

- Verificación de la distribución normal de los valores centrales, es decir si la media, moda y mediana son parámetros iguales o cercanos entre sí.
- Verificación de la normalidad con respecto a la asimetría horizontal, es decir, si la curva es simétrica con respecto a su eje.
- Verificación de la normalidad con respecto al coeficiente de variación.

5.3.1.4. Realización de la transformación de los datos, si es necesario:

Si la verificación rechaza la hipótesis, es decir no cumple con los parámetros de normalidad, los datos sufren una transformación según el resultado del histograma y coeficiente de asimetría, haciendo una transformación de tipo logarítmica o de raíz cuadrada.

5.3.1.5. Recalcular los parámetros de los análisis exploratorio de los datos para verificar nuevamente la normalidad de los datos:

Si la verificación de normalidad resultaba aceptada no se hace dicha transformación generando los mapas geoquímicos. No obstante, si los datos fue necesario transformarlos eran recalculados y verificando nuevamente la normalidad.

Los parámetros estadísticos se resumieron en la siguiente tabla:

Tabla N° 7 Datos de parámetros estadísticos.

Estadística Descriptiva	Elemento
N° de muestra	
Media	
Mediana	
Moda	
Desviación estándar	
Varianza de la muestra	
Curtosis	
Coficiente de asimetría	
Rango	
Mínimo	
Máximo	
Prueba de bondad de ajuste (Kolmogorov y Shapiro will)	

5.3.1.6. Cálculo del valor de fondo, umbral y anómalo, adquiridos en los diagramas de cajas para así determinar los valores de las altas concentraciones y anomalías.

5.3.1.7. Generación de mapas geoquímicos según la ubicación espacial de los datos creando:

- a) Los mapas por punto.
- b) Los mapas de Isoconcentraciones, con criterios geoestadísticos.

a) Mapas por punto.

Para los datos geoquímicos dispuestos de manera aleatoria o por picas generaron mapas de concentración por puntos, cuyos pasos fueron los siguientes:

- a. Utilizando el programa Arcgis 9.3, se ubicó y georreferenció las muestras en los mapas cartográficos obtenidos previamente.
- b. Por medio de la extensión de layer propiedades, en la ventana de simbología en la opción graduated symbols en la opción clasificación

modificando el valor de fondo, alta concentración y anomalías, identificando cada valor de estos con un color.

b) Mapas de Isoconcentraciones:

Los datos geoquímicos de suelo que fueron recolectados de manera sistemática en formada de mallado se realizaron los mapas geoquímicos por medio del método de interpolación Kriging ordinario, ya que es uno de los estimadores más utilizado en la geoestadística debido a sus exactitud al momento de interpolar un punto cercano a otro, con el fin de obtener el ajuste del mejor modelo experimental al teórico más parecido a la realidad.

Al cumplirse con las anteriores condiciones de normalidad, se continuo con el análisis geoestadístico, por medio del método de interpolación Kriging donde se cuantifico la correlación espacial, el cálculo del semivariograma, el análisis e interpretación del semivariograma y el ajuste del mejor modelo experimental al teórico.

Para los mapas de Isoconcentraciones se procedió de la siguiente manera:

- a) Elaboración de los semivariogramas (Apéndice F).
- b) Creación del cálculo del Estimador lineal (Kriging).
- c) Mediante la aplicación del módulo Geoestatistical Analysis®, en el programa ArcGIS se calculó cada uno de los modelos en cada variable.
- d) Y finalmente se hizo la elección del mejor modelo tomando en cuenta los siguientes parámetros, según Gutiérrez y Gould (1994):
 - El error estándar promedio debe ser pequeño.
 - La raíz cuadrada del error medio cuadrático debe ser cercano a 0.
 - La raíz cuadrada del error medio cuadrático estándar debe estar cercana a 1
 - Finalmente por el método de validación cruzada se verifica el mejor modelo es el que presente mayor confiabilidad.

Creando los mapas temáticos de isoconcentraciones en ppm, una vez que la predicción fue satisfactoria.

Los mapas temáticos indican los lugares con valor de fondo, altas concentraciones y anomalías químicas con respecto a los datos, los cuales se obtuvieron a través del cálculo de los valores de fondo, umbral y anomalías de cada elemento. Generando los mapas de distintas escalas, con el formato de IVGSB.

5.4. Fase del SIG:

El sistema de información geográfica es el conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes, las cuales son los usuarios con los hardware, software y los procesos que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de una gran cantidad de información que está vinculados a una referencia espacial, por tal motivo la información cartográfica, geológica y geoquímica en la zona de estudio está organizada y vinculada en un proyecto del programa ArcGIS 9.3, con el fin de crear una interacción entre la metadata, las muestras, los mapas y la ubicación geográfica de toda esta información, para la realización de este proyecto se desarrolló los siguientes pasos:

- 5.4.1.** Georeferenciación de los mapas cartográficos y geológicos, obtenidos en la búsqueda de información.
- 5.4.2.** Georeferenciación de los mapas cartográficos, geológicos a escala 1:100.000 y geoquímicos 1:120.000, 1:80.000, 1:70.000, 1:50.000, 1:20.000 y 1:10.000 generados previamente.
- 5.4.3.** Se vincula la tabla de bases de datos de roca, suelo y sedimento con el fin de tener las muestras y la información de los elementos químicos.
- 5.4.4.** Digitalización de la metadata y llamado de la misma en el programa.
- 5.4.5.** Realización de la interacción entre los mapas, los datos y la metadata, con el fin de que el usuario vea la información en el mapa.

CAPÍTULO VI

6. Resultados y análisis de resultados

Para representar todas las funciones correspondientes a cada uno de los procesos englobado en la metodología de este proyecto, procedió a analizar e interpretar los resultados obtenidos en:

- 6.1. Resultado de la metadata.
- 6.2. Resultado de análisis geológico.
- 6.3. Resultado de análisis geoquímico.
- 6.4. Resultados de la integración.

Cada uno de estos resultados, presenta una relación entre la geología y la información química de las muestras, el cual se presentara al final de este capítulo.

6.1. Resultado de la metadata

Existe información geológica y geoquímica de la zona de estudio que se halla dispersa en diferentes entes, como son la Universidad Central de Venezuela (UCV), el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), El Instituto de Geología y Minas (INGEOMIN) y la Universidad de Oriente (UDO), entre otros.

Tabla N° 8 Resultados de la compilación en la UCV.

Título	Autor	Año	Ubicación De La Información
Aspectos petrogenéticos de rocas básicas del cinturón verde de El Callao: Edo Bolívar, Venezuela	José Gutiérrez	1999	Biblioteca de Ciencias UCV Alonzo Gamero
Estudio geoquímico de los Elementos Al, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Sr, Ti, V, Zn, Pd y Pt, en los sedimentos pesados y la fracción pesada de los suelos, provenientes de litologías Máfica-Ultramáfica de la región de Supamo, Estado Bolívar	Angélica Higuera	1996	Biblioteca de Ciencias UCV Alonzo Gamero
Estudio químico y mineralógico de yacimientos auríferos en la región de El Callao Edo. Bolívar.	Omar Hernández	1993	Biblioteca de Ciencias UCV Alonzo Gamero

Ver tabla completa en el Apéndice A.

Tabla N° 9. Resultados de la compilación en INGEOMIN.

Título	Autor	Año
Distribución de C, N, P, Ca, Mg y K durante la meteorización de rocas ácidas y básicas en ambiente de selva tropical húmeda	Juan Serrano	1977
GURI	Benaím, N. et al	1976
Expresión geoquímica superficial de la anomalía electromagnética las Flores, Dpto. Roscio, Edo Bolívar	Humberto Cárdenas	1975

Tabla N° 10 Resultados de la compilación en el IVIC.

Título	Autor	Año
Modelado petrogenético de los basaltos de la Formación El Callao, en la región de El Callao, estado Bolívar	Velásquez, G. y Tommaso, T.	2010
First occurrence of Paleoproterozoic oceanic plateau in the Guiana Shield: The gold-bearing El Callao Formation, Venezuela	Velásquez, G	2010
Major and trace elements in river-borne materials from the Cuyuní basin (southern Venezuela): evidence for organo-colloidal control on the dissolved load and element redistribution between the suspended and dissolved load	Tommaso Tossiani et al	2004

Tabla N° 11 Resultados de la compilación en la UDO.

Título	Autor	Año
Caracterización geológica - geoquímica para determinar anomalías auríferas asociadas al Cu, Fe, Zn y Pb en la zona I de la concesión minera Chocó 3, perteneciente a C.V.G MINERVEN. Municipio autónomo El Callao, estado Bolívar.	López, K	2010

Con la información sistematizada en las tablas de base de datos sirvió de base para generar la metadata, con las siguientes características, título, año de publicación, autor, coordenadas (Latitud, Longitud), sistema de referencias, como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla N° 12 . Metadata.

Título	Autor	Año	Ubicación de la Información	Tipo de Muestras	Coordenadas (utm)		Código
					Lat.	Long.	
The Choco 10 gold deposit (el Callao, Bolívar State, Venezuela): Petrography, geochemistry and U–Pb geochronology	Padoan, M. <i>et al</i>	2014	IVIC	Geocronología	N/A	N/A	27
Formation and Deformation of Pyrite and Implications for Gold Mineralization in the El Callao District, Venezuela	Velásquez, G <i>et al</i>	2013	IVIC	Roca	817500 802500	637500 630000	33
First occurrence of Paleoproterozoic oceanic plateau in the Guiana Shield: The gold-bearing El Callao Formation, Venezuela	Velásquez, G	2010	ScienceDirect	Roca	809500 807000	630000 624000	4

Ver tabla completa en el Apéndice A.

También, existe información geológica y geoquímica que tiene características de elementos mayoritarios, minoritarios y traza que fueron organizados en bases de datos según el tipo de muestras, con la finalidad de facilitar la ubicación y sistematización de la información de los documentos recopilados (Véase Tabla N° A1 Roca, Tabla N° A2 Suelo y Tabla N° A3 Sedimentos, Apéndice A).

6.2. Resultado y análisis geológico.

Existe una gran variedad de información cartográfica (curvas de nivel, drenaje, toponimia y vialidad) y geológica (litología, estructuras y evolución geológica) descritas por diversos autores, el cual pueden ser semejantes o diferentes entre sí, por

tal motivo la información compilada de los mapas de la zona se discriminó de la siguiente manera:

Los mapas cartográficos hallados en el IVGSB, 7838, 7837 y 7836 a escala 1:100.000 son comparados con los mapas cartográficos 7838-IV, 7838-III, 7838-II, 7838-I, 7837-IV, 7837-III, 7837-II, 7837-I, 7838-IV, 7836-III, 7836-II, 7836-I a escala 1:50.000, determinando una total similitud de las curvas de nivel, drenaje, toponimia y vialidad.

Como resultado se obtuvo la digitalización de los mapas 1:100.000 con el fin de obtener una base cartográfica (Véase Anexo I, Fig. N° I-1, I-2 y I-3).

Entre los mapas geológicos, Gurí (Bellizia, 1970), Guasipati El Dorado (Korol, 1968), NB-3 y NB-7 (CVG-TECMIN), Guasipati Tumeremo (Menéndez, 1972), existen similitud en la litología y estructuras de la región comprendida entre las zonas de El Miamo y Tumeremo. Sin embargo, entre el sur de Tumeremo y El Dorado existe gran diferencia entre las litologías y estructuras; por ende el análisis se realizó de la siguiente manera, los antecedentes de los mapas geológicos hallados en la búsqueda de información, coinciden con los antecedentes que analizaron la empresa CVG-TECMIN, el cual es el mapa geológico más reciente de la zona y presenta un muestreo más reciente que fueron realizados por dicha empresa.

Por lo tanto la información proveniente de CVG-TECMIN es el resultado de la geología de la zona de estudio, generando así la digitalización de los mapas geológicos.

Por consiguiente, obtuvimos que en la zona de estudio se localizan las siguientes unidades geológicas:

Provincia Pastora (Proterozoico)	Supergrupo Pastora	<p>Formación Florinda (PPf): Litología: Anfibolitas gris oscuro y gris verdoso con laminaciones de cuarzo, algunas presentan almohadillas achatadas y otras brechas con afinidad toleitas y komatitas, lavas basálticas andesíticas, sills félsicos y máficos, cuarcitas ferruginosas, meta-andesitas, anfibolitas, meta-tobas andesíticas, cuarzo-andesíticas, riocácitas, dacíticas Contacto: Infrayace de la Formación El Callao y es discordante con el Complejo de Supamo</p>
		<p>Formación Cicapra (PPci): Litología: Meta-tobas, meta-brechas básicas y ultrabásicas, esquistos anfibolíticos y cuarcitas Contacto: Infrayace de la Formación Yuruari y suprayace de la Formación El Callao y es discordante con el Complejo de Supamo</p>
		<p>Formación Yuruari (PPyr): Litología: Meta-areniscas cuarzo feldespáticos sercíticos, filitas manganesíferas, meta-areniscas feldespáticas, meta-tobas dacíticas, esquistos-cuarzo-feldespáticos, esquistos cloríticos. Contacto: Infrayace de la Formación Caballape y suprayace de la Formación Cicapra y es discordante con el Complejo de Supamo y aluvión</p>
		<p>Formación El Callao (PPec): Litología: Lavas básicas anfibolitizadas, anfibolitas, esquistos anfibolíticos, lavas toleíticas de afinidad komatíticos, esquistos talco carbonáticos. Contacto: Suprayace de la Formación Yuruari y es discordante con el Complejo de Supamo</p>
	Grupo Botanamo	<p>Formación Caballape (PPc): Litología: meta-conglomerados, meta-grauvacas, meta-limolitas silíceas, meta-brechas, tobas andesíticas y dacíticas anfibolitas, meta-basaltos, meta-andesitas tobáceas, meta-tobas cristalinas de cenizas volcánicas de composición cuarzo-andesíticas y basálticas; tobas líticas cristalinas basálticas y cuarzo-andesíticas; volcánicas piroclásticas, meta-cuarzo andesitas y meta-andesitas, meta-micropórfidos graníticos tectonizados Contacto: Suprayace de la Formación Yuruari y es discordante con el Complejo de Supamo</p>
		<p>Complejo de Supamo (PPes): Litología: rocas graníticas sódicas, paragneises, migmatitas, cuerpos granodioríticos y algunas pegmatitas, paragneises biotíticos, gneises hornabléndicos, anfibolitas que se alternan con sills de tronhjemitas y granodioritas, paragneises cuarzo-feldespáticos biotíticos alternos con capas lenticulares de anfibolitas y gneises hornabléndicos y tronhjemitas. Contacto: discordante de las formaciones que conforman el Grupo Botanamo y el Supergrupo Pastora y Aluvión.</p>
	Granitos Jóvenes	<p>Intrusivos Post-Supamo (PPips): Litología: está formado por tres tipos de granitos, las cuales son: alaskíticos, alcalinos biotíticos y potásicos. Contacto: Intrusiva a las Formaciones El Callao y Yuruari y al Complejo de Supamo.</p>
		<p>Intrusivos máficas ultramáficas (Mzim): Litología: Gabros metamorfizados y no metamorfizados, diabasas en forma de diques, sills o lacolitos. Contacto: Intrusionan a las Formaciones El Callao, Caballape, Complejo de Supamo y a los Granitos Post-Supamo.</p>
	Cenozoico	<p>Aluvión (CNa): Litología: Sedimentos cuaternarios: arena, limo, arcilla, grava de cuarzo y fragmento de roca volcánica y sedimentaria. Contacto: Se encuentran discordante de todas las unidades nombradas anteriormente.</p>

A partir de todos los rasgos geológicos determinados se tienen como resultados tres mapas geológicos a escala 1:100.000 que se encuentran en el anexo I, Fig. N° I-4, I-5 y I-6 y doce mapas geológicos a escala 1:50.000, los cuales se pueden observar en el anexo I, I-7, I-8, I-9, I-10, I-11, I-12, I-13, I-14, I-15, I-16, I-17, I-18).

6.2.1. Resultados del análisis de roca:

Sánchez (1986), determina óxidos (véase la tabla N°14) en tres tipos de muestras, las cuales son roca caja, roca caja alterada, y veta ubicada en las cercanías de El Callao en la mina Colombia, siendo su clasificación meta-andesíticas no mineralizada, meta-andesíta alterada, metalava, vetas y dique (correspondiente al dique de Laguna). De acuerdo a la litología presente en la zona de estudio son lavas básicas anfibolitizadas localmente anfibolitas y esquistos anfibolíticos con estructuras de almohadillas, que son en parte magnesianas y otras toleíticas, continúan lavas toleíticas de afinidad komatíticas, esquistos talco-carbonáticos y anfibolitas, en el tope de la unidad, hay lavas toleíticas y rocas asociadas en la región de El Callao en La Cuaima y cerro Azul.

Para el análisis de los óxidos se utilizaron gráficos (Clasificación química de las rocas volcánicas, según Cox et al. (1979), (véase Fig. N° 26) con el fin de determinar la roca correspondiente.

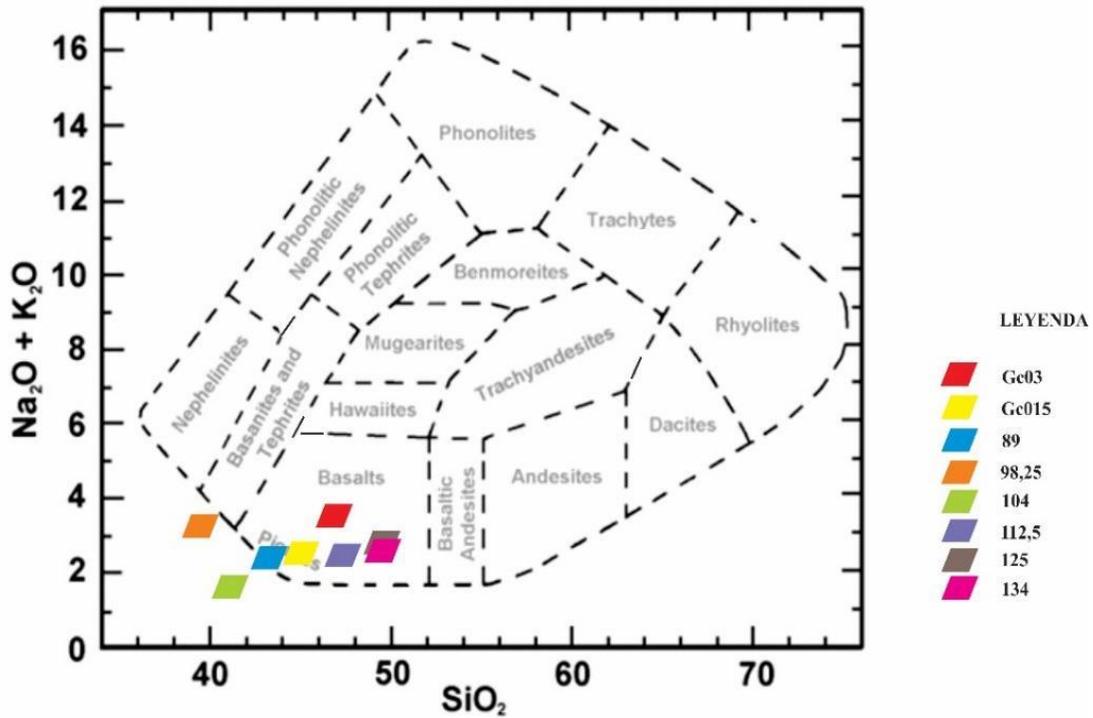


Fig. N° 26 Clasificación química de rocas volcánicas según Cox et al. (1979).

Según la clasificación química para rocas volcánicas Cox et al. 1979, las muestras GC03; GC015; 89; 98,25; 112,5; 125 y 135 son basaltos, y la 104 es aproximadamente una tefrita o basanita (Fig. N° 26).

Tabla N° 13 Tabla de óxidos y elementos traza en roca. Sánchez (1986)

Muestras	<i>SiO₂</i>	<i>TiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	MnO	MgO	CaO	<i>Na₂O</i>	<i>K₂O</i>	<i>P₂O₅</i>	Rb	Y	Sr	Cu	Zn	Au
	(%)										(ppm)					
GC03	47	0	14	12	0	5	13	2	2	0	37	8	70	80	56	0
GC015	45	1	14	15	0	8	8	3	0	0	0	18	53	88	99	0
89	43	0	13	10	0	7	10	1	1	0	22	0	69	88	65	0
98,25	39	1	16	11	0	2	10	1	2	0	45	8	101	166	73	7
104	41	0	16	10	0	2	10	1	1	0	19	7	93	112	61	1
112,5	48	0	14	11	0	7	11	1	1	0	39	9	104	82	51	0
125	50	2	15	13	0	6	10	2	1	0	26	29	246	164	86	0
134	50	2	15	13	0	7	10	2	1	0	86	25	244	146	86	0

6.3. Resultados de análisis geoquímico de suelo y sedimento:

A partir de datos ya existente se recopilaron un total de 1.889 muestras químicas de suelo (entre picas y mallado) y 196 muestras químicas de sedimentos, ubicados entre los tramos: Latitud 7° 40' N y 6°40' N; Longitud 62° 00' W y 61° 30' W. Realizando los análisis estadísticos a dichos datos, tales como: prueba de bondad de ajuste y estadística descriptiva, con el fin de visualizar el comportamiento de la distribución normal de las muestras, estos parámetros fueron determinado por zonas y están en el apéndice B en las tablas N°B1, B2, B3, B4, B5 y B6 respectivamente, un breve resumen de los análisis estadístico de los datos. Al mismo tiempo se realizaron gráficos de histograma de concentración, Q-Q normal y diagramas de caja en ppm de cada uno de los elementos estudiados en la zona y muestran en el apéndice C y D, lo que facilitó adquirir los valores de alta concentración y anómalo de la muestras de suelo y sedimento, a través de los de los cálculos estadísticos de cuartiles y percentiles, los resultados de estos valores se muestran en las tablas N° 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Así mismo el factor de correlación entre los elementos determino la analogía entre ellos, corroborando e identificando la composición mineralógica y geológica de la zona, este resultado se encuentra en el apéndice E en las tablas E1, E2 y E3.

Los resultados de las altas concentraciones y anomalías con respecto a la población de los datos adquiridos son los siguientes:

Tabla N° 14. Valores de alta concentraciones de las muestras estudiadas en sedimentos.

Elementos	Altas concentraciones
Ag	(2,7 - 3,5 ppm)
Al	(1,04 - 1,94 %)
Au	(3,8 - 7, 4ppm)
Ba	(391,6 – 445 ppm)
Ca	(0,36 - 0,38 %)
Cd	(3,7 - 4,2 ppm)
Ce	(48,4 - 57,6 ppm)
Co	(312 – 388 ppm)

Continúa en la página siguiente

Tabla N°15. Valores de alta concentraciones en las muestras estudiadas en sedimentos (continuación).

Cr	(18551 – 43200 ppm)
Cu	(63 - 65,8 ppm)
Dy	(2,3 - 2,5 ppm)
Er	(1,2 - 1,4 ppm)
Eu	(0,8 – 1 ppm)
Fe	(60,13 - 72,39%)
Ga	(22 - 23,9 ppm)
Gd	(2,6 - 3,1 ppm)
Ge	(0,8 - 1,3 ppm)
Hg	(2,1 - 2,9 ppm)
Hf	(4,6 – 5 ppm)
Ho	(0,4 - 0,5 ppm)
K	(1,89 - 2,90%)
La	(26,3 - 30,4 ppm)
Lu	(0,3 - 0,2 ppm)
Mg	(0,71 - 1,14 %)
Mn	(0,26 - 0,64 %)
Na	(0,11 - 0,15 %)
Nb	(8,8 - 8,9 ppm)
Ni	(1335 – 2354 ppm)
Nd	(18,9 - 22,8 ppm)
Pb	(22 – 29 ppm)
Pr	(5,3 - 6,2 ppm)
Rb	(29,9 - 30,1 ppm)
Sb	(4,8 - 6,1 ppm)
Sc	(29,2 - 31,3 ppm)
Sm	(3,4 - 4 ppm)
Sn	(2,9 - 3,1 ppm)
Sr	(12 - 19 ppm)
Ta	(1,1 - 1,2 ppm)
Tb	(0,3 - 0,4 ppm)
Ti	(9,75 - 13,45%)
Th	(12,5 - 14,4 ppm)
Tm	(0,2 - 0,3 ppm)
U	(3,3 - 3,8 ppm)
V	(2282 - 3696 ppm)
Y	(8,5 - 9,9 ppm)
Yb	(1,1 - 1,3 ppm)
Zn	(551 - 1031 ppm)
Zr	(142,1 - 167,5 ppm)

Tabla N° 15 Valores anómalos de las muestras estudiadas en sedimento.

Elementos	Anomalía
Ag	(3,6 - 14,1 ppm)
Al	(1,95 - 14,54%)
Au	(7,5 - 15 ppm)
Hg	(3 - 10,3 ppm)
Mg	(1,15 - 6,04%)
Mn	(0,67 - 0,87%)
Ni	(2355 - 17111 ppm)
Pb	(30 - 222 ppm)
Sr	(20 - 95 ppm)
Ti	(13,46 - 103%)
Zn	(1032 - 1844 ppm)

Tabla N° 16 Valores de alta concentraciones de las muestras estudiadas en suelo (picas).

Elementos	Altas concentraciones
Ag	(1,6 - 1,9 ppm)
Au	(0,1 - 0,2 ppm)
As	(0,4 - 0,5 ppm)
C	(6226 - 12679 ppm)
Ca	(0,07 - 0,10%)
Co	(81 - 169 ppm)
Cu	(131 - 219 ppm)
Hg	(0,2 - 0,3 ppm)
K	(120 - 218%)
Mn	(0,09 - 0,16%)
Mg	(6,62 - 9,60%)
Mo	(21 - 30 ppm)
N	(1131 - 22999)
Ni	(151 - 299 ppm)
P	(301 - 1359 ppm)
Pb	(16 - 34 ppm)
V	(251 - 449 ppm)
Zn	(2 - 49 ppm)

Tabla N° 17 Valores anómalos de las muestras estudiadas en suelo (picas).

Elementos	Anomalía
Ag	(2 - 2,5 ppm)
Au	(0,2 - 3,5 ppm)
As	(0,6 - 3,7 ppm)
C	(12680 - 17400 ppm)
Ca	(0,11 - 0,14%)
Co	(170 - 500 ppm)
Cu	(220 - 1200 ppm)
Hg	(0,3 - 9,9 ppm)
K	(218 - 1527%)
Mn	(0,17 - 1,01%)
N	(2300 - 2580%)
Ni	(300 - 5000 ppm)
P	(1360 - 67270 ppm)
Pb	(35 - 90 ppm)
V	(450 - 500 ppm)
Zn	(50 - 300 ppm)

Tabla N° 18 Valores de alta concentraciones de las muestras estudiadas en suelo (mallado).

Elementos	Alta concentraciones
Au(M1)	(0,2 - 0,4 ppm)
Au(M2)	(1,7 - 4,2 ppm)
Au(M3)	(0 - 1,4 ppm)
Ag (M2)	(2,2 - 3,9 ppm)
Co (M2)	(60 ; 90 ppm)
Cu(M1)	(56 - 80 ppm)
Cu(M3)	(0,1 - 0,2 ppm)
Fe(M3)	(14,4 – 20,3%)
Hg(M2)	(2,7 - 6,8 ppm)
K(M1)	(0,049 - 0,073%)
Mn(M1)	(0,15 - 0,25%)
Na(M1)	(0,092 - 0,12 %)
Ni(M2)	(50 - 100 ppm)
Pb(M2)	(16 - 24 ppm)
Pb(M3)	(0,033 - 0,066 ppm)
V(M1)	(500 - 1000 ppm)
Zn(M1)	(0 - 0,2 ppm)
Zn(M3)	(60 - 84 ppm)

Tabla N° 19 Valores anómalos de las muestras estudiadas en suelo (mallado).

Elementos	Anomalía
Au(M1)	(0,4 - 8,2 ppm)
Au(M2)	(4,2 - 9,7 ppm)
Au(M3)	(1,37 - 1,9 ppm)
Ag(M2)	(3,9 - 19 ppm)
Co(M2)	(90 - 170 ppm)
Cu(M1)	(80 - 100 ppm)
Cu(M3)	(0,2 - 73,6 ppm)
Hg(M2)	(6,8 - 13 ppm)
Mn(M1)	(0,25 - 0,29%)
Na(M1)	(0,12 - 0,17%)
Ni(M2)	(100 - 130 ppm)
Pb(M2)	(24 - 71 ppm)
Pb(M3)	(0,066 - 0,089 ppm)
V(M1)	(1000 - 2000 ppm)
Zn(M1)	(0,2 - 78 ppm)
Zn(M3)	(84 - 170 ppm)

A continuación discuten los resultados de las muestras de suelo y sedimento:

6.3.1. Resultados de las muestras de sedimento:

Los resultados de sedimentos ubicado en el Callao, Piedra del Supamo y el Dorado tienen 49 elementos examinados, donde 12 son anomalías notoria con respecto a la población de los datos en el área, la determinación de los valores de fondo, umbral y anómalos estimadas en este tipo de muestra, junto a los resultados de factor de correlación (ver apéndice E) correlacionó los elementos e identificó las zonas de mineralización, definiendo las concentraciones de minerales delimitando dos zonas anómalas de sedimentos con respecto a la población de los datos:

- **Zona de sedimento I**, en Piedra del Supamo y el Dorado presenta las siguientes anomalías: Al, Mg, Mn, Ni, Pb-I, Sr, Ti y Zn. (Anexo II mapas, Fig. N° I-2, I-26, I-28, I-33, II-35, I-42, II-46 y II-52).
- **Zona de sedimentos II**, en el Callao estableció valores anómalos: Ag, Au, Hg y Pb -II (Anexo II mapas, Fig. N° II-1, II-4, II-21 y II-34).

