



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

Caracterización geoquímica y mineralógica de rocas sedimentarias en el Polígono La Hoyada, sector Puyango con fines prospectivos.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Celi Celi, Byron Eduardo

DIRECTOR: Manrique Carreño, John Luis, M. Sc.

CODIRECTOR: Soto Luzuriaga, John Egverto, M. Sc.

LOJA – ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc.

John Luis Manrique Carreño.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Caracterización geoquímica y mineralógica de rocas sedimentarias en el polígono La Hoyada. Sector Puyango con fines prospectivos, realizado por Celi Celi Byron Eduardo, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Marzo de 2017

.....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Celi Celi Byron Eduardo declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “Caracterización geoquímica y mineralógica de rocas sedimentarias en el polígono La Hoyada. Sector Puyango con fines prospectivos”, de la Titulación en Geología y Minas, siendo el MSc. John Luis Manrique Carreño director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

.....

Celi Celi Byron Eduardo.

1104478506

DEDICATORIA.

Dedico este logro a mi familia por ser un apoyo en todos los aspectos de mi vida, por estar junto a mí durante mi carrera universitaria y brindándome su ejemplo de honorabilidad, rectitud y cariño. Lo dedico también a todas las personas que con su aporte moral y científico contribuyeron a mi formación, tanto académica como personal.

El Autor.

AGRADECIMIENTO.

Mi agradecimiento a la Universidad Técnica Particular de Loja, a los ingenieros de la titulación de Geología y Minas, en especial al Ingeniero John Manrique director de la presente investigación, a mis amigos y compañeros de carrera con los que he compartido momentos inolvidables y a todos aquellos que colaboraron en la realización de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	II
DEDICATORIA.	III
AGRADECIMIENTO.	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE TABLAS.	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.	VIII
RESUMEN.	1
ABSTRACT.	2
INTRODUCCIÓN.	3
CAPÍTULO I	4
1. GENERALIDADES.....	4
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Justificación.....	6
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivo General.	7
1.3.2. Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO II	8
2. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.	8
2.1. Localización Geográfica.....	9
2.2. Acceso.....	10
2.3. Clima.	10
2.4. Fauna.	11

2.6. Flora.....	12
2.7. Hidrología.....	12
2.8. Relieve.....	14
CAPÍTULO III.....	15
3. CONTEXTO GEOLÓGICO.....	15
3.1. Contexto Geológico.....	16
3.1.1. Geología Regional.....	16
3.1.2. Geología Local.....	18
3.2. Geomorfología.....	22
CAPÍTULO IV.....	23
4. MARCO CONCEPTUAL.....	23
4.1. Geoquímica de elementos de interés.....	24
4.2. Uranio.....	27
4.3. Vanadio.....	27
4.4. Difracción de Rayos X.....	28
4.5. Fluorescencia de Rayos X.....	30
4.6. Microscopio Petrográfico.....	30
CAPÍTULO V.....	31
5. METODOLOGÍA.....	31
5.1. Muestreo.....	32
5.2. Tratamiento físico de las muestras.....	33
5.3. Identificación de Minerales y Rocas por Microscopio Petrográfico.....	34
5.4. Análisis por Difracción de Rayos X.....	35

5.5. Análisis por Fluorescencia de Rayos X.....	36
CAPÍTULO VI.....	37
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	37
6.1. Análisis mineralógico.....	38
6.1.1. Difracción de Rayos X (DRX).....	38
6.1.2. Microscopio Petrográfico.....	43
6.2. Análisis Químico.....	44
6.2.1. Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	44
6.2.1.1. Fluorescencia de Rayos X de Elementos Mayoritarios.....	45
6.2.1.2. Fluorescencia de Rayos X de Elementos Traza.....	48
6.2.2. Análisis de resultados.....	54
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74
ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Resultados mineralógicos de la muestra Afl. 1. M2 por Difractometría.....	39
Tabla 2. Resultados mineralógicos de la muestra Afl. 3. M1 por Difractometría.....	39
Tabla 3. Resultados mineralógicos de la muestra Afl.11. M1 por Difractometría.....	40
Tabla 4. Resultados mineralógicos de la muestra Afl.12 por Difractometría.....	41
Tabla 5. Resultados mineralógicos de la muestra Afl.15 por Difractometría.....	41
Tabla 6. Resultados mineralógicos de la muestra Afl.16 por Difractometría.....	42
Tabla 7. Resultados mineralógicos de la muestra Afl. 21 por Difractometría.....	43
Tabla 8. Concentración (%) de elementos mayoritarios por Fluorescencia de Rayos X.	46

Tabla 9. Parámetros estadísticos de la concentración de elementos mayoritarios en el polígono.	47
Tabla 10. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios.	48
Tabla 11. Concentración (ppm) de elementos traza por Fluorescencia de Rayos X.	49
Tabla 12. Parámetros estadísticos de la concentración de elementos traza por FRX.....	50
Tabla 13. Tendencia de distribución espacial.	51
Tabla 14. Coeficiente de correlación de elementos traza.....	52
Tabla 15. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios y elementos traza.	53

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio, en la zona La Hoyada – El Derrumbo.	9
Figura 2. Red Hídrica del polígono de estudio, las quebradas más importantes son la quebrada Cebollal, quebrada El Derrumbo, quebrada La Nube y quebrada Pindalillo.....	13
Figura 3. Mapa de la geología regional de la zona de estudio.	17
Figura 4. Punto de muestreo 1, lutitas negras de origen bituminoso pertenecientes a la Unidad Ciano, se encuentran en la carretera a la costa.....	18
Figura 5. Punto de muestreo 3, lutitas negras depositadas laminarmente pertenecientes a la Unidad Ciano, se encuentra en el sector El Derrumbo.	19
Figura 6. Punto de muestreo 19, lutitas negras laminadas y compactadas con vetas de cuarzo y oxidaciones de hierro pertenecientes a la Unidad Ciano, en este sector se puede apreciar cantos rodados de roca volcánica perteneciente a la Unidad Celica. Este afloramiento se encuentra en la quebrada el Cebollal.	20
Figura 7. Mapa Geológico de la Zona de estudio, KCn Unidad Ciano compuesta por lutitas negras, lutitas calcáreas y calizas. KCe Unidad Celica compuesta por roca volcánica. .	21
Figura 8. Relieve de la zona de estudio, en el sector El Derrumbo.	22
Figura 9. Movilidad de elementos químicos en el ambiente superficial en función del potencial iónico.....	25

Figura 10. Estimaciones de la abundancia cortical (Clarke) de elementos químicos seleccionados por varios autores y la abundancia de elementos minoritarios y traza en dos tipos diferentes de rocas.....	26
Figura 11. Trituradora Retsch BB200 WC y Pulverizadora Retsch RS 200, utilizadas para la preparación de las rocas en el laboratorio.....	34
Figura 12. Equipo de Difracción de Rayos X modelo Bruker D8 Advance, utilizado para el análisis de las muestras en el laboratorio.....	35
Figura 13. Equipo de Fluorescencia de Rayos X marca Bruker S1, utilizado para el análisis de las muestras.....	36
Figura 14. Lámina delgada de la muestra Afl.30.....	44
Figura 15. Diagrama de Caja y Bigote del Uranio.....	56
Figura 16. Histograma de Frecuencia de Uranio.....	57
Figura 17. Diagrama de Caja y Bigote de Vanadio.....	59
Figura 18. Histograma de Frecuencia de Vanadio.....	59
Figura 19. Gráfico de Dispersión U – V.....	60
Figura 20. Gráfico de Dispersión U - Mo.....	62
Figura 21. Gráfico de Dispersión U - Se.....	63
Figura 22. Gráfico de Dispersión U – Pb.....	65
Figura 23. Difractograma muestra Afl. 1. M2.....	78
Figura 24. Difractograma muestra Afl. 3. M1.....	79
Figura 25. Difractograma muestra Afl. 11. M1.....	80
Figura 26. Difractograma muestra Afl. 12.....	81
Figura 27. Difractograma muestra Afl. 15.....	82
Figura 28. Difractograma muestra Afl.16.....	83
Figura 29. Difractograma muestra Afl. 21.....	84
Figura 30. Mapa Geoquímico del Manganeso.....	85
Figura 31. Mapa Geoquímico de Uranio.....	86

Figura 32. Mapa Geoquímico del Vanadio.....	87
Figura 33. Mapa Geoquímico del Molibdeno.	88
Figura 34. Mapa Geoquímico del Plomo.....	89
Figura 35. Mapa Geoquímico del Cobalto.	90
Figura 36. Mapa Geoquímico del Cinc.....	91
Figura 37. Mapa Geoquímico del Circonio.....	92
Figura 38. Mapa Geoquímico del Paladio.....	93
Figura 39. Mapa Geoquímico del Cadmio.	94
Figura 40. Mapa Geoquímico del Bario.	95
Figura 41. Mapa geoquímico del Cobre.....	96
Figura 42. Mapa Geoquímico del Cromo.	97

ANEXOS.

Anexo 1. Difractograma de las muestras.....	78
Anexo 2. Mapas Geoquímicos.....	85

RESUMEN.

La presente investigación tuvo como objetivo realizar un estudio de prospección geoquímica en rocas sedimentarias en el polígono La Hoyada en el sector Puyango, para identificar posibles depósitos minerales mediante análisis químicos de las muestras recolectadas en el campo, así como análisis mineralógicos.

Se emplearon análisis físicos y químicos específicos a muestras de rocas de lutitas negras, lutitas calcáreas y calizas de la Unidad Ciano, con la finalidad de identificar elementos mayoritarios y trazas, a través, de las cuales se pudo determinar la mineralización de uranio y vanadio en la zona. Para lo cual se utilizó análisis de Difracción de Rayos X y Fluorescencia de Rayos X.

Se detectaron valores anómalos de uranio (62 ppm) en la muestra Afl. 12 que corresponde a una lutita negra en el sector El Derrumbo y valores anómalos de vanadio (2500 ppm) en la muestra Afl. 27 que corresponde a una lutita calcárea en el sector El Empalme, las mismas que pertenecen a la Unidad Ciano.

También se detectaron valores anómalos de molibdeno, plomo, cobalto, cinc, circonio, paladio y cobre.

PALABRAS CLAVES: prospección geoquímica, lutitas negras, El Derrumbo, vanadio, uranio.

ABSTRACT.

The present investigation aimed to conduct a geochemical prospecting study in sedimentary rocks at the La Hoyada polygon in the Puyango sector, to identify possible mineral deposits through chemical analysis of the samples collected in the field, as well as mineralogical analyzes.

Specific physical and chemical analyzes were used to sample rocks of black shales, calcareous shales and limestones of the Unidad Ciano, in order to identify majority elements and traces, through which the uranium and vanadium mineralization could be determined in area. For which X-ray diffraction and X-ray fluorescence analysis were used.

Abnormal values of uranium (62 ppm) were detected in the sample Afl. 12 that corresponds to a black shale in the El Derrumbo sector and anomalous values of vanadium (2500 ppm) in the sample Afl. 27 corresponding to a calcareous shale in the El Empalme sector, the same ones belonging to the Unidad Ciano.

Abnormal values of molybdenum, lead, cobalt, zinc, zirconium, palladium and copper were also detected.

KEY WORDS: geochemical prospecting, black shales, El Derrumbo, vanadium, uranium.

INTRODUCCIÓN.

El estudio geoquímico en las rocas sedimentarias juega un papel importante en la clasificación y caracterización de los componentes de elementos de interés, de acuerdo a su localización geológica y su génesis resulta de gran utilidad para definir la identidad de una roca y determinar fuentes de reservas que puedan resultar de interés económico.

En el cantón Puyango se han determinado anomalías radiométricas según la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEA) en 1985, las cuales indican la posible existencia de un yacimiento mineral de uranio. Debido a esta razón se ha planeado un estudio de prospección geoquímica en el sector La Hoyada, incluyendo la caracterización geoquímica y mineralógica de afloramientos de rocas sedimentarias como las lutitas negras, las cuales pueden contener elementos de interés económico.

La presente investigación plantea caracterizar geoquímica y mineralógicamente las rocas sedimentarias en el sector La Hoyada del cantón Puyango en la provincia de Loja, en la vía principal o vía troncal a la costa, tomando en cuenta las características geológicas, estructurales, tectónicas y morfológicas del sector. Las lutitas son rocas sedimentarias detríticas que se componen de fragmentos de material pre-existente de tamaño de arcillas. Potter y otros (1980) definen a las lutitas como rocas sedimentarias compuestas por granos finos que contiene más del 50% de materiales terrígenos con un diámetro aproximado de 0.064 mm, generalmente compuesta de arcillas (Huyck, 1989, pág. 43).

Las lutitas negras por otra parte son producto de la acumulación de materia orgánica que se deposita junto con los granos finos en su periodo de formación, esto hace que tomen una coloración oscura. Cuando hay una alta cantidad de materia orgánica en las lutitas se consideran lutitas bituminosas y son las responsables de la formación de depósitos metalíferos en los que se incluye uranio, vanadio, molibdeno, hierro, entre otros. (Huyck, 1989). Los elementos radioactivos (U, Th y K) se encuentran presentes en la naturaleza en pequeñas concentraciones las mismas que son expuestas por actividades humanas como la extracción de material o apertura de vías y mediante procesos naturales como como fuga de gases a la atmosfera o disolución de aguas subterráneas.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1. Antecedentes.

Las lutitas son rocas sedimentarias que se originan por la acumulación de material detrítico en su gran mayoría arcillas, cuando tienen presencia de materia orgánica estas se las conoce como lutitas bituminosas, las mismas que pueden albergar depósitos metalíferos como es el caso de Talvivaara (Finlandia) en la parte central del escudo Báltico o también conocido como escudo Fenoscándico, el cual consiste en un depósito de lutitas negras carboníferas de grano fino formados en cuencas sedimentarias bajo condiciones anóxicas, lo cual previene la degradación de la materia orgánica y su acumulación (Lecomte et al., 2014).

Estas condiciones producen el enriquecimiento del material orgánico con procesos biológicos y condiciones de reducción que favorecen la concentración de metales como níquel, molibdeno, cobalto, cobre, cinc, uranio, vanadio, arsénico, selenio, plata, oro y elementos del grupo del platino. (Tourtelot, 1979).

En el Ecuador se han hecho estudios de prospección uranífera por parte del Organismo internacional de Energía Atómica (IAEA (International Agency Energy Atomic), 1977) (por sus siglas en inglés) bajo el proyecto International Uranium Resources Evaluation Project y la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEA) en el año 1978, esta última se enfocó en el estudio de prospección de yacimientos uraníferos en las provincias Tena, Napo, Morona Santiago, Azuay, Zamora Chinchipe y el más interesante en Loja en el sector Puyango, con resultados positivos, los mismos explican que el proyecto Puyango consiste en una prospección regional de 1500 km² situado en las provincias de Loja y el Oro y en una prospección detallada del área de Puyango y el Derrumbo. Los resultados del estudio en el sector indican presencia de un área anómala de uranio de aproximadamente 6 km, un grosor de 4 m (promedio), con un contenido promedio de 0.25 % de uranio, determinando un potencial probable de 15000 toneladas de uranio para el sector. (Aguilar, 1985, págs. 21-22).

1.2. Justificación

Los beneficios que conlleva investigar los depósitos metalíferos en las lutitas negras son múltiples, debido a los diversos tipos de elementos (radioactivos y otros elementos asociados, vanadio por ejemplo) que se puedan encontrar como el uranio, el mismo que por sus aplicaciones puede suplir la demanda energética a un futuro teniendo en cuenta la considerable caída de la producción de petróleo en el país.

Según un foro de la industria nuclear española, indica que la demanda de este elemento a nivel mundial se ha ido elevando desde el 2001 para satisfacer las necesidades energéticas de las poblaciones en expansión y de un crecimiento económico sostenido, por lo cual el Ecuador necesita tener una fuente energética alterna y no depender estrictamente del petróleo y las hidroeléctricas.

Los estudios geológicos realizados por la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEAA) en el año 1985 destacan los resultados de la prospección hecha en Puyango, cuyos alcances justifican su clasificación como distrito uranífero con expectativas de ubicar reservas de interés, donde se identificaron dos niveles de lutitas negras Cretácicas de considerables dimensiones. (Celi, 2011).

El área de Puyango fue establecida como favorable para albergar depósitos de uranio y otros minerales radiactivos, según informe de IAEA - IUREP (1977), así como otras zonas de Loja y Zamora Chinchipe. En la presente investigación se planteó obtener los datos de concentraciones elementales y mineralogía, para poder identificar posibles depósitos de minerales radiactivos y otros tipos de depósitos metálicos, determinando una línea base que permita establecer, mineralizaciones de uranio u otros elementos de interés económico asociados.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Realizar el estudio de prospección geoquímica en rocas sedimentarias en el polígono La Hoyada, sector Puyango, para identificar posibles depósitos minerales.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Hacer la revisión bibliográfica del área de estudio, en cuanto a la geología y estratigrafía.
- Tomar muestras de las distintas unidades estratigráficas (afloramientos).
- Realizar el tratamiento físico de las muestras.
- Determinar la concentración de los elementos mayoritarios y trazas.

CAPÍTULO II
CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

2.1. Localización Geográfica.

El presente trabajo de investigación se llevó a efecto en el cantón Puyango, parroquia Alamor sector La Hoyada, el mismo que forma parte de la estructura geomorfológica conocida como arco volcánico Celica, está localizado al Sur de la cordillera de Tahuín y al Oeste de la cordillera Real.

La parroquia Alamor se encuentra ubicada en las coordenadas $4^{\circ} 01' 01.54''$ de latitud S y los $80^{\circ} 01' 34.43''$ de longitud W, con una altitud promedio de 1233 msnm, en la provincia de Loja, cantón Puyango.

El cantón Puyango se encuentra limitado al Norte con el cantón Las Lajas de la provincia de El Oro, al Sur con los cantones Pindal y Celica de la provincia de Loja, al Este con el cantón Paltas de la provincia de Loja y al Oeste con la parroquia Paletillas del cantón Zapotillo de la provincia de Loja y Provincia de Zarumilla en el Departamento de Tumbes de Perú.

MAPA DE UBICACIÓN DEL POLIGONO.

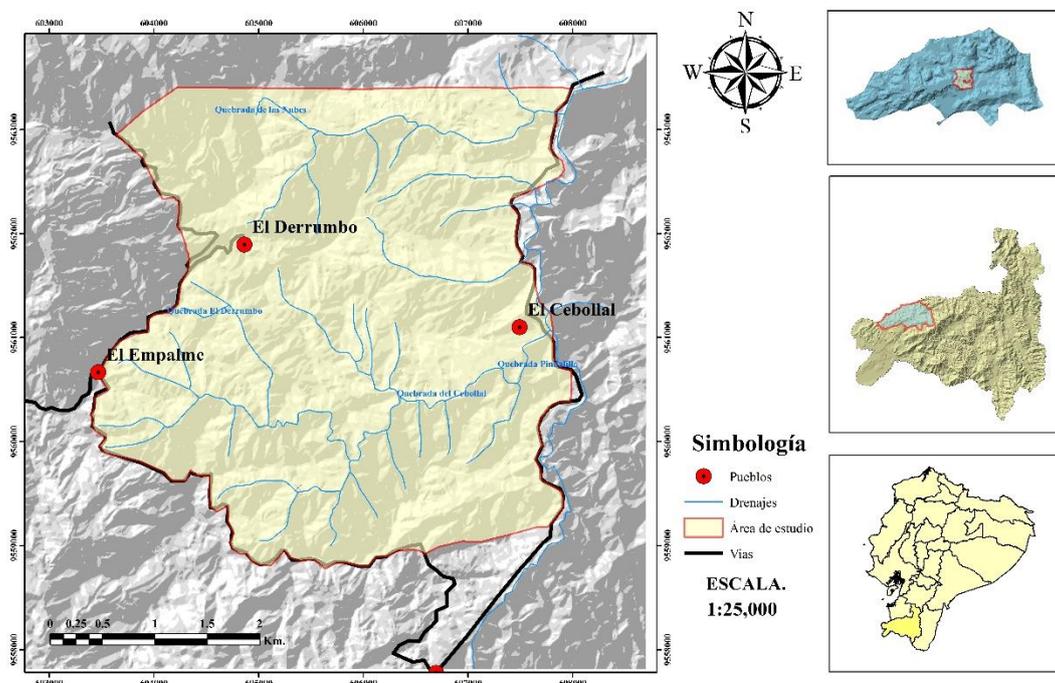


Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio, en la zona La Hoyada – El Derrumbo.
Fuente: IGEM.

El polígono de exploración se extiende a lo largo de la vía troncal que conduce a la costa con dirección al Norte, desde el sector la hoyada hasta aproximadamente 6 kilómetros hasta la altura del sector Cochas de Ciano. (Ver Figura 1).

2.2. Acceso.

La zona de estudio se encuentra a 193 Km de la Ciudad de Loja en la cual se toma aproximadamente unas 3 h 35 min, para llegar a la zona de estudio desde la Ciudad de Loja se debe tomar la carretera Panamericana 35 E o también conocida como troncal de la sierra hasta llegar a Alamor, donde se toma la vía a la costa conocida como Troncal a la costa hasta el sector La Hoyada.

El acceso a los puntos de muestreo en el polígono se hace en vehículo, a través de vías de primer y segundo orden hasta ciertos puntos, luego para llegar hasta los lugares de interés que son más inaccesibles se accede por caminos de verano y de herradura.

Los afloramientos que se encuentran en la vía principal o vía troncal a la costa son de mayor facilidad de acceso, pero debido al área del polígono se necesita utilizar vías alternas como vías de segundo orden y caminos de herradura para poder hacer un mallado de muestras representativo de la zona.

Para los afloramientos que se encuentran en el centro del polígono la accesibilidad es un poco más compleja, ya que al ser un campo tan irregular demanda mucho esfuerzo físico para llegar hasta el sitio de interés, las rocas se pueden apreciar mejor en las quebradas y drenajes del polígono.

2.3. Clima.

El clima del cantón Puyango está dado tanto por su ubicación geográfica como por su niveles altitudinales. El cantón posee dos tipos de climas bien definidos, la parte baja posee un clima denominado tropical megatérmico seco cuya superficie es de 18.877.31 hectáreas, mientras

que la parte más alta del cantón posee un clima denominado como ecuatorial mesotérmico semihúmedo y abarca una superficie de 44.891.88 hectáreas. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014).

En cuanto a la temperatura del cantón, está varía desde los 15°C en la parte más alta y llega hasta los 24°C en la parte más baja del cantón. Lo que indica que se puede realizar una producción variada de productos alimenticios, garantizando así en buen grado la alimentación de su población, siempre y cuando se haga una planificación de la producción en función de los parámetros del clima, la pendiente del suelo y su vocación para producir. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014)

La precipitación del cantón Puyango varía desde los 700 mm anuales y llega hasta los 1500 mm por año en época de invierno, los meses que mayor precipitación registran son: febrero, marzo y abril. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014)

2.4. Fauna.

Existen más de 130 especies, siendo las más comunes, la perdiz, tórtolas, pájaro bobo, tijeretas, carpintero, el chilalo (arquitecto), la putilla, tordo, azulejos, loro, el cuervo, el gavián, el cacique, la chiroca y el mirlo. En cuanto a mamíferos entre los más sobresalientes se encuentran: venados, tigrillos, ardillas, sahinós, zorros, armadillos, guatusas, gualillas, gato del monte, entre otros. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014)

En reptiles se encuentran: lagartijas (distintas especies), iguanas, ranas, serpientes y en el río Puyango lagartos. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014)

2.6. Flora.

En lo que concierne al aspecto florístico del cantón Puyango, de acuerdo a los datos proporcionados por SENPLADES, en el periodo 2000 – 2008 ha existido una degradación del aspecto florístico, registrándose 1247.95 hectáreas de pérdida de la vegetación nativa, se considera que parte de esta área perdida de bosque nativo se ha convertido en pastizal cuya área se ha incrementado en este mismo periodo de tiempo en 4511.96 hectáreas; de continuar este retroceso, se estaría causando un grave problema ambiental y disminuyendo los beneficios que se obtienen de estos bosques, principalmente la disminución del agua que es aprovechada tanto para consumo humano como para el riego. (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014)

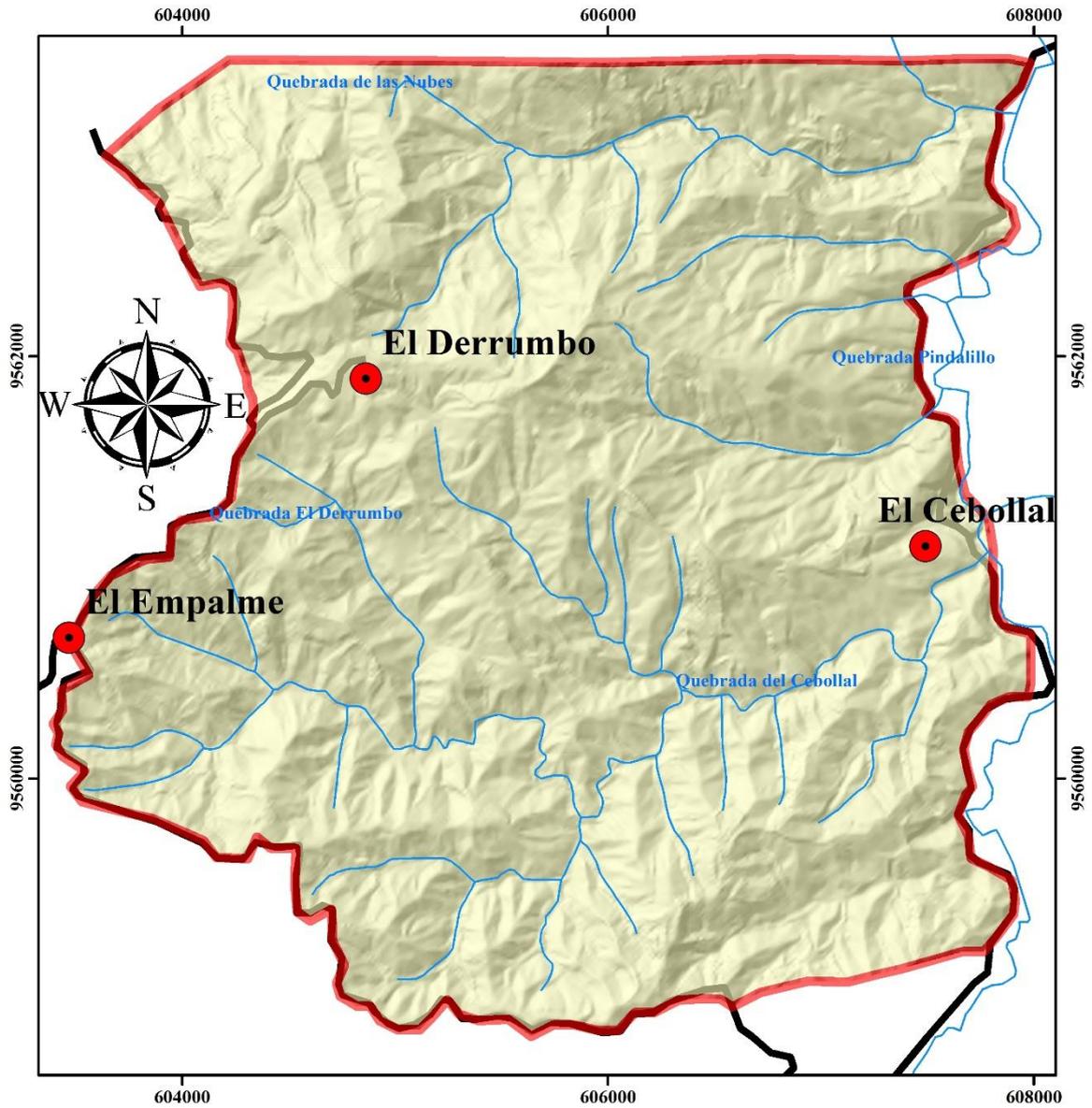
2.7. Hidrología.

La hidrografía de la zona de investigación se caracteriza por un drenaje dendrítico que recorre el polígono de Oeste a Este conocida como Quebrada el Cebollal, hasta desembocar en la Quebrada Pindalillo, la cual corre de Sur a Norte, en esta desembocan las aguas de varias microcuencas del cantón, las dos más importantes quebradas son La Cebollal y De las Nubes, es uno de los principales aportadores de caudal del río Puyango. La Quebrada Pindalillo que corre de Sur a Norte la misma que alimenta al río Puyango (Ver Figura 2).

El río Puyango corre de Este a Oeste, está formado por numerosas quebradas y desembocaduras provenientes de la parte alta de la Provincia del Oro. Se encuentra en el límite entre las Provincias de El Oro y Loja, tiene una longitud de 150 km aproximadamente y un caudal de 106 m³/seg. El río Puyango se extiende hasta unirse con la quebrada Casaderos y forman el río Tumbes en Perú, cuya longitud es de 80 km con un caudal de 123.21 m³/seg. (Ministerio del Ambiente, Dirección Nacional de Control Ambiental, 2016).

El cantón Puyango tiene una extensa ramificación de quebradas y drenajes que alimentan los caudales de los principales ríos del cantón, el río Puyango y la quebrada Pindalillo son las afluentes principales del cantón.

RED HÍDRICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.



Simbología.

-  Área de estudio
-  Pueblos
-  Vías
-  Drenajes

ESCALA.

1:25,000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

Figura 2. Red Hídrica del polígono de estudio, las quebradas más importantes son la quebrada Cebollal, quebrada El Derrumbo, quebrada La Nube y quebrada Pindalillo.
Fuente: IGEM.

2.8. Relieve.

El relieve del cantón Puyango, se presenta bastante irregular.

Medio Aluvial.- es un valle fluvial, de terrazas medias, terrazas bajas, con pendiente muy suave entre 2 a 5 % (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014).

Vertientes Inferiores y Relieve de las Cuencas Interandinas de la Sierra Sur.- relieve colinado alto, con pendientes fuertes, depósitos coluvio-aluviales pertenecientes a la formación Celica conformados por lavas andesíticas localmente alteradas y meteorizadas (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014).

Vertientes y Relieves Superiores de las Cuencas Interandinas, Macizos Internos de la Sierra Sur.- de tipo tectónico erosivo denudativo, relieves colinados muy altos con pendientes fuertes y muy fuertes entre el 70 y el 100%, correspondientes a la formación Ciano formado por lutitas, limolitas, con intercalaciones de rocas volcánicas y pizarras (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014).

Vertientes andinas occidentales de la Sierra Sur.- vertientes andinas occidentales de la sierra sur, relieves colinados muy altos con pendientes entre el 25 y el 40 %, pertenecientes a la Formación Zapotillo (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014).

Relieves de las cuencas de los fondos y valles deprimidos.- originados de movimientos tectónicos erosivos, denudativos, coluvioaluvial antiguo con pendientes de media a fuerte (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014).

Contrafuerte sur de la vertiente occidental.- de origen tectónico erosivo con relieve colinado alto y muy alto, con pendiente de mediana a fuerte, depósitos coluviales (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango, Noviembre del 2014).

CAPÍTULO III
CONTEXTO GEOLÓGICO.

Geológicamente la zona de estudio se encuentra emplazada en la estructura conocida como cuenca Lancones-Alamor denominada por otros autores como Lancones-Celica, localizada entre el terreno Loja-Olmos y el Macizo Amotape-Tahuín (Pilatasig et al., 2005).

3.1. Contexto Geológico.

3.1.1. Geología Regional.

a. Unidad Celica (Cretácico Inferior)

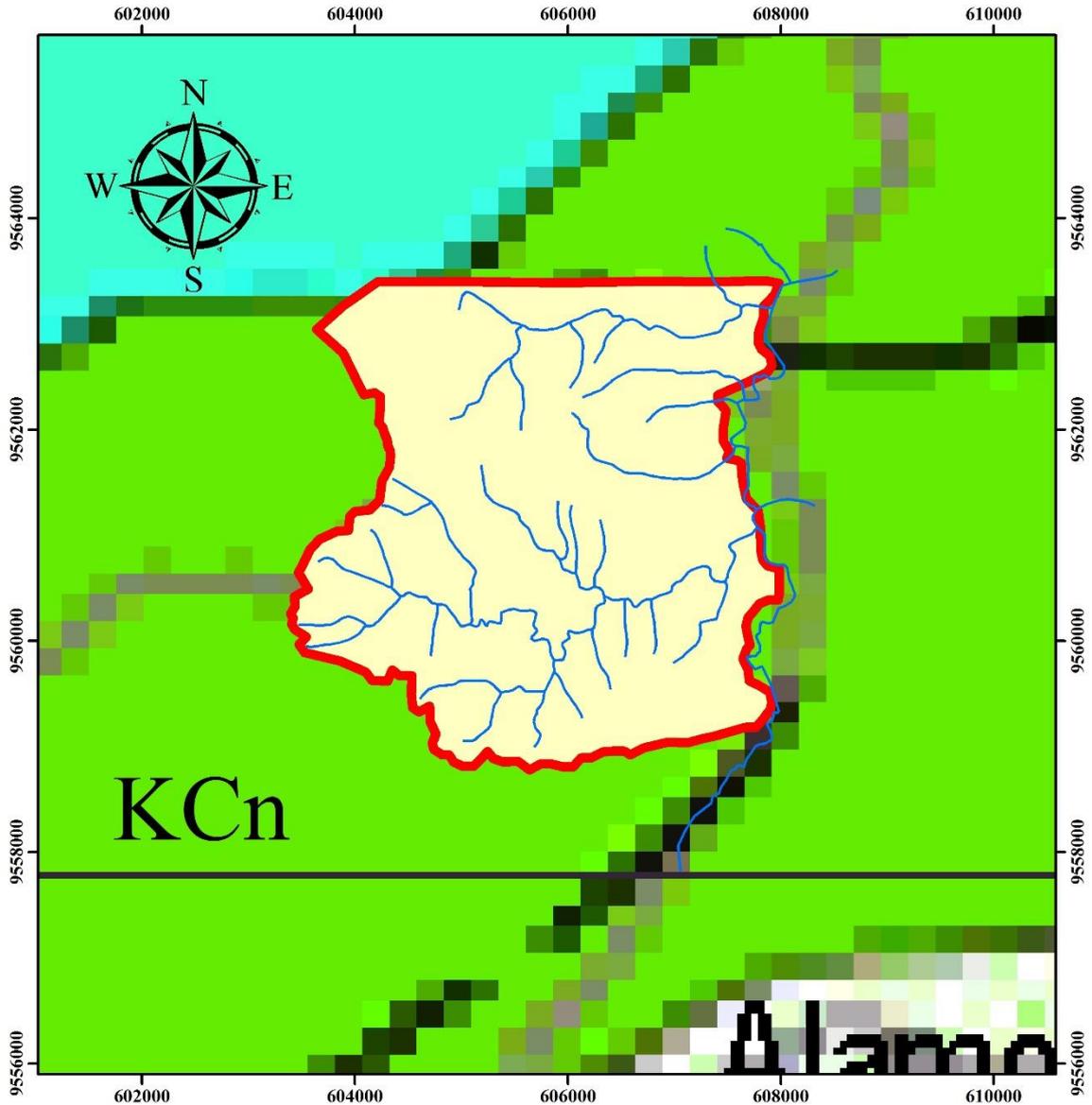
Pertenciente a la Cordillera Occidental, la formación Celica aflora al norte de El Cisne y sobreyace inconformemente al complejo metamórfico El Oro y a la formación Sacapalca. Está constituida por tobas andesíticas verdes muy meteorizadas y lavas andesíticas-basálticas. (Duque, 2002) En la cuenca de Alamor, unos 50 km al Sur de Zaruma, relaciones estratigráficas sugieren una edad Albiana (Jaillard et al, 1999).

b. Unidad Ciano (Cretácico Superior)

La formación Ciano aflora en el Oeste de la provincia de Loja al Norte de Alamor y Cangonamá hasta el río Puyango. Está compuesta de rocas sedimentarias conformadas por lutitas negras, lutitas calcáreas, limolitas y areniscas (Kennerly, 1992, págs. 19-21).

Las lutitas de esta formación están caracterizadas por una gama de color muy amplio, la distribución granulométrica es común. Hay areniscas y limolitas subordinadas y se describe una capa de rocas calcáreas entre Buenavista y el río Puyango. Hay troncos de árboles silicificados de más de un metro de diámetro y varios metros de largo (Kennerly, 1992, págs. 19-21).

MAPA DE LA GEOLOGÍA REGIONAL.



Simbología

 Área de estudio

 Drenajes

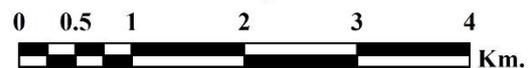
Formaciones

 Unidad Ciano

 Unidad Celica

ESCALA.

1:50,000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

Figura 3. Mapa de la geología regional de la zona de estudio.

Fuente: (INGEMMET; DINAGE, 2005), Mapa Geológico Binacional región norte de Perú y sur de Ecuador.

Elaborado: (INGEMMET; DINAGE, 2005).

3.1.2. Geología Local.

El polígono de exploración se extiende con dirección S-N atravesando la Unidad Ciano, sus afloramientos se encuentran bien expuestos en la carretera desde el sector el Cebollal con dirección a Alamor, en la carretera La Hoyada-El Derrumbo y el sector la Chorrera.

En la parte Sureste del polígono en la carretera troncal a la costa con dirección a Alamor, se puede apreciar afloramientos que están constituidos por lutitas de tonalidad negra de origen bituminoso pertenecientes a la Unidad Ciano, con un dato estructural de $115 N/45 NE$, se ubican en láminas paralelas de color negro las mismas que tienen una alta cantidad de carbonatos y oxidaciones de hierro (Ver Figura 4).



Figura 4. Punto de muestreo 1, lutitas negras de origen bituminoso pertenecientes a la Unidad Ciano, se encuentran en la carretera a la costa.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

En la parte Noroeste del polígono en el sector “El Derrumbo” en la vía al barrio Cerro Verde (Ver Figura 5) se pueden apreciar afloramientos de lutitas negras depositadas laminarmente pertenecientes a la Unidad Ciano, con un dato estructural de $100 N/45 NE$, muestra que contienen un alto contenido de carbonatos y oxidaciones de hierro.



Figura 5. Punto de muestreo 3, lutitas negras depositadas laminarmente pertenecientes a la Unidad Ciano, se encuentra en el sector El Derrumbo.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

En el centro del polígono en la Quebrada del Cebollal se puede apreciar lutitas negras laminadas y compactadas, con un dato estructural de $100 N/50 SW$ (Ver Figura 6). Este afloramiento de lutitas negras pertenecientes a la Unidad Ciano, se encuentra a orillas de la quebrada tiene una gran cantidad de carbonatos, se observan vetas de cuarzo y oxidaciones de hierro.

En los afloramientos de esta zona se aprecian cantos rodados de rocas volcánicas en la Quebrada El Cebollal la misma en la que se ha observado un lente volcánico, determinando una roca de composición andesítica, la cual se puede tratar de una ventana del basamento volcánico de la Unidad Celica sobre la cual están depositados los sedimentos de la Unidad Ciano



Figura 6. Punto de muestreo 19, lutitas negras laminadas y compactadas con vetas de cuarzo y oxidaciones de hierro pertenecientes a la Unidad Ciano, en este sector se puede apreciar cantos rodados de roca volcánica perteneciente a la Unidad Celica. Este afloramiento se encuentra en la quebrada el Cebollal.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

MAPA DE LA GEOLOGÍA LOCAL.

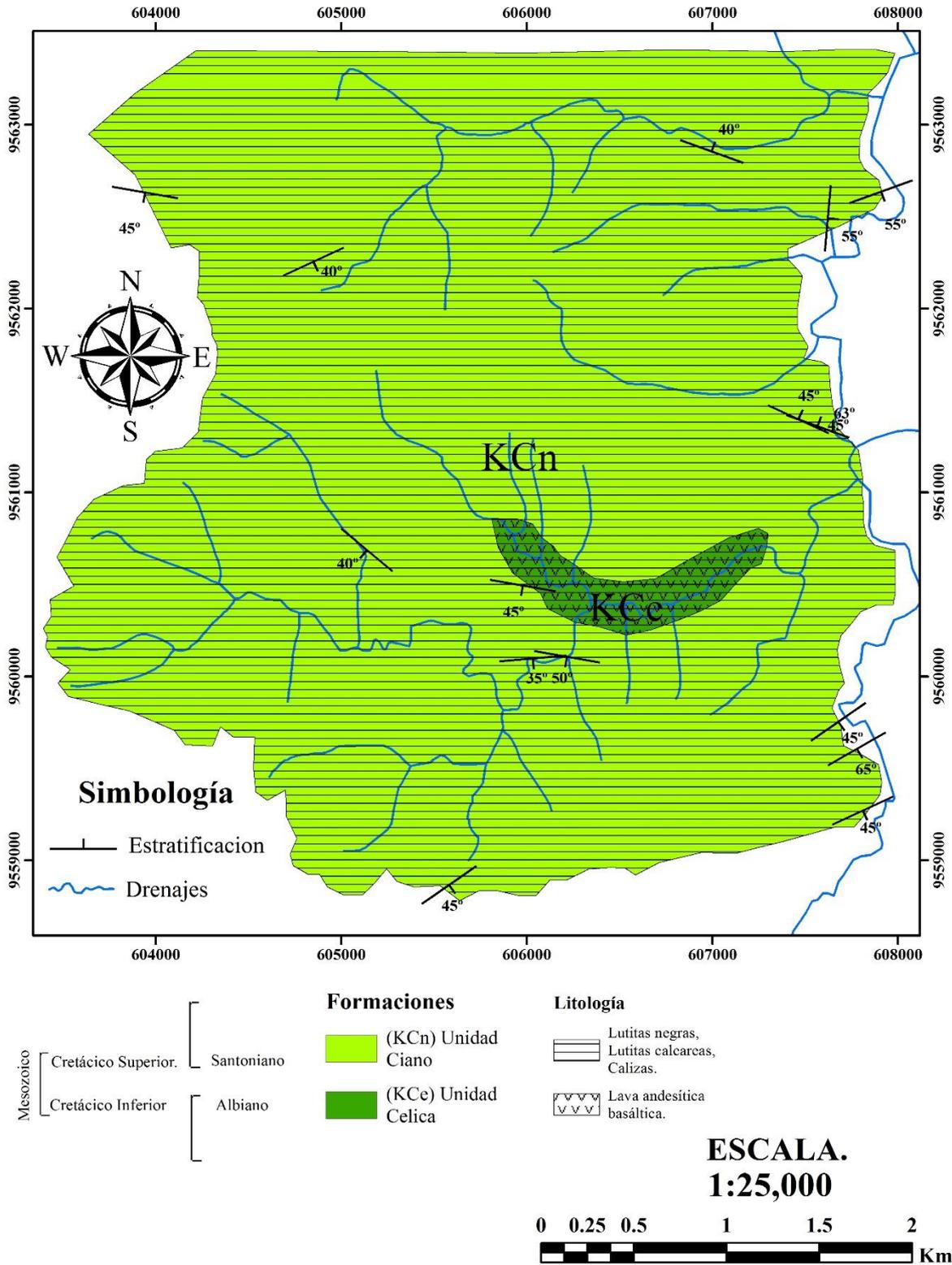


Figura 7. Mapa Geológico de la Zona de estudio, KcN Unidad Ciano compuesta por lutitas negras, lutitas calcáreas y calizas. KcE Unidad Celica compuesta por roca volcánica.

Fuente: Autor.
Elaborado: Autor.

3.2. Geomorfología.

La topografía de este sector es irregular, estos relieves se encuentran en las cotas más altas del cantón se encuentra ubicado en la parte meridional de la Cordillera Real, caracterizada por secuencias metamórficas relacionadas con el proceso de acreción con desniveles tanto pronunciados como suaves y pendientes fuertes (Instituto Espacial Ecuatoriano, Noviembre 2013) (Ver Figura 8).



Figura 8. Relieve de la zona de estudio, en el sector El Derrumbo.

Fuente: Autor.

Elaborado: Autor.

Depósitos aluviales están constituidos de material erosionado, que forman valle fluvial, terrazas bajas y medias, los cuales se encuentran ubicados en los ejes fluviales primarios y secundarios. Se observó terrazas bajas de pendientes suaves y desniveles relativos que se ubican a orillas de la quebrada La Nube. En la quebrada El Cebollal hay presencia de terrazas medias de pendiente suaves y desniveles pronunciados que son utilizadas para la agricultura, estos se relacionan a valles fluviales. Al pie de las laderas se forman depósitos coluviales producto del transporte gravitacional de materiales residuales como arcillas, limos y areniscas.

CAPÍTULO IV
MARCO CONCEPTUAL.

4.1. Geoquímica de elementos de interés.

Para analizar las muestras obtenidas en el campo se realizaron análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX) para cuantificar los elementos que hay en cada una de las muestras e identificar las principales fases minerales.

El potencial iónico de los elementos se relaciona con su movilidad, es la relación entre el número de oxidación y el radio iónico, la siguiente imagen muestra la movilidad de varios elementos en función del potencial iónico (Ver Figura 9). Los elementos con bajo potencial iónico son generalmente móviles en el medio acuático, por ejemplo, los cationes móviles (K^{+1} , Na^{+1} , Ca^{+2}).

Los elementos con alto potencial iónico son generalmente móviles como oxianiones, es decir, elementos que se combinan con oxígeno para formar una especie aniónica en un sistema acuoso, por ejemplo: UO_2^{+2} , VO_4^{-3} , AsO_4^{-3} , MoO_4^{-2} . Los elementos con potencial iónico intermedio tienen una tendencia a absorberse o hidrolizarse fuertemente y presentan una baja solubilidad, por lo tanto, estos elementos son bastante inmóviles bajo determinadas condiciones, por ejemplo: V^{+4} , U^{+4} , Al^{+3} , Fe^{+3} (Smith & Huyck, 1999, pág. 41).

Los valores de Clarke de concentración se refieren a la abundancia media de un elemento particular en la corteza terrestre, son sinónimo de abundancia de la corteza. Es utilizado para delinear materiales que están enriquecidos o agotados en un elemento en relación con los valores medios. En la Figura 10, se muestra la tabla de valores promedio de los elementos químicos en rocas basálticas y graníticas, así como el Clarke (Smith & Huyck, 1999, pág. 39).

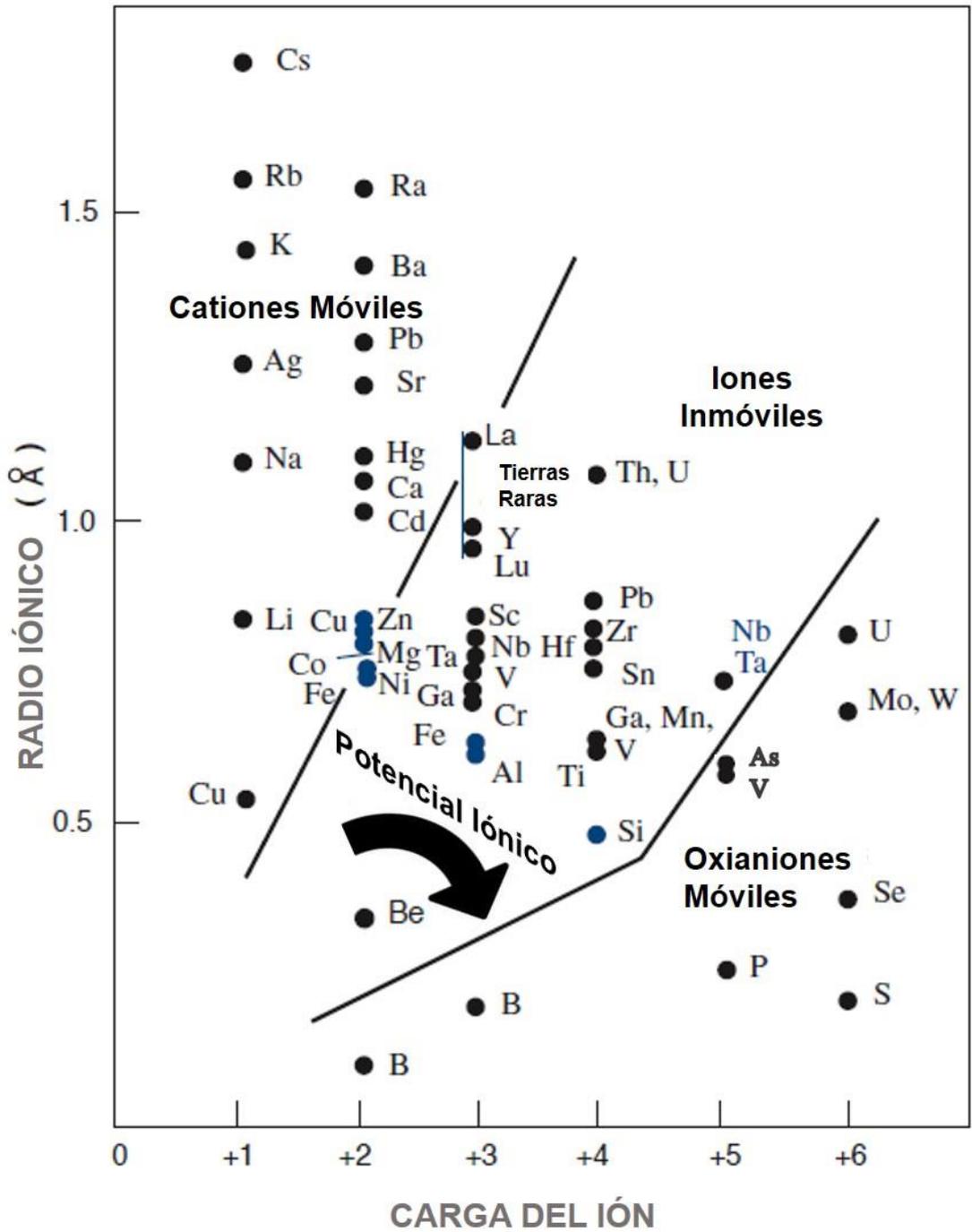


Figura 9. Movilidad de elementos químicos en el ambiente superficial en función del potencial iónico. Fuente: (Smith & Huyck, 1999).