El estudio de Correlación Pearson visualiza una alta correlación entre varios elementos, tomando los resultados de FC^i comprendido entre 0,7 y 1,0 indicando que existe una gran afinidad entre estos componentes, dicha tabla con el cálculo de esta en el apéndice E, Tabla E1.

6.3.1.1. Resultados de la Zona de sedimentos I:

La compilación de los datos geoquímicos de sedimentos de los autores Higuera (1996) y Tossiani (1999), ubicados al NE de el Dorado específicamente en Piedra del Supamo y el Dorado, dichos autores elaboraron estudios de fracción magnética y no magnética, ellos no realizaron los cálculos de valor de fondo y umbral, ni tampoco crearon mapas de concentraciones.

Al compilar y unificar los datos en dicha zona, empleando los estudios estadísticos obteniendo los resultados de valores de altas concentraciones y anomalías permitió generar 45 mapas geoquímicos por puntos de la zona tomando como base los mapas topográficos a escala 1:100.000, obteniendo 8 anomalías con respecto a la población de los datos obtenidos en el área: Al (1,95 - 14,54%), Mg (1,15 - 6,04%), Mn (0,65 - 0,87%), Ni (2.355 - 17.111 ppm), Pb (30 - 222 ppm), Sr (20 - 95 ppm), Ti (13,46 - 103%) y Zn (1.032 - 1.844 ppm).

En la zona de Piedra del Supamo, de acuerdo a los cálculos estadísticos obtenidos se tiene altas concentraciones entre Cr (18.550 - 43.200 ppm) y Fe (60,13 - 72,39%), el cual se asocia al mineral cromita ($Cr_2O_4Fe^{+2}$), (Ver Fig. N° 27 y 28), ya que la cromita es un mineral constituyente de las rocas metandesíticas siendo estas características de la Formación Florinda

Las anomalías de los elementos Mg (1,95 - 6,04%), Mn (0,67 - 0,87%), Ti (13,46 - 103%) y Zn (1.032 - 1.844 ppm); y las altas concentraciones de Co (312 - 388 ppm), Fe (60,13 - 72,39%) y Sb (4,8 - 6,1 ppm) pueden estar representado a la estructura del grupo de la hematita e ilmenita, siendo de minerales característicos en rocas ultramáficas presentes en el cinturón de rocas verdes. (Ver mapas en el anexo II, Fig. I-8, I-24, I-25, I-33, I-34, I-47, I-49).

FC^i =Factor de Correlación

La alta correlación entre el elemento Hf con Zr (FC = 0,94) al sur de el Dorado (ver anexo II, Fig. II-18 y II-49), está asociada con el circón, este mineral siempre contiene algo de hafnio y es un mineral accesorio común en toda clase de rocas ígneas. Así mismo, los resultados de los análisis estadísticos muestran que estos elementos provienen de una misma cuenca (El Dorado) ver Apéndice C, Gráfico N° C20 y C59.

La alta afinidad entre los elementos Ta-Th (FC = 0,8), Nd-Th (FC = 0,83), Ce-Y (FC = 0,78), Ce-La (FC = 0,9) y Sm-Nd (FC = 0,9), podría estar relacionada a una asociación geoquímica de la fase de fosfato, como la monacita. (Ver apéndice E, Tabla E1 y Anexo II, Fig. N° II-7, II-22, II-26, II-35, II-38, II-40, II-45).

Las analogía entre los elementos geoquímicos de los Th-U (FC = 0,9) y Ce-Th (FC= 0,9) indican la presencia de los minerales torianita (Th,U)O₂ y cerianita (Ce,Th)O₂, son minerales isomorfo de la uraninita. (Ver apéndice E, Tabla E1 y Anexo II, Fig. II-8, II-45 y II-48).

En la zona de el Dorado el resultado del histograma de frecuencia indica que los datos provienen de una misma zona (ver apéndice C, Gráfico N° C31, C33 y C47). Presentando altas correlaciones geoquímicas entre el Nb con Mn CF= 1 puede asociarse con columbita, Ta con Nb CF= 0,85 y Ta con Mn CF= 0,9 podría relacionarse con la tantalita (Ver apéndice E Tabla E1 y Fig. N° 29, 30 y 31). Estos minerales están en rocas graníticas y pegmatíticas asociadas a cuarzo, feldespato, mica, microlita, monacita presentes en el Complejo de Supamo.

Las altas correlaciones entre los Ca- Na (FC= 0,9) y K- Na (FC=0,8) indica la presencia de piroxenos y de minerales alcalinos, donde el sodio está sustituyendo al calcio para generar piroxenos sódico. (Ver anexo II, Fig. N° II-3, II-21 y II-27).

La relación entre U - Ce, La, Pr, Nd, Eu, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu y Y, junto a las altas concentraciones de Fe podrían estar expresando la analogía de indicadores geoquímicos a escala regional, y a su vez, mostrando una posible zona para prospección de Ce, La, Pr, Nd, Eu, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu junto a Y y U. (Ver anexo II, Fig. N° II-7, II- 11, II- 12, II- 13, II- 16, II- 20, II-22, II- 23, II-26, II-27, II-31, II- 35, II- 39, II-42, II-43 y II- 46).

Los valores anómalos de Al, Co, Cr, Mn, Mg, Ni y Pb, provienen de las quebradas 1 y 2 en Piedra del Supamo donde afloran rocas ígneas máficas como anfibolitas, y las rocas graníticas sódicas pegmatitas derivada de los tributarios del río Yuruán en la localidad de el Dorado, establecido por las rocas más antiguas de la Provincia Pastora teniendo las formaciones, Florinda, Caballape y Complejo Supamo de base a tope, esencialmente constituido por metabasaltos andesíticos convertidos mayormente en anfibolitas; y rocas graníticas pegmatíticas asociadas a cuarzo, feldespato, mica, microlita, monacita, entre otros, siendo típicos de rocas magmáticas, como se encuentran clásicamente en los Cinturones de Rocas Verdes. (Ver anexo I, Fig. N° 45 y Anexo II Fig. N° II-2, II-8, II-9, II-24, II-25, II-28 y II-30).

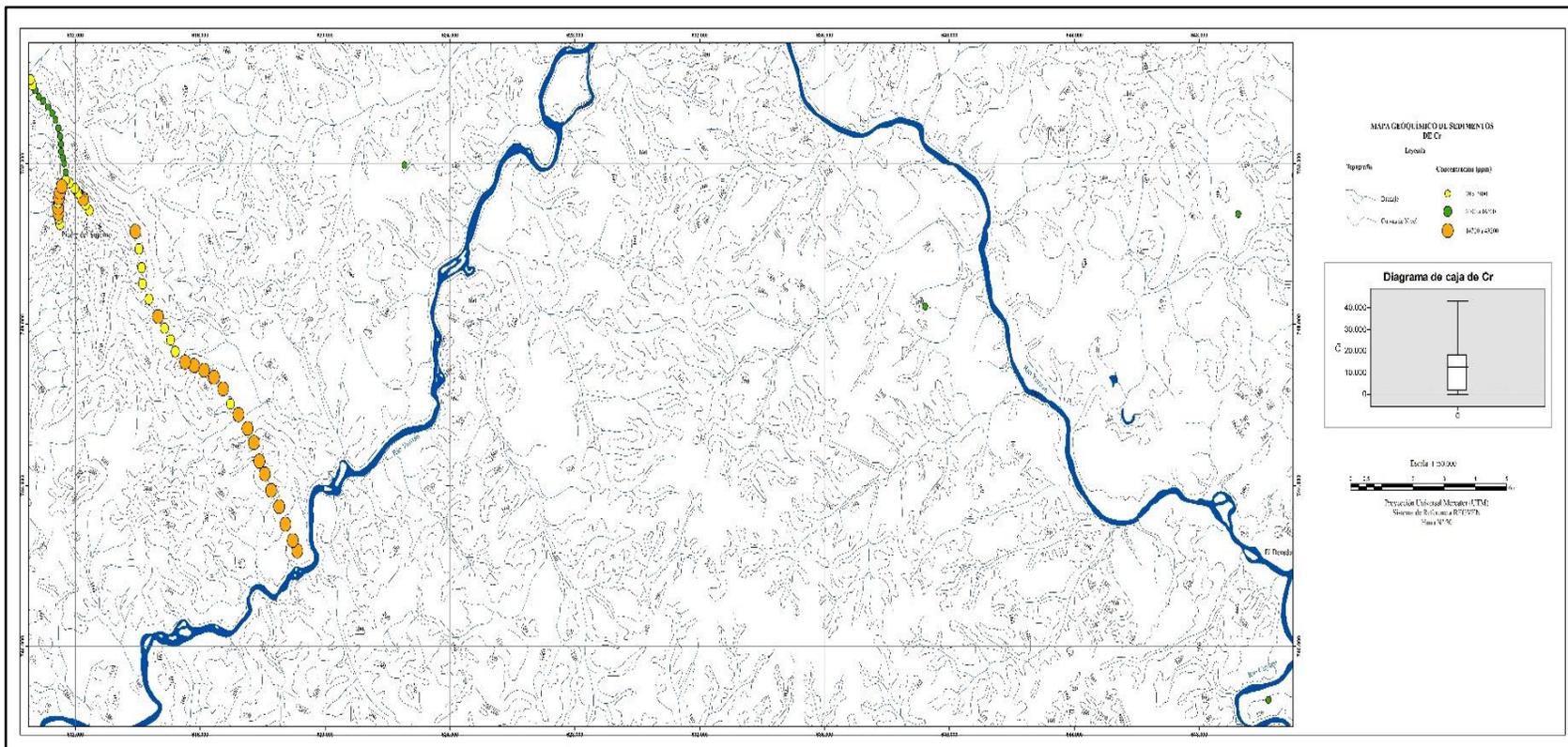


Fig. N° 27 Mapa Geoquímico de sedimento de Cr en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo II, Fig. N° II-10).

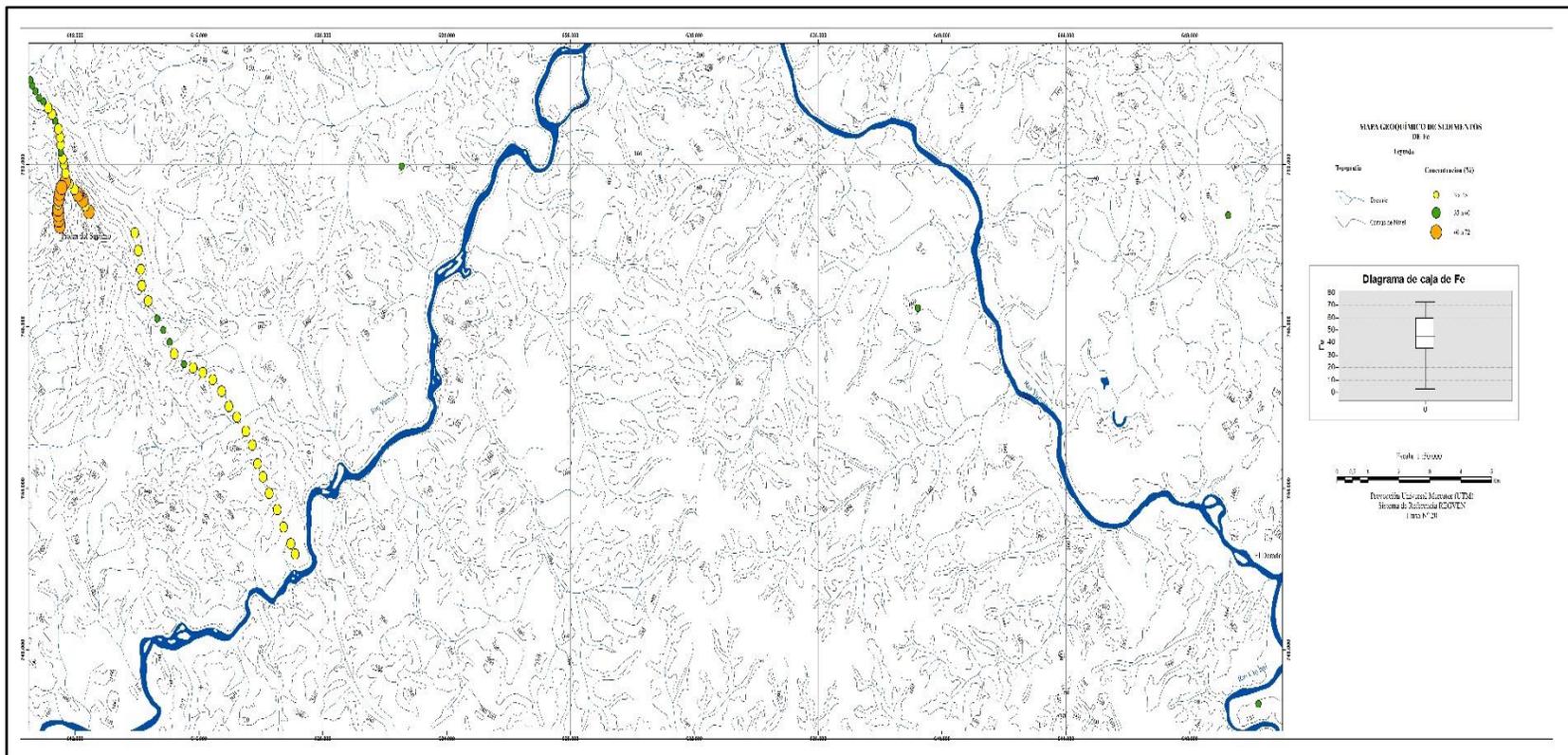


Fig. N° 28 Mapa Geoquímico de sedimento de Fe en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo II, Fig. N° II-15).

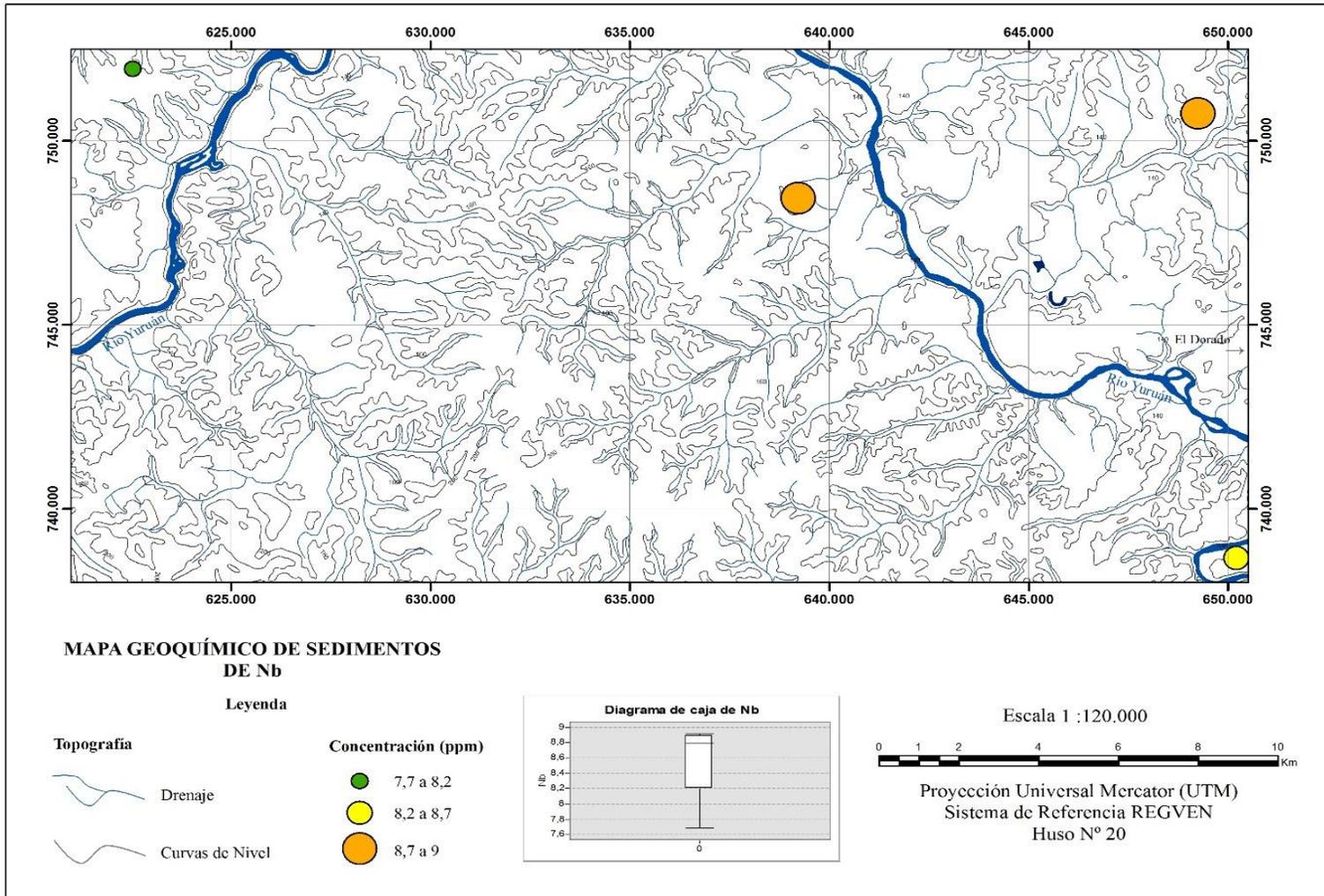


Fig. N° 29 Mapa Geoquímico de sedimento de Nb en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo II, Fig. N° II-31).

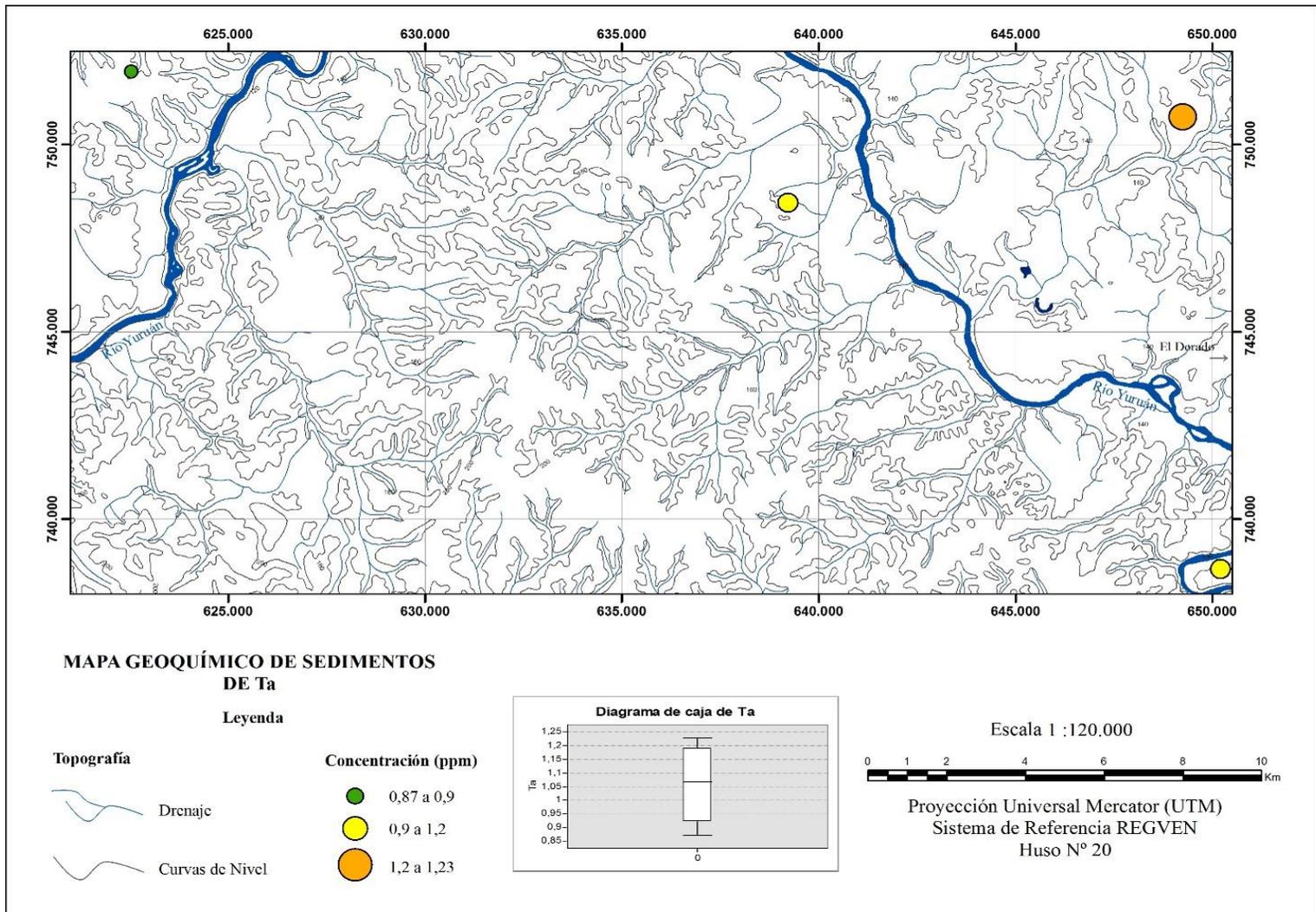


Fig. N° 30 Mapa Geoquímico de sedimento de Ta en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo II, Fig. N° II-43).

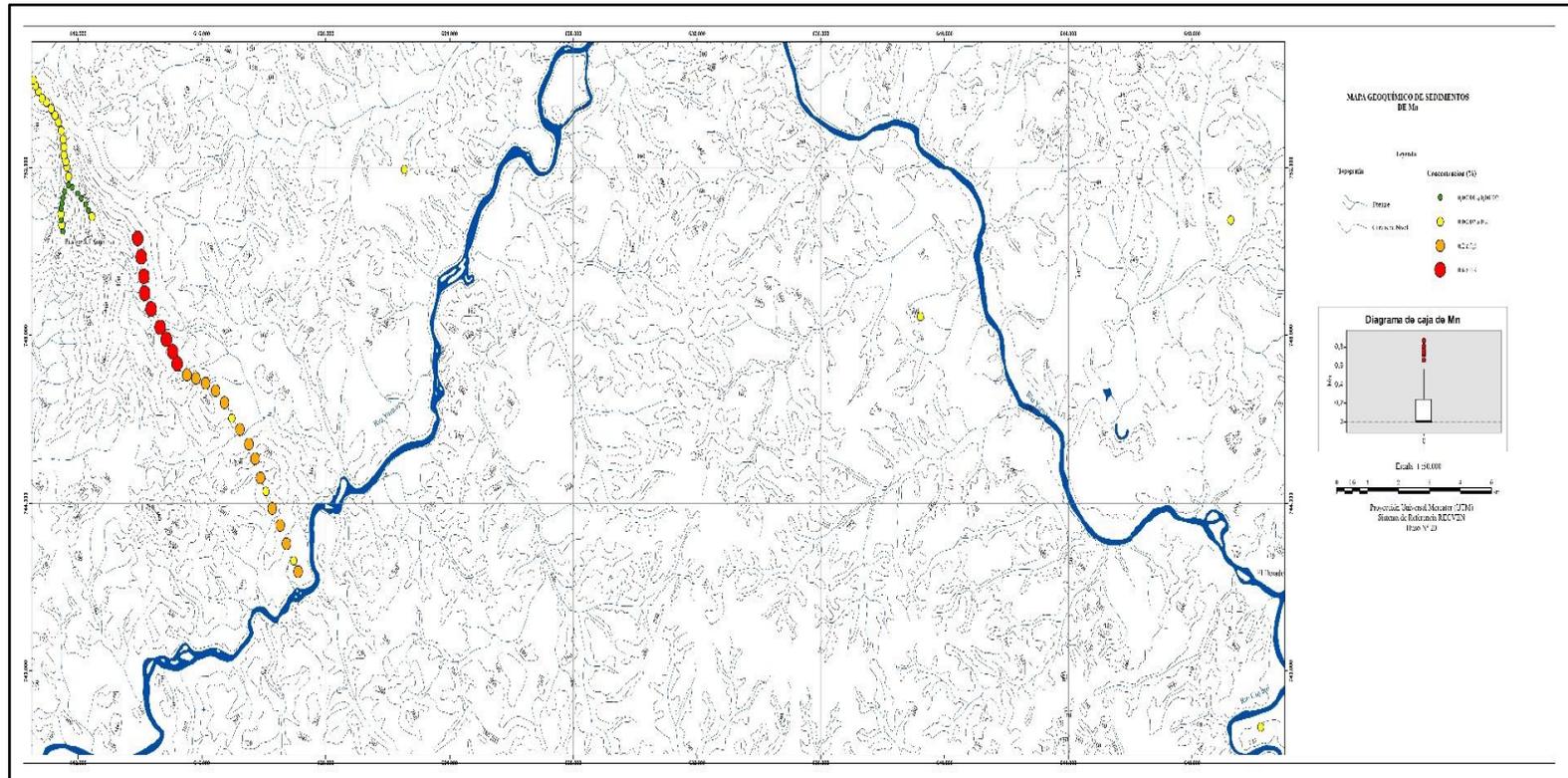


Fig. N° 31 Mapa Geoquímico de sedimento de Mn en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo II, Fig. N° II-29).

6.3.1.2. Resultados de la zona de sedimentos II:

Breto (1982) realizó análisis estadístico y mapas geoquímicos obteniendo los siguientes valores anómalos: Au (>5,61 ppm), Hg (>2,40 ppm), Pb (>23 ppm) y Ag (>3,5 ppm). Al compilar estos datos verificando los análisis estadísticos, generando los 4 mapas geoquímicos tomando como base los mapas topográficos a escala 1:100.000, dio como resultado 4 anomalías con respecto a los datos de: Au (7,5 – 15 ppm), Hg (2,9 - 10,3ppm), Pb-II (30 – 55 ppm) y Ag (3,6 - 14,1ppm) ubicadas al sur de El Callao (Anexo II, Fig. N° II-1, II-4, II-21 y II-34), coincidiendo con las anomalías del autor, cabe destacar que los elementos Ag, Hg y Pb son trazadores para la delimitar anomalía de oro que constituyen las formaciones el Callao.

Las anomalías del Ag (3,6 - 14,1 ppm) y Hg (2,9 - 10,3ppm) ubicadas en la misma zona ayudan a establecer la delimitación de la anomalía de plata, ya que la plata nativa contiene frecuentemente mercurio y se encuentra en la zona de oxidación, resultado de una deposición primaria de soluciones hidrotermales.

Los elementos Ag, Au, Hg, y Pb-II son provenientes de los tributarios del río Yuruari en la localidad de El Callao que son rocas anfíbolíticas, esquistos y cuarzo, pertenecientes a las formaciones el Callao y grupo Carichapo el cual posiblemente generó mineralización aurífera asociada a las rocas metavolcánicas. Ver Fig. N° 32, 33 y 34.

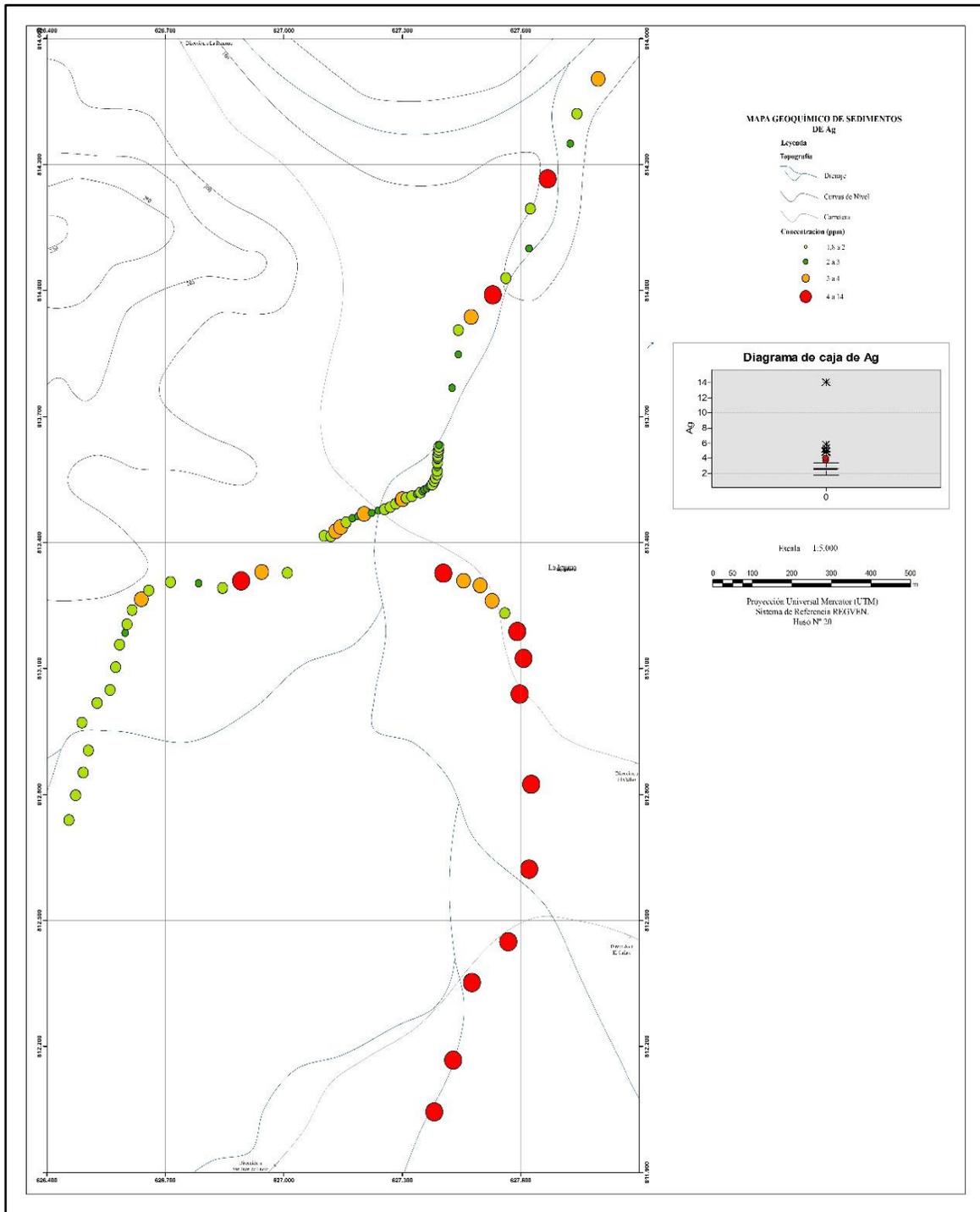


Fig. N° 32 Mapa Geoquímico de sedimento de Ag en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo II, Fig. N° II-1).