Element	Estimates of crustal abundance (ppm)			Abundance in rocks (ppm)	
	Approximate consensus ⁽¹⁾	Consensus range ⁽²⁾	Clarke value ⁽³⁾	Basalt ⁽⁴⁾	Granite ⁽⁴⁾
Aluminum (Al)	80,000	74,500–88,649	83,600		
Antimony (Sb)		0.15–1	0.20	0.2	0.2
Arsenic (As)	2	1.7–5	1.80	2	1.5
Barium (Ba)	430	179–1070	390	250	600
Beryllium (Be)	3	1.3–10	2.00	0.5	5
Bismuth (Bi)	0.2	0.0029–0.2	0.0082 ⁽³⁾	0.15	0.1
Boron (B)	10	3–50	9.00	5	15
Bromine (Br)	3	0.26–10	2.50	3.6	2.9
Cadmium (Cd)	0.18	0.1–5	0.16	0.2	0.2
Calcium (Ca)	30,000	16,438–62,894	46,600		
Carbon (C)		200–4902	180		
Cerium (Ce)	45	29–96	66.4	35	46
Cesium (Cs)	3	1–10	2.60	1	5
Chlorine (Cl)	500(?)	100–2000	126	60	165
Chromium (Cr)	200	70–330	122	200	4
Cobalt (Co)	25	12–100	29.0	50	1
Copper (Cu)	60(?)	14–100	68.0	100	10
Dysprosium (Dy)	4.5	3–7.5	5.00	3	0.5
Europium (Eu)	1.2	0.2–1.4	2.14	1.27	
Fluorine (F)	500	270–800	544	400	735
Gadolinium (Gd)	7	5–10	6.14	4.7	2
Gallium (Ga)	17	1–19	19.0	12	18
Germanium (Ge)	15(?)	1.3–7	1.50	1.5	1.5
Gold (Au)	0.004	0.001–0.005	0.0040	0.004	0.004
Indium (In)	0.1	0.05–0.25	0.24	0.1	0.1
Iodine (I)	0.5	0.05–10	0.46	0.5	0.5
Iridium (Ir)	0.001	0.001–0.01	0.000002		
Iron (Fe)	50,000	30,888–64,668	62,200		
Lanthanum (La)		6.5–100	34.6	10.5	25
Lead (Pb)	16	12–20	13.0	5	20
Lithium (Li)	30	18–65	18.0	10	30
Lutetium (Lu)	0.9	0.27–1.7	0.54	0.2	0.01
Magnesium (Mg)	21,000	10,191–33,770	27,640		
Manganese (Mn)	900	155–1549	1,060	2200	500
Mercury (Hg)	0.08	0.03–0.5	0.086	0.08	0.08
Molybdenum (Mo)	2	1–15	1.20	1	2
Neodymium (Nd)	25	17–37	39.6	17.8	18
Nickel (Ni)	80	23–200	99.0	150	0.5
Niobium (Nb)	20	0.32–24	20.0	20	20
Nitrogen (N)	20(?)	15–400	19.0		
Oxygen (O)	470,000	452,341–495,200	456,000		
Palladium (Pd)	0.01	0.0084–0.05	0.015	0.02	0.002
Phosphorus (P)	1000	480–1309	1,120		
Platinum (Pt)	0.005	0.005–0.2	0.0005	0.02	0.008
Potassium (K)	26,000	15,773–32,625	18,400		
Rhenium (Re)	0.001	0.00042–0.001	0.0007	0.0005	0.0005
Rubidium (Rb)	120	78–310	78.0	30	150
Samarium (Sm)	7	6.5–8	7.02	4.2	3
Scandium (Sc)		5–22	25.0	38	5
Selenium (Se)	0.09	0.05–0.8	0.050	0.05	0.05
Silicon (Si)	270,000	257,500–315,896	273,000		
Silver (Ag)	0.07	0.02–0.1	0.080	0.1	0.04
Sodium (Na)	24,000	15,208–28,500	22,700		
Strontium (Sr)	350	150–480	384	465	285
Sulfur (S)	500	260–1200	340		
Tantalum (Ta)	2	0.24–3.4	1.70	0.5	3.5
Tellurium (Te)		0.00036–0.01	0.0040	0.001	0.001
Thallium (Tl)	1	0.1–3	0.72	0.1	0.75
Thorium (Th)	10	5.8–20	8.10	2.2	17
Tin (Sn)	2.5	2–80	2.10	1	3
Titanium (Ti)	5000	2458–9592	6320	9000	2300
Tungsten (W)	1	0.4–70	1.20	1	2
Uranium (U)	3	1.7–80	2.30	0.6	4.8
Vanadium (V)	150	53–200	136	250	20
Ytterbium (Yb)	3	0.33–8	3.10	1.11	0.06
Yttrium (Y)	30	19–50	31.0	25	40
Zinc (Zn)	70	40–200	76.0	100	40
Zirconium (Zr)	160	130–400	162	150	180

⁽¹⁾Data are from Rickwood (1983, table A-II) and represent an approximate consensus (within an order of magnitude) of published estimates of crustal abundance.

⁽²⁾Data are from Rickwood (1983, table A-II) and give the range of the published estimates of crustal abundance used to compile the approximate consensus values in the previous column.

⁽³⁾Data are from Fortescue (1992, table 4). According to the author, the value for Bi appears to be too low.

⁽⁴⁾Data are from Levinson (1980, table 2-1) for two different types of rocks.

Figura 10. Estimaciones de la abundancia cortical (Clarke) de elementos químicos seleccionados por varios autores y la abundancia de elementos minoritarios y traza en dos tipos diferentes de rocas. Fuente. (Smith & Huyck, 1999).

4.2. Uranio.

El carácter geoquímico del uranio es litófilo (Goldschmidt, 1958). El uranio alcanza una mayor abundancia en rocas félsicas comunes (4.8 ppm). Cuando está en un ambiente reductor se forma el ión U^{+4} y cuando está en un ambiente oxidante se forma U^{+6} como el ión uranilo (UO_2^{+2}). Cuando el uranio está en ambiente reductor es geoquímicamente similar a los elementos de las tierras raras. El Clarke de concentración en la corteza del uranio es de 2.30 ppm (Ver Figura 10) (Smith & Huyck, 1999).

El uranio es un elemento incompatible con las estructuras de los silicatos comunes de las rocas ígneas y se concentra en minerales accesorios como circón ($ZrSiO_4$), monacita ((Ce, La, Nd, Sm) PO_4) y apatito ($Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$), como elemento traza dentro de sus estructuras. Sin embargo, en muchos granitos una gran parte del uranio se mantiene en películas intergranulares, estas películas y los minerales accesorios dañados por la radiación son fácilmente solubles. Las rocas volcánicas félsicas son una fuente de uranio fácilmente soluble, principalmente a partir de fases de vidrio (Pohl, 2011, pág. 273).

Los tenores promedio en yacimientos de uranio pueden ser de bajos porcentajes como 0,2 % de U_3O_8 , aunque la mayoría tiene tenores hasta de 1%. Aunque los grados de corte dependen de las restricciones comerciales y técnicas extractivas, ya que sus precios fluctúan ampliamente y la comercialización debe ser controlada por organismos internacionales para darle un buen uso a estos recursos (Pohl, 2011, pág. 271).

4.3. Vanadio.

El carácter geoquímico del vanadio es litófilo con tendencias siderófilas (Goldschmidt, 1958), en la naturaleza el vanadio tiene tres estados de oxidación V^{+3} , V^{+4} y V^{+5} y es un elemento sensible a la reducción. El Clarke de concentración en la corteza del vanadio es de 136 ppm (Ver Figura 10) (Smith & Huyck, 1999).

En rocas magmáticas, el vanadio es un elemento traza en la magnetita, minerales de titanio y en la cromita, en comparación con los silicatos máficos. Por lo que, la concentración promedio

del vanadio disminuye mucho desde las rocas máficas hasta los granitos. La liberación de vanadio de minerales primarios se produce por efectos de la meteorización de la roca. En aguas subterráneas de climas semiáridos y áridos el vanadio se disuelve con facilidad, como el vanadio V^{+5} , en estas aguas el vanadio puede alcanzar concentraciones mayores a los 100 ppm y puede ser transportado a distancias considerables (Pohl, 2011, pág. 184).

La mayoría de las rocas sedimentarias contienen poco vanadio, excepto las rocas sedimentarias bituminosas como las lutitas negras, depósitos minerales sedimentarios de hierro y manganeso, fosforitas y nódulos de manganeso de aguas profundas. Las grandes cantidades de vanadio se alojan en lutitas bituminosas, por ejemplo, el yacimiento Julia Creek en Australia, con recursos de 4000 Mt de lutitas, que contienen 1700 Mbl recuperable de petróleo y en partes oxidadas del depósito a 20 m de profundidad (Lewis et al., 2010) los recursos medidos de 200 Mt de mineral de vanadio a 0.4 % de V_2O_5 y 300 ppm de MoO_3 (Pohl, 2011, pág. 184).

4.4. Difracción de Rayos X.

La Difracción de Rayos X es un fenómeno físico de las ondas al interactuar con un objeto ordenado de tamaño comparable a su longitud de onda, esto se basa en la dispersión coherente del haz de rayos X en el material y la interferencia constructiva de las ondas que están en fase y se dispersan en direcciones diferentes. La difracción de rayos X permite identificar las fases cristalinas en parámetros cualitativos y cuantitativos (Skoog et al., 2001).

Los rayos X tienen longitudes de onda similares a las distancias interatómicas en los materiales cristalinos, por lo que se puede utilizar la difracción de rayos X como un método para explorar la naturaleza de la estructura molecular, cuando un haz de rayos X cae sobre un cristal se dispersa por las capas paralelas de átomos como las ondas de luz difractadas por una rejilla óptica.

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas, como lo es la luz visible y lo único que los distingue de las demás radiaciones es su longitud de onda, del orden de 10^{-10} m. que equivale a un Angstrom (Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA)).

El fenómeno de la difracción puede describirse analizando la Ley de Bragg, la cual intenta predecir la dirección en la que se da interferencia constructiva entre haces de rayos X dispersados por un cristal.

La difracción ocurre cuando una onda encuentra una serie de obstáculos espaciados regularmente, tal que son capaces de dispersar la onda y que los espacios son comparables en magnitud a la longitud de onda. Por otro lado, la difracción es consecuencia de las relaciones específicas de las fases que se establecen entre dos o más ondas que han sido dispersadas por obstáculos (Skoog et al, 2001).

La ley de Bragg: los rayos-X son un tipo de radiación electromagnética que tiene una alta energía y longitudes de onda muy cortas, las longitudes de onda son del orden de espacios atómicos de los sólidos. Cuando un haz de rayos-X incide sobre un material sólido, una porción de este rayo se dispersará en todas las direcciones por los electrones asociados a cada átomo o ion que está dentro del camino del haz. W. L. Bragg visualizó la difracción de rayos-X en término de reflexiones provenientes de los planos de un cristal, dando como resultado la simple relación (conocida como la Ley de Bragg).

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Esta ecuación se la conoce como ecuación de Bragg. Hay que señalar que los rayos X son reflejados por el cristal sólo si el ángulo de incidencia satisface la condición.

Cuando un haz de rayos X choca contra la superficie de un cristal formando un ángulo θ , una porción del haz es dispersada por la capa de átomos de la superficie. La porción no dispersada del haz penetra en la segunda capa de átomos donde, de nuevo, una fracción es dispersada y la que queda pasa a tercera capa. El efecto acumulativo de esta dispersión productiva por los centros regularmente espaciados del cristal es la difracción de haz, de la misma forma que la radiación visible se difracta en una red de reflexión. Los requisitos para la refracción de rayos X son dos; el primero, que el espaciado entre las capas de átomos sea aproximadamente el mismo que la longitud de onda de la radiación y el segundo, que los

centros de dispersión estén distribuidos en el espacio de una manera regular (Skoog et al., 2001, págs. 297-298).

4.5. Fluorescencia de Rayos X.

Es una técnica analítica que consiste en la absorción de rayos X en la muestra, lo que produce iones electrónicamente excitados que vuelven a su estado fundamental y emiten sus propios rayos X fluorescentes. Es uno de los métodos más utilizados para la cuantificación de elementos y al ser un método no destructivo permite conservar las propiedades físicas y químicas de la muestra, para utilizar la misma muestra para realizar otros ensayos. (Skoog et al., 2001)

La Fluorescencia de Rayos X consiste en la exposición de la muestra a una emisión de Rayos X secundarios o fluorescentes, los materiales son analizados bajo este método para determinar la concentración química, esta es expresada en porcentajes en peso para elementos mayoritarios y en ppm para elementos traza.

4.6. Microscopio Petrográfico

Las láminas delgadas son fragmentos de roca de 30 μm adheridas con resina a un portaobjetos que permite analizar la mineralogía de una roca en el microscopio petrográfico, la preparación de una lámina delgada tiene como objetivo, conseguir un grosor de roca tan pequeño para que pueda atravesar la luz del microscopio. El microscopio petrográfico tiene la capacidad de analizar ciertas características y propiedades de las muestras, los microscopios petrográficos utilizan dos tipos de fuentes luminosas, posee un polarizador que convierte la luz que emite en luz polarizada y empleando un lente llamada analizador, perpendicular a la primera la misma que se puede interponer se la conoce como nicols cruzados.

Para determinar la composición mineralógica de una roca en lámina delgada con una resolución mayor que la que permite el ojo, es necesario usar un microscopio petrográfico, el mismo posee un sistema de lentes que amplía la imagen.

CAPÍTULO V
METODOLOGÍA.

El presente estudio inició con la recopilación de información existente sobre los trabajos hechos en la zona en busca de minerales radioactivos y caracterización de lutitas negras, se consideró necesario reunir información sobre estudios previos de geoquímica y prospección del sector Puyango y cerca de los análisis de laboratorio necesarios para determinar las características que condicionan las lutitas negras como posibles depósitos minerales.

Una vez que la información se recopiló, se procedió a definir los puntos estratégicos de muestreo y delimitar el polígono del área a investigar en base a los estudios realizados previamente. Mediante trabajo de campo se procedió a la recolección de muestras de roca en el sector y la descripción geológica local de los afloramientos visitados.

La siguiente etapa consistió en la preparación de las muestras para su posterior análisis en el laboratorio mediante análisis definidos en la recopilación de información, en los cuales se obtuvo las características de cada una de las muestras. Mediante los resultados se dedujeron las conclusiones a los objetivos sujetos a esta investigación.

5.1. Muestreo.

La investigación acerca de la zona de estudio y el muestreo pertenecen a la etapa de exploración del proyecto, etapa en la que se considera importante la ubicación de los afloramientos y su litología para posteriormente determinar la geología local del polígono que se está estudiando.

El muestreo consiste en identificar en campo los afloramientos que tengan una mejor predisposición para el análisis, tomando en cuenta la accesibilidad y la ubicación en la que estén, el muestreo que se realizó es de carácter puntual, superficial y representativo de los afloramientos en la zona.

Una vez determinado los afloramientos se procedió a tomar las muestras de roca para llevar al laboratorio, las muestras tomadas fueron frescas y debidamente etiquetadas para poder ser transportadas, las etiquetas deben ser códigos que identifiquen de manera fácil y sencilla a la muestra.

Las coordenadas que se tomaron en el campo permitieron delimitar el polígono de estudio, así como establecer los mapas geoquímicos con las respectivas anomalías, junto a esto, los datos estructurales, los cuales permiten determinar si la zona tiene o no estructuras pequeñas, grandes o hasta regionales, lo cual puede ser un factor interesante para la génesis de las rocas que se están analizando. Posteriormente se procedió a transportar las muestras tomadas en el campo, al laboratorio para comenzar con el análisis de las rocas.

5.2. Tratamiento físico de las muestras.

En el laboratorio se procedió a realizar el tratamiento de las muestras, que consistió en el lavado de cada una de las mismas, para eliminar las impurezas y residuos orgánicos que pueden estar en las rocas, posteriormente, se secaron las rocas en la estufa a una temperatura de 105 °C por aproximadamente seis horas.

Una vez lavadas y secadas se pasaron las muestras por la trituradora hasta quedar a un tamaño necesario que permita la pulverización de las mismas, para ello se utilizó una trituradora marca Retsch tipo “BB200 WC” y una pulverizadora Retch RS 200 que se aprecia en la Figura 11. Para la pulverización se necesita homogenizar la muestra ya que solo se pulveriza aproximadamente 120 g lo que facilita hacer análisis mineralógicos de Difracción de Rayos X y químicos como Fluorescencia de Rayos X.

Se realizó la identificación de las rocas por medio de microscopio petrográfico para confirmar la litología que se determinó en el campo, con la Difracción de Rayos X se identifican las principales fases minerales que componen las mismas y con la Fluorescencia de Rayos X se cuantificó los componentes.



Figura 11. Trituradora Retsch BB200 WC y Pulverizadora Retsch RS 200, utilizadas para la preparación de las rocas en el laboratorio.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor

5.3. Identificación de Minerales y Rocas por Microscopio Petrográfico.

La preparación inicial consistió en lavar la muestra de roca, luego se procedió a cortar la muestra para darle la forma requerida, una vez que la muestra estuvo lista se procedió a pulir con las lijas 200 y 400 esto le dio una textura homogénea que mejora la apreciación de los porcentajes de los minerales. Esto ayuda a determinar el tipo de roca, como se originó y a que formación pertenece, delimitando la geología local del polígono.

Utilizando el microscopio petrográfico se identificó los minerales mediante el estudio de la lámina delgada, esto permitió definir el tipo de roca y su origen en base a la composición y la textura.

5.4. Análisis por Difracción de Rayos X.

En el análisis por Difracción de Rayos X se procedió a tomar las muestras más representativas del área de estudio lo que nos permitió determinar los minerales de la zona, el mismo que se llevó acabo con un equipo de Difractometría de Rayos X modelo BRUKER D8 ADVANCE (Ver Figura 12).



Figura 12. Equipo de Difracción de Rayos X modelo Bruker D8 Advance, utilizado para el análisis de las muestras en el laboratorio.

Fuente: Autor.

Elaborado: Autor.

Las muestras deben ser trituradas y pulverizadas para poder determinar la mineralización mediante Difracción de Rayos X, luego se procede analizar los datos en el software Philips-Binary, obteniendo así los datos para interpretar.

5.5. Análisis por Fluorescencia de Rayos X.

En el análisis por Fluorescencia de Rayos X se procede a triturar y pulverizadas para luego ser analizadas mediante un equipo de Fluorescencia de Rayos X portátil marca Brucker modelo S1 (Ver Figura 13), el cual permitió analizar las muestras bajo dos métodos de medición, Método Mining Light Elements FP para Elementos Mayoritarios y Método Soil FP para Elementos Traza.



Figura 13. Equipo de Fluorescencia de Rayos X marca Brucker S1, utilizado para el análisis de las muestras.

Fuente: Autor.

Elaborado: Autor.

Para el análisis estadístico se procedió a depurar los datos, deprecando los errores y los valores que no eran aptos para ser analizados, como por ejemplo los valores menores al error marcado por el equipo. Una vez depurado los valores se procedió a realizar la estadística en el programa Excel, determinando los valores máximos, mínimos, media, mediana y desviación estándar, con estos datos se procede a realizar los cálculos de Fondo, Umbral, Sub anomalías y Anomalías, para finalmente determinar si existe o no mineralización en la zona de estudio.

CAPÍTULO VI
RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

6.1. Análisis mineralógico.

El análisis mineralógico es una técnica de investigación geológica de laboratorio, que tiene como objetivo principal la identificación de las principales fases minerales en las muestras. Los análisis mineralógicos permiten identificar los minerales y da información detallada de sus propiedades físicas y químicas, cuya asistencia es muy importante en las diferentes etapas del desarrollo de esta investigación. Para ello, se empleó el análisis de Difracción de Rayos X y el microscopio petrográfico.

6.1.1. Difracción de Rayos X (DRX).

La Difracción de Rayos X permite identificar las principales fases cristalinas en las muestras, en función de la Ley de Bragg y los software (Eva Diffrac Plus y en este caso el software libre X'pert High Score), usando las bases de datos correspondientes. En primer lugar se preparó la muestra a tal punto en el que tenga un tamaño de $53 \mu m$ esta muestra se deposita en el porta muestras, en la cual se hace incidir un haz de rayos X y los rayos difractados son registrados y traducidos en un difractograma (Computador).

A continuación, se muestran los difractogramas obtenidos de siete muestras de rocas, con sus respectivos análisis e interpretación.

a. Muestra número Afl. 1. M2.

Tabla 1. Resultados mineralógicos de la muestra Afl. 1. M2 por Difractometría.

Muestra 1. Correspondiente al código Afl. 1. M2.	
Minerales	Formula
Cuarzo	SiO_2
Calcita	$CaCO_3$
Moscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Según el análisis de Difracción de Rayos X esta muestra corresponde a una lutita negra calcárea compuesta por cuarzo, calcita y moscovita, se estima la proporción de los minerales en 47 %, 10 % y 43 % respectivamente. Esta muestra pertenece a la Unidad Ciano, en el gráfico de Difracción se muestra el difractograma de la muestra Afl. 1. M2, con la proporción de los minerales identificados (Ver Anexo 1. Figura 23).

b. Muestra Afl. 3. M1.

Tabla 2. Resultados mineralógicos de la muestra Afl. 3. M1 por Difractometría.

Muestra 2. Correspondiente al código Afl. 3. M1.	
Minerales	Formula
Cuarzo	SiO_2
Calcita	$CaCO_3$

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Mediante el análisis de difracción de rayos X se identificaron cuarzo y calcita en la muestra Afl. 3. M1, esta muestra corresponde a una lutita negra calcárea, en una proporción de 79 % y 21 % respectivamente. Esta muestra pertenece a la Unidad Ciano, en el gráfico de Difracción

se muestra el difractograma de la muestra Afl. 3. M1, con la proporción de los minerales identificados (Ver Anexo1. Figura 24).

c. Muestra Afl. 11. M1.

Tabla 3. Resultados mineralógicos de la muestra Afl.11. M1 por Difractometría.

Muestra 3. Correspondiente al código Afl. 11. M1.	
Minerales	Formula
Cuarzo	SiO_2
Albita	$NaAlSi_3O_8$
Vermiculita	$(Mg, Fe^{+2}, Al)_3(Al, Si)_4O_{10}(OH)_2 * 4(H_2O)$
Volkonskoita	$CaO * 3(Cr, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 * 4(H_2O)$
Glaucionita	$(K, Na) * (Fe^{+3}, Al, Mg)_2 * (Si, Al)_4 * O_{10} * (OH)_2$
Moscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Esta muestra corresponde a una lutita negra, la cual está compuesta por minerales de arcillas (vermiculita) principalmente, como la glauconita que es un mineral alterado de la biotita detrítica por la diagénesis marina en aguas poco profundas en condiciones reductoras, como es el caso del ambiente marino reductor en el que se forman estas lutitas negras. La muestra presenta volkonskoita que es un mineral epigenético en areniscas y conglomerados, comúnmente se deposita llenando cavidades de la descomposición de material orgánico también está compuesta de cuarzo, albita y moscovita. Esta muestra pertenece a la Unidad Ciano, en el gráfico de Difracción se muestra el difractograma de la muestra Afl. 3. M1, con la proporción de los minerales identificados (Ver Anexo 1. Figura 25).

d. Muestra Afl. 12.

Tabla 4. Resultados mineralógicos de la muestra Afl.12 por Difractometría.

Muestra 4. Correspondiente al código Afl. 12.	
Minerales	Formula
Cuarzo	SiO_2
Moscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Carnotita	$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Esta muestra es de una lutita negra la cual está compuesta por moscovita, cuarzo y carnotita. La carnotita es un mineral mena de uranio y vanadio, se halla generalmente en rocas sedimentarias en zonas áridas, al ser un vanadato de potasio y uranio, su alto contenido en uranio la convierte en una importante mena de este elemento. Esta muestra pertenece a la Unidad Ciano, en el gráfico de Difracción se muestra el difractograma de la muestra Afl. 12 (Ver Anexo 1. Figura 26).

e. Muestra número Afl. 15

Tabla 5. Resultados mineralógicos de la muestra Afl.15 por Difractometría.

Muestra 5. Correspondiente al código Afl. 15.	
Minerales	Formula
Cuarzo	SiO_2
Calcita	$CaCO_3$
Dickita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

La siguiente muestra corresponde a una lutita negra calcárea compuesta por cuarzo, calcita y dickita. La dickita es similar a la caolinita en composición pero diferentes en su estructura, es un constituyente meno importante de depósitos de arcillas (Dana, 1997, pág. 570), según el análisis de Difracción de Rayos X se pudo estimar la proporción de los minerales en 58 %, 38 % y 4 % respectivamente. Esta muestra pertenece a la Unidad Ciano, en el gráfico de Difracción se muestra el difractograma de la muestra Afl. 15, con la proporción de los minerales identificados (Ver Anexo 1. figura 27).

f. Muestra número Afl. 16.

Tabla 6. Resultados mineralógicos de la muestra Afl.16 por Difractometría.

Muestra 6. Correspondiente al código Afl. 16.	
Minerales	Formula
Moscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Albita	$NaAlSi_3O_8$
Clinocloro	$(Mg, Fe^{+2})_5 * Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Esta muestra corresponde a una lutita negra, la cual está compuesta según el análisis de Difracción de Rayos X por moscovita, albita y clinocloro. El clinocloro es un mineral del grupo de la clorita, se manifiesta en rocas metamórficas asociados con alteraciones hidrotermales (Dana, 1997). Esta muestra pertenece a la Unidad Ciano, en el gráfico de Difracción se muestra el difractograma de la muestra Afl. 16, con la proporción de los minerales identificados (Ver Anexo 1. Figura 28).

g. Muestra número Afl. 21.