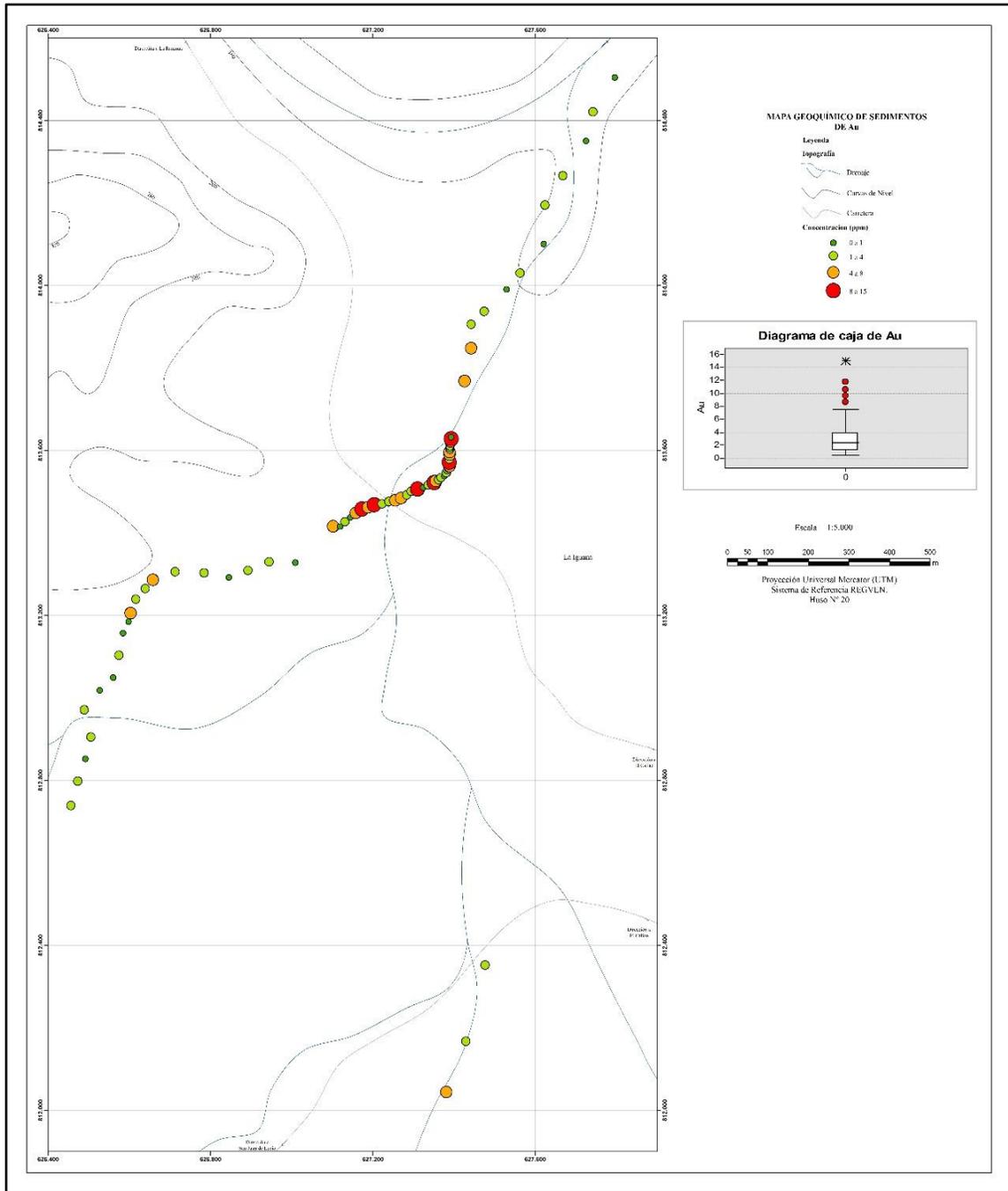


Fig. N° 33 Mapa Geoquímico de sedimento de Au en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo II, Fig. N° II-4).

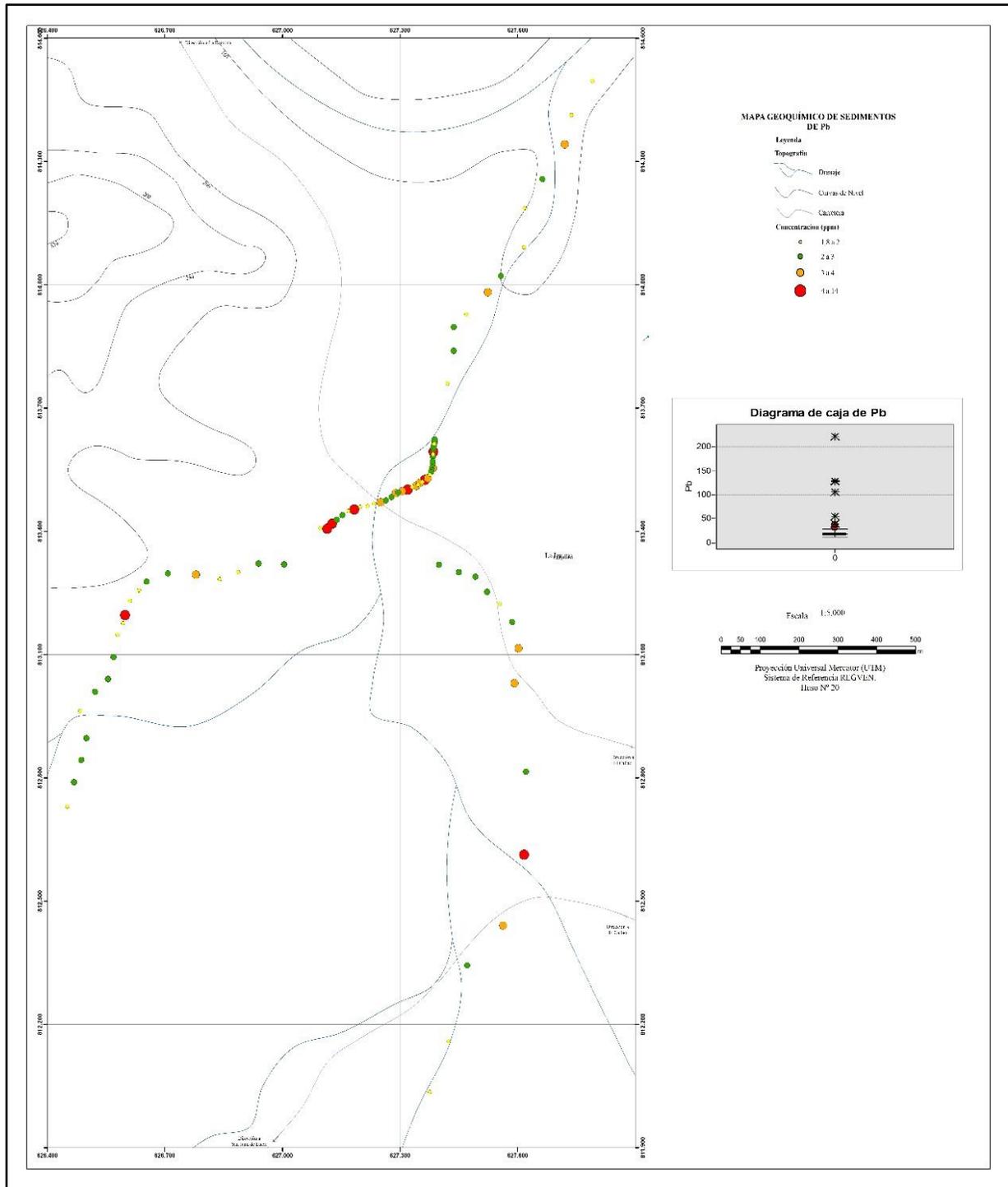


Fig. N° 34 Mapa Geoquímico de sedimento de Pb en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo II, Fig. N° II-34).

6.3.2. Resultados geoquímicos de las muestras de suelo:

En total se compilaron 36 muestras de suelo en la zona de El Callao, clasificándolas en picas y mallado, obteniendo anomalía notorias en 32 con respecto a los datos de los 36 elementos (ver Tablas N° 18 y 20), el cálculo coeficiente de correlación Pearson para los datos en este tipo de muestra, no arroja correlación entre los elementos, lo que indica que no hay semejanza entre ellos.

Seguidamente, con los resultados de las altas concentraciones y las anomalías con respecto a los datos adquiridos determinó una zona anómala de suelo con respecto a la población de los datos, teniendo los siguientes resultados:

6.3.2.1. Zona de suelo en muestras de picas:

Los datos de suelos compilados en picas se adquirieron de los trabajos de los autores Pasquali (1977), Cárdenas (1975), Serrano (1977) y Muñoz (1981); en donde los autores Pasquali (1977), Cárdenas (1975), Serrano (1977), no elaboraron el cálculo de valores de fondo, umbral, anómalos ni tampoco generaron mapas geoquímicos, sus trabajos estaban enfocados hacia los estudios de análisis químicos. A excepción de Muñoz (1981), realizó los cálculos de valores de fondo, umbral y anómalos y generó mapas geoquímicos obteniendo las siguientes anomalías con respecto al set de datos tomado de dichos autores: Mn (> 1060 ppm), Au (>0,05 ppm), Ag (> 1 ppm), As (>0,5 ppm), Ni (>94 ppm), Pb (>15 ppm), K (>100 ppm), Cu (>42 ppm) y Hg (> 0,12 ppm).

Al agrupar todos los datos recolectados por los autores en el área, verificando los estudios estadísticos y los cálculos de las altas concentraciones y las anomalías de la zona, generando los 18 mapas geoquímicos del área tomando como base los mapas topográficos a escala 1:100.000, teniendo como resultado 16 anomalías con respecto a la población de los datos de los 18 elementos adquiridos en el área de estudio: Ag (2 - 3 ppm), As (1 - 4 ppm), Au (0 - 4 ppm), C (12680 – 17400 ppm), Ca (0,11 - 0,14%), Co (170 – 500 ppm), Cu (220 – 1.200 ppm), Hg (0 - 1 ppm), K (218 - 1527%), Mn (0,17 - 1,01%), N (2.300 – 2.580 ppm), Ni (300 – 5.000 ppm), P (1.360 – 67.270 ppm), Pb (35 – 90 ppm), V (450 – 500 ppm) y Zn (50 – 300 ppm).

En la zona también se evidencia una anomalía de As (1 - 4 ppm) presente, sin embargo esta es una anomalía con respecto a los datos, por lo tanto se puede considerar como un elemento indicador de Au en el área de estudio (Anexo III, Fig. N° III-2).

Al sur de Guasipati específicamente en El Callao, destaca la presencia de las anomalías de los elementos Ag (2 - 3 ppm), Hg (0 - 1 ppm) y Pb (35 – 90 ppm), lo que delimita y ubica la anomalía de oro en el área, además de ello estos elementos se relacionan a depósitos epitermales, que están asociados con cuarzo, calcita y adularia, minerales característicos en la última fase de formación de los cinturones de rocas verdes. (Ver Fig. N° 35, 36 y 37).

Las zonas definidas con los elemento Pb y Zn, evidencian presencia de sulfuros, posiblemente galena (PbS), Skutterudita ([Co, Ni] As) y esfalerita (ZnS), niquelita (NiAs), son minerales típicos de origen mesotermal característicos de la Formación El Callao. (Anexo III, Fig. N° III-2, III-6, III-14, III-16 y III-18).

De igual forma en esta región existe fuerte anomalías geoquímicas en los datos muestreados en picas de Au, Ag, As, Co, Hg, K, Mn y Zn, en el área estudiada donde los elementos Ag, As, Co, Hg y Zn son elementos característicos en formaciones el Callao, grupo Carichapo y Complejo supamo. Ver mapas en los anexo I, Fig. N° I-20 y Anexo III, Fig. N° III-1, III-2, III-3, III-6, III-8, III-9, III-11 y III-Zn.

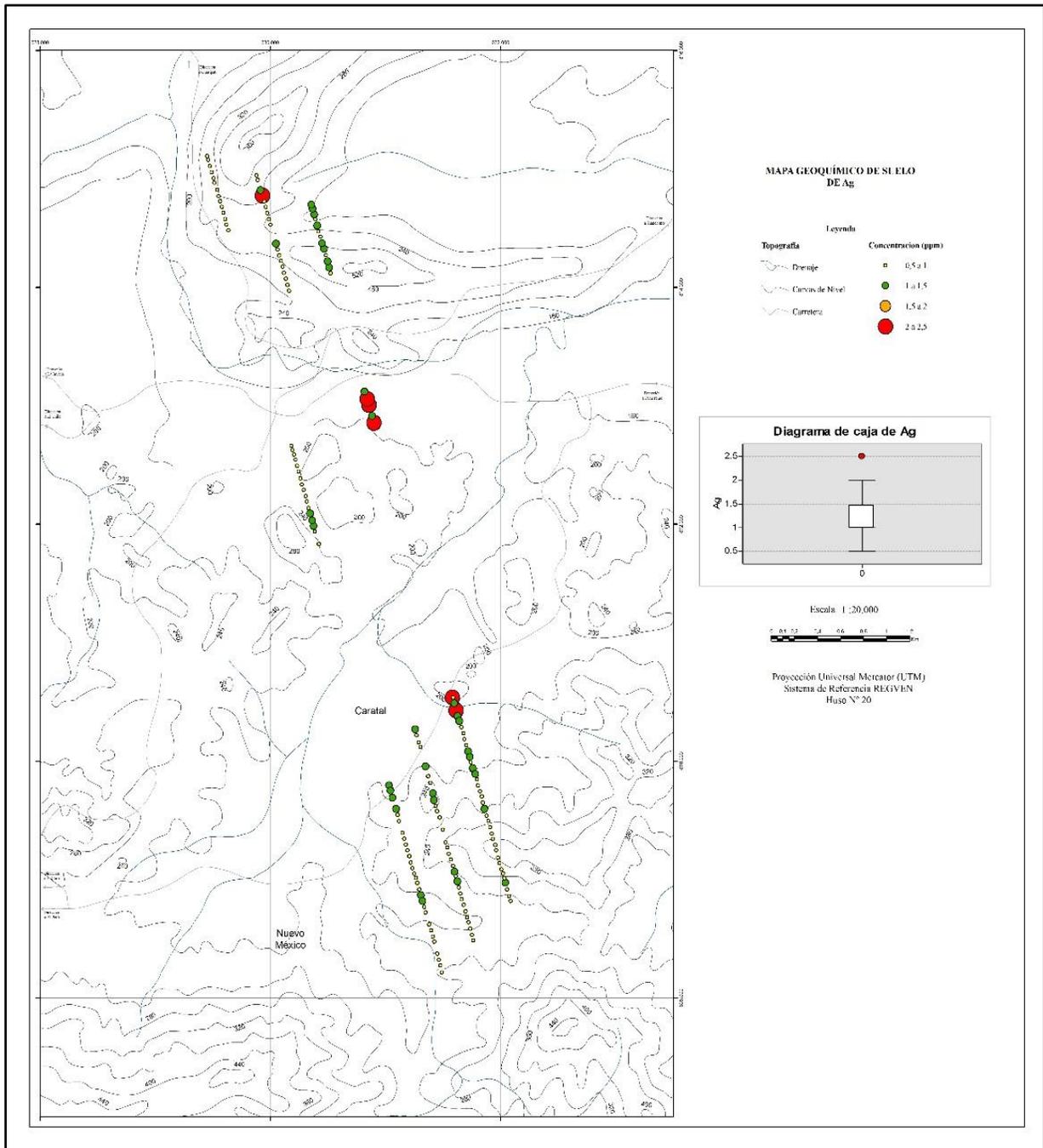


Fig. N° 35 Mapa Geoquímico de suelo en picas de Ag en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo III, Fig. N° III-1).

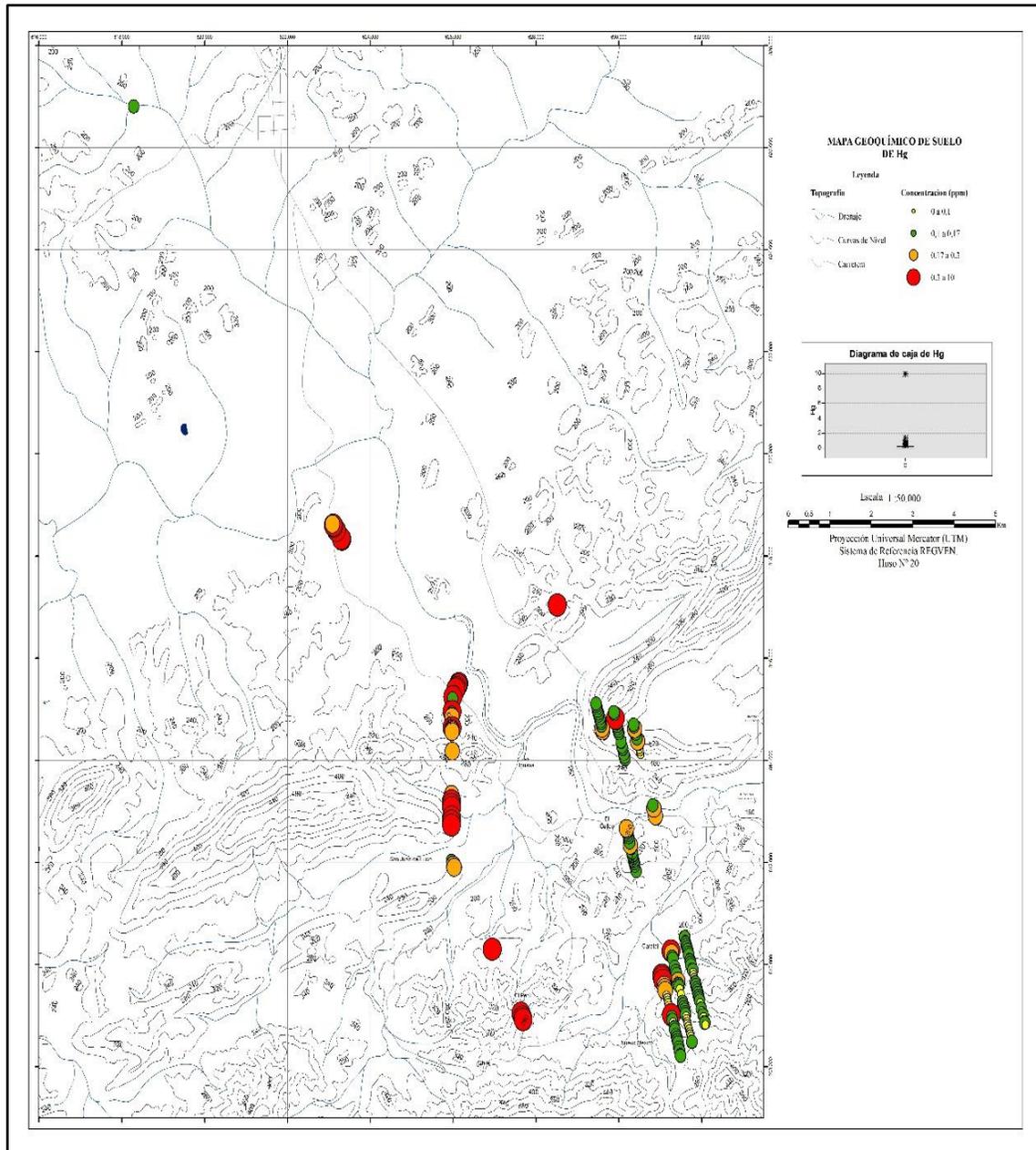


Fig. N° 36 Mapa Geoquímico de suelo en picas de Hg en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo III, Fig. N° III-8).

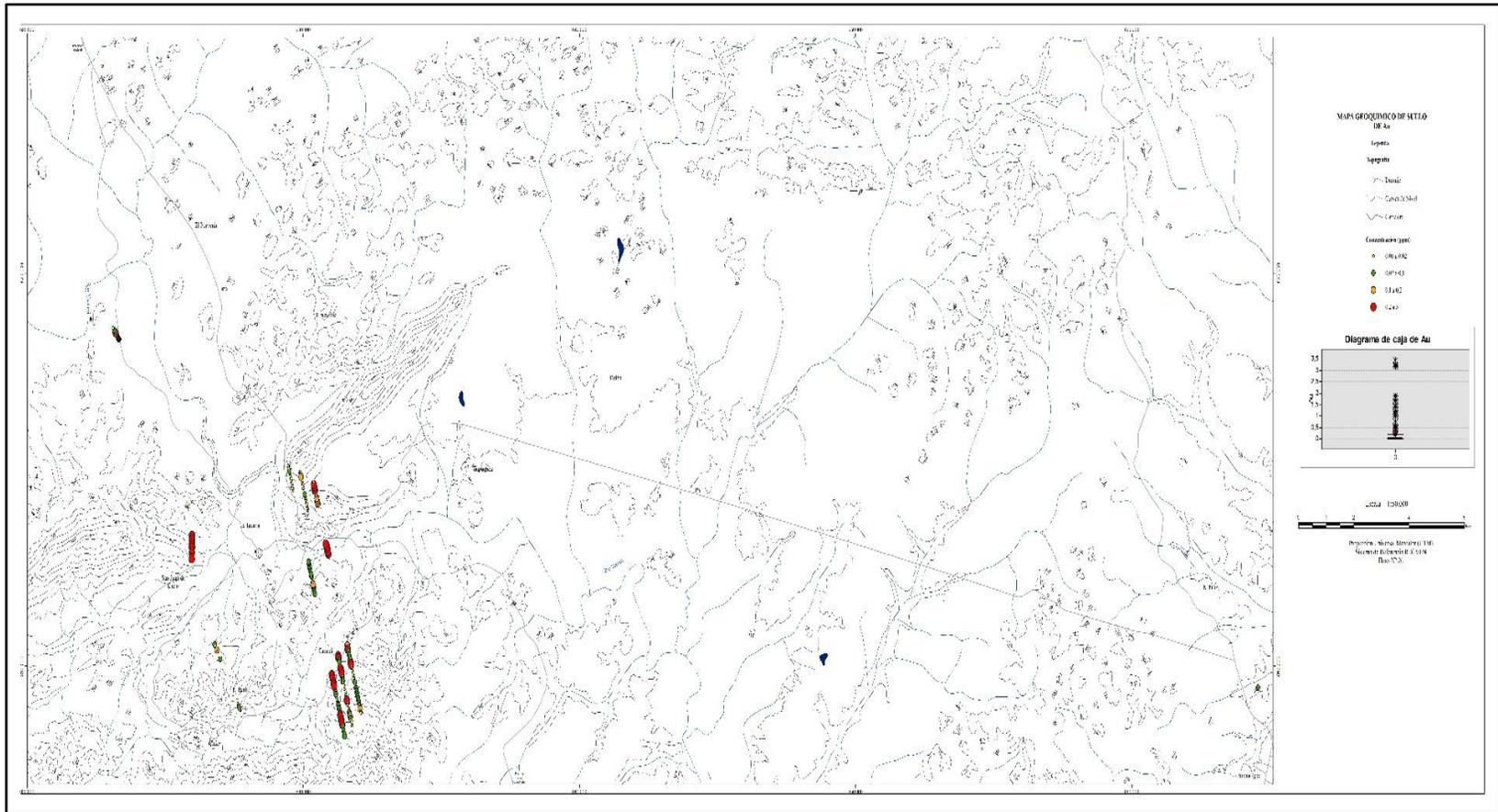


Fig. N° 37 Mapa Geoquímico de suelo en picas de Au en ppm. (Ver mapa completo en los Anexo III, Fig. N° III-3)

6.3.2.2. Zona de suelo en mallado:

Las muestras de suelos compiladas en la zona realizando estudios estadísticos verificando la normalidad de los datos, para elaborar el modelo geoestadístico que generaron los mapas geoquímicos de isoconcentraciones, dando como resultado 16 anomalías con respecto a los datos de los 18 elementos adquiridos, creando a través del software Arcgis 9.3 tomando como base los mapas topográficos a escala 1:100.000 para realizar los 18 mapas de isoconcentraciones con criterio geoestadísticos por el método de interpolación kriging, clasificándose por zona de la siguiente manera:

- 1) Las muestras de suelo compiladas en esta área obtenidas de las tesis de Romero (1980), en la localidad de San Juan de Lucio ubicado al oeste de El Callao registrado como (M1), el autor realizó mapas de curvas de isoconcentraciones representadas en cuadrículas obteniendo los datos de anomalías siguientes: Au (> 2 ppm), Cu (>55 ppm), Zn (> 55 ppm), Mn (> 1.750 ppm), V (> 500 ppm), Na (>800 ppm) y K (>400 ppm).

Los datos compilados tienen un muestreo tomados en intervalos de cada 50 metros en forma rectangular, considerándose como un mallado representativo para que estadísticamente se interpole de un punto a otro al realizar los mapas por el método de interpolación kriging, dando las siguientes anomalías con respecto a los datos compilados: Au (M1) (1 – 8 ppm), Cu (M1) (80 – 100 ppm) (ver Fig. N° 38), Mn (M1) (2.250 - 2.900 ppm), Na (M1) (1.200 - 1.690 ppm), V (M1) (1.000 - 2.000 ppm) y Zn (M1) (85 – 170 ppm), cabe mencionar que la anomalía obtenida no coincide con los rangos anómalos del autor, esto posiblemente sea a que se utilizaron métodos distintos de interpolación.

Las anomalías Mn (2.250 - 2.900 ppm), Na (1.200 - 1.690 ppm) y V (1.000 - 2.000 ppm) no se relacionan directamente con las anomalías de oro, por lo tanto no se puede utilizar para la delimitación aurífera: Ver Anexo IV, Fig. N° IV-1, IV-2, IV-4, IV-5, IV-6 y IV-7.

- 2) La tesis de Cardona (1980) y Gutiérrez (1982) descrita como (M2), ubicadas en El Callao, realizaron mapas de curvas de isoconcentraciones representadas en cuadrículas, adquirieron las siguientes anomalías: Au (1 – 8,2 ppm), Ag (1 – 5 ppm), Co (100 – 170 ppm), Hg, (1, 5 – 8,6 ppm), Ni (90 – 130 ppm), Pb (10 – 20 ppm); y Au (2- 5 ppm), Ag (> 4,4 ppm), Pb (>32 ppm), Hg (0,16 – 0,18 ppm), respectivamente.

Ambos autores trabajaron en la misma zona de estudio, Cardona (1980) realizó el muestreo de los datos tomadas a cada 50 metros, cada una de las cuales está formada por cuatro submuestras de casi o igual tamaño, recolectadas a una distancia de 12, 5 metros, por su parte Gutiérrez (1982) realizó el mismo esquema de recolección pero en otra área dentro de la misma zona cercano a los datos de Cardona, considerando estos datos como un mallado representativo para que estadísticamente interpolar de un punto a otro al realizar los mapas geoquímicos por el método de interpolación kriging, dando las siguientes anomalías con respecto a los datos compilados: Au (M2) 4 - 10 ppm) (ver Fig. N° 39), Ag (M2) (5 – 19 ppm), Pb (M2) (24 – 71 ppm) y Hg (M2) (7 – 13 ppm), estos elementos tienen dependencia directa con la anomalías de oro, es por ello que se puede utilizar como trazador. (Anexo IV, Fig. N° IV-8, IV-9, IV-10, IV-11, IV-12 y IV-13.

- 3) Hacia el SE, en la zona de El Callao con los datos recopilados de la tesis de López (2010) identificada como (M3), realizó mapas geoquímicos de isoconcentraciones por medio del programa Surfer 8, dando como resultado los mapas de isoconcentraciones con anomalías máximas de: Au (13.000 – 14.000 ppb), Cu (230.000 – 240.000 ppb), Fe (190.000 – 200.000 ppm), Pb (90.000 – 85.000 ppb) y Zn (190.000 – 200.000 ppb).

Los datos presentan un muestreo tomados en intervalos de 25 m. en forma rectangular considerándose como un mallado representativo para que estadísticamente se interpole de un punto a otro al realizar los mapas por el método de interpolación kriging, dando las siguientes 4 anomalías con respecto a los datos compilados de los 5 elementos compilados: Au (M3) (1- 2 ppm)

Cu(M3) (0 - 74 ppm), Pb (M3) (0,066 - 0,089 ppm) y Zn(M3) (55 – 78 ppm).
Ver Fig. N° 40.

Los elementos Au (M3),Cu(M3), Pb (M3) y Zn(M3) se relacionan con la presencia de sulfuros como: calcopirita, pirita, galena y esfalerita, que son depósitos propios de origen mesotermales, característicos de la Formación El Callao, estos elementos están vinculados directamente con el oro (Anexo IV, Fig. N° IV-14, IV-15, IV-17 y IV-18).

Los elementos químicos Ag, Au, Co, Cu, Fe, Hg, Mn Ni, Pb, V y Zn ubicados en la zona son provenientes del río Yuruarí en la localidad de El Callao constituido por rocas anfibolíticas, esquistos anfibolíticos y cuarzo, también tienen la presencia de metagabro, diabasas y diques de cuarzo teniendo relación alguna con el proceso de formación, y es factible que las anomalías de Au halladas en la zona de prospección, este manifestando en superficie una mineralización a profundidad lo que constituyen las formaciones el Callao, Carichapo y Caballape . Ver anexo I, Fig. N° I-20 y Anexo IV, Fig. N° IV-1, IV-2, IV-4, IV-5, IV-6, IV-7, IV-8, IV-9, IV-10, IV-11, IV-12, IV-13, IV-14, IV-15, IV-16, IV-17 y IV-18.

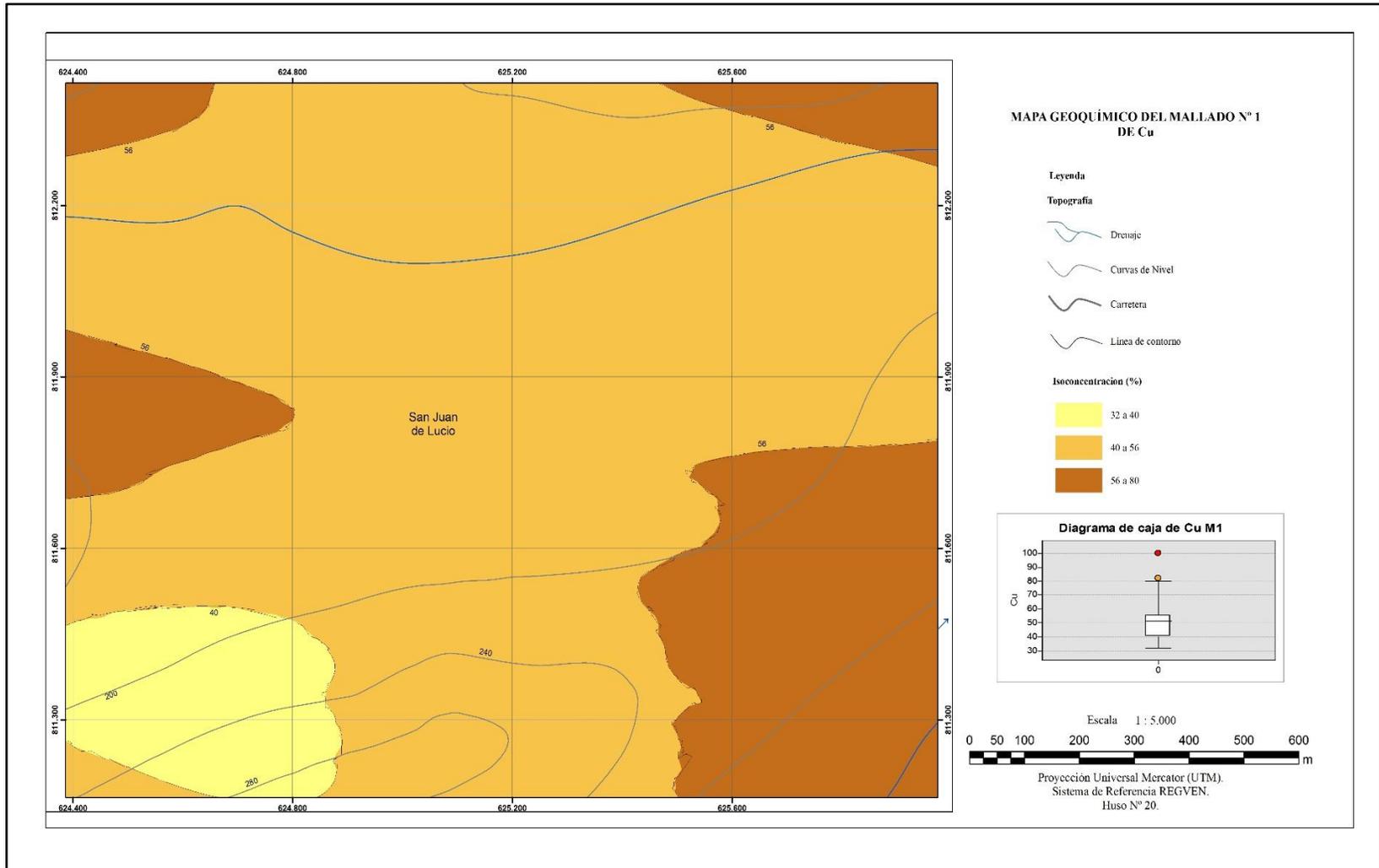


Fig. N° 38 Mapa Geoquímico de suelo en mallado de Cu (M1) en ppm, (ver mapa completo en anexo IV, Fig. N°IV-9).

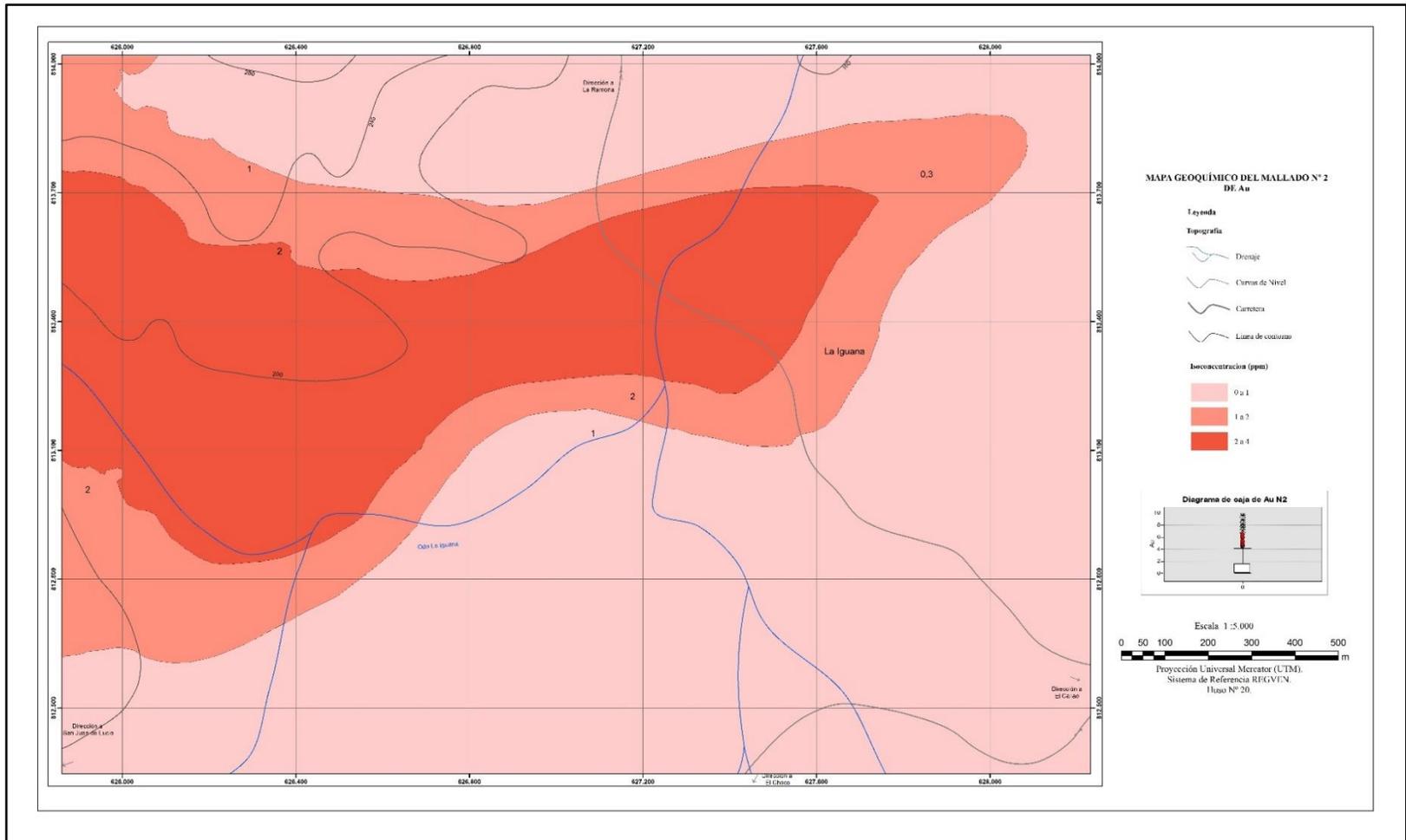


Fig. N° 39 Mapa Geoquímico de suelo en mallado de Au(M2) en ppm, (ver mapa completo en anexo IV, Fig. N°IV-2).

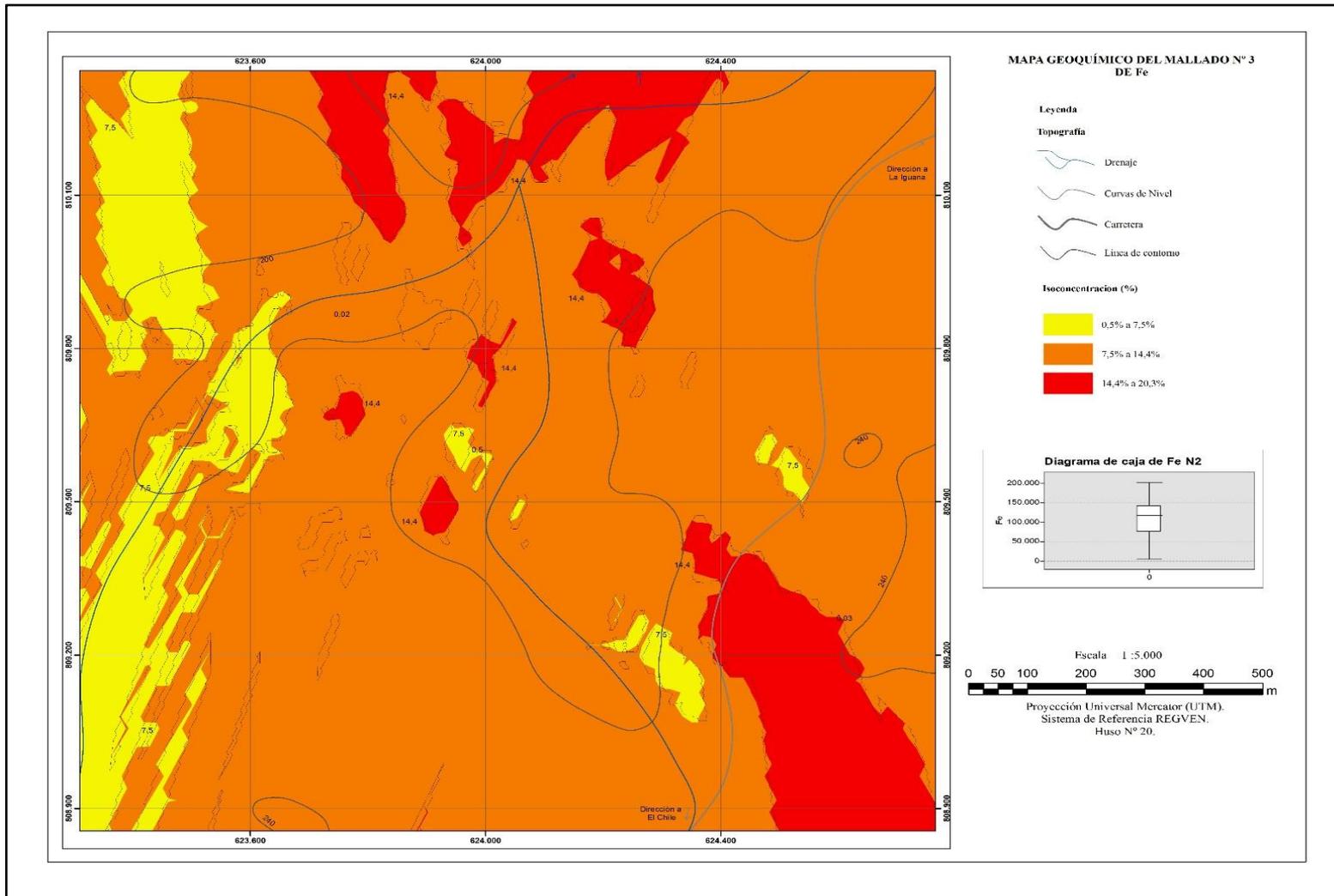


Fig. N° 40 Mapa Geoquímico de suelo en mallado de Fe(M3) en ppm, (ver mapa completo en anexo IV, Fig. N°IV-16).

6.4. Resultados del SIG

El resultado final del sistema de integración geográfico es la interacción de herramientas entre los usuarios con los hardware, software y la información que se encuentran vinculados a una referencia espacial por lo tanto se realizó un proyecto llamado “Geología y Geoquímica de Guasipati hasta El Dorado” en el programa ArcGIS 9.3 (ver Apéndice G), creando una interacción digital entre la información geológica y geoquímica de la zona de estudio, el cual constituye la metadata que contiene las características principales producto de la compilación de estudios geológicos y geoquímicos en el área, así mismo como la ubicación espacial de muestras químicas que sirvió como base para crear los 85 mapas geoquímicos en diferentes escalas, el cual se visualizan en el proyecto.

La utilización de los Sistemas de Información Geográfica, permitió mostrar y explorar patrones relacionados espacialmente, mejorando la interpretación de fenómenos poco visibles en el contexto geográfico, que son de gran interés e importancia para mejorar la calidad de vida, el bienestar, las políticas urbanas, es decir para el desarrollo social y ambientalmente sostenibles.

Los resultados obtenidos han permitido crear una superficie de valores estimados en áreas con interés de mineralización en superficie, que entre sus principales características, presenta una distribución territorial, concentrándose espacialmente en las zonas de el Callao, Piedra del Supamo y el Dorado.

CAPÍTULO VII

Conclusiones

En base a la integración geológica-geoquímica del presente estudio, se concluyó:

- La metadata es el resultado de la compilación de catorce tesis especiales de grado, una tesis doctoral, seis informes inéditos y seis mapas geológicos que contiene las características principales de dichos documentos.
- A partir de la compilación geológica de los autores Alfredo Menéndez, Bodan Korol, CVG-Tecmin, entre otros obteniendo:
 - Actualización de 12 mapas geológico a escala 1:50.000 a partir de la integración geológica.
 - Actualización de 3 mapas geológicos a escala 1:100.000 000 a partir de la actualización de los mapas geológicos a escala 1:50.000.
- Actualización y generación de 85 mapas geoquímicos, donde se proponen las posibles áreas de ocurrencia mineral, específicamente para el caso del oro, sulfuros, fosfatos, tantalita, columbita, entre otros, la cual es divididas en 3 zonas:
 1. **Zona de sedimentos I**, ubicadas en Piedra del Supamo y El Dorado presenta las siguientes anomalías con respecto a los datos adquiridos: Al, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti y Zn, deduciendo:
 - La afinidad y las altas concentraciones entre los elementos de Nd, Ta, Th, Nd, Ce, Y, La y Sm, elementos que componen la fase de fosfato, con minerales como la monacita.
 - Se halla la fase mineral de la ilmenita y cromita puesto a que existe anomalías entre elementos Mg, Mn, Ti y Zn y las altas concentraciones de Cr, Co, Fe, Sb y Sc en la zona.
 - Existe altas correlaciones entre Hf y Zr, indica la que existe minerales como el circón.
 - Existe la presencia de los minerales tantalita y columbita, debido a la alta afinidad que hay entre los elementos Nb, Ta y Mn.

2. Zona de sedimentos II se localiza al sur de El Callao, específicamente en el poblado de Caratal muestra anomalías con respecto a los datos adquiridos de: Ag, Au, Hg y Pb, los elementos Ag, Hg y Pb son trazadores para la delimitar anomalía de oro.

3. Zona de suelo (picas y mallado)

○ **Zona de suelo (picas):**

- Existe una fase mineral de sulfuros masivos asociados con los elementos Ni, Pb y Zn.

○ **Zona de suelo (mallado):**

- Está definida por los siguientes elementos: Ag, Au, Co, Cu, Fe, Hg, Mn Ni, Pb, V y Zn.
- Existe una fase mineral de sulfuros asociados con los elementos Fe, Cu, Zn.

- Este trabajo realizado instruye cómo la geoestadística constituye un instrumento muy útil para el estudio de las variables naturales de distribuciones espaciales, lo cual es fundamental al momento de tomar decisiones que vinculan al medio ambiente.
- El Proyecto de Sistema de Información Geográfica utilizado es de gran interés ya que puede localizar áreas específicas con la información geológica y geoquímica ya simplificada, facilitando las tareas propias en el área.
- El Sistema de Información Geográfica procesa una gran cantidad de información de forma segura y en poco tiempo, perfeccionando la calidad de los resultados.
- La utilización de los SIG, permite mostrar y explorar patrones con relaciones espaciales, que mejoran la interpretación de fenómenos poco visibles en el contexto geográfico, pero de gran interés e importancia para mejorar la calidad de vida, el bienestar, la justicia ambiental, las políticas urbanas y, en definitiva, para el desarrollo social y ambientalmente sostenibles.

CAPÍTULO VII

Recomendaciones

- Ejecutar análisis químicos más especializados en las zonas de el Callao, Piedra del Supamo y el Dorado que permitan establecer los elementos asociados directamente con la mineralización presente en el área, de manera de determinar los tipos yacimiento.
- Comparar las concentraciones de los elementos mayoritarios, minoritarios y trazas en la zona de el Dorado con el objeto de establecer si existe relación en las tendencias de distribución local.
- Los elementos de Tierras raras en la zona de el Dorado están estrechamente relacionados; por lo tanto, es favorable estudiarlas conjuntamente.
- En la zona de el Callao realizar un estudio más a detalle que permita determinar las concentraciones de oro.
- Las altas concentraciones de Fe en la zona de el Callao posiblemente sea producto de meteorización, que contiene Fe y que se sitúa encima de un depósito de sulfuros, formado por oxidación de los sulfuros y por la lixiviación del azufre y la mayoría de los metales dejando como únicos remanentes hidróxidos de Fe producto de la meteorización llamadas 'Gossan', por lo cual se recomienda realizar estudios en la zona para verificar si existe este tipo de anomalía en la área.
- Reducir el mallado para el muestreo geoquímico en el área de estudio con el fin de tener datos mas cercanos a la realidad.
- Se recomienda realizar estudios de exploración más a detalle en el área de el Callo, Piedra del Supamo y el Dorado a través de una campaña de perforaciones para determinar si las anomalías son continuas tanto en profundidad como lateralmente.
- Se recomienda que las investigaciones orientadas hacia el área de ciencias se integre el proyecto de cartografía geoquímica, con el fin de ser utilizado al momento de tomar decisiones sobre salud pública, ordenamiento territorial y exploración minera, así mismo como la descripción más detallada de los suelos y sedimentos del país.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, J. (1979)** Mapas geológicos: Explicación e interpretación.
- Alvarado, J y Obagi J. (2008)** Fundamentos de inferencia estadística. Editorial Pontificia, Colombia.
- Arthur W. Rose y otros (1979)** Geochemistry in mineral exploration Academic Press, 657 p.
- Bellizzia, A. et al. (1976)** “Guri” Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología.
- Breto, D. (1982).** “Dispersión secundaria del oro y sus elementos asociados en fase de sedimentos en la región de El Callao, Estado Bolívar” Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Cárdenas, H. (1975).** “Expresión geoquímica superficial de la anomalía electromagnética las Flores, Dtto. Roscio, edo. Bolívar”
- Cardona P., Iván J. (1980).** “Ubicación y delimitación de una anomalía geoquímica de oro en una zona ubicada al oeste de la población El Callao, Estado Bolívar”. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Díaz, M. (2002)** Geoestadística aplicada Instituto de Geofísica, UNAM Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba.
- Espejo, A. (1974).** Geología de la región El Manteco-Guri, Estado Bolívar, Venezuela, IX Conf. Geol. Interguayanas, Ciudad Guayana, Estado Bolívar.
- Gaudette y et al., (1978).** Gaudette, H.E., Mendoza V., Hurley, P.M. y Fairbairn, H.W., 1978. “Geology and age of the Parguaza Rapakivi Granite, Venezuela”. En: Geol. Soc. of America, GSA Bull, Vol. 89, Núm. 9.
- Gibbs A. K, y Olsewski W. (1982)** “Zircon U-Pb age of de Guyana greenstone-gneiss terrane” en precam. Research, vol 17.
- Gómez, M. (1996.).** “Estudio de la distribución de los elementos Ca, Fe, Cu, Zn y V en suelos desarrollados sobre litología máficos-ultramáficos en una región de Supamo, Estado Bolívar”. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.

- Gonzalez de Juana, C. (1980)** “Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas” Ediciones Foninves.
- Gotway C.A y otros. (1996)** Comparison of Kriging and Inverse Distance Methods for mapping soil parameters. Soil Science Society of American Journal.
- Gray F. et al (1995)** “Geology and geophysics of the sierra Verdun-cerro Piedra del Supamoarea, estado Bolívar, Venezuela” Geology and mineral deposits of the Venezuelan Guayana shield, Rep N B2124, Us Geol, Surv, bull.
- Guisande, C. (2006)** Tratamiento de Datos. Editorial Díaz de santos pg 130.
- Gutiérrez, J. Gould, M. (1994)** “SIG: Sistemas de información geográfica”.
- Gruau, G., Martin, H., Leveque B., Capdevila, R. y Marot, A. (1985).** “Rb/Sr and Sm/Nd geochronology of lower Proterozoic granite-greenstone terrains in French Guiana, South America”. En: Precam. Research. Vol. 30, Núm 1.
- Gutiérrez, J. (1999).** “Aspectos petrogenéticos de rocas básicas del cinturón verde de El Callao, Edo Bolívar. Venezuela”. Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Hildebrabt, R. (2005)** “Autochthonous and allochthonous tectonics of the El Callao greenstone belt: implications for the Pleoproterozoic Trans-amazonian orogeny of the origin of gold-bearing shear zones in the El Callao mining district, Guyana shield, Venezuela” en: Precam:research vol 143 num1-4.
- Hernández, O., (1993).** “Características geoquímicas de las mineralizaciones auríferas de El Callao, Edo. Bolívar: Dispersión primaria y condiciones de Formación”. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- IGVSB (2015)** “Perfil base de metadatos geográficos del IGVSB”.
- Jimba, O. (2008).** Basics Geostatistics. Compilation Guide for Students.
- Klar, G. (1979).** “Geochronology of the El Manteco-Guri and Guasipati areas, Venezuelan Guiana shield”. En: Case Western Reserve University.
- Korban, S. (1985).** “Estudio de la Dispersión Geoquímica primaria del oro y elementos asociados en la mina Colombia, El Callao”. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.

- Korol, B. (1965).** Estratigrafía de la Serie Pastora en la región Guasipati-El Dorado. (Presentado Cong. Cent. Col. Ing. Vzla., 1961). Bol. Geol., Caracas, 7(13): 3-17.
- Long, D, (2002),** “Aspects of Late Paleoproterozoic fluvial style: the Uairén Formation, Roraima Supergroup, Grand Sabana, Santa Elena de Uairén, Bolivar, Venezuela”. En: W. Alterman and P. Corcoran (Eds) Precam. Sedimentary Environments: A modern Approach to Ancient Depositional Systems, Int. Association of Sedimentologists, Special Paper Vol. 33,
- Luceño, A y Vázquez, F. (2004)** Métodos estadísticos para medir, describir y controlar la variabilidad. Publicaciones de Universidad de Cantabria.
- Martín-Bellizzia, C., (1974).** “Paleotectónica del Escudo de Guayana”. En: Conf. Geol. Inter-Guayanas IX, Ciudad Guayana, Venezuela, Mayo 1972: Caracas, Memoria Boliviana de Geólogos, Publ. Esp., Vol. 6.
- Marreno, S. (1995).** “Caracterización geoquímica de las provincias geológicas de Imataca y Pastora, Estado Bolívar Venezuela”, Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- McBratney, A. B. y Webster, R. (1986)** "Choosing Functions for Semi-variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates". Journal of Soil Science.
- Mendez, J. (2005)** “Petrología” Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UCV.
- Menéndez, A., (1968).** “Revisión de la estratigrafía de la Provincia Pastora, según el estudio de la Región de Guasipati, Guayana Venezolana”. En: MMH, Bol. Geol. Caracas B 10, N 19, p 309-338.
- Menéndez, A., (1972).** “Geología de la Región de Guasipati, Guayana Venezolana”. En: IV Cong. Geol. Venezolano, MEM Pub. Esp. N 6, p. 49-67.
- Menéndez, A., (1994).** “Cinturones de Rocas Verdes del Escudo de Guayana en Venezuela; revisión Estratigráfica”. En: III Simp. Int. Del Oro en Venezuela. Libro de Memorias, Asoc. Vzla. Del Oro, Caracas.
- Mendoza, V. et al (1974).** “Grupo Roraima: una revisión”. En: Simp. Sobre la Geología del Escudo de Guayana. Dir. Geol. Min. Uputa.

- Mendoza, V. (1997).** “Geología y Mineralización del área de Tomi Guayana Venezolana”. En: IV Simp. del Oro, Caracas, AVO.
- Mendoza, V. (2012).** “Geología de Venezuela”. Universidad de Oriente Escuela Ciencias de la Tierra.
- Moreno, L. A y Mendoza, A. (1975)** “Petroquímica de Rocas Graníticas del Alto Supamo SE Guayana Venezolana”. En: X Cong. Geol. Interguianas, Belém do Pará, Brasil, Mem.
- Muñoz, N. (1981).** “Estudio de la expresión geoquímica superficial en las inmediaciones de los poblados Caratal y El Callao, Distrito Roscio, Edo. Bolívar” Trabajo de Maestría, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Oliver, M. A. (1990)** "Kriging: A Method of Interpolation for Geographical Information Systems". International Journal of Geographic Information Systems.
- Padoan, M. Rubatto, R. (2014).** “The Choco 10 gold deposit (El Callao, Bolivar State, Venezuela): Petrography, geochemistry and U–Pb geochronology”. IVIC. Caracas.
- Pérez, H. (1980).** “Estudio Geoquímico de la mineralización aurífera en la zona Lo Increíble, El Callao”. INGEOMIN. Caracas.
- Reid, A., (1974).** “Stratigraphy of the type area of the Roraima Group, Venezuela”. En: Conf. Geol. Interguayanas, Mem, Publ. Espec. Núm. 6, p. 343-354.
- Renner, R Gibbs A.K, (1987)** “Geochemistry and petrology of metavolcanic rock of the Early Proterozoic Mazaruni Greenstone Belt, Northern Guyana”. Geol. Soc. Of London, Spec. Publ., Vol 33.
- Romero, G., (1980).** “Geoquímica del oro y algunos elementos asociados en una zona anómala al oeste de El Callao, Edo. Bolívar”. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Ross, S. (2007).** Introducción a la estadística. Editorial Reveté.
- Rossiter, D. G. (2012)** Co-Kriging with the gstat package of the R environment for statistical computing, University of Twente, Faculty of Geo-Information Science & Earth, Netherland.

- Sánchez, H., (1986).** “Estudio de la dispersión Geoquímica de las Mineralizaciones de Oro en las cercanías del Dique Laguna, El Callao, Estado Bolívar”. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Santamaría, F. y Martínez, H. (1996).** “Estudios Químicos y Geológicos de los yacimientos de minerales de aluminio en Venezuela”. INGEOMIN. Caracas.
- Santos, F. et al (2010).** “Distribution and mobility of mercury in soils of a gold mining region, Cuyuní river basin, Venezuela” IVIC. Caracas.
- Serrano, J. (1977).** “Distribución de C, N, P, Ca, Mg y K durante la meteorización de rocas acidas y básicas en ambiente de selva tropical húmeda”. INGEOMIN. Caracas.
- Solano, H y otros. (2006)** Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad. Editorial Uninorte, Colombia.
- Tommaso, T. (1992).** “Estudio geoquímico y modelaje petrogenético de las rocas máfico-ultramáficas, ubicadas al sur de El Callao, Edo. Bolívar”. Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Tommaso, T. (1999).** “Prospección geoquímica de platino y paladio en el Complejo Estratiforme de Supamo, Edo. Bolívar”. Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Tosiani, T. et al 2004** “Major and trace elements in river-borne materials from the Cuyuní basin (southern Venezuela): evidence for organo-colloidal control on the dissolved load and element redistribution between the suspended and dissolved load” IVIC. Caracas.
- Vargas, M. (1993).** “Estudio químico y mineralógico de yacimientos auríferos en la región de El Callao, Estado Bolívar”. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Velásquez, G. y Tommaso, T. (2006).** “Modelado petrogenético de los basaltos de la Formación El Callao, en la región de El Callao, estado Bolívar. Trabajo de Maestría, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Caracas.
- Webster, R. Oliver M. (2001)** “Geostatistics for environmental scientists. Edition Ilustrada.”.

Apéndice A Tabla de base de datos.

El apéndice A debido al tamaño de las tablas las mismas está en un CD ubicado en la
página XLIII

Apéndice B. Tablas de Análisis exploratorio de los datos.

Tabla N° B1. Análisis exploratorio de los datos de sedimentos sin transformar.

Estadística descriptiva	<i>Al</i>	<i>Ca</i>	<i>Fe</i>	<i>K</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>Na</i>	<i>Rb</i>	<i>Ta</i>	<i>Nb</i>	<i>Th</i>	<i>U</i>	<i>Hf</i>	<i>Y</i>
Cuenta	89,0	4,0	89,0	4,0	89,0	89,0	4,0	4	4	4	4	4	4	4
Media	1,4	0,2	46,1	1,2	0,7	0,1	0,1	28	1	9	9	2	4	8
Mediana	0,6	0,3	45,0	0,7	0,3	0,0	0,1	29	1	9	9	2	4	8
Moda	0,4	N/A	46,0	N/A	0,4	0,0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Desviación estándar	2,6	0,1	15,4	1,2	1,0	0,3	0,1	4	0	1	4	1	1	1
Varianza de la muestra	6,7	0,0	237,3	1,3	1,0	0,1	0,0	18	0	0	20	1	1	2
Curtois	16,0	-4,9	0,8	3,5	10,0	1,5	-1,6	4	-4	3	-1	-1	0	2
Coefficiente de asimetría	4,0	-0,1	-0,6	1,9	2,9	1,7	0,7	-2	0	-2	0	1	0	1
Rango	14,4	0,3	69,4	2,4	6,0	0,9	0,1	9	0	1	10	2	2	3
Mínimo	0,2	0,1	3,0	0,5	0,1	0,0	0,0	21	1	8	4	2	3	6
Máximo	14,5	0,4	72,4	2,9	6,0	0,9	0,2	30	1	9	14	4	5	10
Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta	se acepta
Tipo de transformación	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST
Nivel de confianza (95%)	0,5	0,2	3,2	1,8	0,2	0,1	0,1	7	0	1	7	2	1	2

(Página 1 de 3)

Tabla N° B1. Análisis exploratorio de los datos de sedimentos sin transformar. (Continuación).