Tabla 7. Resultados mineralógicos de la muestra Afl. 21 por Difractometría.

Muestra 7. Correspondiente al código Afl. 21.	
Minerales	Formula
Cuarzo	SiO_2
Moscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Chamosita	$(Fe^{+2}, Mg, Fe^{+3})_5Al(Si_3, Al)O_{10}(OH, O)_8$
Albita	$NaAlSi_3O_8$

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

La muestra Afl. 21 es de una lutita negra la cual según el análisis de Difracción de Rayos X está compuesta por moscovita, cuarzo, albita y chamosita. La chamosita es un mineral del grupo de la clorita, se manifiesta en yacimientos de hierro metamorfizados que se forman en condiciones reductoras y en presencia de materia orgánica (Dana, 1997). Esto tiene relación con el ambiente de formación de esta roca, las cuales corresponden a la Unidad Ciano, en el gráfico de Difracción se muestra el difractograma de la muestra Afl. 21, con la proporción de los minerales identificados (Ver Anexo 1. Figura 29).

6.1.2. Microscopio Petrográfico.

Mediante este análisis se identificó la roca, a través de las propiedades ópticas de los minerales que la componen, la muestra analizada Afl. 30 es una lutita negra. A continuación se pueden observar las imágenes de la muestra bajo luz polarizada analizada y luz polarizada no analizada (Ver Figura 14).

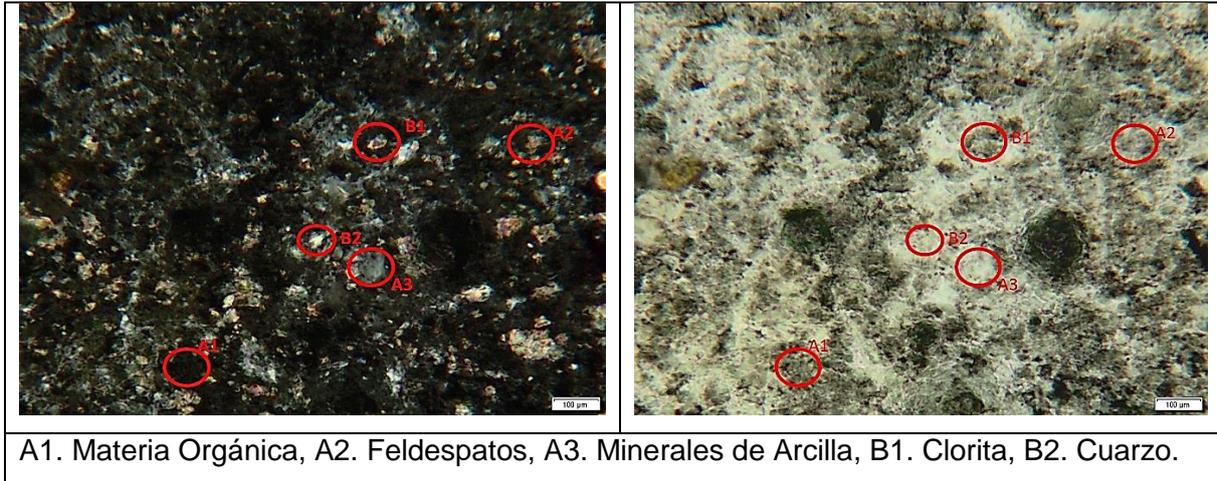


Figura 14. Lámina delgada de la muestra Afl.30.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

La Imagen de la muestra del Afl. 30 es una lutita negra, se puede observar que la materia orgánica (A1) ocupa el 85 % de la muestra lo que indica que es de tipo bituminosa, en la cual se acumulan elementos como el uranio y el vanadio. Los feldespatos (A2) de coloración rosada son comunes en rocas sedimentarias 4 %, así como los minerales de arcilla (A3) de coloración gris 10 %. Esta muestra se la obtuvo en el mismo sector que la muestra, Afl. 15 la misma que en el análisis de DRX muestra que tiene dickita el cual es un mineral del grupo de las arcilla. Hay un pequeño fragmento de clorita (B1). La muestra contiene 1 % de cuarzos (B2).

6.2. Análisis Químico.

Los análisis químicos se obtienen por medio de técnicas analíticas que permiten lograr la cuantificación, es decir, establecer o determinar la composición química de las muestras, obteniendo la concentración de elementos mayoritarios y traza, estos últimos importantes para dicha investigación. En este caso se utilizó Fluorescencia de Rayos X (FRX).

6.2.1. Fluorescencia de Rayos X (FRX).

Mediante estos análisis se obtuvo la concentración de los principales elementos mayoritarios por el método Mining Light Elements FP y para los elementos traza por el método Soil FP, la cual expresa los resultados en ppm.

6.2.1.1. Fluorescencia de Rayos X de Elementos Mayoritarios.

Los elementos mayoritarios medidos en las muestras son: Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 , MnO y P_2O_5 . Mediante esta técnica se determinó la concentración de elementos mayoritarios, lo cual permite discriminar entre tipos de rocas sedimentarias, en base a la concentración de óxido de calcio (CaO) para las calizas y (SiO_2 y Al_2O_3) para las lutitas. Esto se basa en la concentración de CaO (evidencia del carbonato de calcio, principal componente de las calizas), a partir del 42% de óxido de calcio (CaO) se considera que es una caliza (Mason & Moore, 1982).

Las lutitas negras bituminosas se forman bajo una sedimentación en ambientes pobres en oxígeno, donde la materia orgánica se preserva, es decir, no se oxida con facilidad, como es el caso del ambiente de la zona de estudio el cual es un ambiente marino (Unidad Ciano). Estas tienen una alta concentración de aluminio y una baja concentración de calcio. La composición de las calizas es inversa, tienen una alta concentración de calcio y una baja concentración de aluminio.

La concentración (%) de elementos mayoritarios analizados por Fluorescencia de Rayos X evidencia la presencia de lutitas debido que la concentración de Al_2O_3 es de 15.40 % y la concentración de CaO es de 42.57 % en las calizas (Mason & Moore, 1982).

Tabla 8. Concentración (%) de elementos mayoritarios por Fluorescencia de Rayos X.

CÓDIGO	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Afl.1 M1.1	17.95	1.25	43.60	6.49	1.95	0.67	0.12	N/D
Afl.1 M1.2	23.00	7.00	33.95	9.34	1.78	1.46	0.17	0.59
Afl.1 M2	8.62	17.95	46.65	2.84	1.42	0.34	0.11	1.16
Afl.1 M3	11.35	12.10	48.40	4.23	1.73	0.42	0.11	0.97
Afl.2 M1	11.30	0.71	63.20	3.69	1.68	0.60	0.09	N/D
Afl.2 M2	20.05	6.01	43.25	8.94	2.29	1.43	0.17	0.68
Afl.2 M3	9.92	0.89	55.55	5.17	1.17	0.62	0.10	0.20
Afl.3 M1	7.66	12.35	56.70	4.51	0.76	0.49	0.12	N/D
Afl.3 M2	18.90	6.50	47.25	6.83	1.85	0.78	0.13	N/D
Afl.4 M1	19.60	1.74	43.55	7.73	1.23	0.74	0.18	0.34
Afl.4 M2	17.85	1.52	45.70	6.69	1.38	0.65	0.15	0.35
Afl.5	6.42	46.35	38.85	2.63	0.86	0.31	0.13	1.87
Afl.6	21.20	0.60	37.50	12.45	1.10	1.08	0.16	0.27
Afl.7	13.20	11.80	51.30	5.86	2.05	0.62	0.15	0.86
Afl.8 M1	11.50	2.41	57.25	3.74	0.49	0.29	0.09	N/D
Afl.8 M2	16.50	0.56	49.60	4.89	0.54	0.69	0.10	N/D
Afl.9	13.55	0.06	60.75	6.52	1.03	0.64	0.20	0.20
Afl.10	13.65	0.84	53.10	4.17	1.21	0.48	0.09	N/D
Afl.11 M1	20.95	0.96	44.80	14.50	1.04	1.31	0.34	N/D
Afl.11 M2	14.50	13.50	41.50	7.90	0.49	0.58	0.21	0.92
Afl.12	16.50	0.10	53.35	1.27	3.62	0.85	0.03	0.48
Afl.13	14.80	0.05	57.85	6.10	1.33	0.92	0.08	0.20
Afl.14	8.68	0.45	67.00	5.13	0.32	0.20	0.12	0.40
Afl.15	4.56	36.55	51.85	1.89	0.50	0.12	0.14	1.69
Afl.16	25.40	0.97	41.50	20.25	2.14	1.86	0.17	0.27
Afl.17	8.86	2.47	57.40	1.64	0.13	0.17	0.05	N/D
Afl.18	16.55	0.13	51.60	9.56	1.65	1.32	0.12	0.19
Afl.19	16.80	0.16	49.30	6.05	1.05	0.55	0.06	0.17
Afl.20	6.16	0.32	70.40	2.05	1.13	0.36	0.06	N/D
Afl.21	16.40	1.23	48.70	5.87	2.50	0.79	0.10	0.40
Afl.22 M1	6.02	5.61	69.30	3.59	0.69	0.28	0.13	N/D
Afl.22 M2	13.60	10.20	51.30	7.29	1.60	0.65	0.25	N/D
Afl.23 M1	10.20	25.30	34.90	4.99	0.81	0.76	0.20	1.42
Afl.23 M2	12.30	7.53	51.40	8.16	0.54	0.81	0.13	N/D
Afl.24	8.08	24.60	44.50	3.20	1.32	0.60	0.13	1.35
Afl.25	11.50	18.30	39.80	5.15	1.56	0.81	0.16	1.06
Afl.26	12.40	17.40	44.70	6.12	1.54	0.86	0.12	1.15
Afl. 27	8.02	0.84	64.10	4.03	1.21	0.21	0.10	0.33
Afl. 28	5.37	53.90	32.10	1.74	0.94	0.15	0.06	1.96
Afl. 29	3.99	1.98	73.20	5.72	0.64	0.18	0.07	1.25
Afl. 30	15.20	3.09	48.85	5.66	2.15	0.30	0.14	N/D
N/D: No se detectó.								
Lutitas			Lutitas Calcáreas			Calizas		

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Como se puede observar en los resultados de la Tabla 8, las lutitas se pueden identificar por el porcentaje de aluminio que arrojaron los análisis de FRX. Las calizas por el contrario tienen un porcentaje elevado de CaO mayor al 42%, como es el caso de las muestras Afl. 5 y Afl. 28. Las lutitas calcáreas, tienen concentraciones de calcio menores al 42%. Posiblemente algunas de las muestras sean limolitas, estas se caracterizan por un bajo porcentaje de aluminio, un bajo porcentaje de calcio y un alto porcentaje de sílice, lo que químicamente da a entender que son limolitas. Esto corroborará la identificación de las muestras de mano, las cuales son clasificadas de acuerdo a su textura y composición.

Tabla 9. Parámetros estadísticos de la concentración de elementos mayoritarios en el polígono.

	Al₂O₃	CaO	SiO₂	Fe₂O₃	K₂O	TiO₂	MnO	P₂O₅
Min	3.99	0.05	32.10	1.27	0.13	0.12	0.03	0.17
Media	13.15	8.69	50.38	5.96	1.30	0.66	0.13	0.77
Mediana	13.20	2.41	49.30	5.66	1.21	0.62	0.12	0.59
Max	25.40	53.90	73.20	20.25	3.62	1.86	0.34	1.96
DesvS	5.35	12.73	9.96	3.60	0.69	0.39	0.06	0.56

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Según la tabla 9, se puede indicar que la mayoría de las muestras corresponden a rocas sedimentarias detríticas, porque la mediana de la concentración de Al₂O₃ es de 13.20% (cercano al promedio de las lutitas), otras corresponden a lutitas calcáreas y calizas, según la descripción de las muestras de mano la mayoría de las muestras analizadas en el presente estudio son lutitas negras, debido a su coloración y textura.

Tabla 10. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios.

	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Al ₂ O ₃	1							
CaO	-0.48	1						
SiO ₂	-0.47	-0.47	1					
Fe ₂ O ₃	0.76	-0.35	-0.33	1				
K ₂ O	0.49	-0.20	-0.23	0.17	1			
TiO ₂	0.83	-0.30	-0.45	0.82	0.47	1		
MnO	0.40	0.02	-0.36	0.61	-0.04	0.45	1	
P ₂ O ₅	-0.67	0.93	-0.34	-0.51	-0.30	-0.47	-0.03	1

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

El coeficiente de correlación de los elementos mayoritarios de la Tabla 10, muestra que un elemento tiene un comportamiento geoquímicamente similar a otro, por ejemplo, el aluminio se correlaciona con el hierro, el potasio y el titanio, por otro lado, el Al⁺³, el Fe⁺³ y el Ti⁺⁴ son elementos inmóviles (ver gráfico de potencial iónico, Figura. 8). El potasio y el aluminio se encuentran formando aluminosilicatos (minerales del grupo de las arcillas), como moscovita y dickita por ello se correlacionan. El calcio se correlaciona con el fósforo los cuales forman minerales comunes en las calizas a partir de depósitos orgánicos. El hierro se correlaciona con el aluminio, el titanio y el manganeso, por ser elementos inmóviles, los cuales forman minerales como óxidos y aluminosilicatos (arcillas).

6.2.1.2. Fluorescencia de Rayos X de Elementos Traza.

Los elementos traza que se consideraron para el análisis son V, U, Se, Mo, Cu, Zn, Pb, S, Zr, Cr, Pd, Cd, Ba cuya geodisponibilidad en la zona pueden representar la abundancia en el área de estudio (Ver tabla 11). Según este análisis se puede apreciar que los valores de vanadio, uranio y paladio son considerablemente altos para el tipo de litología existente en el lugar. El método utilizado para determinar los elementos traza es "Soil FP" que muestra los valores de concentración en partes por millón (ppm).

Tabla 11. Concentración (ppm) de elementos traza por Fluorescencia de Rayos X.

	V	U	Se	Mo	Cu	Zn	Pb	S	Zr	Cr	Pd	Cd	Ba	Co
Afl.1 M1.1	205	28	9	17	26	137	41	2405	151	N/D	80	82	1860	32
Afl.1 M1.2	266	21	9	18	73	161	39	2100	206	N/D	70	70	870	56
Afl.1 M2	192	29	9	49	37	289	64	12450	105	N/D	101	86	N/D	N/D
Afl.1 M3	254	24	9	58	34	260	59	17750	106	N/D	95	87	N/D	6
Afl.2 M1	N/D	30	9	27	39	184	36	5435	150	N/D	76	85	1100	4
Afl.2 M2	222	28	9	15	59	161	N/D	10150	177	N/D	116	82	1205	51
Afl.2 M3	212	28	9	27	48	160	42	5920	127	82	110	77	879	20
Afl.3 M1	882	28	9	27	66	668	41	5230	56	N/D	121	113	1210	5
Afl.3 M2	470	27	9	28	40	226	41	5205	80	N/D	114	83	1975	29
Afl.4 M1	N/D	20	9	N/D	38	90	N/D	574	169	100	137	85	N/D	37
Afl.4 M2	N/D	25	9	15	33	77	46	N/D	190	N/D	125	88	N/D	28
Afl.5	N/D	35	9	21	40	272	57	8975	53	N/D	220	122	N/D	N/D
Afl.6	214	19	9	15	50	112	38	5655	175	98	103	90	N/D	89
Afl.7	265	27	9	31	54	193	48	1430	126	81	119	92	N/D	15
Afl.8 M1	298	N/D	9	N/D	48	251	N/D	235	119	N/D	125	43	N/D	6
Afl.8 M2	712	31	9	43	41	184	44	1210	145	N/D	105	86	1450	14
Afl.9	387	22	9	22	59	308	36	N/D	101	N/D	106	78	1375	28
Afl.10	244	24	9	24	29	130	44	N/D	113	N/D	110	82	1480	6
Afl.11 M1	732	24	9	10	111	462	N/D	N/D	87	144	83	86	2097	113
Afl.11 M2	442	19	9	22	72	340	47	4465	61	N/D	148	92	N/D	29
Afl.12	2110	62	14	76	28	47	70	466	177	78	113	34	1850	N/D
Afl.13	371	30	9	30	38	72	46	N/D	145	N/D	117	83	1060	23
Afl.14	120	22	9	23	35	158	35	N/D	69	77	114	86	776	14
Afl.15	1195	38	9	19	47	230	47	2590	34	N/D	236	81	N/D	N/D
Afl.16	730	52	9	37	110	1085	79	2080	134	195	36	124	3065	163
Afl.17	N/D	N/D	9	N/D	36	124	N/D	1365	56	104	160	44	N/D	N/D
Afl.18	854	21	10	65	54	87	N/D	1880	99	120	116	91	1635	54
Afl.19	150	37	9	23	19	47	47	8045	162	N/D	110	85	919	23
Afl.20	187	N/D	9	N/D	26	59	N/D	165	49	N/D	111	N/D	N/D	N/D
Afl.21	210	52	9	31	28	135	51	183	220	N/D	77	75	N/D	21
Afl.22 M1	N/D	N/D	9	N/D	20	108	N/D	3530	61	N/D	58	N/D	N/D	5
Afl.22 M2	154	22	9	31	37	195	42	1120	197	N/D	38	63	N/D	37
Afl.23 M1	N/D	32	9	16	32	82	56	6810	93	N/D	55	66	1190	17
Afl.23 M2	N/D	22	9	N/D	33	95	38	9030	148	N/D	N/D	45	N/D	55
Afl.24	N/D	35	9	17	21	61	57	8370	88	N/D	99	84	N/D	N/D
Afl.25	N/D	35	10	22	30	90	48	9330	127	N/D	65	68	1000	16
Afl.26	N/D	22	9	16	39	145	N/D	2500	128	78	108	80	N/D	24
Afl. 27	2500	N/D	9	N/D	125	453	35	335	39	100	64	24	36	15
Afl. 28	1160	35	9	14	66	674	65	3780	789	N/D	53	139	94	N/D
Afl. 29	461	23	9	29	62	858	39	659	44	152	31	26	49	31
Afl. 30	158	26	9	23	32	240	50	1780	104	N/D	33	73	72	22

N/D: No se detectó.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Tabla 12. Parámetros estadísticos de la concentración de elementos traza por FRX.

	V	U	Se	Mo	Cu	Zn	Pb	S	Zr	Cr	Pd	Cd	Ba	Co
Min	120	19	9	10	19	47	35	165	34	77	31	24	36	4
Media	545	29	9	27	47	237	48	4377	133	108	101	79	1185	33
Mediana	282	27	9	23	39	161	46	2590	119	100	107	83	1190	23
Max	2500	62	14	76	125	1085	79	17750	789	195	236	139	3065	163
Desv S	566	10	0.8	15	24	224	11	4103	116	36	43	24	733	33

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Como se puede observar en la Tabla 12, los valores estadísticos de los elementos traza, la media, mediana, desviación estándar, los valores máximos y mínimos, permite analizar los valores del Clarke de concentración en la corteza con respecto a los resultados arrojados por la Fluorescencia de Rayos X. Los mismos que serán discutidos por separado.

Tabla 13. Tendencia de distribución espacial.

	V	U	Se	Mo	Cu	Zn	Pb	S	Zr	Cr	Pd	Cd	Ba	Co
Fondo	282	27	9	23	39	161	46	2590	119	100	107	83	1190	23
Umbral	848	37	10	38	63	385	57	6693	235	136	150	107	1923	56
Sub anomalía	1414	47	11	53	87	609	68	10797	351	172	193	131	2656	89
Anomalía	1980	57	11	68	111	833	79	14900	467	208	236	155	3389	122

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Para delimitar las tendencias de distribución espacial (Tabla 13) de los resultados obtenidos por la Fluorescencia de Rayos X de la Tabla 13, el criterio seguido en la representación gráfica ha sido definir los valores de concentración de los elementos traza de interés mediante los valores de la mediana y la desviación estándar, teóricamente, el Fondo es igual a la Mediana, el Umbral (Mediana + Desviación estándar), Sub anomalía (Mediana + dos veces la Desviación estándar) y Anomalía (Mediana + tres veces la Desviación estándar), estos cálculos son necesarios para tratar los datos (INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico), 2013).

Se analizó los datos mediante herramientas de interpolación en el software ArcGis 10.3

Tabla 14. Coeficiente de correlación de elementos traza.

Elementos	V	U	Se	Mo	Cu	Zn	Pb	S	Zr	Cr	Pd	Cd	Ba	Co
V	1													
U	0.58	1												
Se	0.54	0.56	1											
Mo	0.43	0.35	0.63	1										
Cu	0.48	-0.08	-0.13	-0.14	1									
Zn	0.25	0.13	-0.17	-0.04	0.70	1								
Pb	0.21	0.69	0.37	0.46	0.02	0.29	1							
S	-0.30	-0.15	-0.14	0.01	-0.23	-0.12	0.18	1						
Zr	0.08	0.16	0.05	-0.12	0.03	0.15	0.29	-0.04	1					
Cr	-0.07	0.21	-0.23	-0.05	0.63	0.87	0.48	-0.17	-0.20	1				
Pd	0.06	-0.02	0.03	-0.02	-0.17	-0.31	-0.06	0.11	-0.28	-0.70	1			
Cd	-0.28	0.02	-0.30	-0.24	0.06	0.24	0.36	0.27	0.38	0.25	0.17	1		
Ba	-0.06	0.39	0.21	0.30	0.09	0.06	0.42	0.02	-0.23	0.49	0.27	0.32	1	
Co	0.06	0.21	0.02	-0.08	0.56	0.47	0.51	-0.09	0.19	0.80	-0.24	0.32	0.66	1

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

El coeficiente de correlación de los elementos traza muestra que algunos elementos tienen comportamientos geoquímicamente similares (Ver Tabla14), en el caso del vanadio, selenio, molibdeno y plomo los cuales son elementos trazadores del uranio. En la tabla 14, se puede observar cómo se correlaciona el uranio con cada uno de ellos. El vanadio también se correlaciona con el uranio, selenio, molibdeno y cobre.

La importancia de que los resultados muestren la correlación de elementos trazadores del uranio en esta zona, indica que hay indicios de mineralización de uranio y al tener en cuenta la ubicación de las anomalías de uranio determinadas mediante los análisis realizados, se puede considerar esta zona como un posible yacimiento de uranio con un tenor y fondo elevado.

Tabla 15. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios y elementos traza.

	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	V	U	Se	Mo	Cu	Zn	Pb	S	Zr	Cr	Pd	Cd	Ba	Co	
Al ₂ O ₃	1																						
CaO	-0.48	1																					
SiO ₂	-0.47	-0.47	1																				
Fe ₂ O ₃	0.76	-0.35	-0.33	1																			
K ₂ O	0.49	-0.20	-0.23	0.17	1																		
TiO ₂	0.83	-0.30	-0.45	0.82	0.47	1																	
MnO	0.40	0.02	-0.36	0.61	-0.04	0.45	1																
P ₂ O ₅	-0.67	0.93	-0.34	-0.51	-0.30	-0.47	-0.03	1															
V	-0.18	0.19	0.09	-0.18	0.15	-0.08	-0.18	0.12	1														
U	0.03	0.13	-0.09	-0.12	0.53	0.11	-0.37	0.06	0.58	1													
Se	0.11	-0.10	0.02	-0.18	0.55	0.14	-0.26	-0.12	0.54	0.56	1												
Mo	0.04	-0.25	0.27	-0.14	0.45	0.07	-0.38	-0.26	0.43	0.35	0.63	1											
Cu	0.22	-0.04	-0.08	0.53	-0.05	0.33	0.40	-0.14	0.48	-0.08	-0.13	-0.14	1										
Zn	-0.06	0.15	0.03	0.37	-0.09	0.06	0.11	0.20	0.25	0.13	-0.17	-0.04	0.70	1									
Pb	0.08	0.40	-0.47	0.08	0.42	0.23	-0.14	0.33	0.21	0.69	0.37	0.46	0.02	0.29	1								
S	-0.10	0.32	-0.31	-0.06	-0.04	0.01	0.10	0.26	-0.30	-0.15	-0.14	0.01	-0.23	-0.12	0.18	1							
Zr	0.08	0.39	-0.44	-0.04	0.16	0.04	-0.16	0.22	0.08	0.16	0.05	-0.12	0.03	0.15	0.29	-0.04	1						
Cr	0.39	-0.32	-0.12	0.75	-0.04	0.54	0.38	-0.02	-0.07	0.21	-0.23	-0.05	0.63	0.87	0.48	-0.17	-0.20	1					
Pd	-0.17	0.27	-0.03	-0.30	-0.30	-0.22	-0.11	0.19	0.06	-0.02	0.03	-0.02	-0.17	-0.31	-0.06	0.11	-0.28	-0.70	1				
Cd	0.14	0.44	-0.51	0.24	-0.01	0.20	0.18	0.24	-0.28	0.02	-0.30	-0.24	0.06	0.24	0.36	0.27	0.38	0.25	0.17	1			
Ba	0.71	-0.31	-0.27	0.62	0.36	0.72	0.38	-0.43	-0.06	0.39	0.21	0.30	0.09	0.06	0.42	0.02	-0.23	0.49	0.27	0.32	1		
Co	0.69	-0.21	-0.42	0.99	0.22	0.80	0.51	-0.30	0.06	0.21	0.02	-0.08	0.56	0.47	0.51	-0.09	0.19	0.80	-0.24	0.32	0.66	1	

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Los elementos mayoritarios y los elementos traza se correlacionan (Ver Tabla 15), como es el caso del vanadio y calcio, uranio con calcio, paladio con calcio, cadmio con calcio, esto se debe a que son elementos traza que se encuentran en las lutitas negras calcáreas y calizas negras, tienen carbonato de calcio.

Los elementos trazadores del uranio como el selenio y molibdeno se correlacionan entre sí y con el potasio, como es el caso uranio con potasio, el selenio con potasio, molibdeno con potasio, plomo con potasio, circonio con potasio y bario con potasio, porque hay presencia de carnotita y moscovita.

Entre las correlaciones que arrojan los resultados están las correlaciones de cobre con hierro, cobre con manganeso y cinc con hierro, los mismos que componen una asociación geoquímica de elementos calcófilos que se asocian con el azufre.

6.2.2. Análisis de resultados.

Se puede observar que los valores más altos de los elementos traza de interés (V, U), se encuentran correlacionados entre sí en las mismas muestras. En las cuales se detectaron concentraciones anómalas de uranio, las cuales están por encima de la concentración normal en la corteza. Estas muestras corresponden a lutitas negras, en las cuales se identificó carnotita (Afl. 12).

- **Aluminio.**

El aluminio tiene un Clarke de concentración en la corteza de 83600 ppm (8.36%) (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) la mediana de las muestras en el área es de 132000 ppm (13.20 %) (Ver tabla 9). Una alta concentración de aluminio es característico en rocas sedimentarias como las lutitas. El valor máximo de aluminio registrado en las muestras es de 254000 ppm (25.4 %) en la muestra Afl.16.

- **Manganeso.**

El manganeso tiene un Clarke de concentración en la corteza de 1060 ppm (0.106%) (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) y la mediana de las muestras en el área es de 1240 ppm (0.124 %) (Ver tabla 9), que está por arriba del Clarke de concentración, pero se encontraron dos valores más altos en las muestras Afl.11. M1 de 3360 ppm (0.336%) este es el valor máximo registrado en las muestras y Afl.22. M2 de 2470 ppm (0.247%), si hay favorabilidad para el manganeso.

Fondo = Mediana = 0.12 %

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 0.18 %

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 0.24 %

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 0.30 %

En el mapa geoquímico del manganeso (Ver Anexo 2. Figura 30) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos del manganeso en la muestra Afl.11 M1 de 3360 ppm (0.336%) que se localiza en la carretera que va del sector “La Hoyada” hasta el sector “El Derrumbo” pertenece a una lutita negra, valores de Sub anomalía de la muestra Afl. 22 M 2 de 2470 ppm (0.247 %) pertenece a una lutita calcárea que se localiza en una quebrada del sector “El Cebollal” en la vía troncal a la costa, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

- **Uranio.**

El Uranio tiene un Clarke de concentración en la corteza de 2.30 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 41) la mediana de las muestras en el área es de 27 ppm (Ver tabla 12) lo cual indica que el uranio tiene un fondo alto, los valores más altos se detectaron en las muestras Afl. 12 en la que se detectó carnotita, los valores obtenidos en la muestra son: 62 ppm (misma muestra en la que se determinó uno de los valores más altos de vanadio), la muestra Afl. 16 se determinó 52 ppm y la muestra Afl. 21 también se determinó 52 ppm. Estas tres muestras son lutitas negras. El diagrama de caja y bigotes del uranio muestra los valores atípicos o anomalías del elemento con respecto a la mediana.

Fondo = Mediana = 27 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 37 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 47 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 57 ppm.

Los análisis muestran que existe una anomalía de uranio de 62 ppm que se localiza en el sector “El Derrumbo”, los dos valores de sub anomalías de 52 ppm que se localizan en la “Quebrada el Cebollal” y en una quebrada del sector “El Cebollal”, las tres muestras son lutitas negras pertenecientes a la Unidad Ciano.

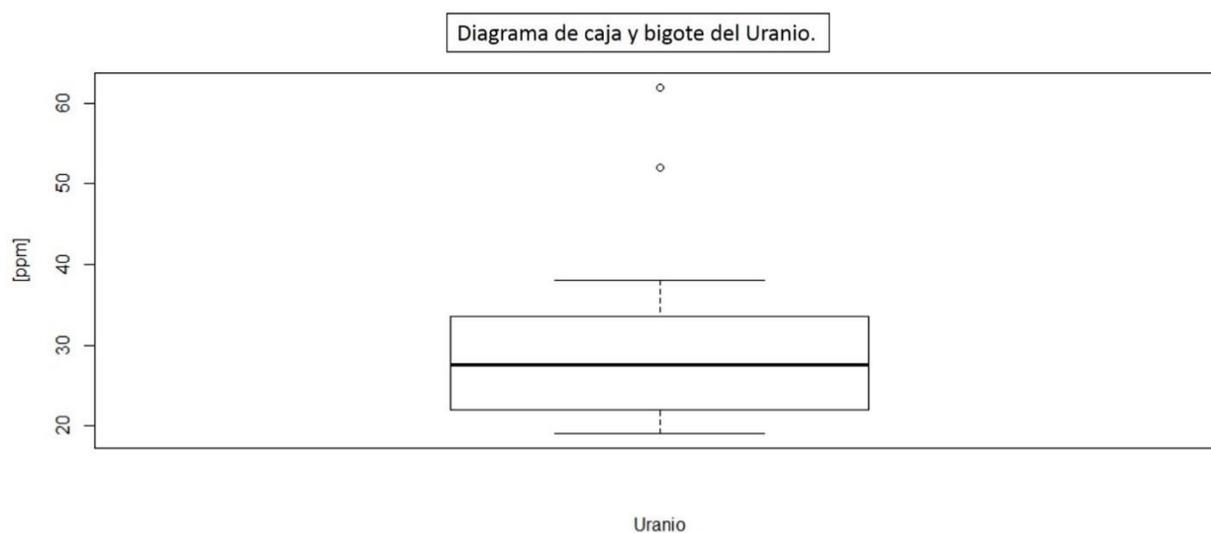


Figura 15. Diagrama de Caja y Bigote del Uranio.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

El diagrama de caja y bigotes del uranio (Figura 15) muestra el fondo, el umbral, las anomalías y las sub anomalías de uranio que se determinaron mediante los cálculos hechos a los resultados de los análisis datos de Fluorescencia de rayos X.

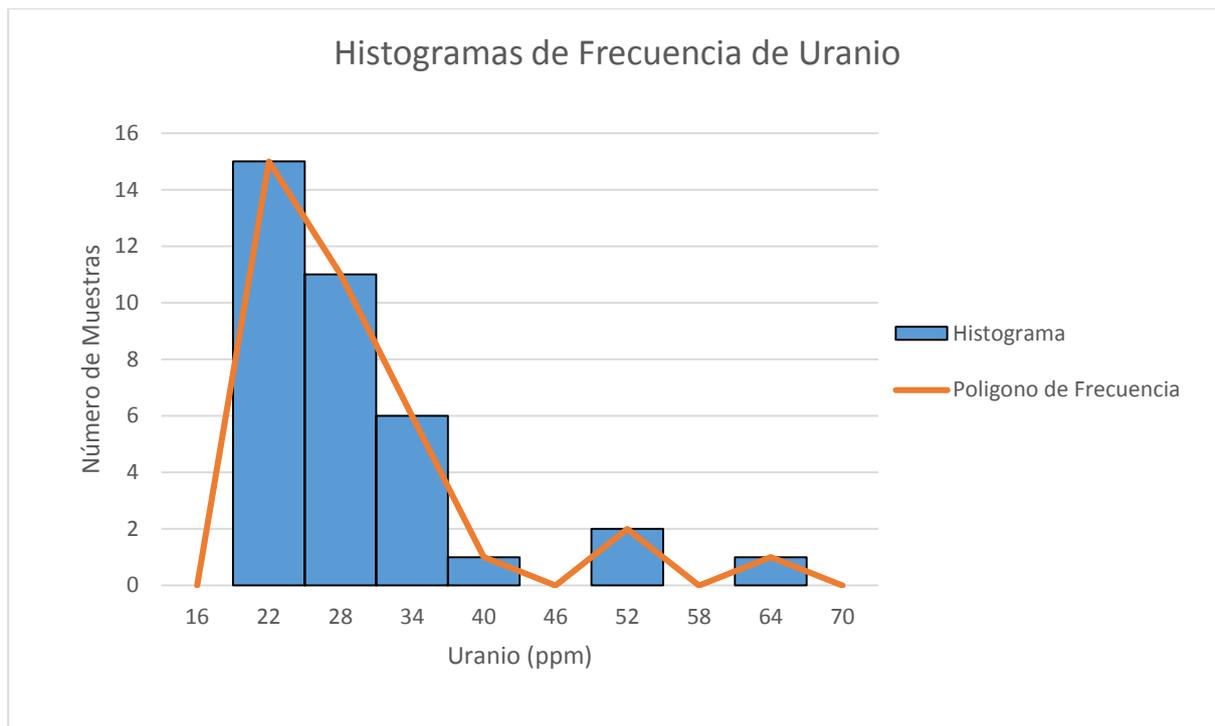


Figura 16. Histograma de Frecuencia de Uranio.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

El histograma de frecuencia indica la distribución absoluta del número de muestras con respecto a los valores de uranio en ppm obtenidos por la Fluorescencia de Rayos X, en la Figura 20, se muestran las frecuencias del uranio que están entre los 22 ppm y también se detectaron valores anómalos de 62 ppm que corresponde a la muestra Afl. 12, también se detectaron dos valores de 52 ppm que corresponden a las muestras Afl. 16 y Afl. 21 (Ver Figura 16).

En el mapa geoquímico de uranio (Ver Anexo 2. Figura 31) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos de uranio, el valor más alto es de la muestra Afl. 12 que se encuentra en el sector “El Derrumbo” con un valor de 62 ppm, En el análisis de Difracción de Rayos X de esta muestra evidenció carnotita. Los otros dos valores anómalos de uranio son de 52 ppm, la primera muestra es Afl.16 que se encuentra en la “Quebrada El Cebollal” y la segunda muestra es Afl. 21 que se encuentran en una quebrada cerca del sector “El Cebollal”, se puede inferir que el uranio se puede encontrar asociado a la materia orgánica. Los tres valores anómalos son de lutitas negras pertenecientes a la Unidad Ciano.

- **Vanadio**

El vanadio tiene un Clarke de concentración en la corteza de 136 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40), la mediana de las muestras en el área es de 282 ppm, el vanadio se correlaciona muy bien con el selenio y el uranio. El valor máximo registrado es de 2500 ppm en la muestra Afl. 27, la cual es una lutita calcárea, 2110 ppm en la Afl. 12 (lutita), 1195 ppm en la Afl. 15 (lutita calcárea) y 1160 ppm en la Afl. 28 (caliza). El diagrama de caja y bigote del vanadio muestra los valores atípicos o anomalías del elemento con respecto a la frecuencia, en la imagen se aprecia los dos valores elevados que superan los 2000 ppm.

Fondo = Mediana = 282 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 848 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 1414 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 1980 ppm.

Los análisis muestran que existen dos anomalías de vanadio la muestra Afl.27 de 2500 ppm que se localiza en una quebrada en el sector “El Empalme” pertenece a una lutita calcárea y la muestra Afl. 12 de 2110 ppm que se localiza en el sector “El Derrumbo” pertenece a una lutita negra, valores de Umbral que van desde 850 hasta los 1195 ppm, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

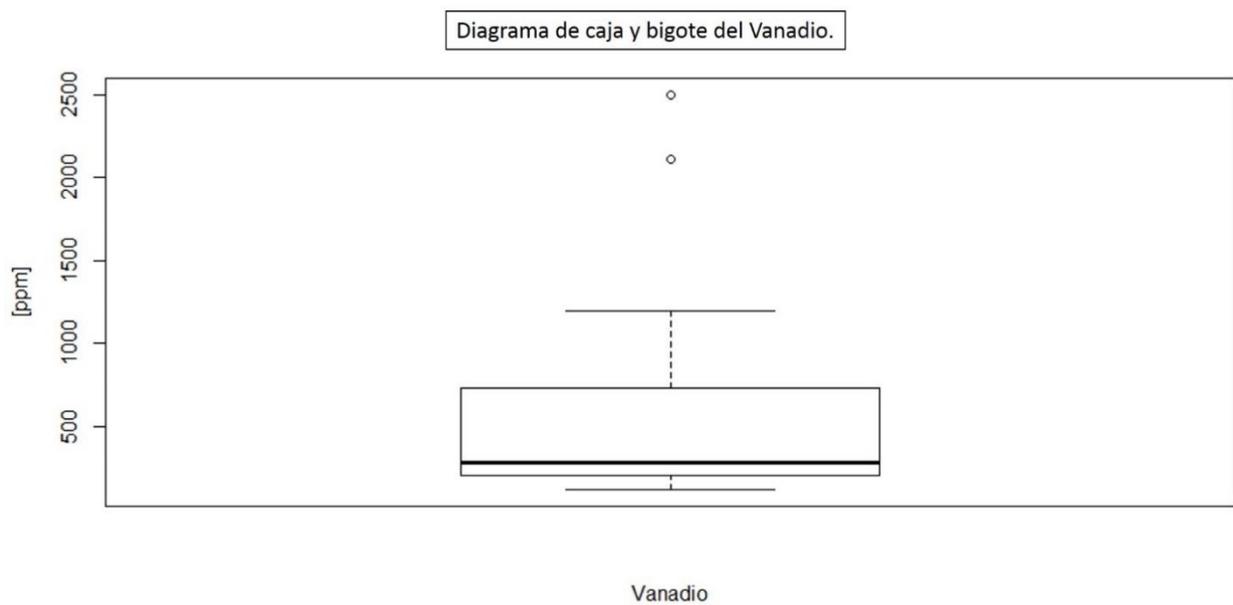


Figura 17. Diagrama de Caja y Bigote de Vanadio.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.

El diagrama de caja y bigotes del vanadio (Figura 17) muestra el fondo, el umbral, las anomalías y las sub anomalías del vanadio que se determinaron mediante los cálculos hechos a los resultados de los análisis datos de Fluorescencia de rayos X.

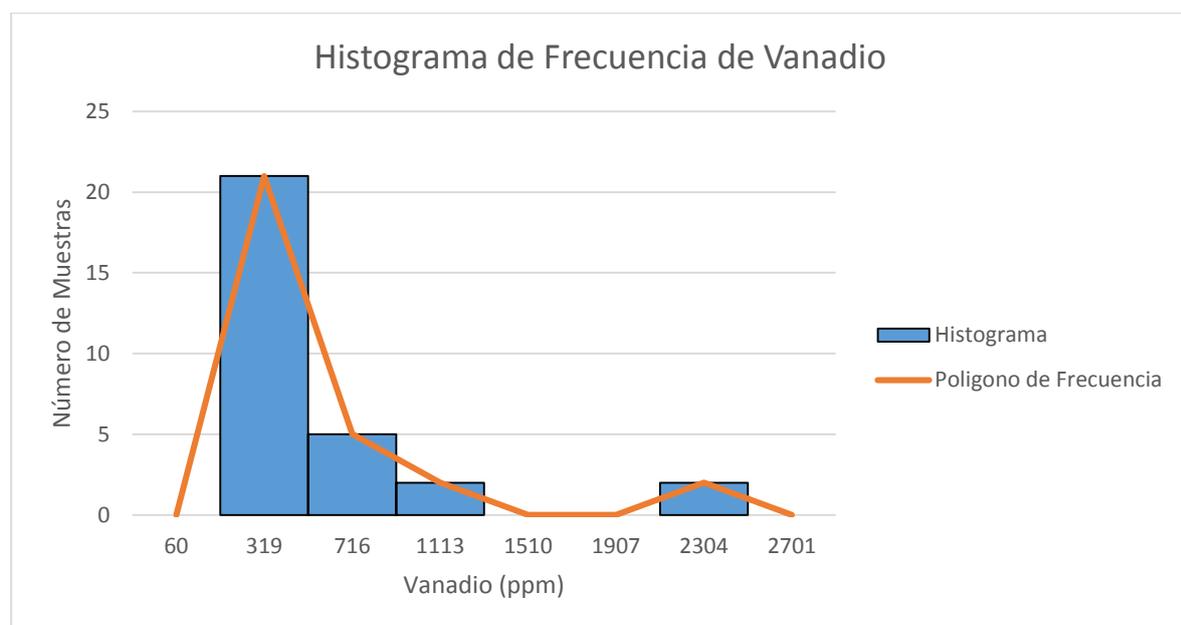


Figura 18. Histograma de Frecuencia de Vanadio.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.

El histograma de frecuencia indica la distribución absoluta del número de muestras con respecto a los valores de vanadio en ppm obtenidos por la Fluorescencia de Rayos X, en la Figura 23, muestra las frecuencias del vanadio que están entre los 319 ppm y valores anómalos, de 1160 ppm, 1195 ppm, 2110 ppm y el más alto 2500 ppm que corresponden a las muestras Afl. 28, Afl. 15, Afl. 12 y Afl. 27 respectivamente, las cuales son lutitas negras (Ver Figura 18).

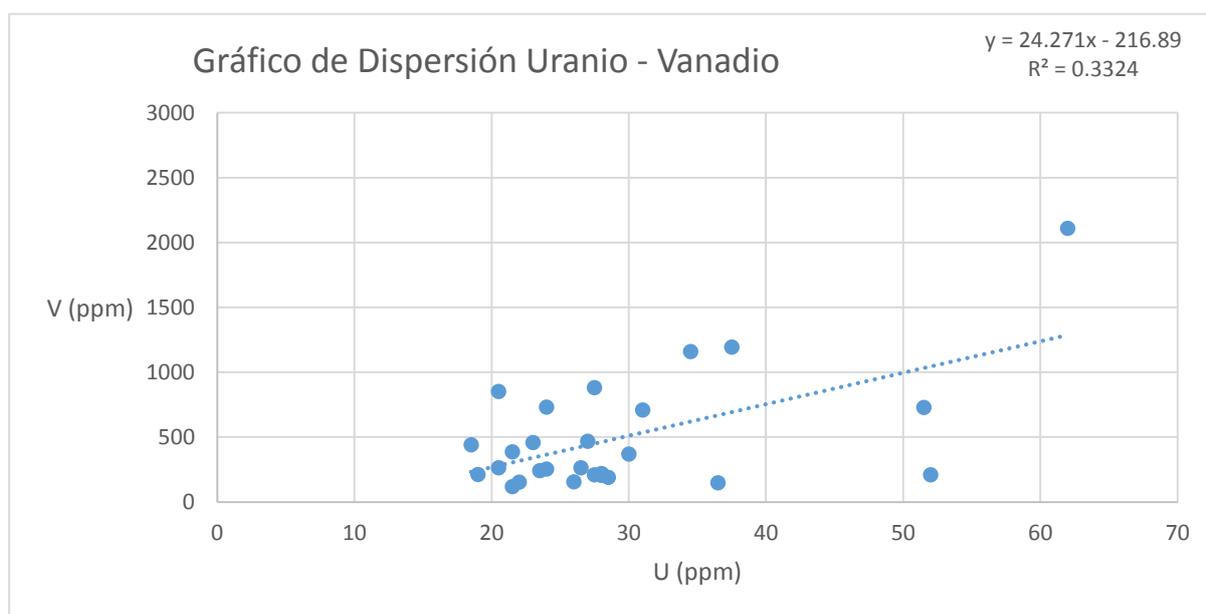


Figura 19. Gráfico de Dispersión U – V.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

En el gráfico de dispersión de uranio y vanadio (Figura 19), muestra que tienen una correlación positiva de 0.33, los valores más altos de uranio corresponden a las mismas muestras de los valores más altos de vanadio que pueden estar diseminados en la materia orgánica, lo que indica, que estos elementos se correlacionan entre sí.

En el mapa geoquímico del vanadio (Ver Anexo 2. Figura 32) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos del vanadio, el valor más alto es de la muestra Afl. 27 que se encuentra cerca de la vertiente de una quebrada del sector “El Empalme” con un valor de 2500 ppm, pertenece a una lutita calcárea. El segundo valor más alto es de la muestra Afl. 12, que se encuentra en el sector “El Derrumbo”. En el análisis de Difracción de Rayos X de esta muestra evidenció carnotita, pertenece a una lutita negra, esto se

correlaciona con la zona de anomalías de uranio. El tercer valor anómalo es de la muestra Afl. 15, que se encuentra en la “Quebrada el Cebollal” con un valor de 1195 ppm, pertenece a una lutita calcárea. Y el ultimo valor anómalo es de la muestra Afl. 28, que se encuentra cerca de la vertiente de una quebrada en el sector “El Empalme” con un valor de 1160 ppm, pertenece a una caliza, esté se encuentra muy cerca al valor más alto que es el Afl. 27. Todas pertenecen a la Unidad Ciano.

- **Molibdeno**

El molibdeno tiene un Clarke de concentración en la corteza de 1.20 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40), la mediana de las muestras en el área es de 23 ppm mismo que está por encima del Clarke, el valor máximo registrado en las muestras está en la muestra Afl.12 el cual es de 76 ppm (lutita). El molibdeno se correlaciona con el uranio como se puede observar en la imagen 26.

Fondo = Mediana = 23 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 38 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 53 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 68 ppm.

Los análisis muestran que existe una anomalía de molibdeno en la muestra Afl.12 de 76 ppm que se localiza en el sector “El Derrumbo” pertenece a una lutita negra, valores de Sub anomalía de la muestra Afl. 18 de 65 ppm que se localiza en la “Quebrada el Cebollal” pertenece a una lutita negra y la muestra Afl. 1 M 3, de 58 ppm que se localiza en la vía troncal a la costa pertenece a una lutita calcárea, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

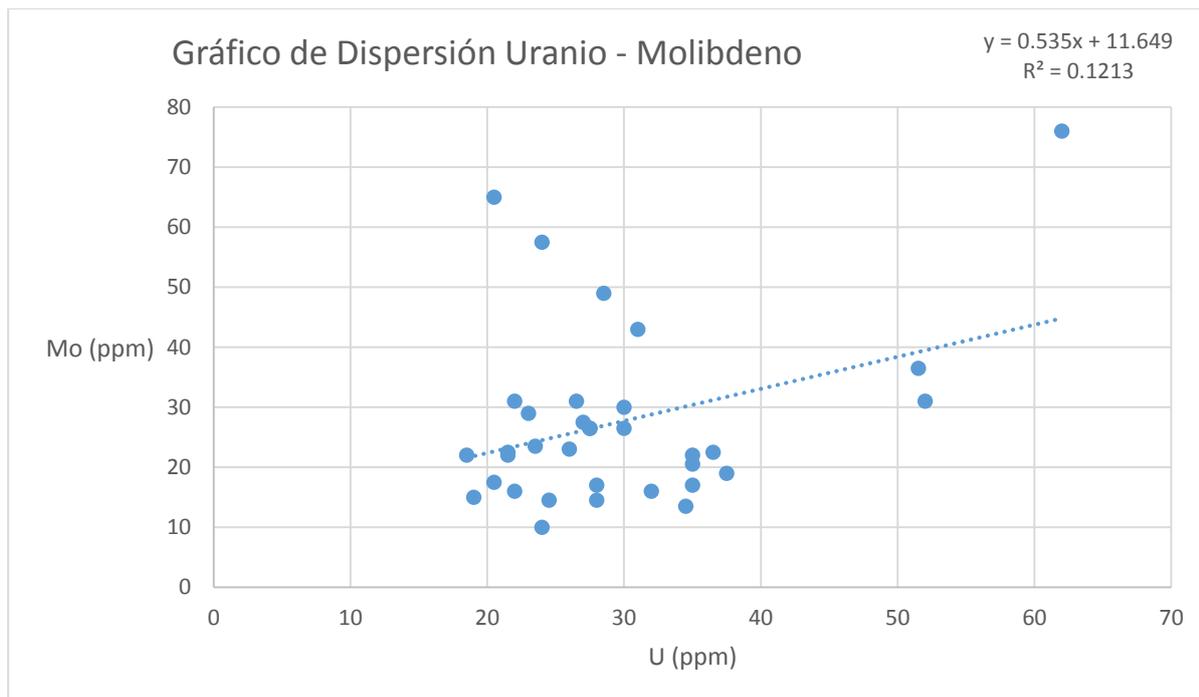


Figura 20. Gráfico de Dispersión U - Mo.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

En el gráfico de dispersión de uranio y molibdeno (Figura 20), muestra que tienen una correlación positiva de 0.12, el valor más alto de uranio corresponde a la misma muestra del valor más alto de molibdeno, lo que indica, que estos elementos se correlacionan entre sí.

En el mapa geoquímico del molibdeno (Ver Anexo2. Figura 33) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos del molibdeno, el valor más alto es de la muestra Afl. 12, que se encuentra en el sector “El Derrumbo” con un valor de 76 ppm, en el análisis de Difracción de Rayos X de esta muestra evidenció carnotita, pertenece a una lutita negra. El otro valor anómalo es de la muestra Afl.18, que se encuentra en la “Quebrada el Cebollal” con un valor de 65 ppm, pertenece a una lutita negra. Estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano. El molibdeno es un elemento trazador de mineralización de uranio.