Estadística descriptiva	Zr	Ce	La	Pr	Nd	Eu	Sm	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ni	Cr
Cuenta	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	89	89
Media	122	39	22	4	15	1	3	2	0	2	0	1	0	1	0	1196	11917
Mediana	110	37	22	4	14	1	2	2	0	2	0	1	0	1	0	789	12800
Moda	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0	2072	13100
Desviación estándar	32	14	7	1	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2508	10851
Varianza de la muestra	1018	201	51	2	29	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6290907	117750730
Curtosis	2	1	1	1	2	3	2	2	2	1	1	0	-2	-3	-2	36	1
Coefficiente de asimetría	2	1	0	1	1	2	2	2	1	1	1	1	0	0	-1	6	0,9
Rango	69	34	17	3	12	0	2	1	0	1	0	1	0	1	0	17110	43130
Mínimo	99	24	13	3	11	1	2	2	0	1	0	1	0	1	0	1	70
Máximo	167	58	30	6	23	1	4	3	0	3	0	1	0	1	0	17111	43200
Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov	se acepta	se rechaza	se rechaza														
Tipo de transformación	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	LN	raíz
Nivel de confianza (95%)	51	23	11	2	9	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	528	2286

Tabla N° B1. Análisis exploratorio de los datos de sedimentos sin transformar. (Continuación).

Estadística descriptiva	V	Co	Sc	Ag	Au	Ba	Cd	Cu	Ga	Ge	Hg	Pb	Sb	Sn	Sr	Ti	Zn
Cuenta	89	89	4	106	95	4	4	4	4	4	95	110	4	4	89	89,0	89
Media	1636	226	26	3	3	345	2	54	20	1	2	24	4	2	13	7	482
Mediana	1508	230	25	3	2	335	2	56	19	1	1	18	3	2	6	3	398
Moda	1130	150	N/A	2	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	15	N/A	N/A	4	1	238
Desviación estándar	819	96	4	1	3	75	2	13	3	0	1	26	2	1	18	15,2	397
Varianza de la muestra	670130	9144	18	2	7	5557	4	162	9	0	2	694	3	0	330	232,1	157616
Curtosis	0	-1	-1	44	4	2	-4	1	1	3	22	34	3	-1	8	34,9	4
Coeficiente de asimetría	0,4	-0,3	1	6	2	1	0	-1	1	-2	4	5	2	0	3	5,7	2
Rango	3626	373	10	12	15	180	4	29	6	1	10	210	4	1	92	102,8	1736
Mínimo	70	15	22	2	0	265	0	36	18	1	1	12	3	2	3	0,2	108
Máximo	3696	388	31	14	15	445	4	66	24	1	10	222	6	3	95	103,0	1844
Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov	se rechaza	se rechaza	se acepta	se rechaza	se rechaza												
Tipo de transformación	raíz	Raíz	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	LN	ST	ST	LN	LN	LN
Nivel de confianza (95%)	172	20	7	0	1	119	3	20	5	0	0	5	3	1	4	3,2	84

(Página 3 de 3)

Tabla N° B2 Análisis exploratorio de los datos de sedimentos transformados.

Estadística descriptiva	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>V</i>	<i>Co</i>	<i>Ti</i>	<i>Zn</i>
Cuenta	89	89	89,0	89	89	89
Media	6	0	38,9	15	2	6
Mediana	7	0	38,8	15	2	6
Moda	8	0	33,6	12	0	5
Desviación estándar	1	2	11,0	4	2	1
Varianza de la muestra	2	3	121,0	13	3	0
Curtosis	4	2	0,4	1	5	0
Coefficiente de asimetría	-1	1	-0,5	-1	2	1
Rango	10	8	52,4	16	9	3
Mínimo	0	-3	8,4	4	-1	5
Máximo	10	5	60,8	20	8	8
Prueba de bondad de ajuste	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta

(Página 1 de 1)

Tabla N° B3. Análisis exploratorio de los datos de suelo sin transformar (picas).

Estadística descriptiva	Ag	Au	As	C	Ca	Co	Cu	Hg	K	Mg	Mn	Mo	N	Ni	P	Pb	V	Zn
Cuenta	164	204	317	47	56	455	902	214	366	57	782	72	44	899	49	779	470	452
Media	1	0	1	4568	0	62	99	0	92	4	0	12	698	150	1700	12	179	15
Mediana	1	0	0	2300	0	60	70	0	80	3	0	9	435	80	230	10	180	1
Moda	1	0	0	900	0	1	150	0	62	0	0	8	170	40	230	1	250	1
Desviación estándar	0	0	0	4560	0	55	111	1	108	3	0	7	653	331	9568	12	98	35
Varianza de la muestra	0	0	0	20795698	0	3058	12265	0	11658	11	0	44	425990	109333	91542856	137	9683	1222
Curstosis	1	25	20	1	2	9	26	182	90	-1	25	1	1	82	49	10	0	15
Coefficiente de asimetría	1	5	4	1	1	2	4	13	7	0	4	1	1	8	7	2	0	3
Rango	2	3	4	16800	0	499	1200	10	1527	10	1	28	2540	4999	67110	90	499	299
Mínimo	1	0	0	600	0	1	1	0	0	0	0	2	40	1	160	0	1	1
Máximo	3	3	4	17400	0	500	1200	10	1527	10	1	30	2580	5000	67270	90	500	300
Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta
Tipo de transformación	ST	ST	ST	LN	ST	ST	LN	ST	ST	LN	LN	ST	LN	ST	ST	ST	ST	ST
Nivel de confianza (95 %)	0	0	0	1339	0	5	7	0	11	1	0	2	198	22	2748	1	9	3

(Página 1 de 1)

Tabla N° B4. Análisis exploratorio de los datos de suelo transformados (picas).

Estadística descriptiva	C	Cu	N
Cuenta	47	902	44
Media	8	4	6
Mediana	8	4	6
Moda	7	5	5
Desviación estándar	1	1	1
Varianza de la muestra	1	1	1
Curtosis	-1	2	-1
Coefficiente de asimetría	0	-1	0
Rango	3	8	4
Mínimo	6	-1	4
Máximo	10	7	8
Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov- Smirnov	Se acepta	Se acepta	Se acepta
Nivel de confianza (95 %)	0	0	0

(Página 1 de 1)

Tabla N° B5. Análisis exploratorio de los datos de suelo sin transformar (mallado).

Estadística descriptiva	Ag(M)	Au(M1)	Au(M2)	Au(M3)	Co(M)	Cu(M1)	Cu(M2)	Fe(M)	Hg(M)	K(M)	Mn(M)	Na(M)	Ni(M)	Pb(M3)	Pb(M1)	V(M)	Zn(M1)	Zn(M3)
Cuenta	161	28	83	373	108	108	490	490	124	108	108	108	74	195	457	108	108	490
Media	2	2	3	0	51	51	0	110538	3	0	0	0	48	11	0	363	48	0
Mediana	2	1	2	0	50	51	0	117850	2	0	0	0	40	10	0	100	47	0
Moda	0	0	0	0	60	40	0	99900	0	0	0	0	40	10	0	50	37	0
Desviación estándar	2	2	2	0	31	13	3	48453	3	0	0	0	23	8	0	530	20	4
Varianza de la muestra	3	5	5	0	950	161	11	2347735	9	0	0	0	521	69	0	280743	381	19
Curtosis	47	3	1	208	3	1	490	-1	1	-1	1	2	1	14	2	3	13	267
Coefficiente de asimetría	5	2	1	14	1	1	22	0	1	0	1	1	1	2	1	2	2	16
Rango	19	8	10	2	170	68	74	197740	13	0	0	0	110	71	0	1990	154	78
Mínimo	0	0	0	0	0	32	0	4940	0	0	0	0	20	0	0	10	16	0
Máximo	19	8	10	2	170	100	74	202680	13	0	0	0	130	71	0	2000	170	78
Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta	Se acepta
Tipo de transformación	ST	RAIZ	ST	LN	ST	ST												
Nivel de confianza (95%)	0	1	0	0	6	2	0	4301	1	0	0	0	5	1	0	101	4	0

(Página 1 de 1)

Tabla N°B6. Análisis exploratorio de los datos de suelo transformados (mallado).

Estadística descriptiva	V(M)	Fe(M)
Cuenta	108	490
Media	5	322
Mediana	5	343
Moda	4	316
Desviación estándar	1	83
Varianza de la muestra	2	6940
Curtosis	-1	0
Coefficiente de asimetría	0	-1
Rango	5	380
Mínimo	2	70
Máximo	8	450
Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov- Smirnov	Se acepta	Se acepta

Apéndice C. Resumen grafico de los Análisis Estadístico de Sedimentos.

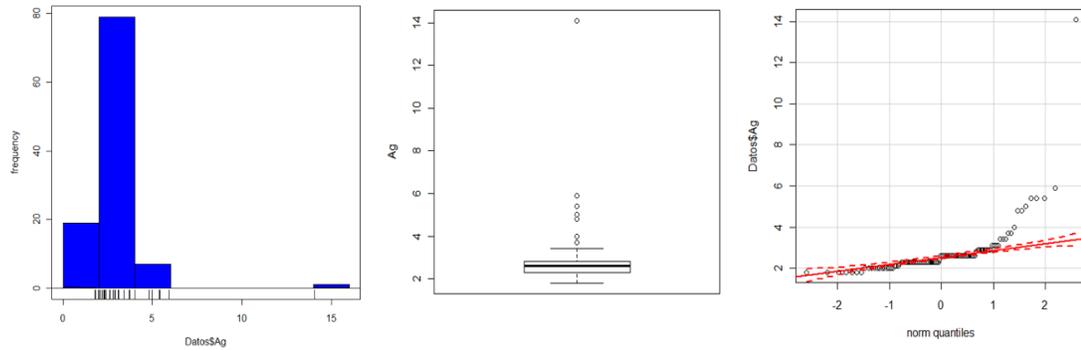


Ilustración C1 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ag.

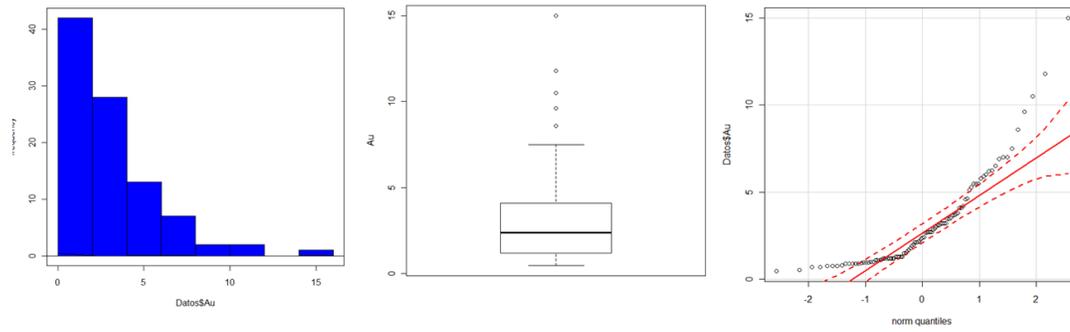


Ilustración C2 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au.

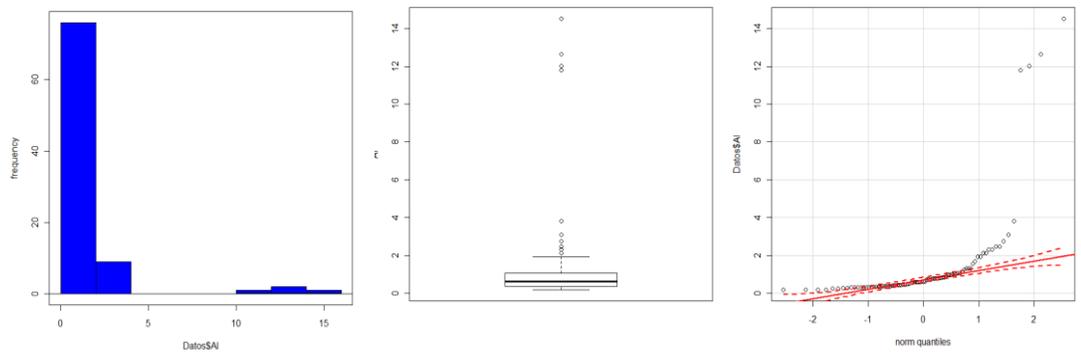


Ilustración C3 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Al

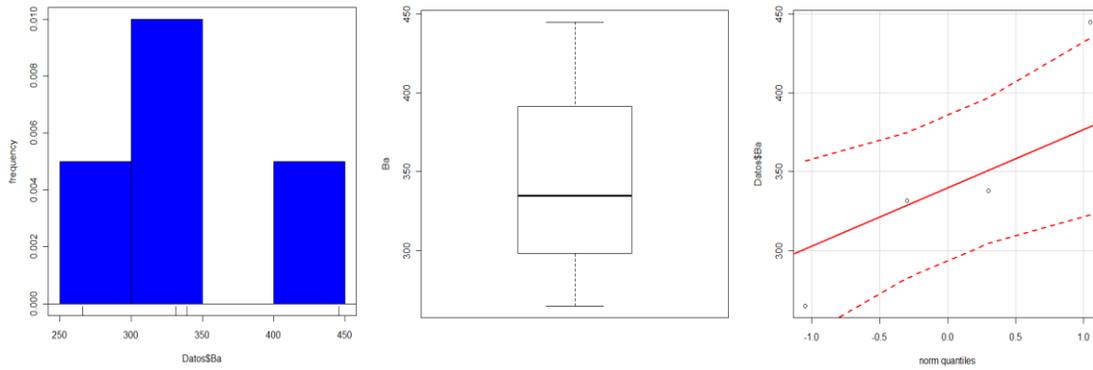


Ilustración C4 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ba.

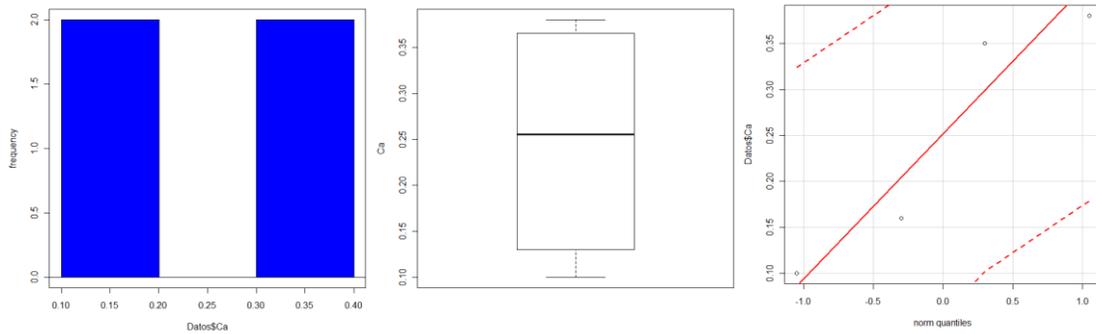


Ilustración C5 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ca.

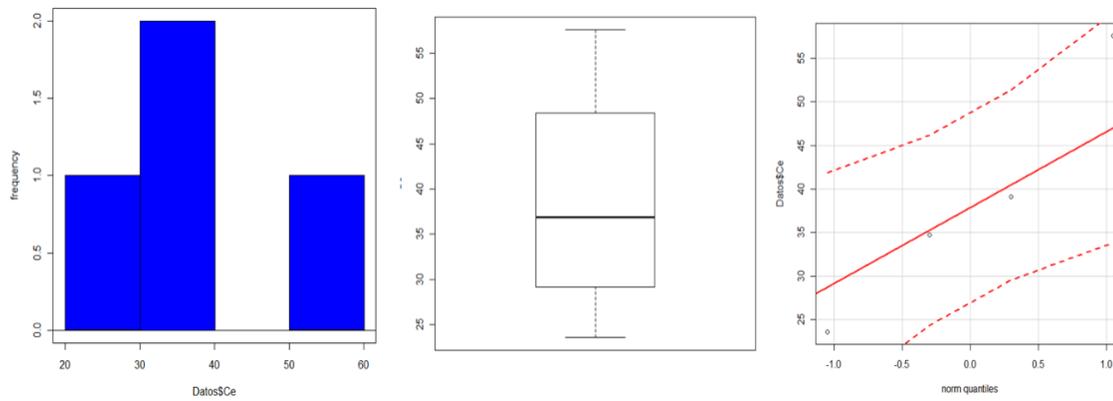


Ilustración C6 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ce.

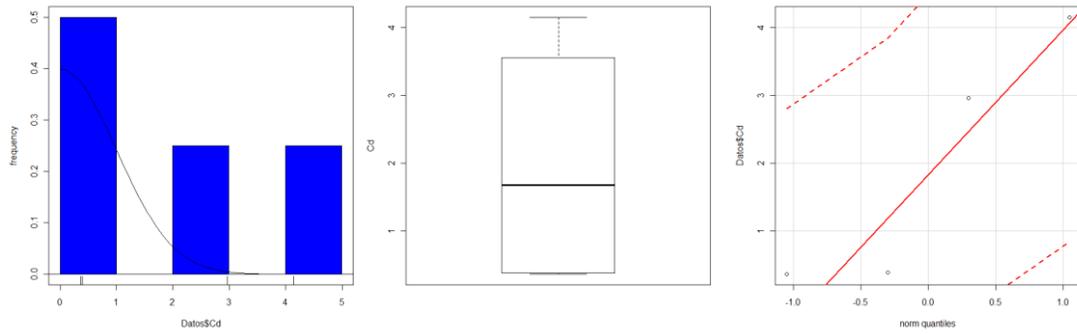


Ilustración C7 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cd.

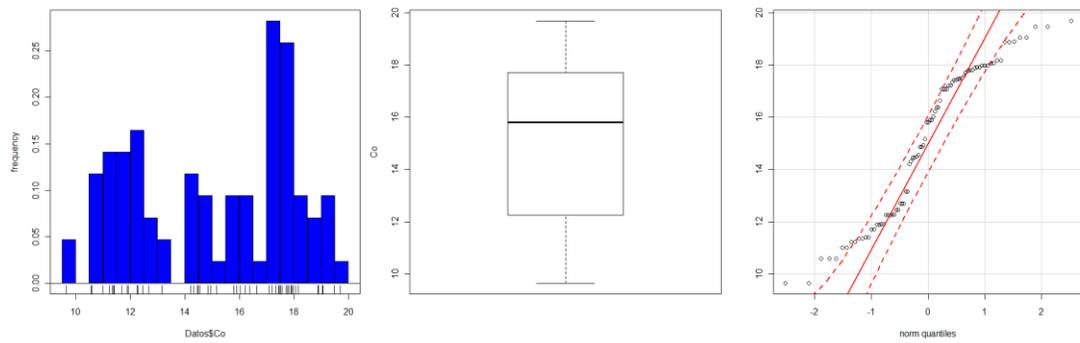


Ilustración C8 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Co

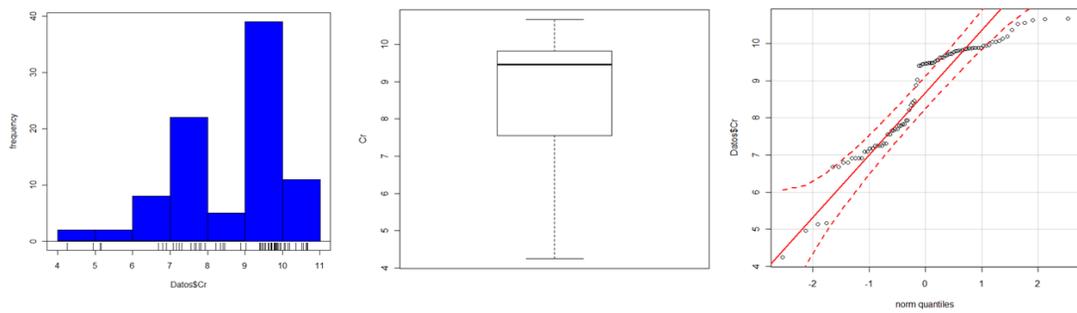


Ilustración C9 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cr. Con datos sin transformar.

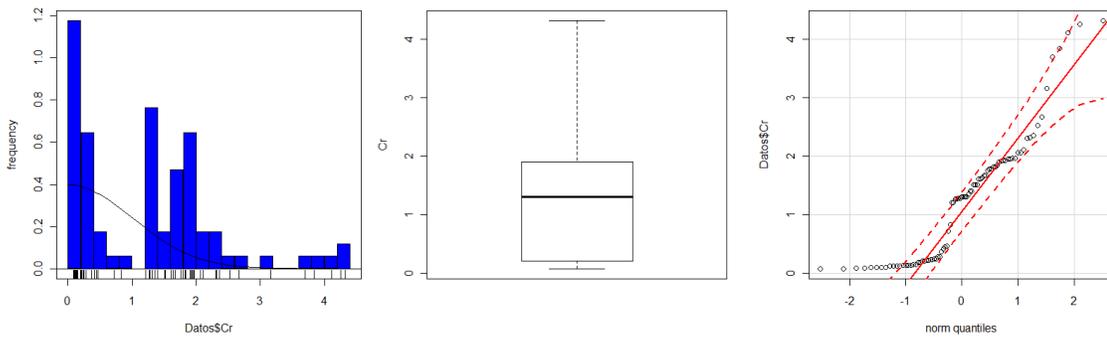


Ilustración C10 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cr (con los datos transformados)

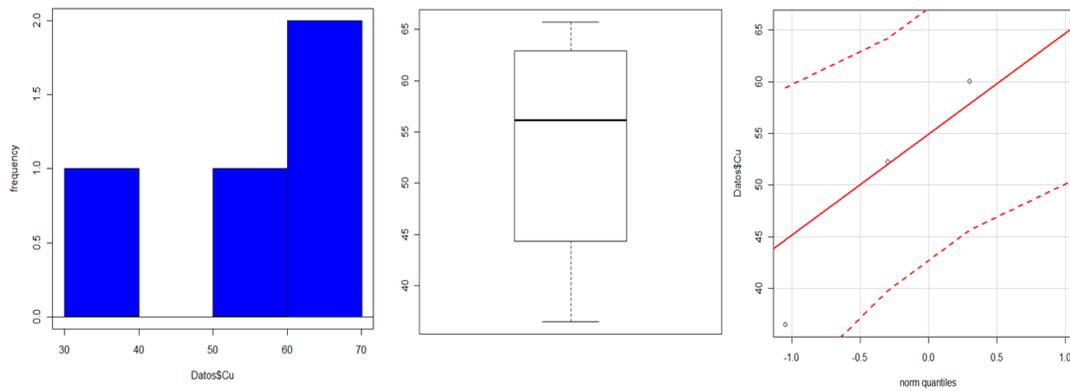


Ilustración C11 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cu.

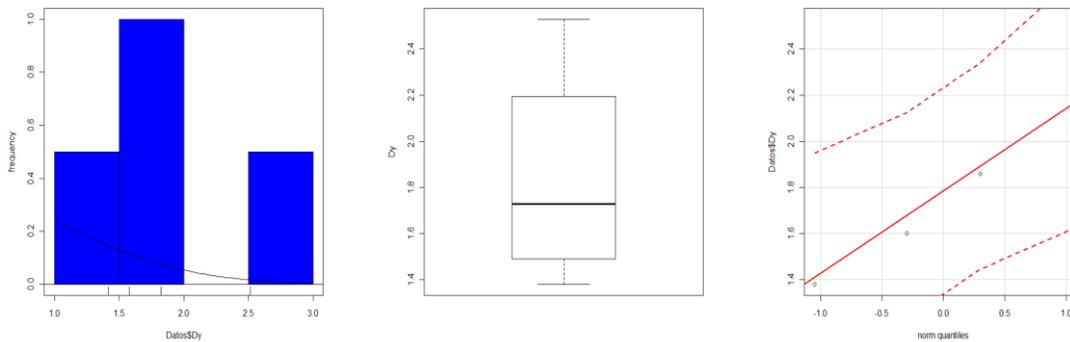


Ilustración C12 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Er.

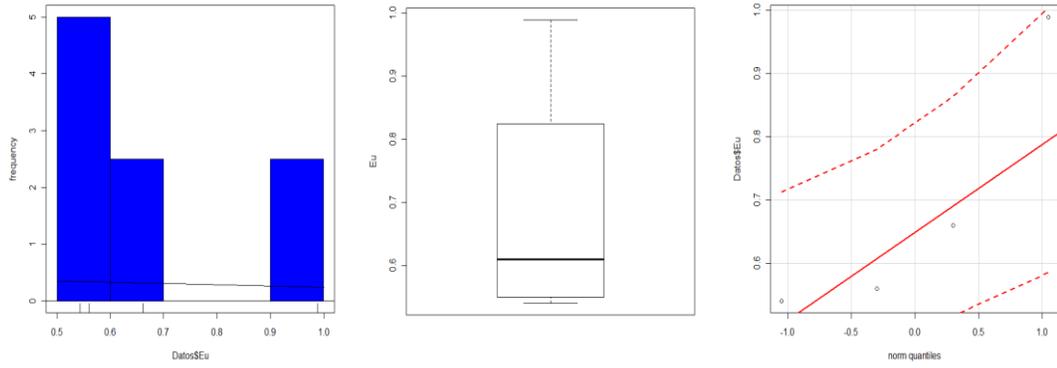


Ilustración C13 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Eu.

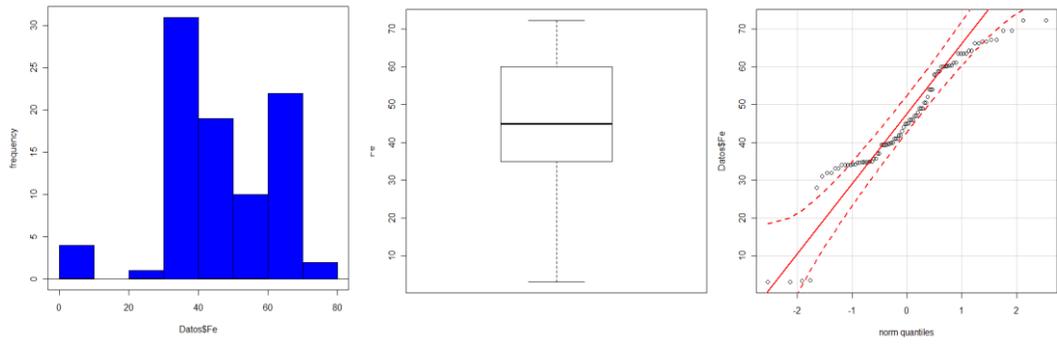


Ilustración C14 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Fe.

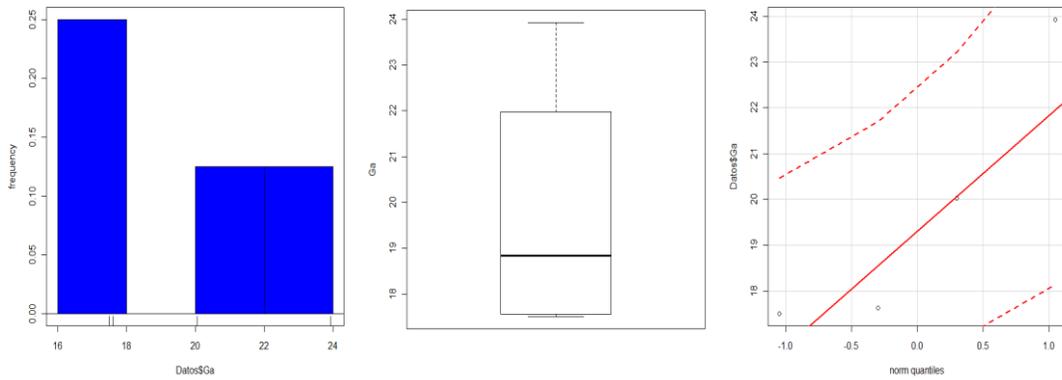


Ilustración C15 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ga.

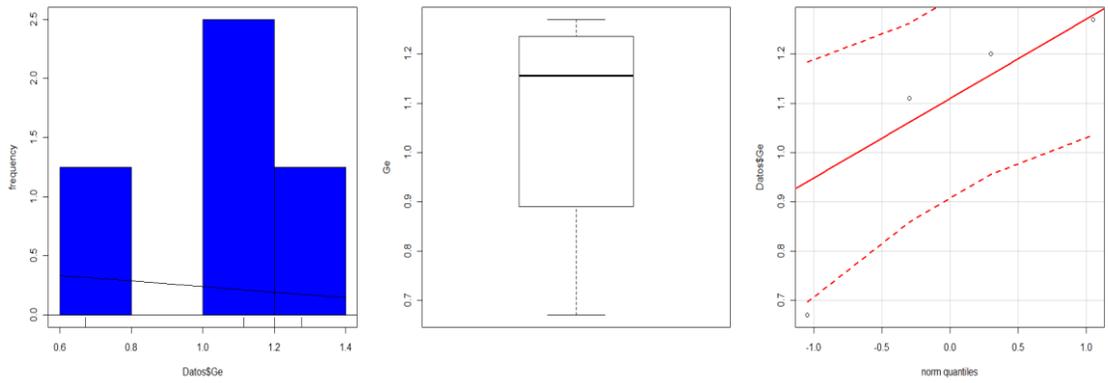


Ilustración C16 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ge .

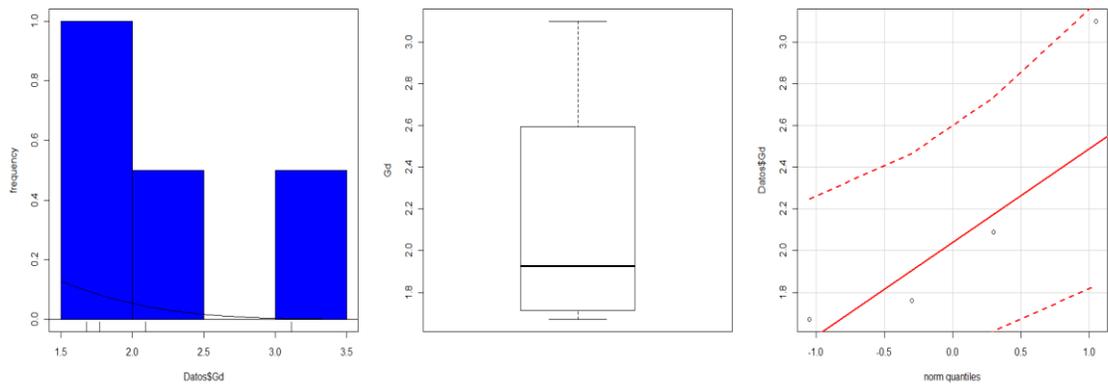


Ilustración C17 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Gd .

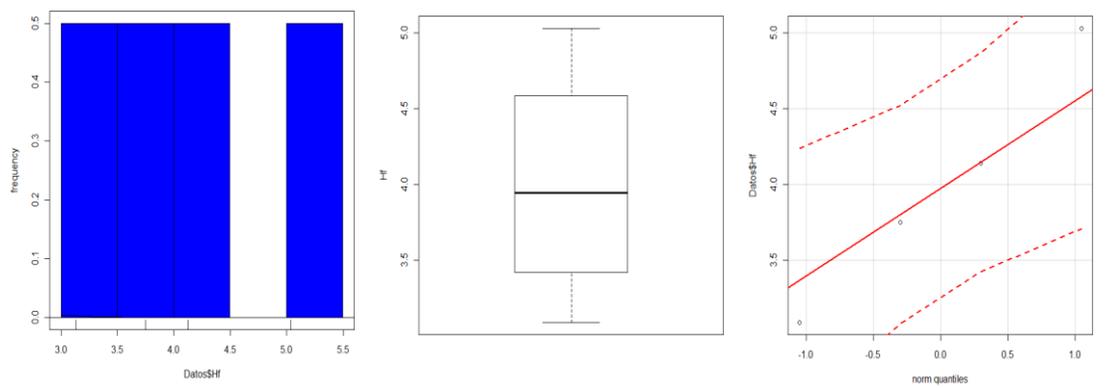


Ilustración C18 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Hf .

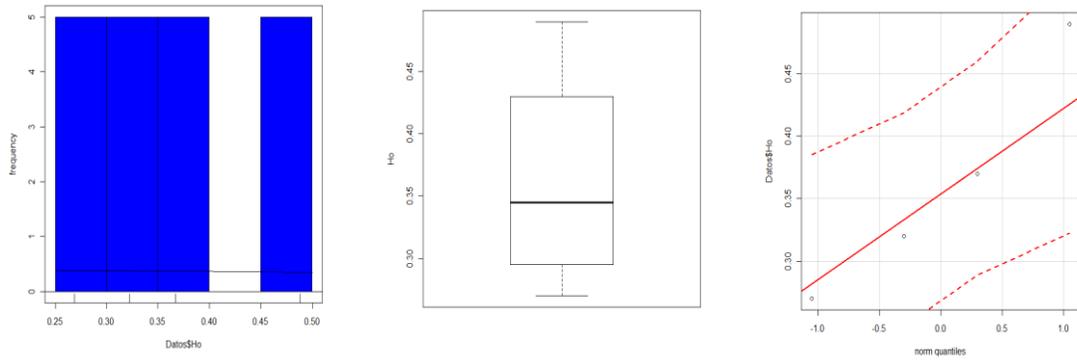


Ilustración C19 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento H_o .

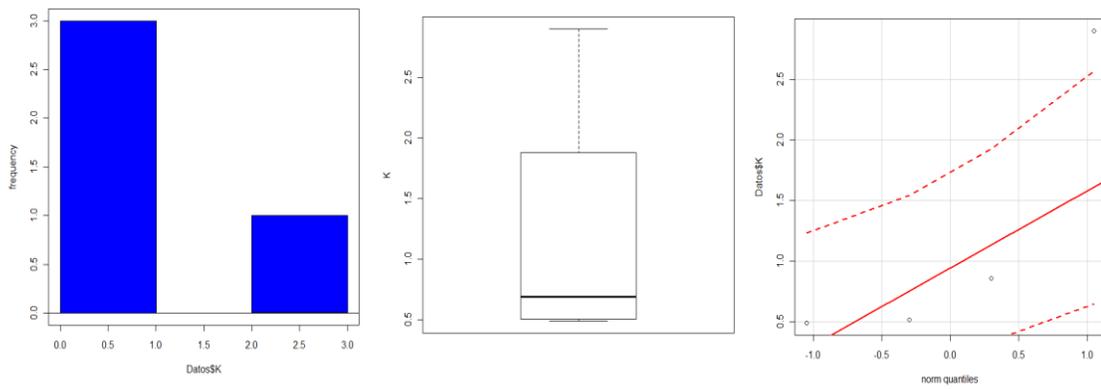


Ilustración C20 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento K

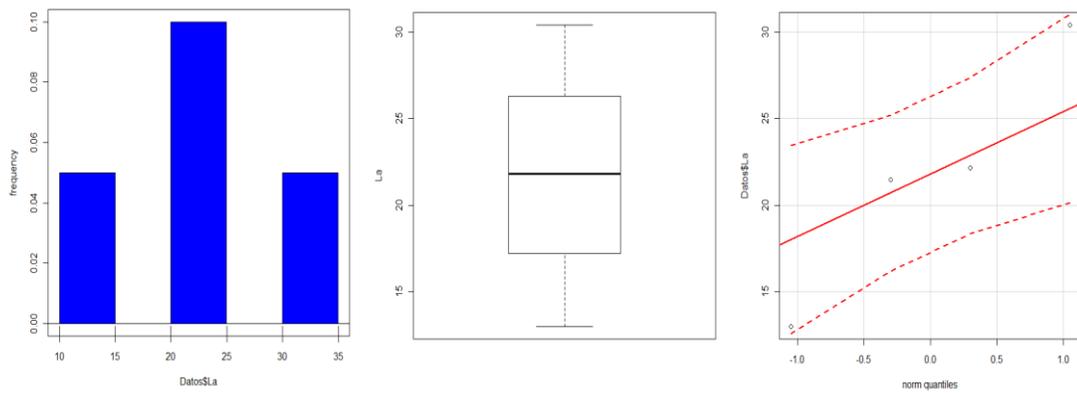


Ilustración C21 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento La .

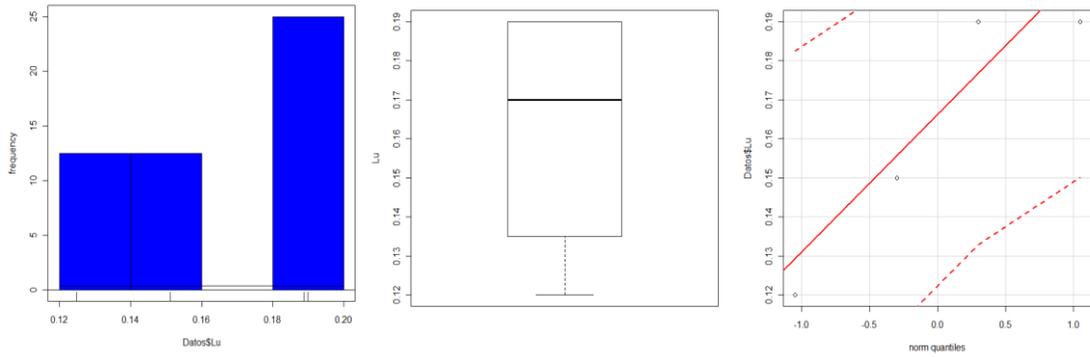


Ilustración C22 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Lu.

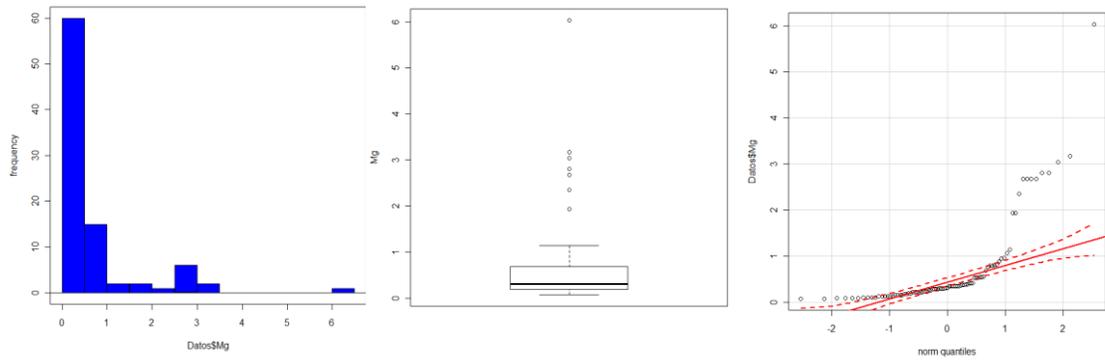


Ilustración C23 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mg.

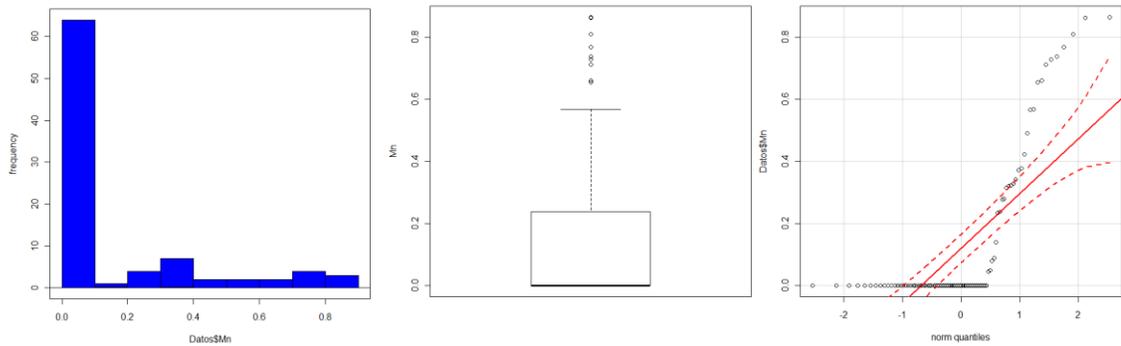


Ilustración C24 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mn.



Ilustración C25 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Na

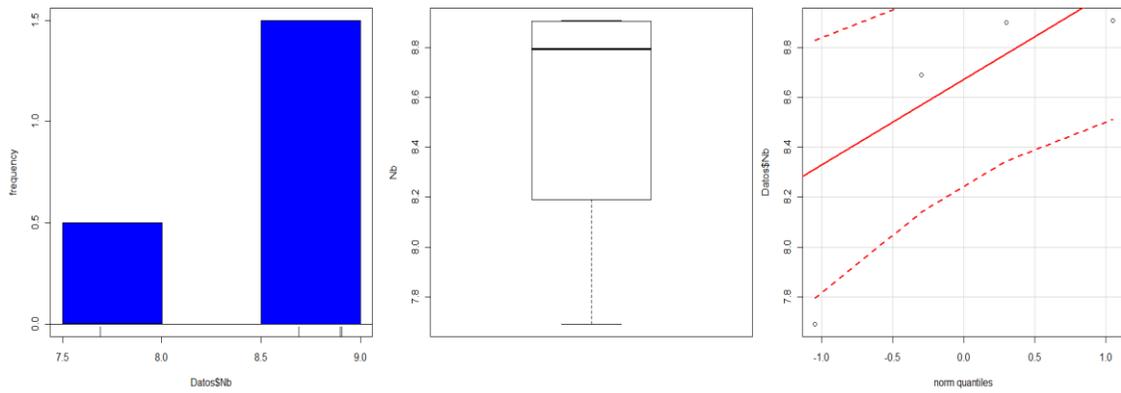


Ilustración C26 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Nb

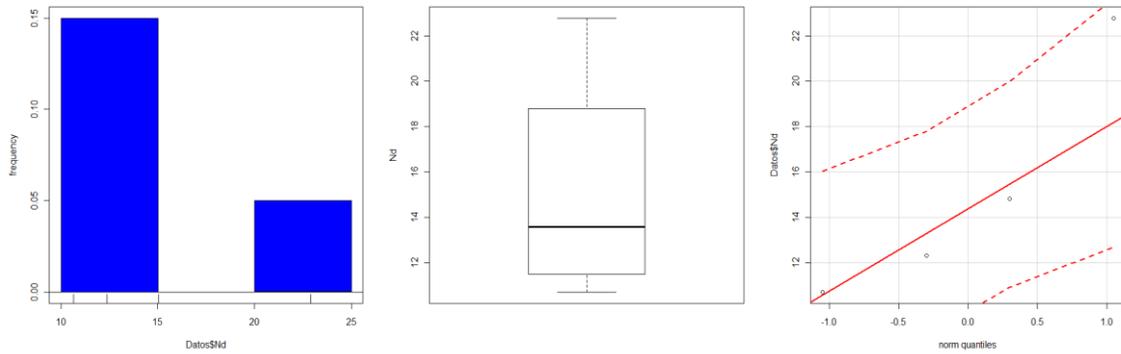


Ilustración C27 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Nd.

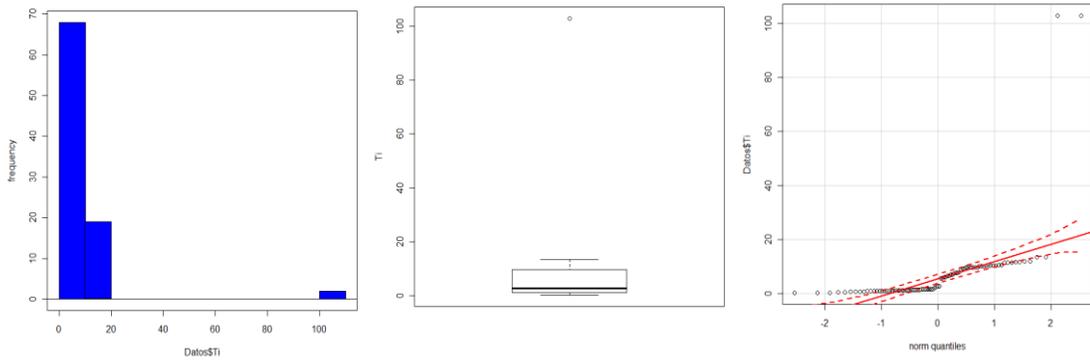


Ilustración C28 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ni

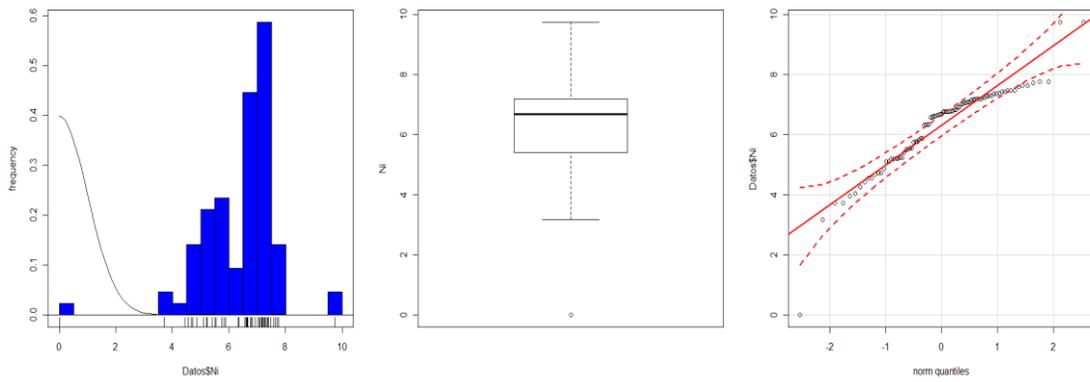


Ilustración C29 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ni (con los datos transformados).

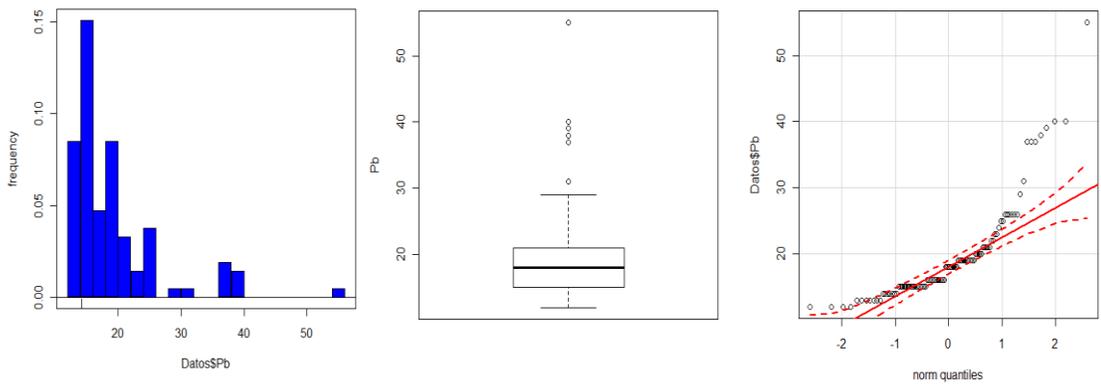


Ilustración C30 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pb.

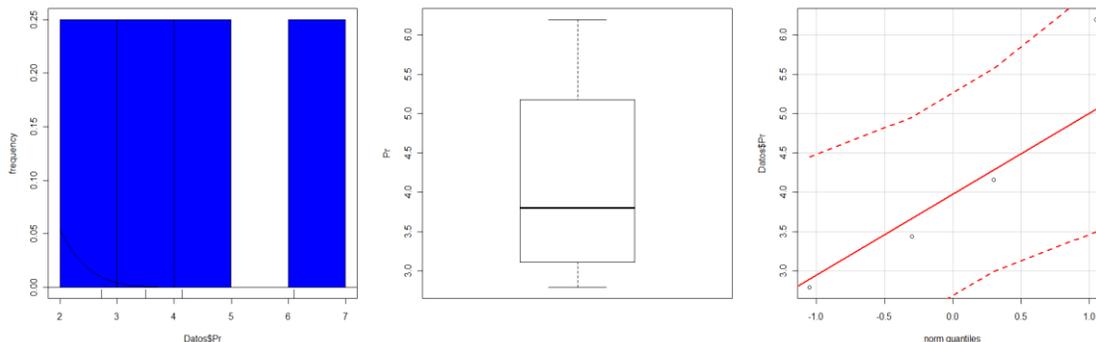


Ilustración C31 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pr.

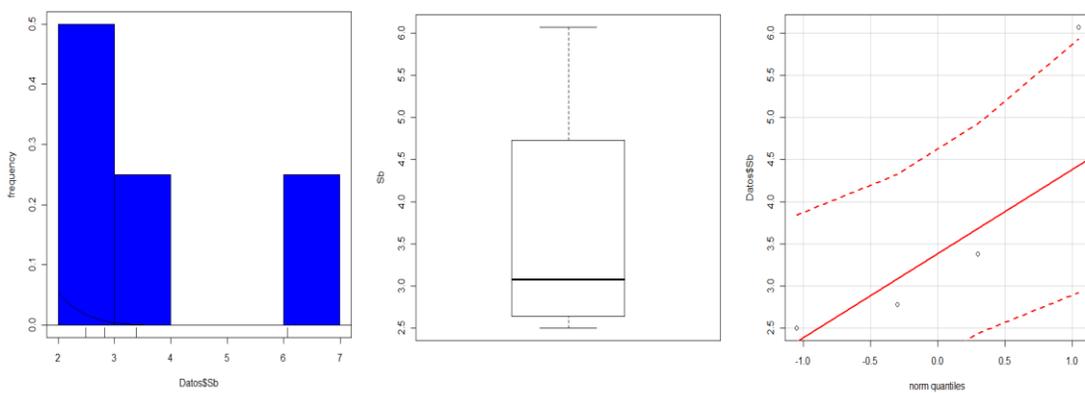


Ilustración C32 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sb.

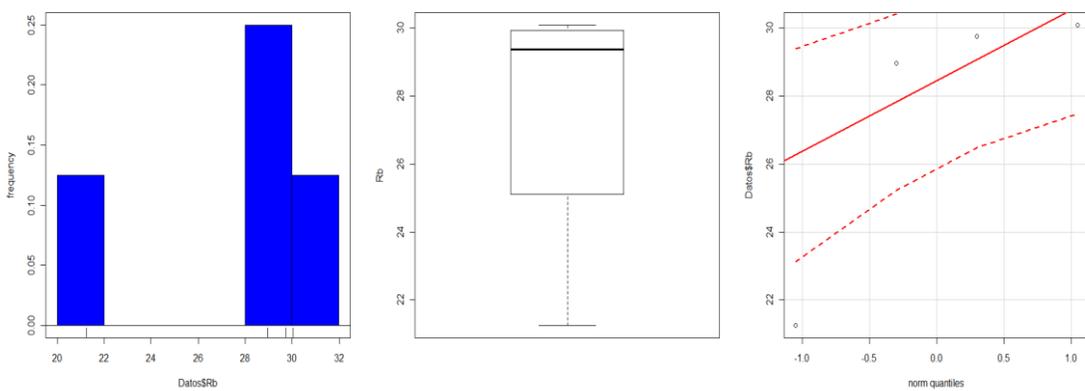


Ilustración C33 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Rb

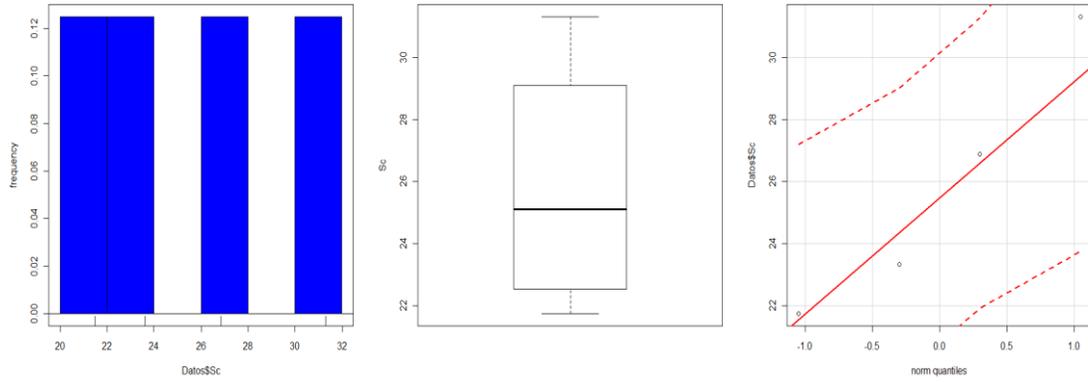


Ilustración C34 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sc

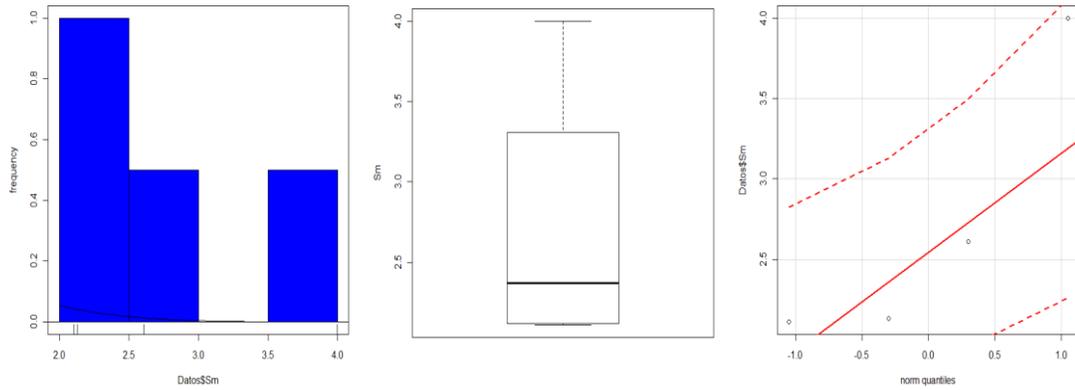


Ilustración C35 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sm

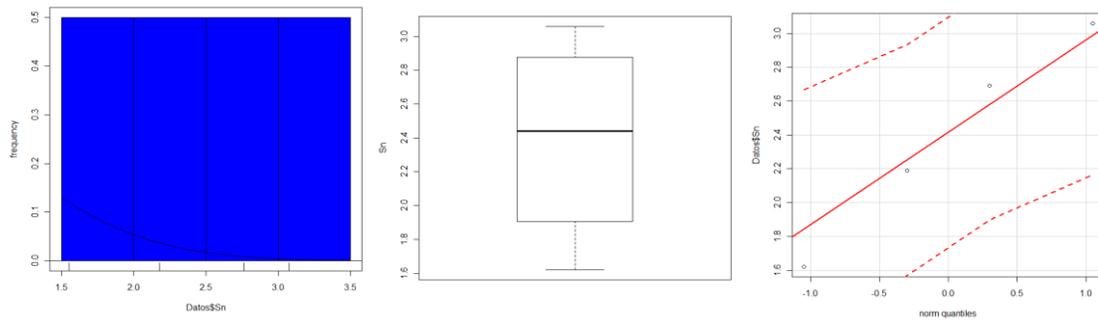


Ilustración C36 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sn

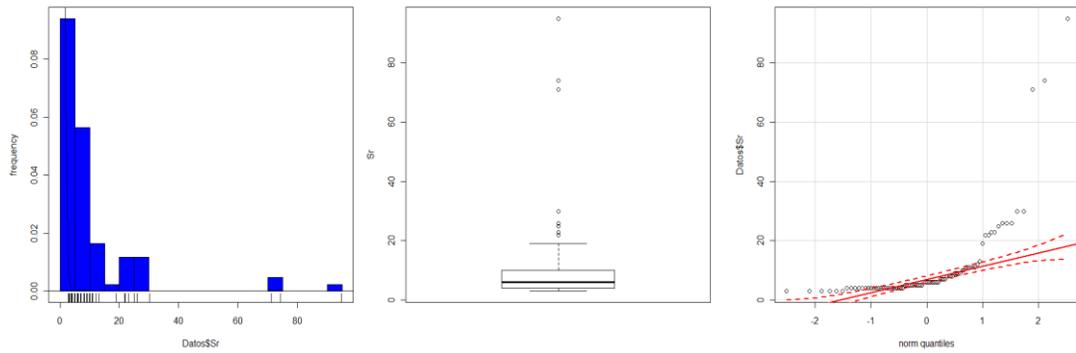


Ilustración C37 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Sr

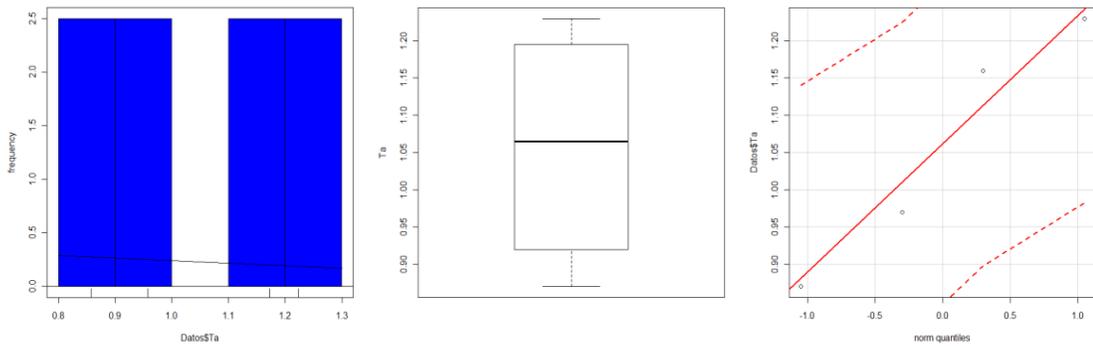


Ilustración C38 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ta

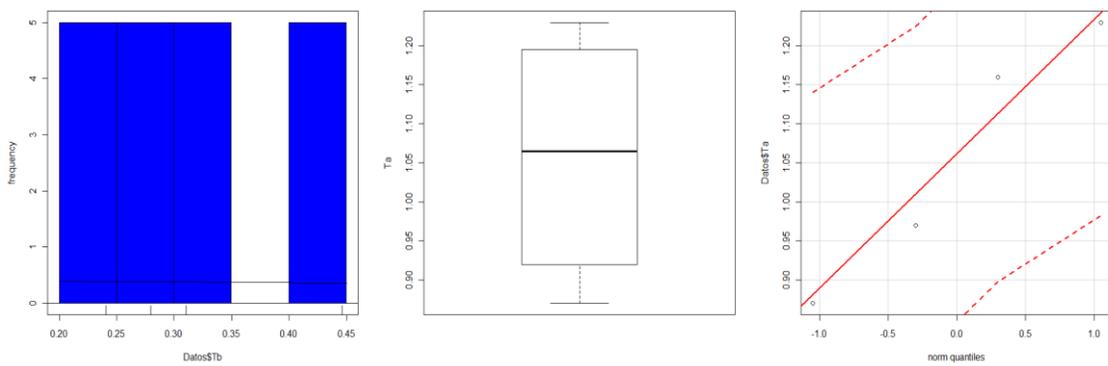


Ilustración C39 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Tb

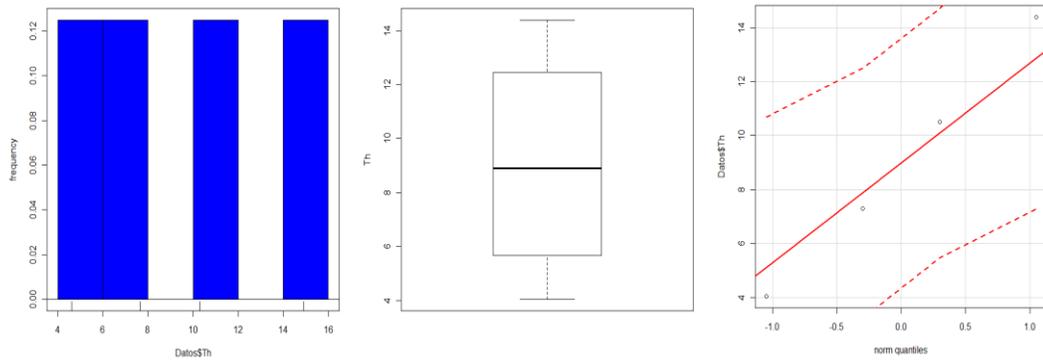


Ilustración C40 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Th

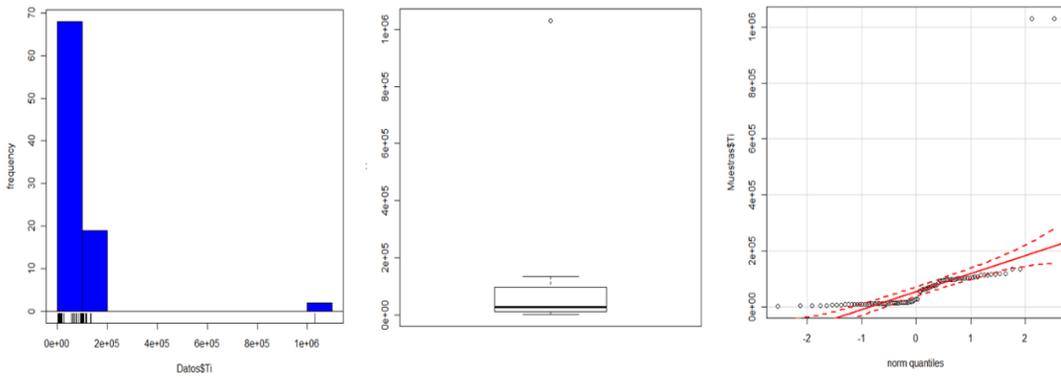


Ilustración C41 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ti

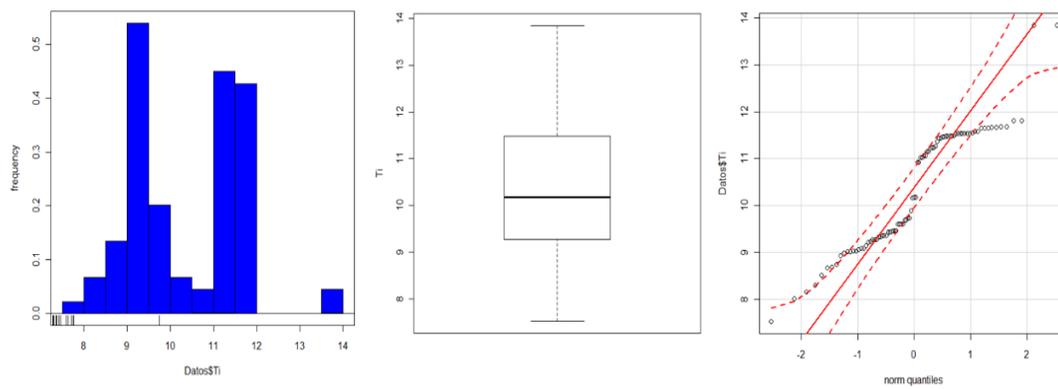


Ilustración C42 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ti (con los datos transformados)