- **Selenio**

El selenio tiene un Clarke de concentración en la corteza de 0.05 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40), la mediana de las muestras en el área es de 9 ppm (fondo) está por arriba del Clarke, se identificaron dos valores altos el máximo de 14 ppm en el Afl. 12 que es una lutita y el otro

10 ppm en la muestra Afl. 25 que es una lutita calcárea. La correlación del selenio con el uranio se observa en la siguiente imagen.

Fondo = Mediana = 9 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 9.8 ppm \approx 10 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 10.6 ppm \approx 11 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 11.4 ppm \approx 11 ppm.

Los análisis muestran que existe una anomalía de selenio en la muestra Afl.12 de 14 ppm que se localiza en el sector “El Derrumbo” pertenece a una lutita negra, valores de Umbral de la muestra Afl. 18 de 10 ppm que se localiza en la “Quebrada el Cebollal” pertenece a una lutita negra y la muestra Afl. 25, de 10 ppm que se localiza en la “Quebrada la Nube” que pertenece a una lutita calcárea, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

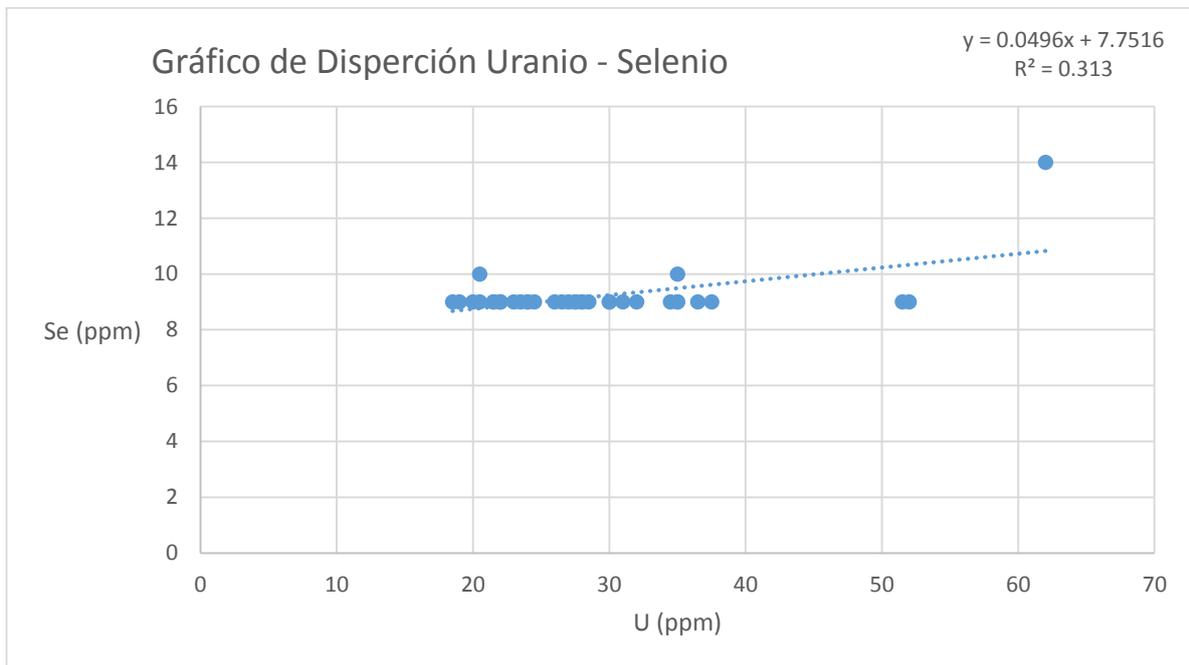


Figura 21. Gráfico de Dispersión U - Se.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

En el gráfico de dispersión de uranio y selenio (Figura 21), los valores del selenio no fluctúan mucho por eso es que la gráfica es tan lineal pero la muestra que tiene el valor más alto de

uranio corresponde a la misma muestra del valor más alto de selenio la cual se encuentra en el Afl. 12 que es una lutita negra, lo que indica que el selenio es un trazador de mineralización de uranio, tienen una correlación positiva de 0.31.

- **Plomo**

El Plomo tiene un Clarke de concentración en la corteza de 13 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) y la mediana de las muestras en el área es de 46 ppm (fondo) que al igual que la mayoría de los valores de plomo que arrojaron los análisis de fluorescencia están por encima del Clarke de concentración, los dos valores más altos se los registro en las muestras Afl.16 y Afl.12 los mismos que son 79 y 70 ppm respectivamente, el primero de estos es el valor máximo registrado. La correlación del plomo con el uranio se observa en la figura 29.

Fondo = Mediana = 46 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 57 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 68 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 79 ppm.

Los análisis muestran que existe una anomalía de plomo en la muestra Afl.16 de 79 ppm que se localiza en la “Quebrada el Cebolla” pertenece a una lutita negra, valores de Sub anomalía de la muestra Afl. 12 de 70 ppm que se localiza en el sector “El Derrumbo” pertenece a una lutita negra, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

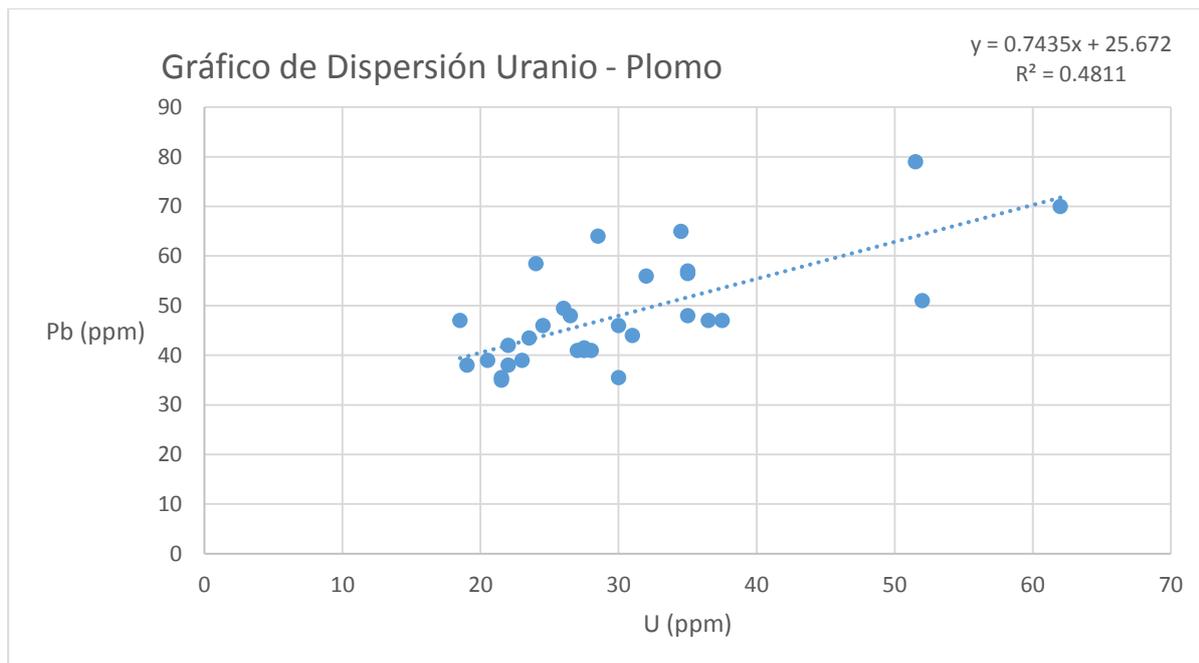


Figura 22. Gráfico de Dispersión U – Pb.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

En el gráfico de dispersión de uranio y plomo (Figura 22), muestra que tienen una correlación positiva de 0.48, el valor más alto de uranio corresponde a la misma muestra de uno de los valores más altos del plomo, lo que indica, que estos elementos se correlacionan entre sí.

En el mapa geoquímico del plomo (Ver Anexo 2. Figura 34) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos del plomo, el valor más alto es de la muestra Afl. 16, que se encuentra en la “Quebrada el Cebollal” con un valor de 79 ppm, pertenece a una lutita negra. El otro valor anómalo es de la muestra Afl. 12, que se encuentra en el sector “El Derrumbo” con un valor de 70 ppm, en el análisis de Difracción de Rayos X de esta muestra evidenció carnotita, pertenece a una lutita negra. Estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

Se puede evidenciar que la correlación existente entre el uranio y los elementos que se consideran trazadores del mismo, como el selenio, molibdeno, plomo y vanadio, esta correlación se presenta en la misma zona, en la muestra Afl. 12 en el sector “El Derrumbo” que corresponde a una lutita negra de la Unidad Ciano, estos elementos se pudieron haber diseminado en la materia orgánica al momento de la formación de la roca, debido al ambiente reductor en la cuenca marina.

- **Cobalto**

El cobalto tiene un Clarke de concentración en la corteza de 29 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) y la mediana es 23 ppm (fondo) que supera por poco al Clarke, se encontró un valor muy alto en las muestras Afl.16 de 163 ppm el cual se puede considerar como una anomalía esta se encontró en una lutita negra. Habría que hacer una prospección más detallada en esta zona para verificar o descartar estos valores de fondo.

Fondo = Mediana = 23 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 56 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 89 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 122 ppm.

En el mapa geoquímico del cobalto (Ver Anexo2. Figura 35) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos de cobalto en la muestra Afl.16 de 163 ppm que se localiza en la "Quebrada el Cebolla" que pertenece a una lutita negra, valores de Sub anomalía de la muestra Afl. 11 M 1 de 113 ppm que se localiza en la vía "La Hoyada - El Derrumbo" pertenece a una lutita negra y la muestra Afl. 6 de 89 ppm que se localiza en la vía troncal a la costa pertenece a una lutita negra, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

- **Cinc**

El cinc tiene un Clarke de concentración en la corteza de 76 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) y la mediana de las muestras en el área es de 161 ppm (fondo) el mismo que está por encima del Clarke, el valor más máximo registrado en las muestras es de 1085 ppm en el código Afl.16, lo cual es 14 veces el Clarke de concentración en la corteza por lo que se sugiere realizar una prospección geoquímica a detalle en esta zona, para estudiar estas anomalías.

Fondo = Mediana = 161 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 385 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 609 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 833 ppm.

En el mapa geoquímico del cinc (Ver Anexo 2. Figura 36) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos de cinc, en la muestra Afl.16 de 1085 ppm que se localiza en la “Quebrada el Cebolla” que pertenece a una lutita negra y la muestra Afl. 29 de 858 ppm que se localiza en la “Quebrada El Derrumbo” que pertenece a una lutita calcárea, valor de Sub anomalía de la muestra Afl. 28 de 674 ppm que se localiza en la “Quebrada El Derrumbo” pertenece a una caliza, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

- **Circonio**

El circonio tiene un Clarke de concentración en la corteza de 162 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) y la mediana de las muestras en el área es de 119 ppm (fondo) el mismo que está por debajo del Clarke, pero hay tres valores muy altos en las muestras Afl. 28, Afl.21, Afl.12, Afl.16 los mismos que son 789, 220, 177 y 134 ppm respectivamente, valores que están cercanos al valor del Clarke, el primero es el valor máximo registrado en las muestras, lo que indica que es un valor normal para esta zona.

Fondo = Mediana = 119 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 235 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 351 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 467 ppm.

En el mapa geoquímico del circonio (Ver Anexo2. Figura 37) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos del circonio, en la muestra Afl.28 de 789 ppm que se localiza en la “Quebrada El Derrumbo” que pertenece a una caliza, valor de Sub anomalía de la muestra Afl. 28 de 674 ppm que se localiza en la “Quebrada El Derrumbo”, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

- **Paladio**

El paladio tiene un Clarke de concentración en la corteza de 0.015 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) y la mediana de las muestras en el área es de 107 ppm (fondo) mismo que está por encima del Clarke 7200 veces, el valor máximo registrado es la muestra Afl.15 el cual es de 236 ppm, lo cual significa que esta muestra tiene un factor de enriquecimiento de aproximadamente 15000 veces. Se sugiere hacer prospección geoquímica detallada de paladio en esta zona.

Fondo = Mediana = 107 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 150 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 193 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 236 ppm.

En el mapa geoquímico del paladio (Ver Anexo 2. Figura 38) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos de paladio en la muestra Afl.15 de 236 ppm que se localiza en la "Quebrada el Cebollal" pertenece a una lutita calcárea, valores de Sub anomalía de la muestra Afl. 5 de 220 ppm que se localiza en la vía troncal a la costa pertenece a una caliza y la muestra, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

- **Cadmio**

El cadmio tiene un Clarke de concentración en la corteza de 0.16 ppm (Smith & Huyck, 1999) y la mediana de las muestras en el área es de 83 ppm (fondo) mismo que está por encima del Clarke 500 veces. El valor máximo registrado es la muestra Afl.28 el cual es de 139 ppm (850 veces el Clarke de concentración) el cadmio se puede relacionar con el uranio, se sugiere hacer prospección geoquímica detallada en esta zona

Fondo = Mediana = 83 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 107 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 131 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 155 ppm.

En el mapa geoquímico del cadmio (Ver Anexo 2. Figura 39) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos de cadmio muestran que existe una Sub anomalía en la muestra Afl.28 de 139 ppm que se localiza en la “Quebrada El Derrumbo” que pertenece a una caliza, esta muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

- **Bario**

El bario tiene un Clarke de concentración en la corteza de 390 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) y la mediana de las muestras en el área es de 1190 ppm (fondo) que al igual a todos los valores de bario que arrojaron los ensayos de fluorescencia están por encima del Clarke de concentración (3 veces), el valor máximo se lo registro en la muestra Afl.16 el cual es de 3065 ppm (tiene un factor de enriquecimiento de 8) según el valor máximo de bario en las muestras corresponden a valores de Sub anomalías.

Fondo = Mediana = 1190 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 1923 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 2656 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 3389 ppm.

En el mapa geoquímico del bario (Ver Anexo 2. Figura 40) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos de bario muestran que existe una Sub anomalía en la muestra Afl. 16 de 3065 ppm que se localiza en la “Quebrada el Cebollal” que pertenece a una lutita negra, esta muestra pertenecen a la Unidad Ciano.

- **Cobre**

El cobre tiene un Clarke de concentración en la corteza de 68 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) y la mediana de las muestras en el área es de 39 ppm (fondo) que está por debajo del Clarke, pero se encontraron dos valores más altos en las muestras Afl. 27, Afl.11. M1 y Afl.16 estos son 125, 111 y 110 ppm respectivamente el primero es el valor máximo registrado en las muestras que pertenece a una lutita negra. Al igual que el cobalto se debería realizar una prospección más detallada en esta zona para verificar o descartar estos valores de fondo.

Fondo = Mediana = 39 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 63 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 87 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 111 ppm.

En el mapa geoquímico del cobre (Ver Anexo 2. Figura 41) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos de cobre muestran que existe una anomalía en la muestra Afl.27 de 125 ppm que se localiza en una quebrada cerca de “El Empalme” que pertenece a una lutita calcárea, valor de Sub anomalía de la muestra Afl. 16 de 110 ppm que se localiza en la “Quebrada el Cebollal” pertenece a una lutita negra, estas muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

- **Cromo**

El cromo tiene un Clarke de concentración en la corteza de 122 ppm (Smith & Huyck, 1999, pág. 40) y la mediana de las muestras en el área es de 100 ppm (fondo) que está por debajo del Clarke, pero se encontraron dos valores más altos en las muestras Afl.11. M1 y Afl.16 estos son 144 y 195 ppm respectivamente, este último es el valor máximo registrado en las muestras. Por lo que se puede decir que esta área no es favorable para albergar mineralización de cromo, también relacionado al tipo de litología debido a que el cromo se asocia con rocas ultramáficas.

Fondo = Mediana = 100 ppm.

Umbral = Mediana + 1 (Desv. S) = 136 ppm.

Sub anomalía = Mediana + 2 (Desv. S) = 172 ppm.

Anomalía = Mediana + 3 (Desv. S) = 208 ppm.

En el mapa geoquímico del cromo (Ver Anexo 2. Figura 42) se muestran los puntos en los que están representados los valores anómalos de cromo muestran que existe una Sub anomalía en la muestra Afl.16 de 195 ppm que se localiza en la “Quebrada el Cebollal” pertenece a una lutita negra, esta muestras pertenecen a la Unidad Ciano.

Discusión final

Según los resultados obtenidos en este estudio en base a los análisis de Fluorescencia de rayos X y de Difracción de rayos X se determinó una posible mineralización de uranio y vanadio, la cual se encuentra en lutitas negras y lutitas calcáreas, debido a los valores de las muestras Afl. 12 y Afl. 16, cuyos valores son los más altos detectados (62 ppm de uranio y 2500 ppm de vanadio), la cual se formó por presencia de materia orgánica en un ambiente marino en condiciones reductoras, donde el U^{+6} pasa a U^{+4} y el V^{+5} pasa a V^{+4} y V^{+3} posiblemente, según sus potenciales iónicos formando así lutitas negras bituminosas.

El V puede estar formando complejos órgano-metálicos como las porfirinas, las cuales son comunes en rocas sedimentarias ricas en materia orgánica de origen marino, como es el caso de estas muestras que pertenecen a la Unidad Ciano.

Se detectó carnotita que contiene vanadio y uranio, también se consiguió glauconita que es un indicador de sedimentación en ambiente marino.

Hay anomalías de cobalto, cinc, paladio, cadmio y bario en la zona de las muestras Afl. 16 y Afl.15, por lo cual se sugiere hacer prospección geoquímica detallada para estos elementos, ya que se pudiese encontrar alguna mineralización.

CONCLUSIONES

- El estudio de prospección geoquímica en las rocas sedimentarias en el polígono La Hoyada, sector Puyango el cual permitió identificar la mineralización de uranio y el vanadio en lutitas negras calcáreas en el sector El Derrumbo.
- La revisión bibliográfica del área de estudio que permitió determinar la litología de la zona y la génesis. El polígono se encuentra en una zona cuya litología pertenece a la Unidad Ciano la misma que son lutitas negras bituminosas, lutitas calcáreas y calizas que se formaron en un ambiente marino reductor, también se encontró evidencia de cantos rodados de origen volcánico en las quebradas de la zona lo que indica la presencia de rocas de la Unidad Celica.
- El tratamiento físico de las muestras y el posterior análisis por Difracción de rayos X y microscopio petrográfico en los cual se determinaron cuarzo, moscovita, albita, calcita, carnotita, dickita, chamosita, clinocloro, glauconita, vermiculita y volkonskoita.
- La concentración de elementos mayoritarios y elementos traza detectando valores atípicos o anomalías de uranio y vanadio mediante análisis por Fluorescencia de Rayos X las cuales son 62 ppm y 2500 ppm respectivamente, en el sector “El Derrumbo” y en la “Quebrada el Cebollal”.
- Existen anomalías de cobalto, cinc, paladio, cadmio y bario por lo cual se sugiere hacer prospección geoquímica detallada en las áreas anómalas, ya que pudiesen haber mineralización de estos elementos en las lutitas negras.

RECOMENDACIONES

- Para mejorar el estudio de los elementos químicos en las rocas hay que realizar análisis por espectrometría de emisión de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES), esto permitiría determinar con más exactitud la composición química de las rocas, verificando o no los valores anómalos.
- Para caracterizar mejor las lutitas en las que se encontraron indicios de vanadio y uranio hay que hacer un estudio de microscopio electrónico de barrido, lo que mostraría la manera en la que están diseminados estos elementos en las rocas.
- Se recomienda un estudio de prospección geoquímica con un mallado de 50 m en el área de estudio en las que se encontró las anomalías, para determinar las dimensiones de las mineralizaciones de uranio y vanadio, así como de cobalto, cinc, paladio, cadmio y bario.
- Realizar un muestreo de sedimentos fluviales activos, esto dará una distribución más homogénea de los resultados y determinaría si hay acumulación de elementos de interés en la zona.
- Las concentraciones de uranio en las aguas pueden ser tóxicas para el consumo de seres vivos, se recomienda hacer un estudio médico en la población del lugar y así determinar si el agua está contaminando a la población, ya que una prolongada exposición a estos elementos puede provocar cáncer u otras enfermedades mortales.
- Para la toma de muestras en el sector hay que tener en cuenta el clima de la zona y el lugar en donde se está muestreando ya que en temporada de invierno el terreno escabroso se torna difícil cuando esta mojado y en las quebradas sube el caudal de las aguas de un momento a otro.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E. (1985). Exploración de Uranio en el Ecuador. Quito-Ecuador: Escuela politécnica del ejército.
- Aspden, J. A., Bonilla, W., & Duque, P. (1995). The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits, Overseas Geology and Mineral Resources. Quito: B.G.S.
- Celi Toapanda, D. R. (2011). Estudio del Procesamiento de un mineral de apatitas uraníferas de la zona del Puyango. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Dana, J. D. (1997). Manual de Mineralogía Vol. 2. Barcelona: Reverté. S. A.
- Duque, P. (2002). Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador. Quito: Proyecto MEM BIRF 3655EC.
- Feininger, T. (1978). Geologic map of western El Oro Province. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Puyango. (Noviembre del 2014). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN PUYANGO . Puyango; Loja - Ecuador.
- Goldschmidt, V. (1958). Geochemistry. Oxford : University Press (reprint).
- Huyck, H. L. (1989). Metalliferous Black Shales and Related Ore Deposits. United States: U.S. GEOLOGICAL SURVEY CIRCULAR 1058 .
- IAEA (International Agency Energy Atomic). (1977). INTERNATIONAL URANIUM RESOURCES EVALUATION PROJECT. Ecuador: IUREP.

- INIGEMM (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico). (2013). Proyecto modelo piloto para la determinación del potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma y Carimanga a Escala 1:100 000. Quito: INIGEMM.
- Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (ICMA). (s.f.). Difracción de Rayos X. Zaragoza: Consejo superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (Noviembre 2013). MEMORIA TÉCNICA CANTÓN PUYANGO; PROYECTO: "GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL. ESCALA 1: 25 000". Cantón Puyango. Obtenido de <http://sni.gob.ec/web/inicio/descargapdyot>
- Jaillard, E., Laubacher, G., Bengtson, P., Dhondt, A. V., & Bulot, L. G. (1999). Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences* 12th, 51-68.
- Kennerly, J. B. (1992). Geología de la Provincia de Loja en el sur del Ecuador. Loja: Escuela de Minas - UTPL.
- Lecomte, A., Cathelineau, M., Deloule, E., Brouand, M., Loukola-Ruskeeniemi, K., & Lahtinen, H. (2014). Uraniferous bitumen nodules in the Talvivaara Ni–Zn–Cu–Co deposit (Finland): Influence of metamorphism on uranium mineralization in black shales. Heidelberg Berlin: Springer-Verlag.
- Lewis, S. E., Henderson, R. A., Dickens, G. R., Shields, G. A., & Coxhell, S. (2010). The geochemistry of primary and weathered oil shale and coquina across the Julia Creek vanadium deposit. Queensland, Australia: *Miner. Deposita*.
- Mason, B., & Moore, C. (1982). Principles of geochemistry. New York: NY, John Wiley & Sons.
- Ministerio del Ambiente, Dirección Nacional de Control Ambiental. (2016). Ordenamiento Ambiental Integral en la cuenca del río Puyango. CUP Nro. 40400000.0000.376391. Puyango, Loja - Ecuador.

Pilatasig M, L., Gordon P, D., Palacios, O., & Sánchez I, J. (Abril, 2005). PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO:GEOCIENCIAS. GEOLOGIA DE ECUADOR Y PERU ENTRE 3° S Y 6° S. pdfFactory trial version www.pdfactory.com.

Pohl, W. L. (2011). Economic Geology Principles and Practice. Wiley-Blackwell.

Sanchez de Rojas, M., Pilar de Luxan, M., & Frias, M. (1986). La espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, 36(202), 31-46.

Skoog, D. A., Holler, F., & Nieman, T. A. (2001). Principios de Análisis Instrumental. Madrid: Concepción Fernández Madrid.

Smith, K., & Huyck, H. (1999). AN OVERVIEW OF THE ABUNDANCE, RELATIVE MOBILITY, BIOAVAILABILITY, AND HUMAN TOXICITY OF METALS. Economic Geology, Volumen 6A, 29 : 70.

Tourtlot, H. (1979). Black Shale - Its Deposition and Diagenesis . Colorado: U.S. Geological Survey, Federal Center, Denver .

ANEXOS.

Anexo 1. Difractograma de las muestras.

Imagen del Difractograma de la Muestra. Afl. 1. M2.