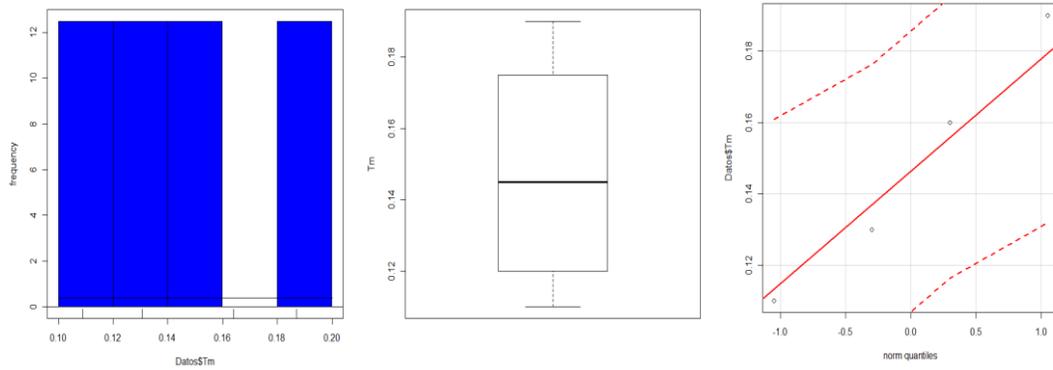


Ilustración C43 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento T_m .

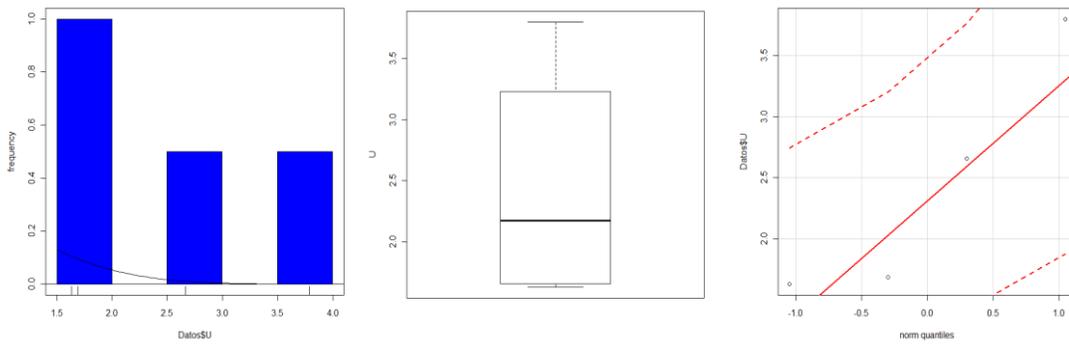


Ilustración C44 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento U

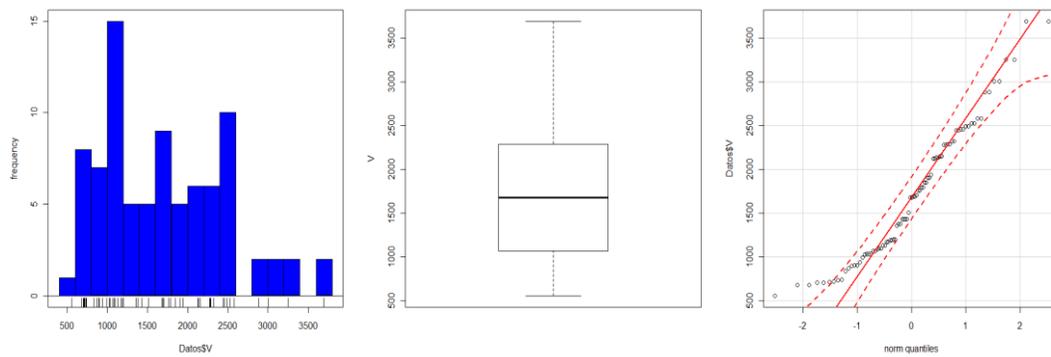


Ilustración C45 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento V

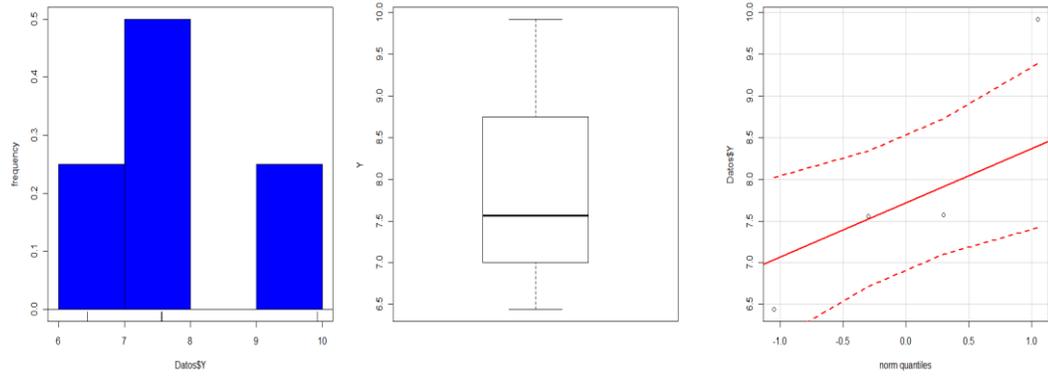


Ilustración C46 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Y

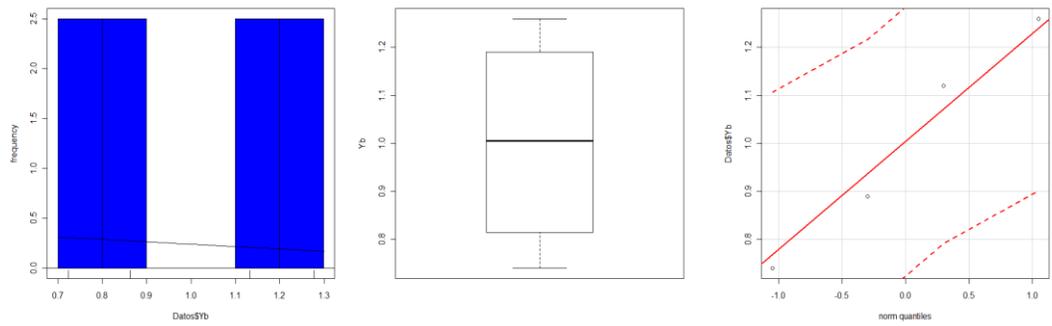


Ilustración C47 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Yb

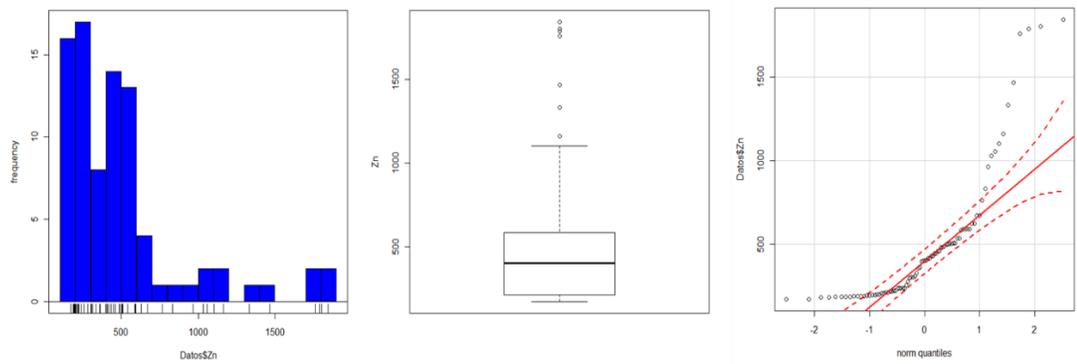


Ilustración C48 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn

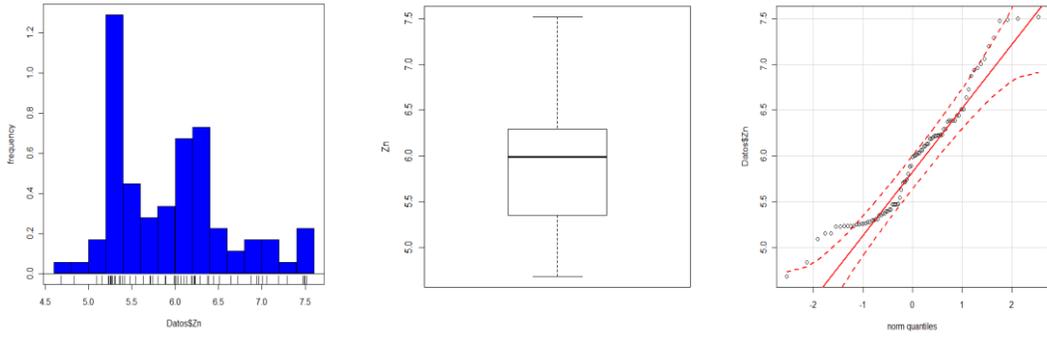


Ilustración C49 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn (con los datos transformados)

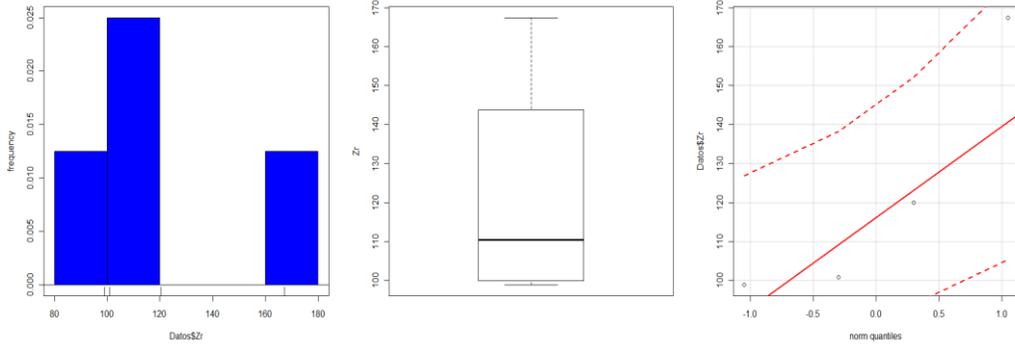


Ilustración C50 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zr.

Apéndice D. Resumen grafico de los Análisis Estadístico de Suelo en Picas

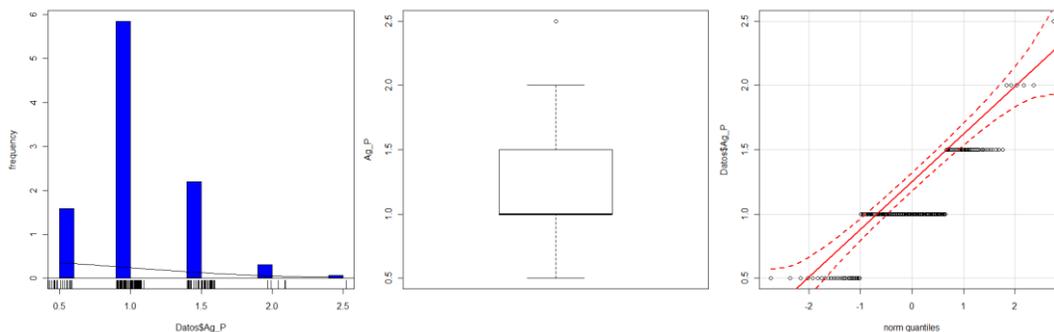


Ilustración D1 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ag

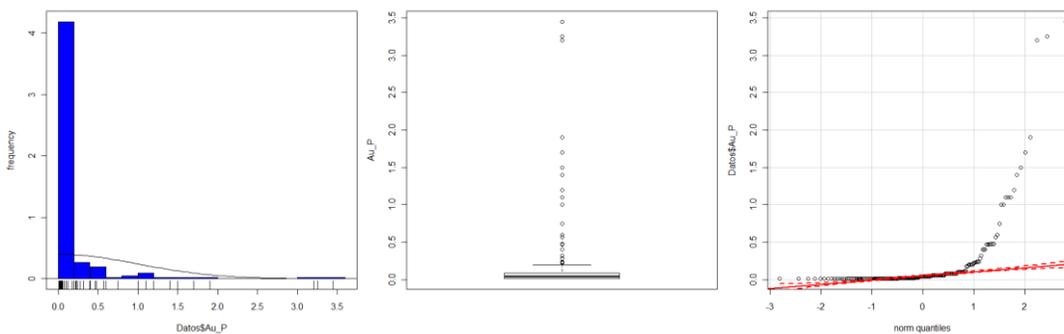


Ilustración D2 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au

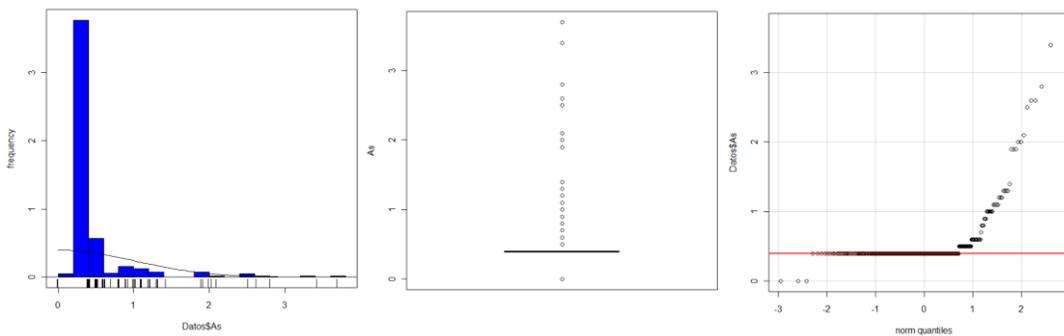


Ilustración D3 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento As

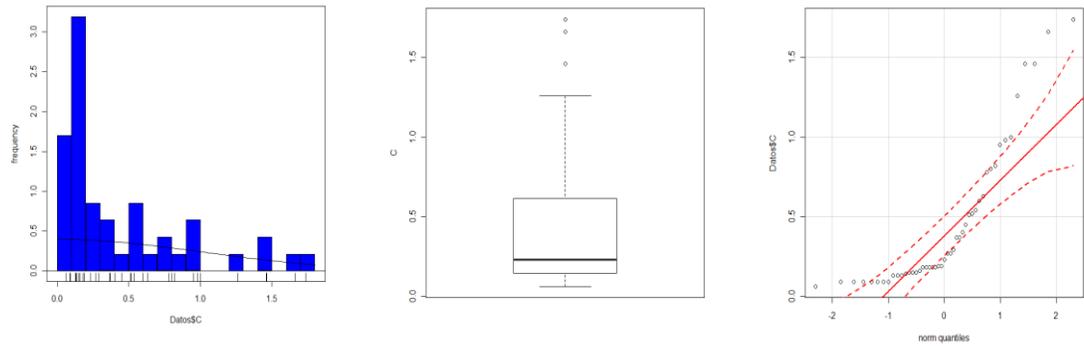


Ilustración D4 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento C

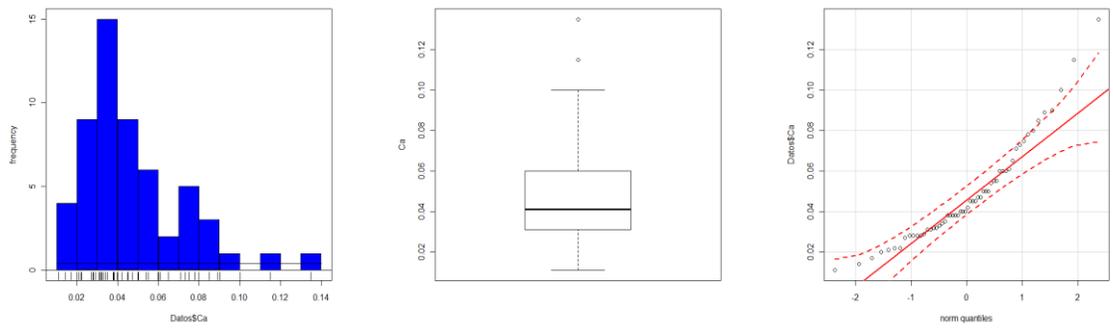


Ilustración D5 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ca

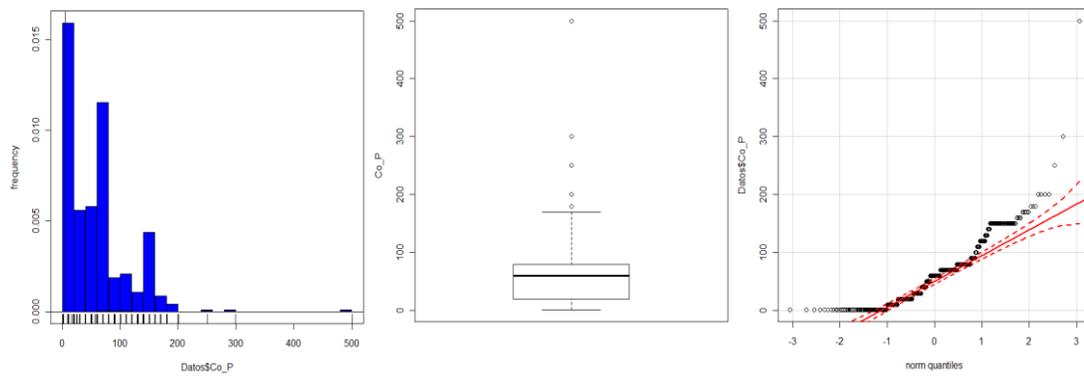


Ilustración D6 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Co

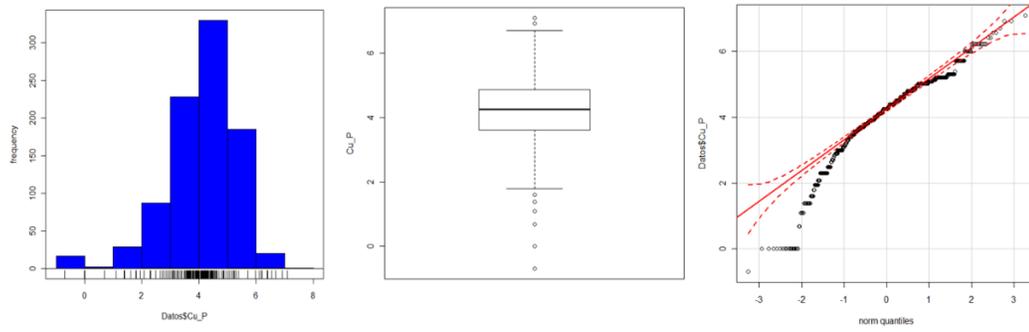


Ilustración D7 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cu

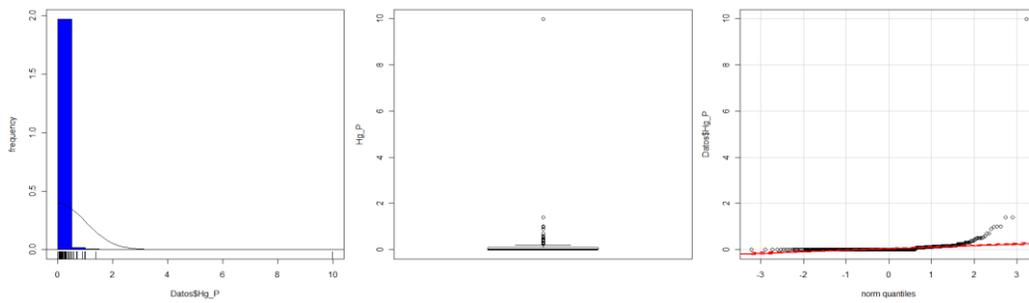


Ilustración D8 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Hg

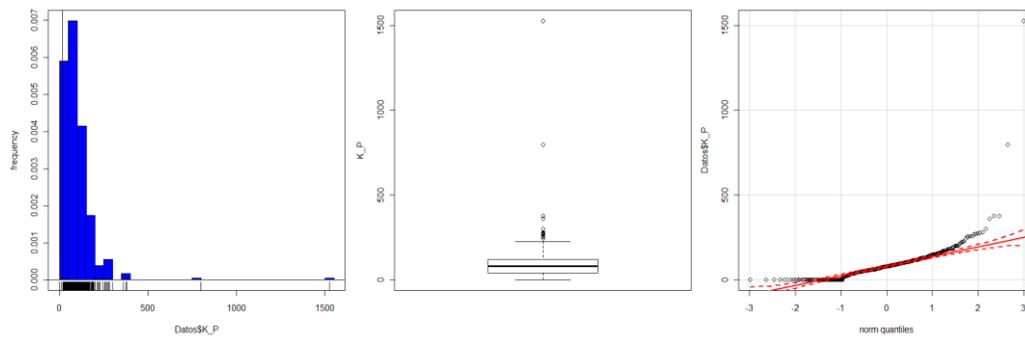


Ilustración D9 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento K

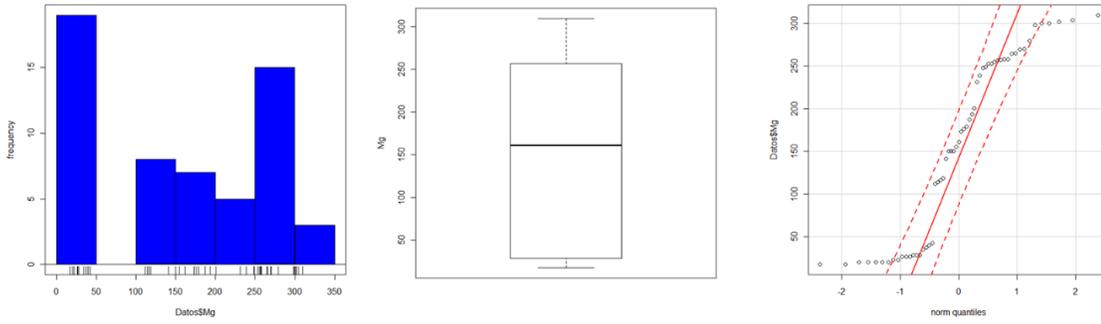


Ilustración D10 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mg

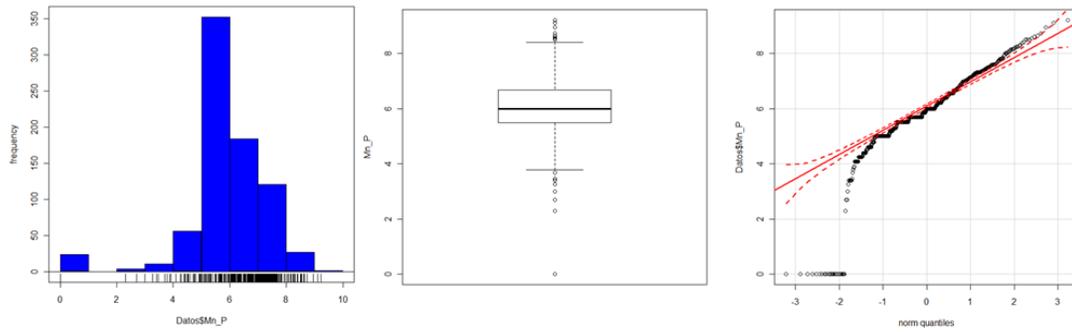


Ilustración D11 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mn

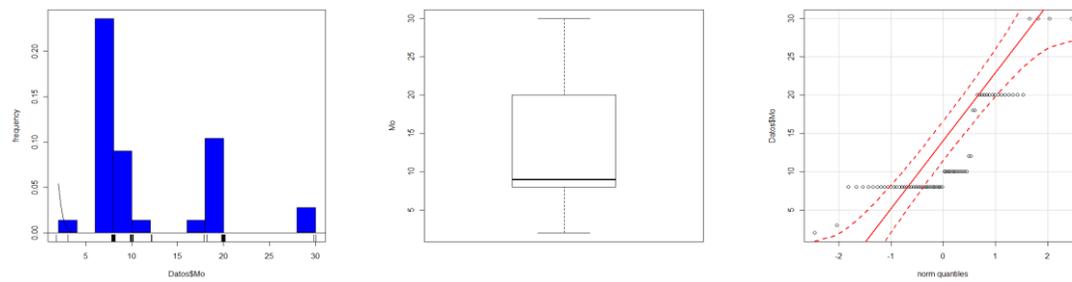


Ilustración D12 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mo

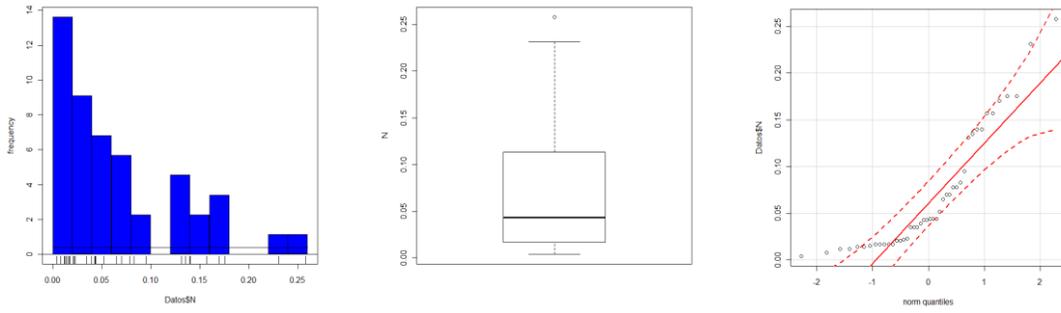


Ilustración D13 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento N

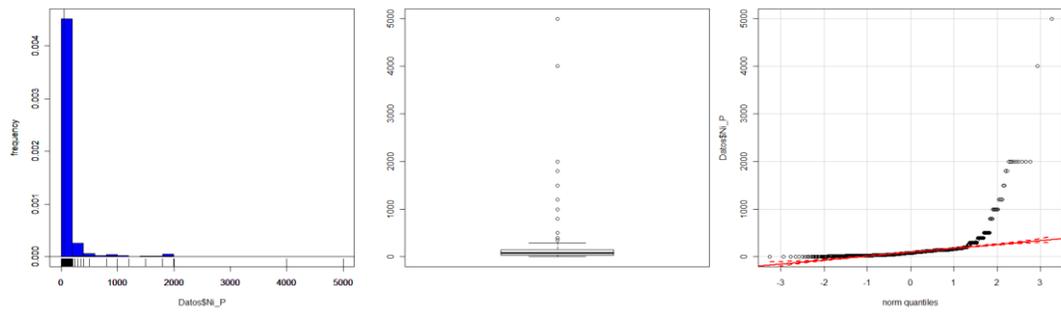


Ilustración D14 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ni

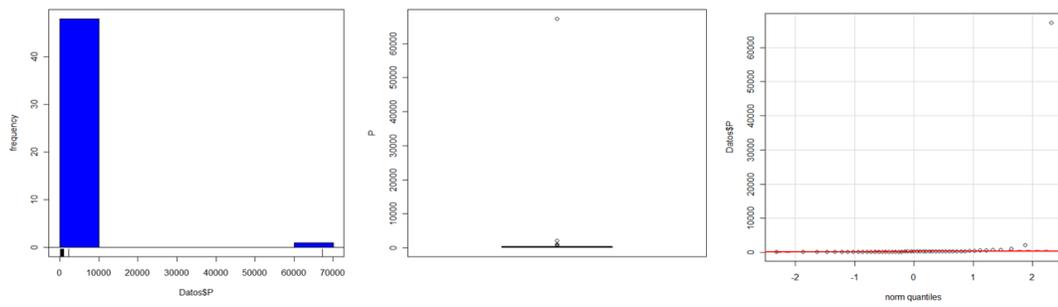


Ilustración D15 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento P

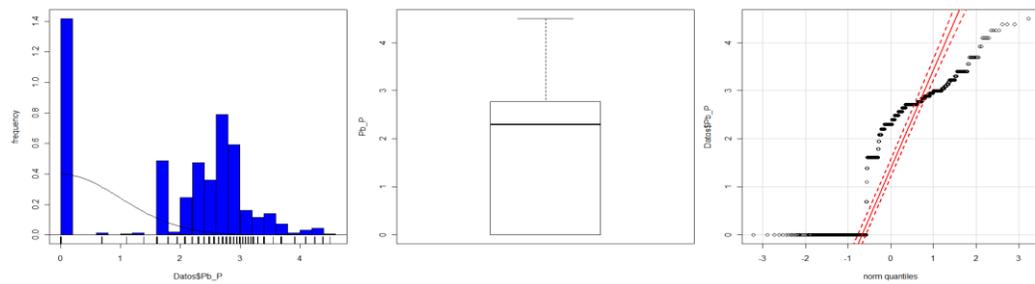


Ilustración D16 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pb

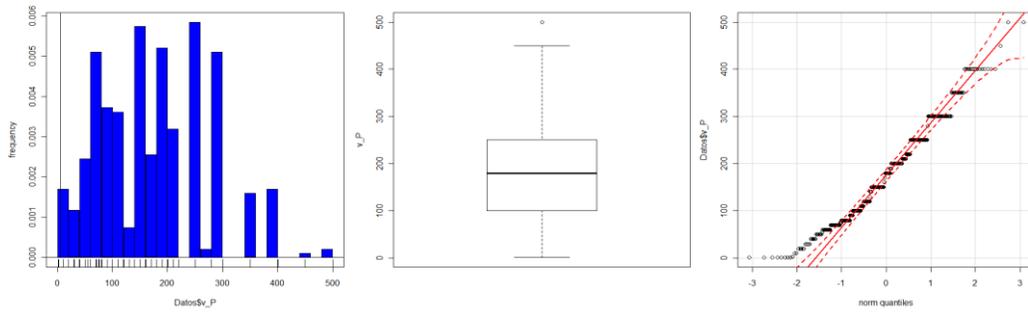


Ilustración D17 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento V.