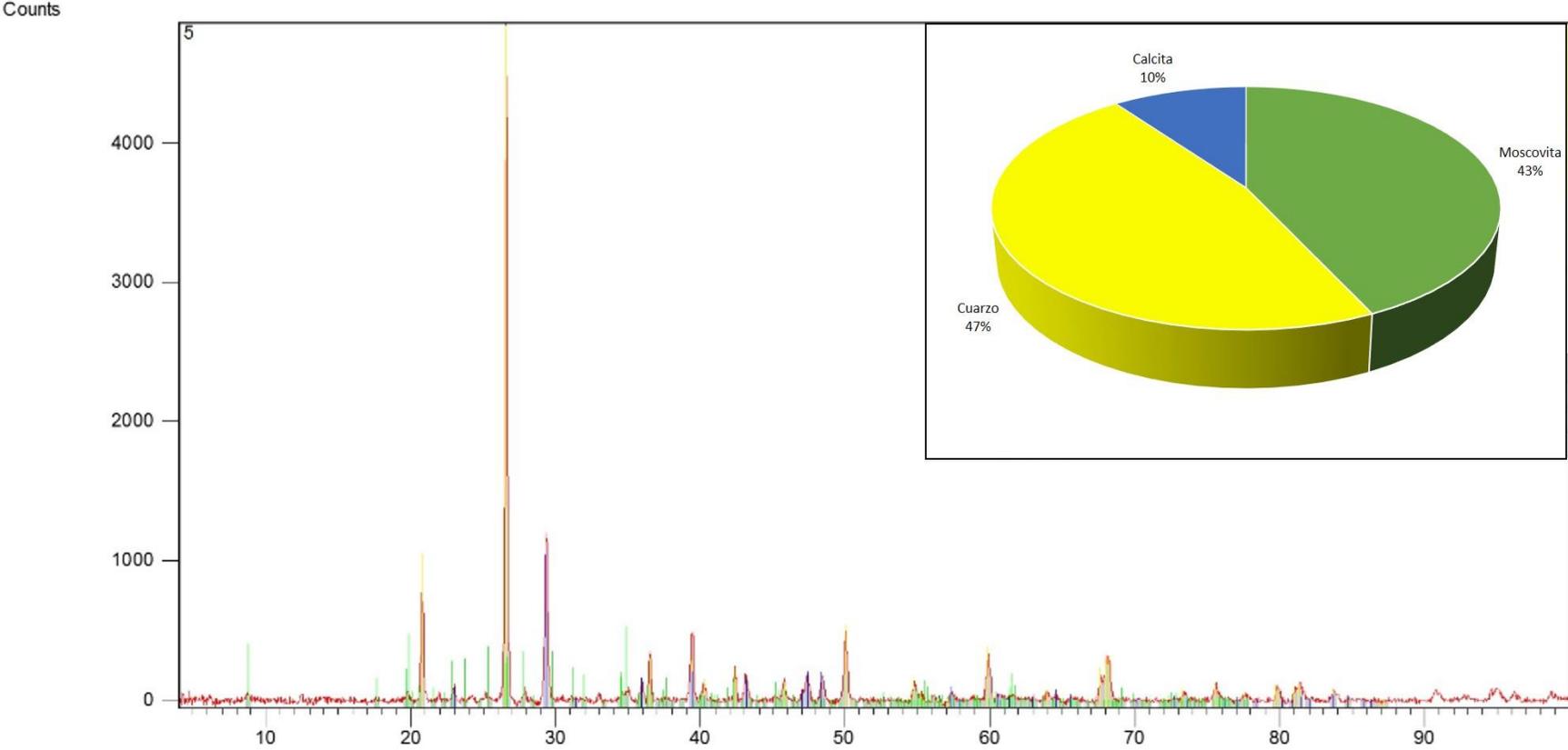


Figura 23. Difractograma muestra Afl. 1. M2.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Imagen del Difractograma de la Muestra. Afl. 3. M1.

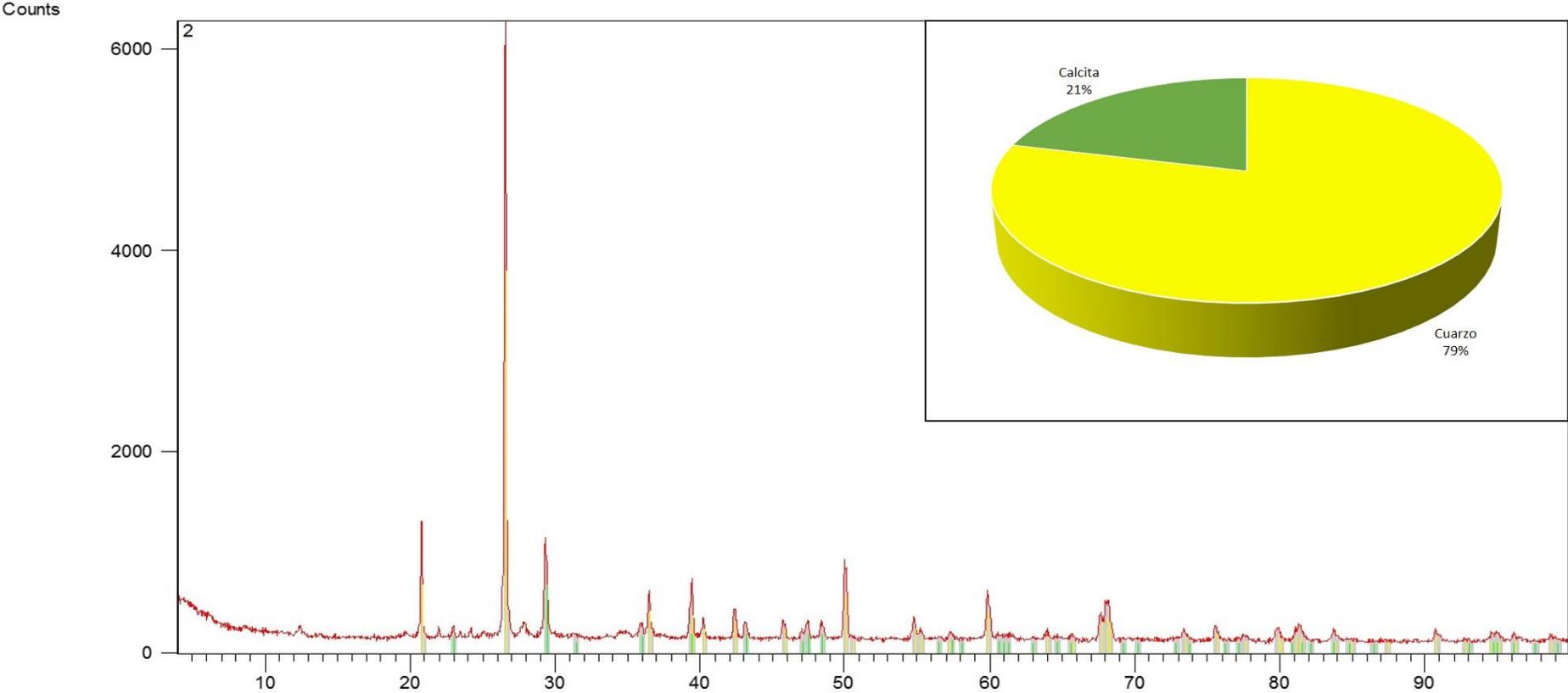


Figura 24. Difractograma muestra Afl. 3. M1.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Imagen del Difractograma de la Muestra. Afl. 11. M1.

Counts

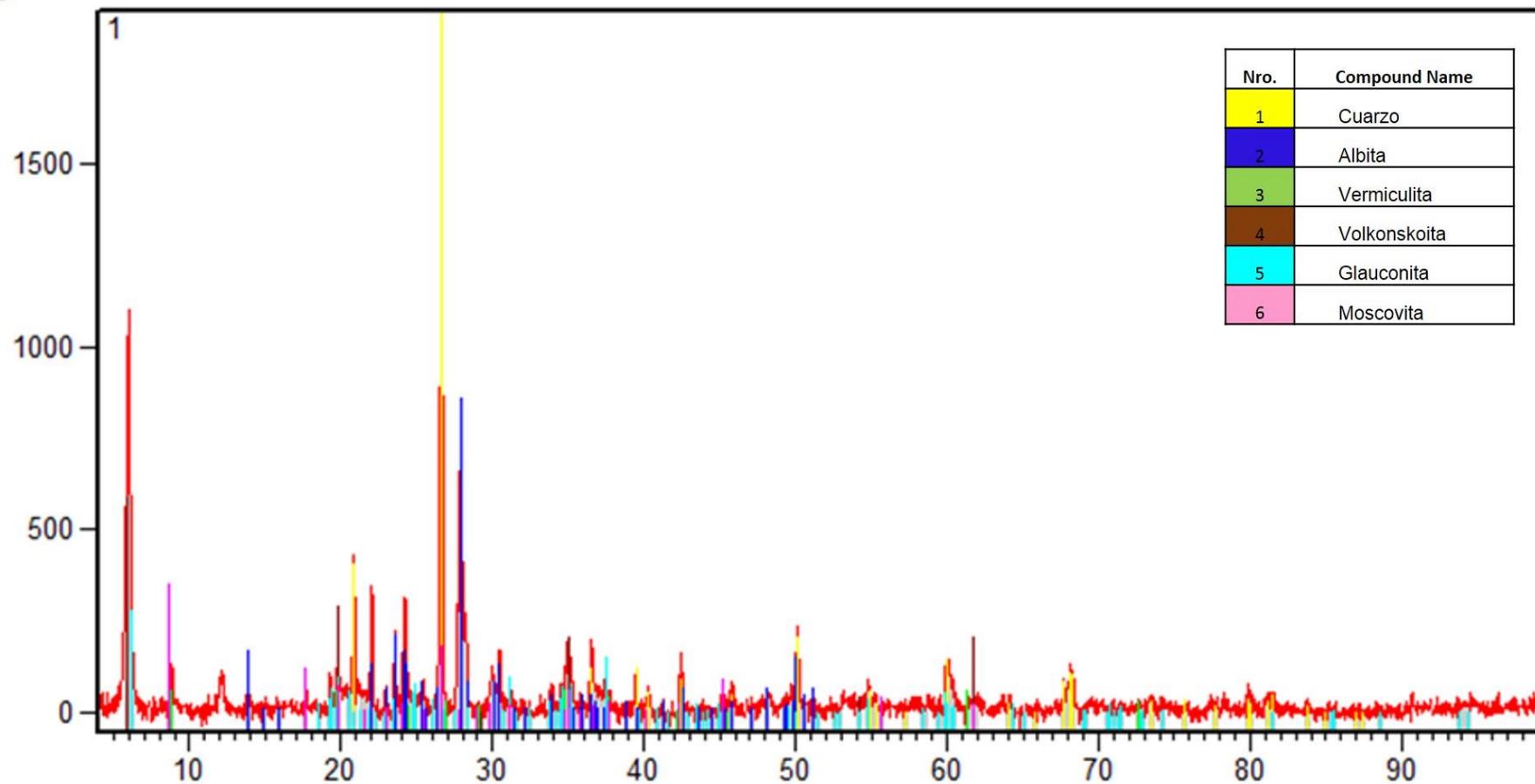


Figura 25. Difractograma muestra Afl. 11. M1.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Imagen del Difractograma de la Muestra. Afl. 12.

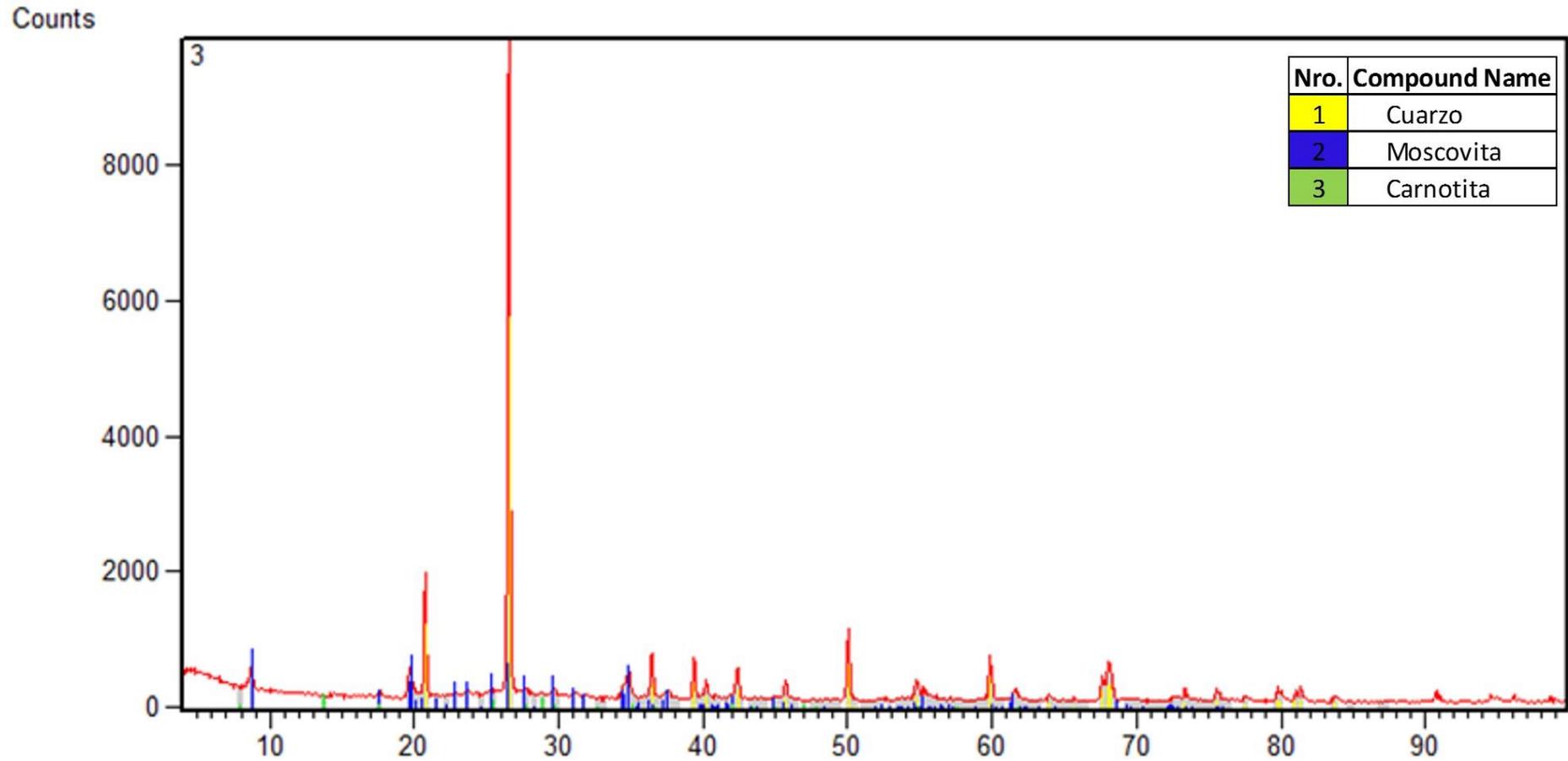


Figura 26. Difractograma muestra Afl. 12.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Imagen del Difractograma de la Muestra. Afl. 15.

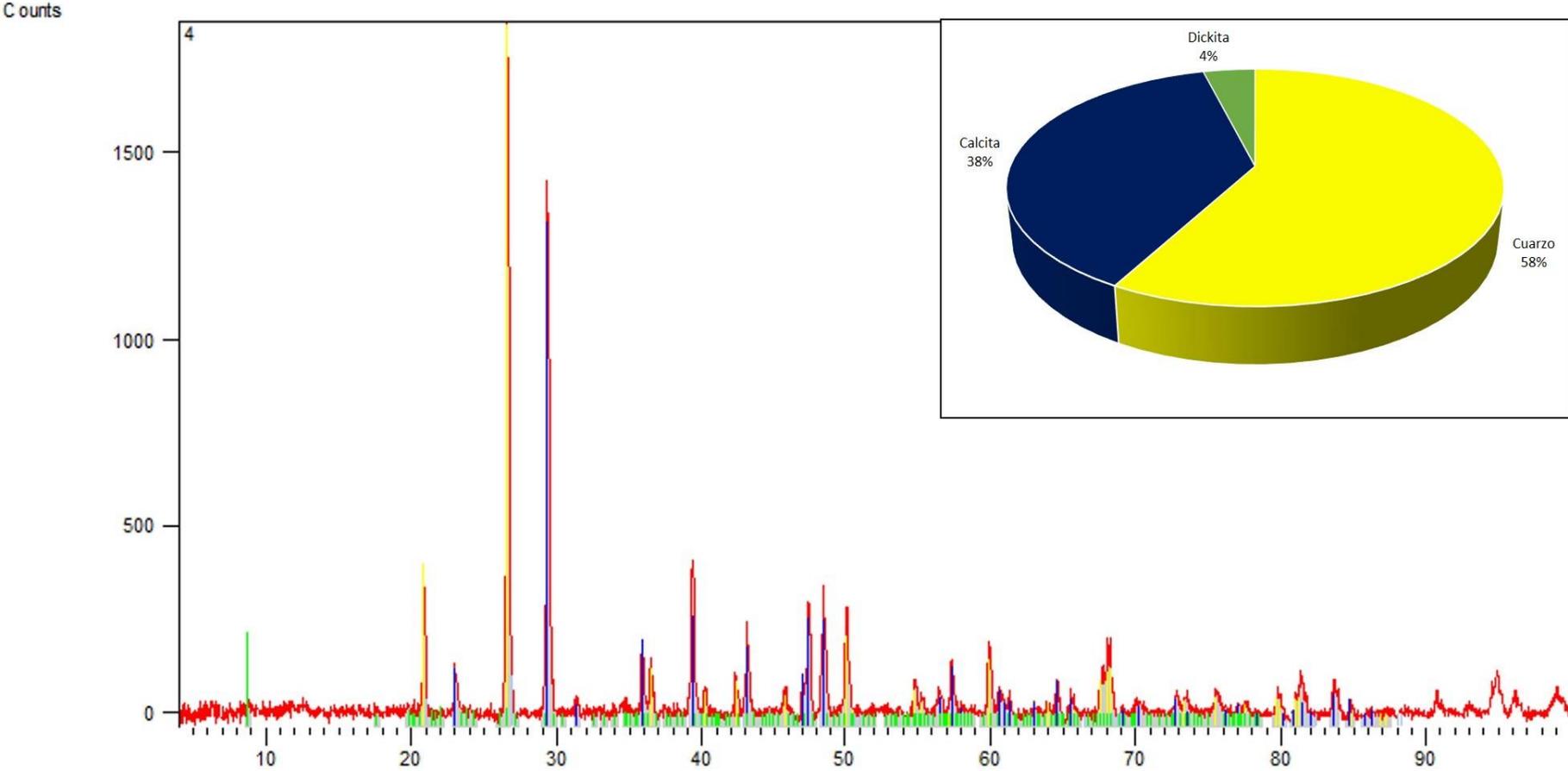


Figura 27. Difractograma muestra Afl. 15.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Imagen del Difractograma de la Muestra. Afl. 16.

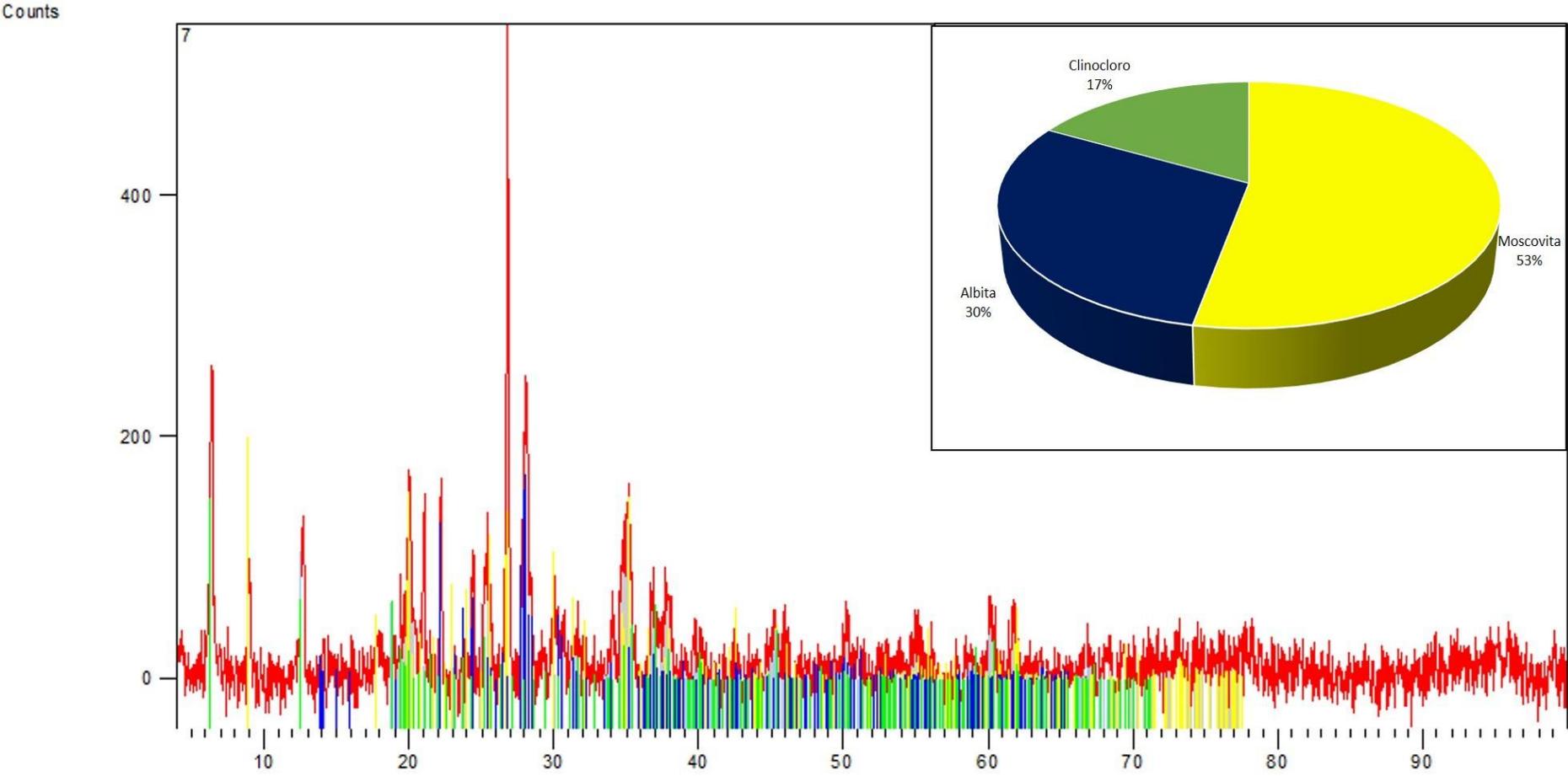


Figura 28. Difractograma muestra Afl.16.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Imagen del Difractograma de la Muestra. Afl. 21.

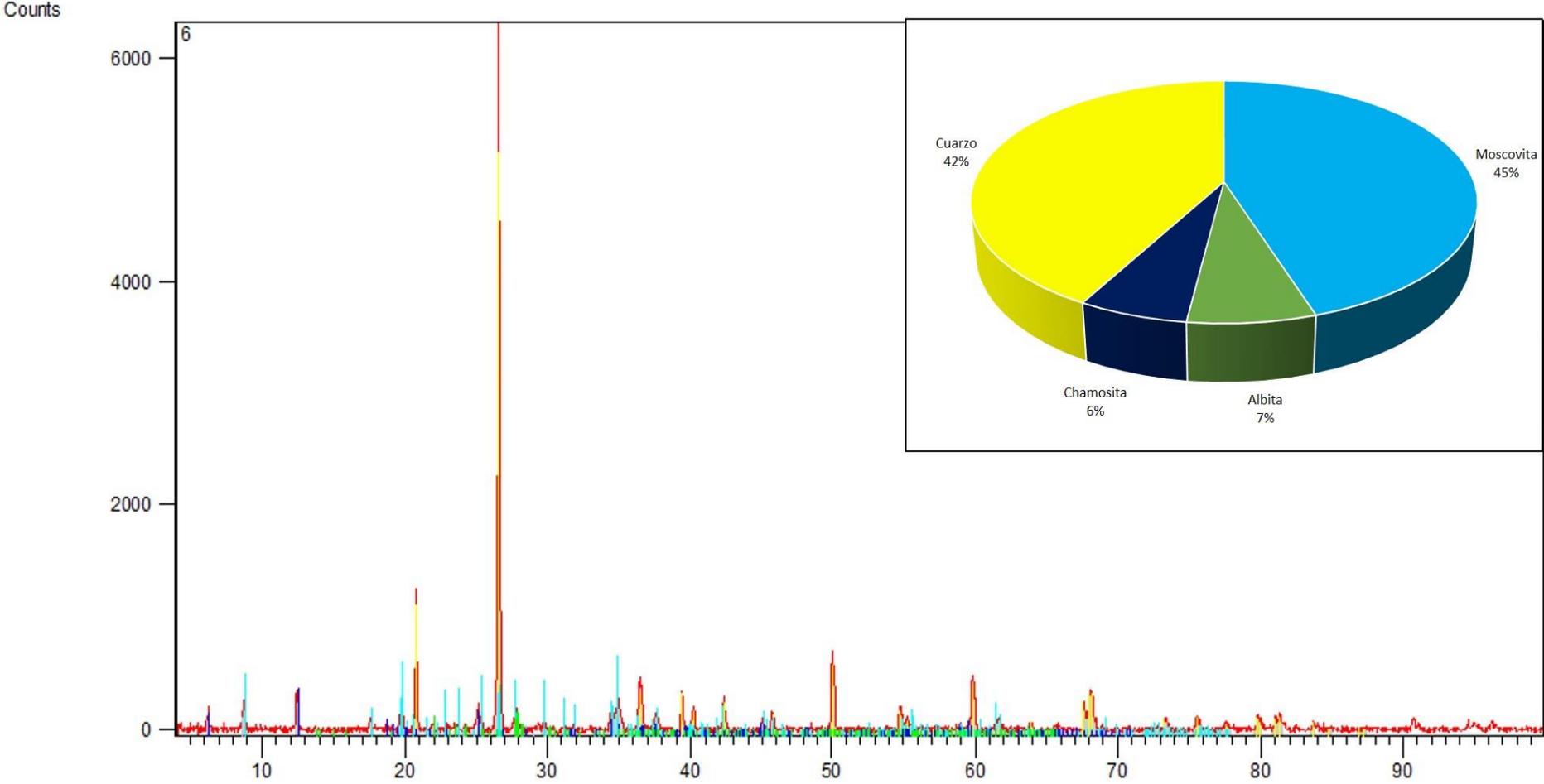


Figura 29. Difractograma muestra Afl. 21.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

Anexo 2. Mapas Geoquímicos.