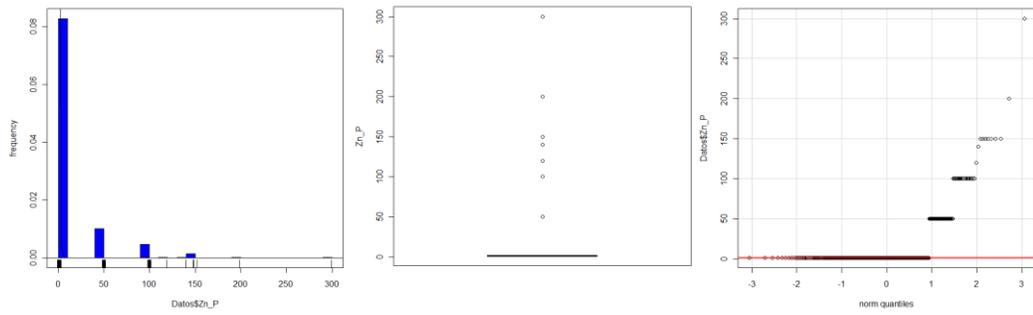


Ilustración D18 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn

Análisis Estadístico en suelo de Mallado 1 (M1).

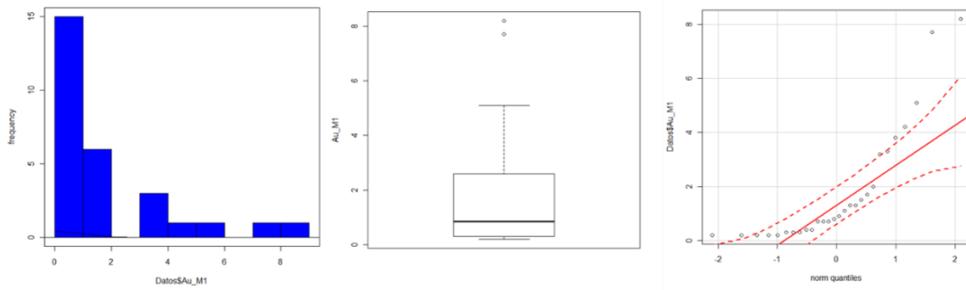


Ilustración D19 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au

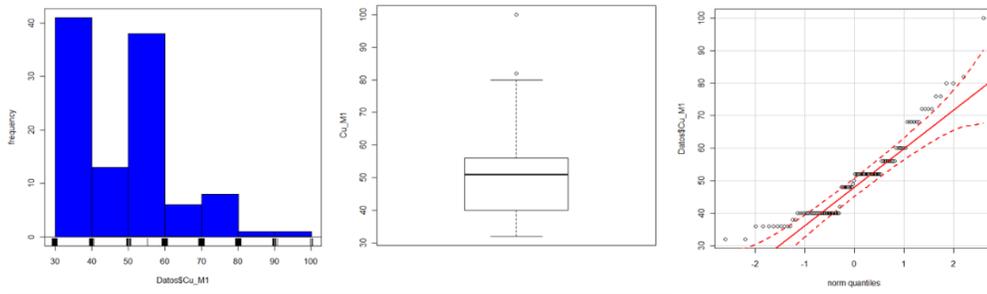


Ilustración D20 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cu

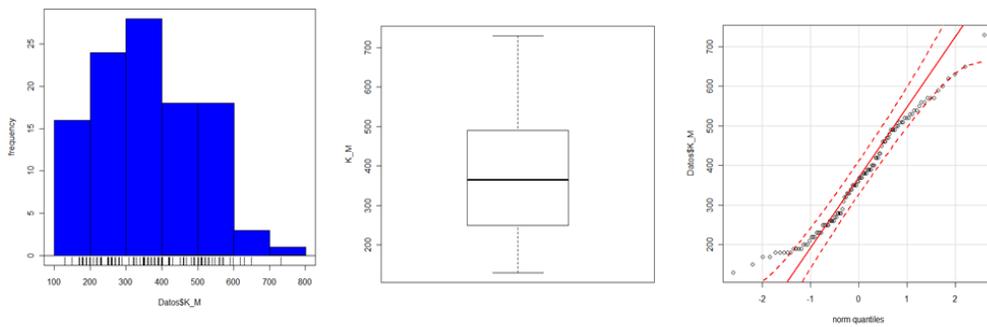


Ilustración D21 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento K

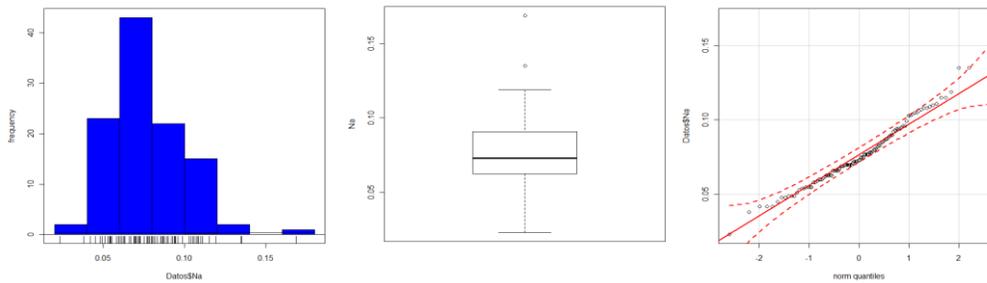


Ilustración D22 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Na

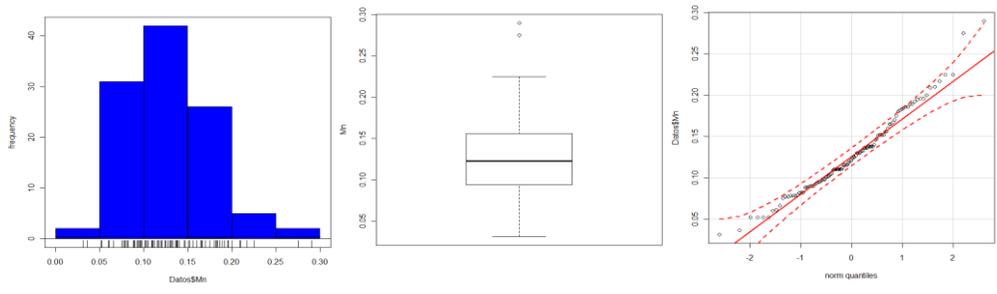


Ilustración D23 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Mn

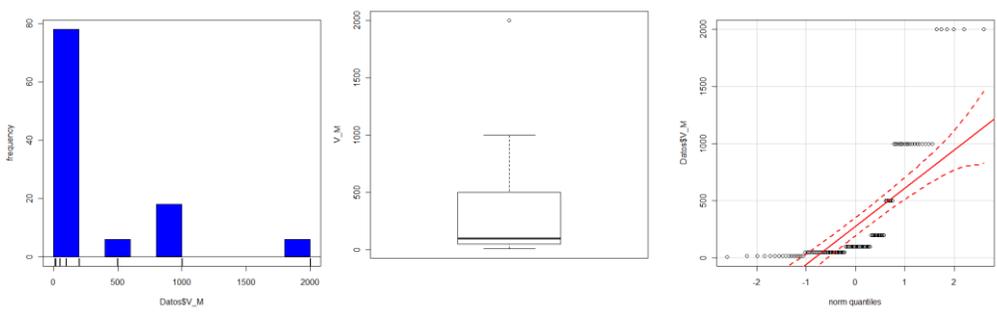


Ilustración D24 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento V sin transformar.

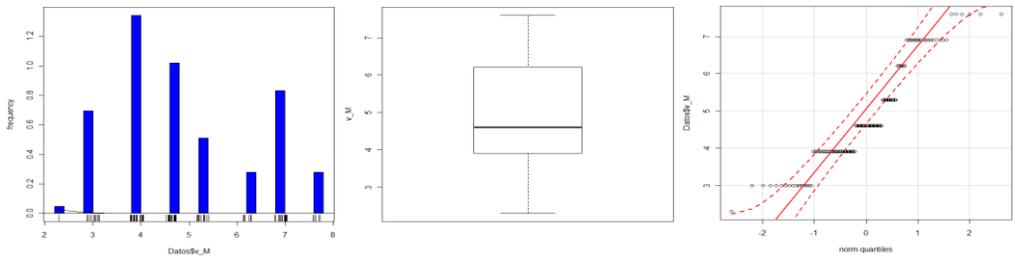


Ilustración D25 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento V transformado.

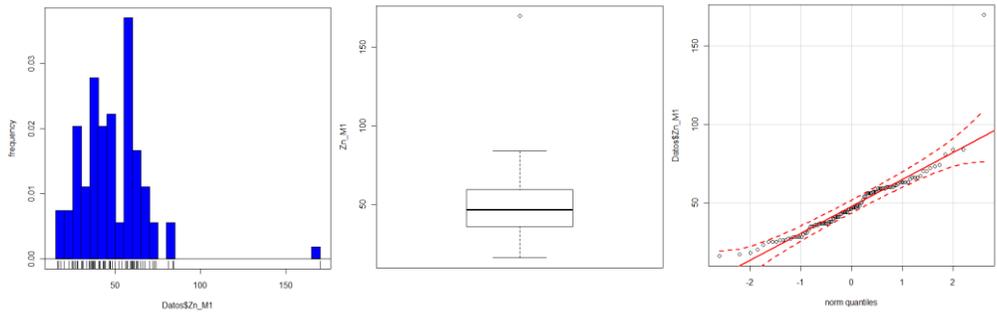


Ilustración D26 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn

Análisis Estadístico Mallado 2 (M2).

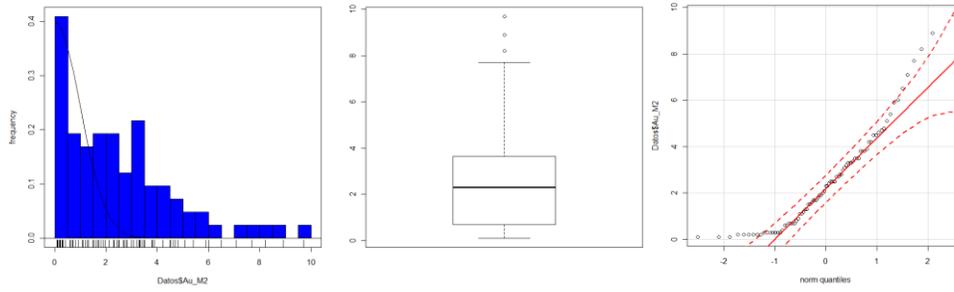


Ilustración D27 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au

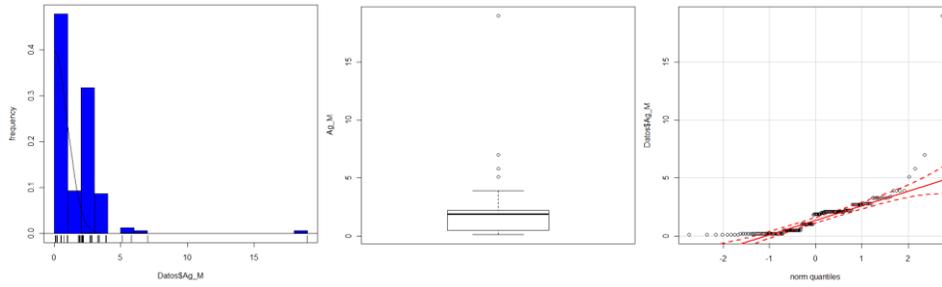


Ilustración D28 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ag

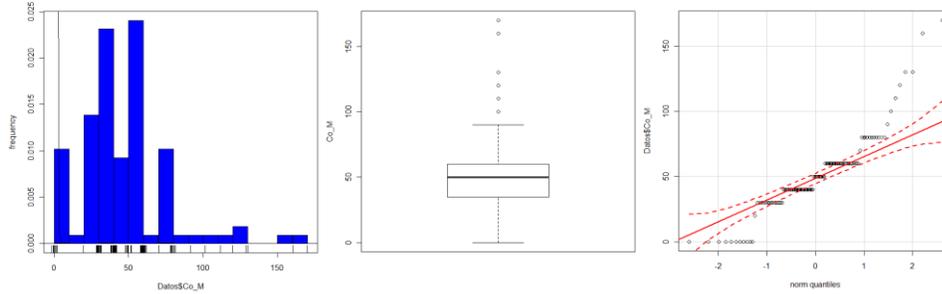


Ilustración D29 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Co

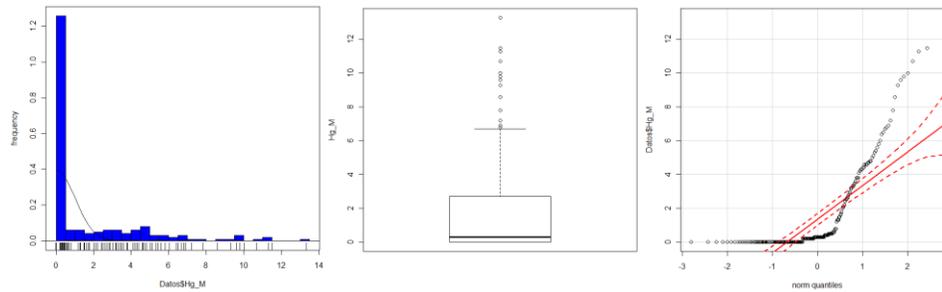


Ilustración D30 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Hg

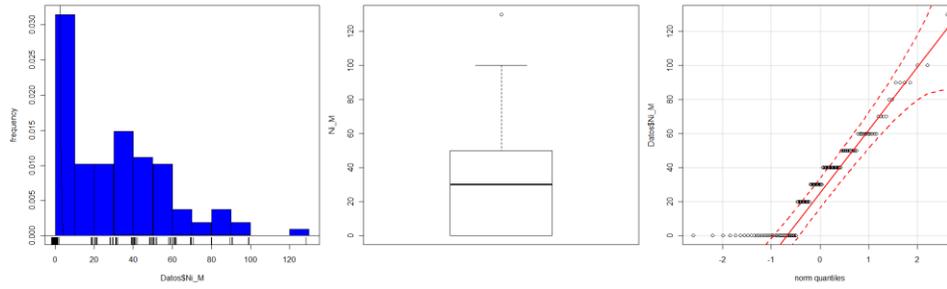


Ilustración D31 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Ni

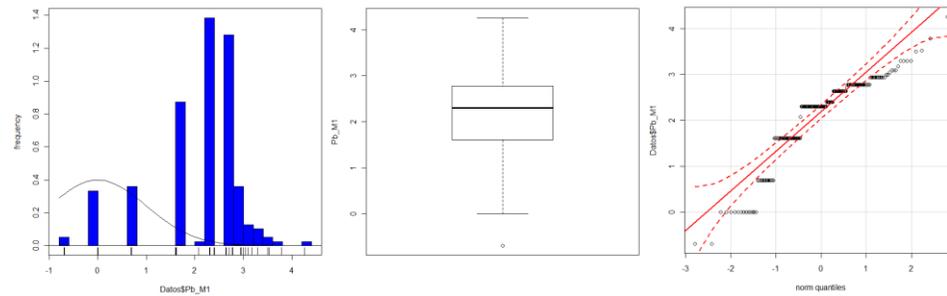


Ilustración D32 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pb

Análisis Estadístico Mallado 3 (M3).

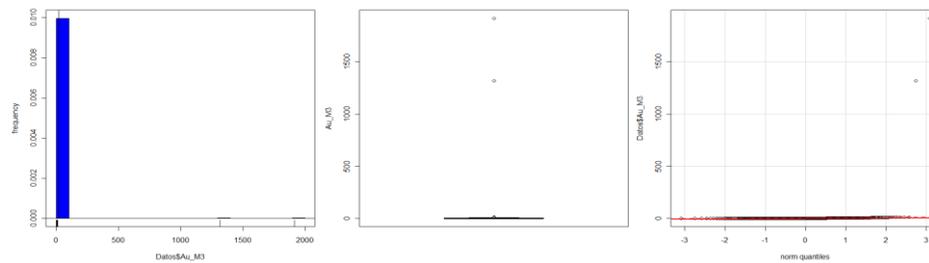


Ilustración D33 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Au

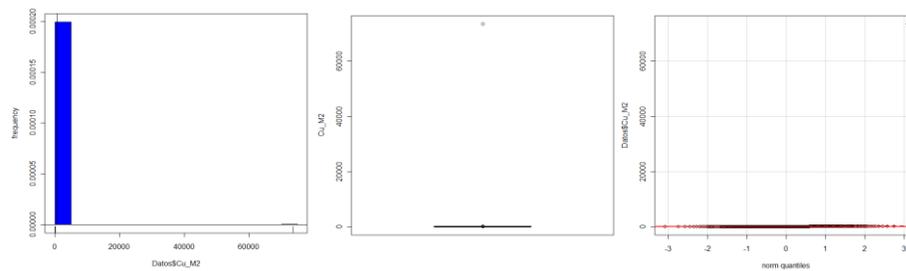


Ilustración D34 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Cu

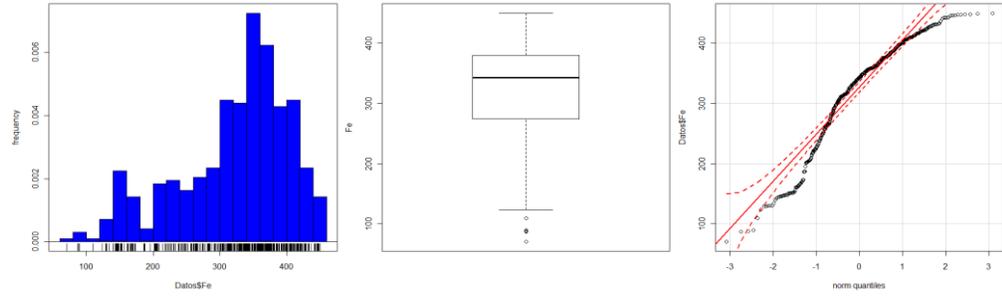


Ilustración D35 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Fe

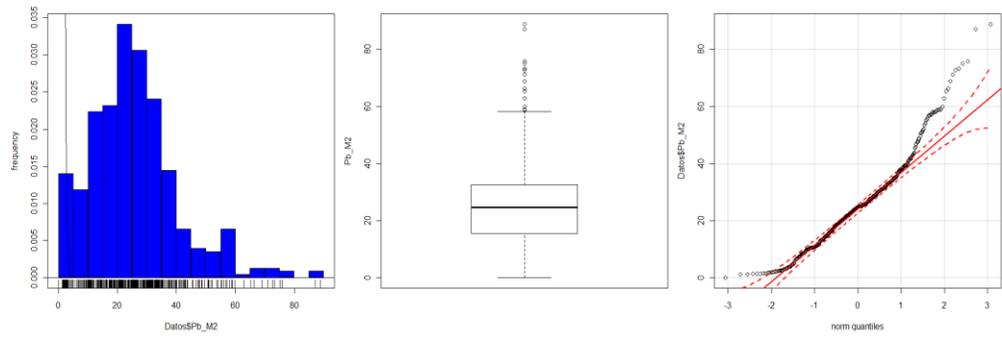


Ilustración D36 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Pb

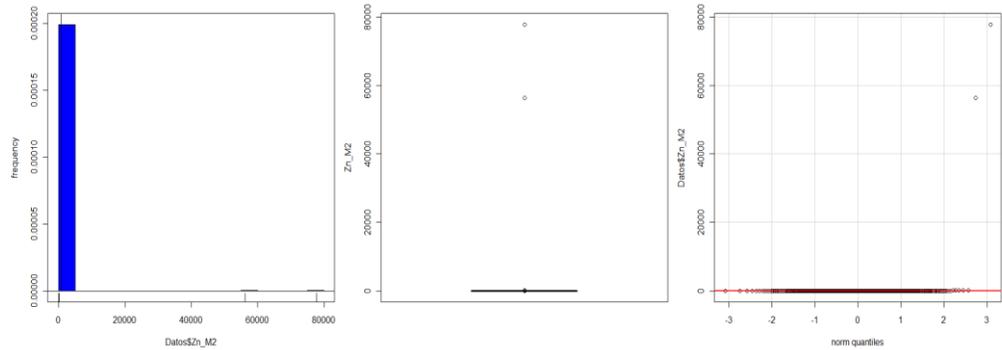


Ilustración D37 Histograma, Caja Grafica y Q-Q normal del elemento Zn

Tabla N° E2 Correlación de Pearson de suelo (picas)

	Ag	Au	As	C	Ca	Co	Cu	Hg	K	Mg	Mn	Mo	N	Ni	P	Pb	V	Zn
Ag	1,0																	
Au	0,2	1,0																
As	0,0	0,0	1,0															
C	-0,3	-0,1	0,0	1,0														
Ca	-0,6	-0,1	0,1	0,0	1,0													
Co	0,0	-0,1	0,1	0,3	-0,3	1,0												
Cu	0,0	-0,1	0,0	0,4	0,1	0,1	1,0											
Hg	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	1,0										
K	-0,2	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	-0,1	1,0									
Mg	0,3	0,1	-0,2	-0,2	-0,5	0,0	-0,2	-0,2	-0,3	1,0								
Mn	0,0	-0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,3	1,0							
Mo	0,1	-0,1	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,0	1,0						
N	0,1	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	1,0					
Ni	0,0	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,3	0,1	0,0	-0,1	1,0				
P	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	1,0			
Pb	0,1	0,0	-0,1	-0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,1	0,0	1,0		
V	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,3	0,1	0,4	0,0	0,1	-0,4	0,4	0,1	0,0	0,3	-0,1	0,1	1,0	
Zn	0,2	0,3	0,0	-0,1	-0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	-0,1	0,1	0,0	1,0

Tabla N° E3 Correlación de Pearson de suelo (mallado)

	Ag(M2)	Au(M1)	Au(M2)	Au(M3)	Co(M2)	Cu(M1)	Cu(M2)	Fe(M3)	Hg(M)	K(M1)	Mn(M1)	Na(M1)	Ni(M2)	Pb(M3)	Pb(M2)	V(M1)	Zn(M1)	Zn(M3)
Ag(M2)	1,00																	
Au(M1)	-0,25	1,00																
Au(M2)	-0,12	0,41	1,00															
Au(M3)	-0,08	0,27	0,08	1,00														
Co(M2)	-0,13	-0,17	-0,12	0,13	1,00													
Cu(M1)	0,15	-0,07	-0,19	0,05	0,09	1,00												
Cu(M2)	0,08	0,22	0,02	0,00	-0,02	0,02	1,00											
Fe(M3)	-0,01	0,31	-0,05	0,05	0,02	0,01	-0,03	1,00										
Hg(M)	0,37	-0,06	-0,11	-0,09	-0,05	0,22	-0,07	-0,20	1,00									
K(M1)	-0,14	-0,17	0,05	0,19	0,11	0,16	0,13	0,16	-0,08	1,00								
Mn(M1)	-0,02	-0,33	-0,10	0,03	0,30	0,42	0,05	-0,06	0,00	-0,12	1,00							
Na(M1)	0,09	0,24	0,01	0,06	-0,13	0,37	0,06	0,09	0,21	0,43	-0,20	1,00						
Ni(M2)	0,04	0,07	-0,12	0,03	0,15	0,09	-0,24	-0,05	-0,16	0,12	0,03	-0,03	1,00					
Pb(M3)	0,28	-0,19	-0,06	0,04	0,07	-0,03	0,30	0,16	0,03	-0,17	0,01	-0,18	0,23	1,00				
Pb(M2)	0,20	0,03	0,04	0,10	-0,14	0,08	0,03	-0,12	0,17	-0,06	0,00	0,13	-0,07	0,03	1,00			
V(M1)	-0,13	-0,29	-0,16	-0,08	0,14	0,19	-0,10	0,21	-0,18	0,23	0,20	0,07	0,10	0,08	-0,17	1,00		
Zn(M1)	-0,10	-0,18	-0,03	-0,09	0,19	0,42	-0,03	0,10	-0,22	0,19	0,27	0,08	0,11	0,06	-0,13	0,25	1,00	
Zn(M3)	-0,03	-0,33	-0,07	0,00	-0,05	-0,02	0,00	0,02	-0,16	0,27	-0,05	-0,01	-0,08	0,13	0,03	-0,04	-0,06	1,00

Apéndice F. Semivariogramas de los elementos de suelo (Mallado)

	Ag(M2)	Au(M1)	Au(M2)	Au(M3)	Co(M2)	Cu(M1)	Cu(M3)	Hg(M2)	Fe(M3)	K(M1)	Mn(M1)	Na(M1)	Ni(M2)	Pb(M2)	Pb(M3)	V(M1)	Zn(M1)	Zn(M3)
Tipo	Ordinary																	
Number of lags	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Lag size	15	70	81	70	178	132	125	198	124	132	38	40	45	198	124	75	60	125
Model type	Exponential																	
Nugget	1	1	3	0	430	76	8	6	19	3784	71252	0	195	49	0	28882	122	19
Partial sill	2	1	1	0	695	55	4	0	23909000	0	146197	0	556	17	6	154011	310	0
Range	175	835	961	830	2103	1493	1468	2241	1468	1501	446	468	452	2341	1468	893	711	1406
Anisotropy	si																	

Anexos

Todos los mapas se encuentran en un CD ubicado en la página XLIII, puesto que se adquirieron un total de 100 mapas entre geológicos y geoquímicos, clasificándolos y ordenándolos de la siguiente manera:

Anexo I (mapas topográficos, geológico y ubicación de muestras).

Dentro de esta carpeta se clasificó de la siguiente manera:

- Mapas geológico 1:50.000
- Mapas Geológicos 1:100.000
- Mapas de ubicación de muestras
- Mapas Topográficos

Anexo II (mapas geoquímicos de sedimentos).

Anexo III (mapas geoquímicos de suelos en picas).

Anexo IV (mapas geoquímicos de suelo en mallados).

Dentro de esta carpeta se clasificó de la siguiente manera:

- MALLADO 1
- MALLADO 2
- MALLADO 3

Anexo V (mapas compilados en los antecedentes).

CD de ubicación de apéndices y anexos.