MAPA GEOQUÍMICO DEL MANGANESO.

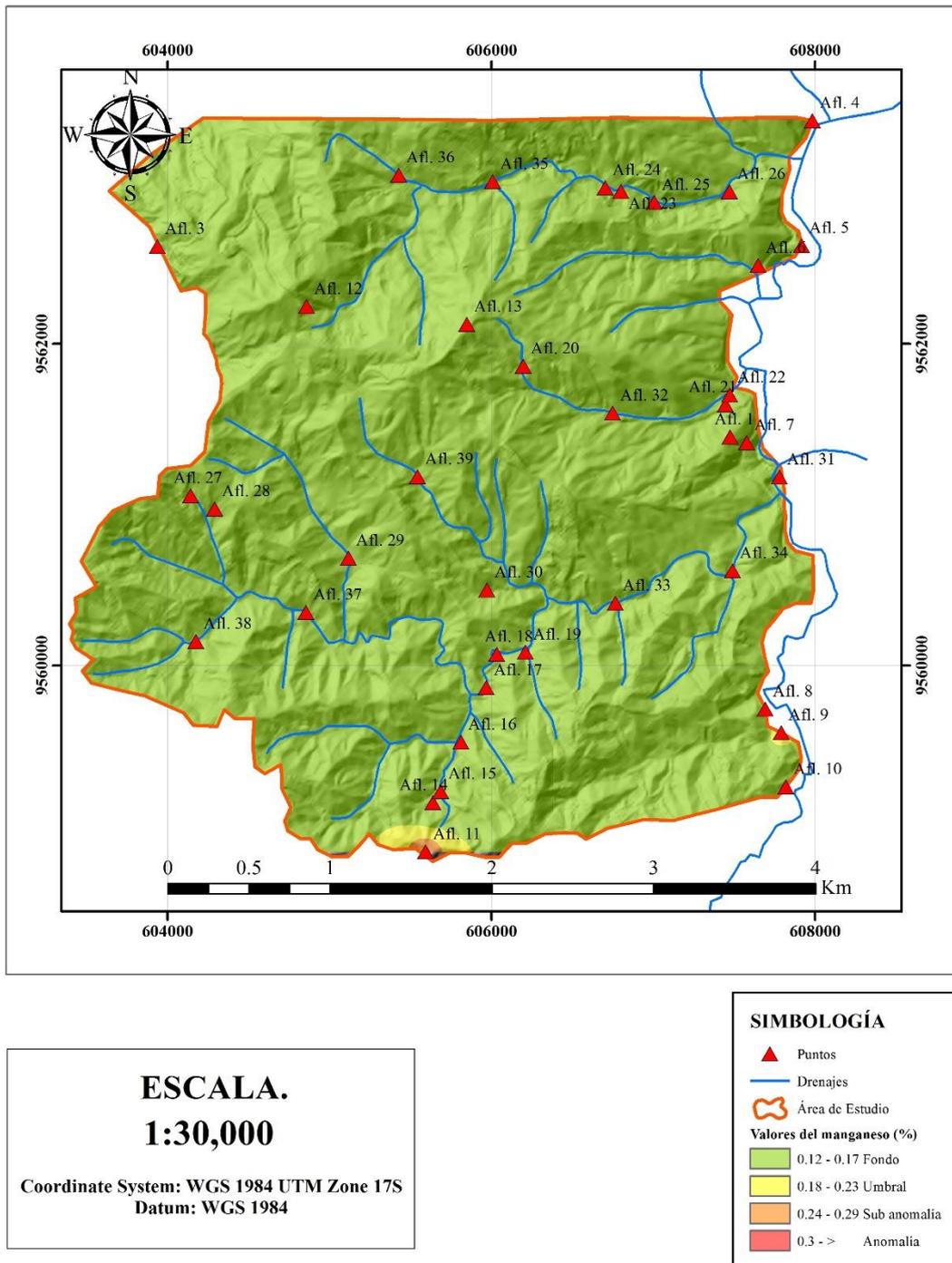
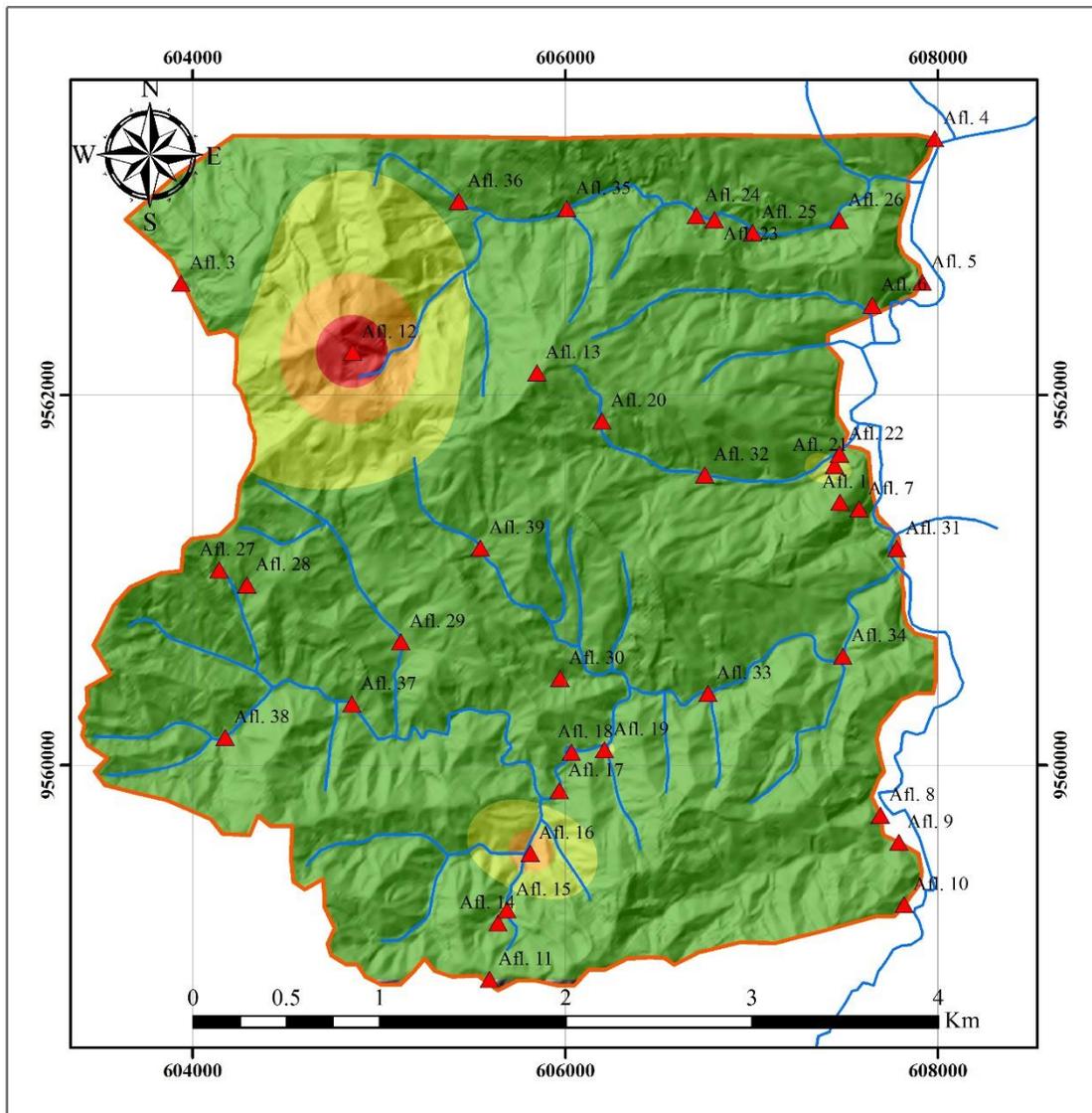


Figura 30. Mapa Geoquímico del Manganeso.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL URANIO.



ESCALA.
1:30,000
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA

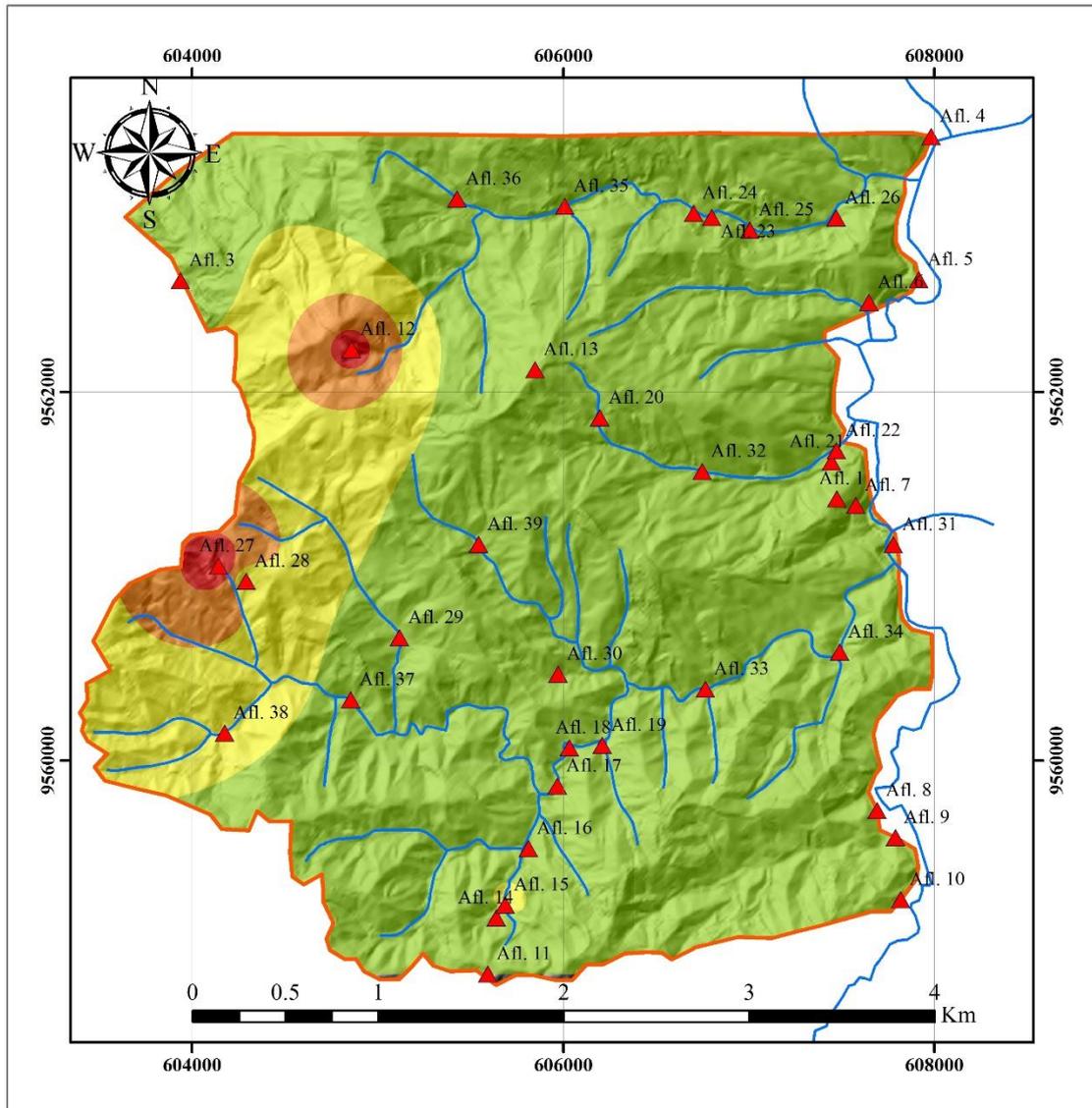
- ▲ Puntos
- Drenajes
- ⊞ Área de Estudio

Valores del Uranio (ppm)

- 27 - 36 Fondo
- 37 - 46 Umbral
- 47 - 56 Sub anomalía
- 57 - > Anomalía

Figura 31. Mapa Geoquímico de Uranio.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL VANADIO.



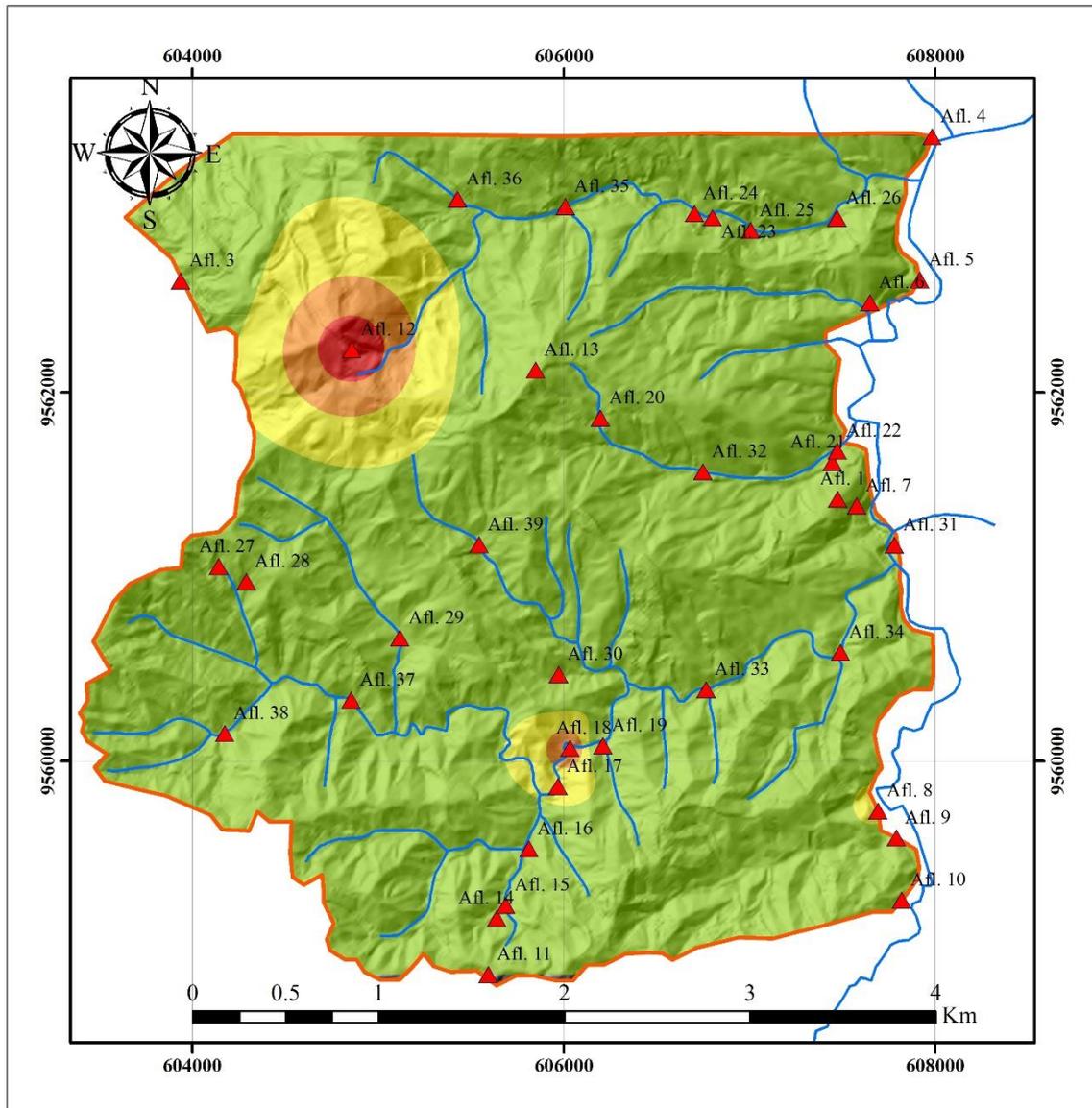
ESCALA.
1:30,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA	
	Puntos
	Drenajes
	Área de Estudio
Valores del Vanadio (ppm)	
	282 - 847 Fondo
	848 - 1413 Umbral
	1414 - 1979 Sub anomalía
	1980 - > Anomalía

Figura 32. Mapa Geoquímico del Vanadio.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL MOLIBDENO.

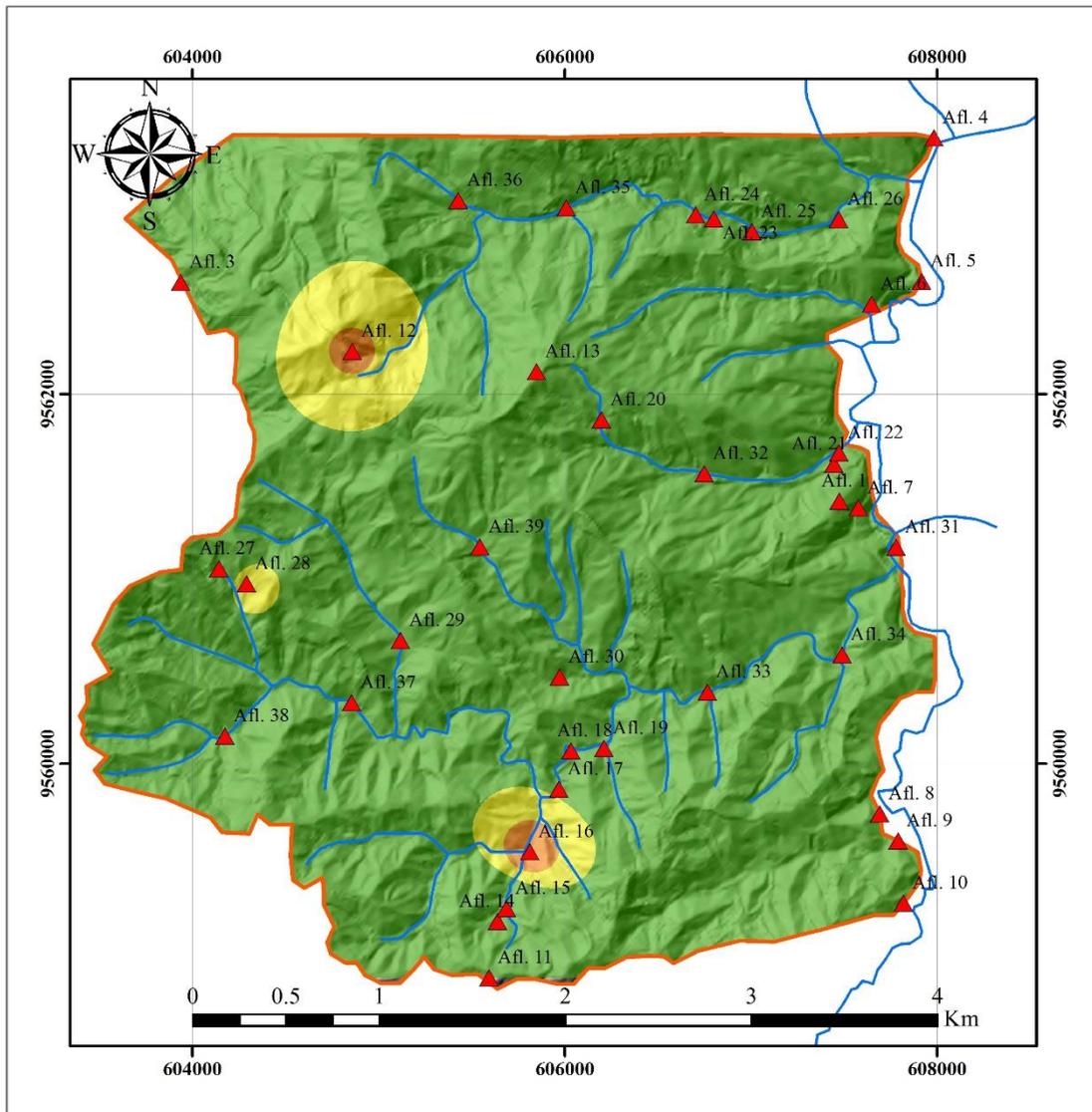


ESCALA.
1:30,000
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA	
	Puntos
	Drenajes
	Área de Estudio
Valores del Molibdeno (ppm)	
	23 - 37 Fondo
	38 - 52 Umbral
	53 - 67 Sub anomalía
	68 - > Anomalía

Figura 33. Mapa Geoquímico del Molibdeno.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL PLOMO.



ESCALA.
1:30,000

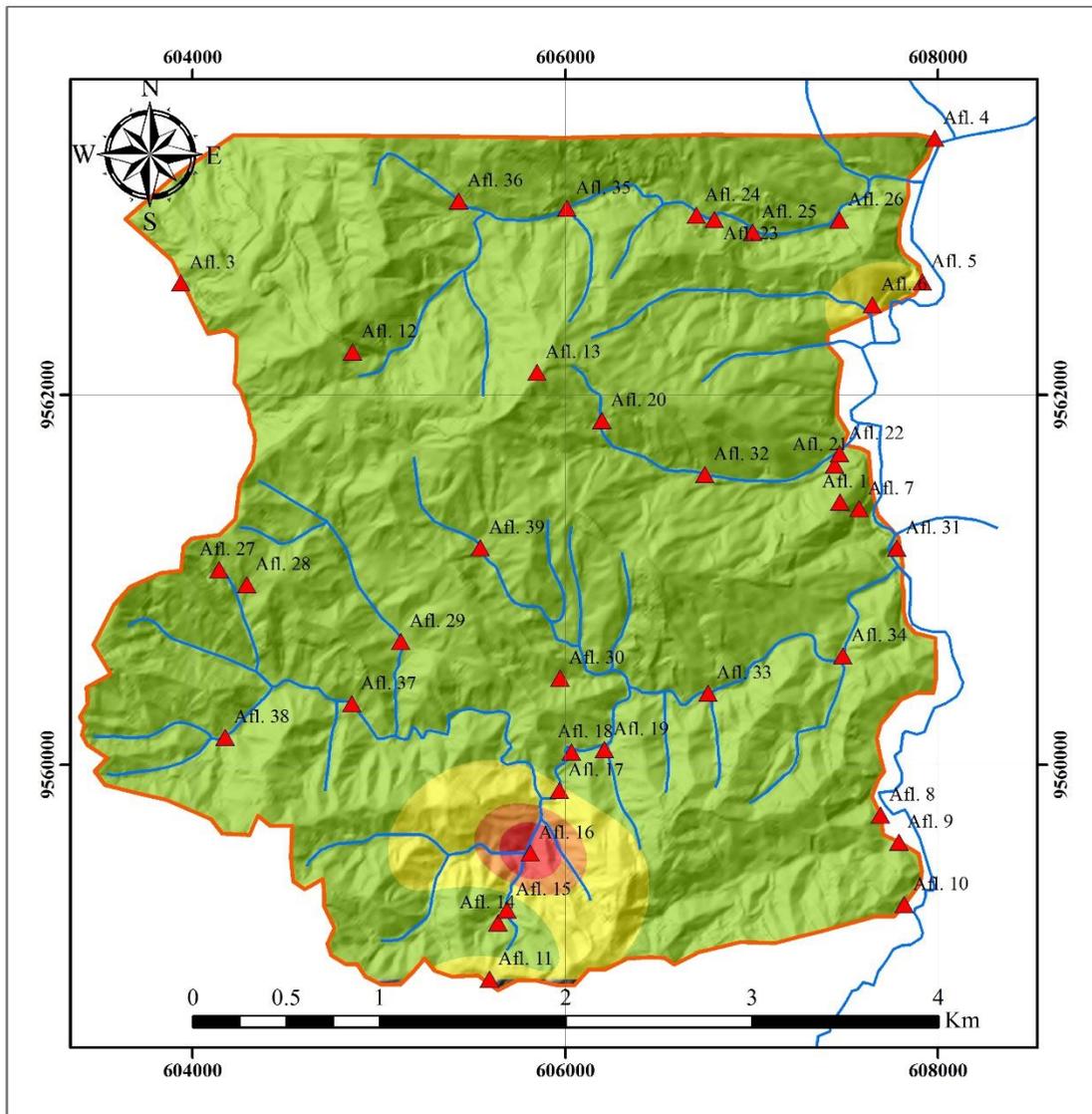
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA

- ▲ Puntos
- Drenajes
- Área de Estudio
- Valor del Plomo (ppm)**
- 46 - 56 Fondo
- 57 - 67 Umbral
- 68 - 78 Sub anomalía
- 79 -> Anomalia

Figura 34. Mapa Geoquímico del Plomo
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL COBALTO.



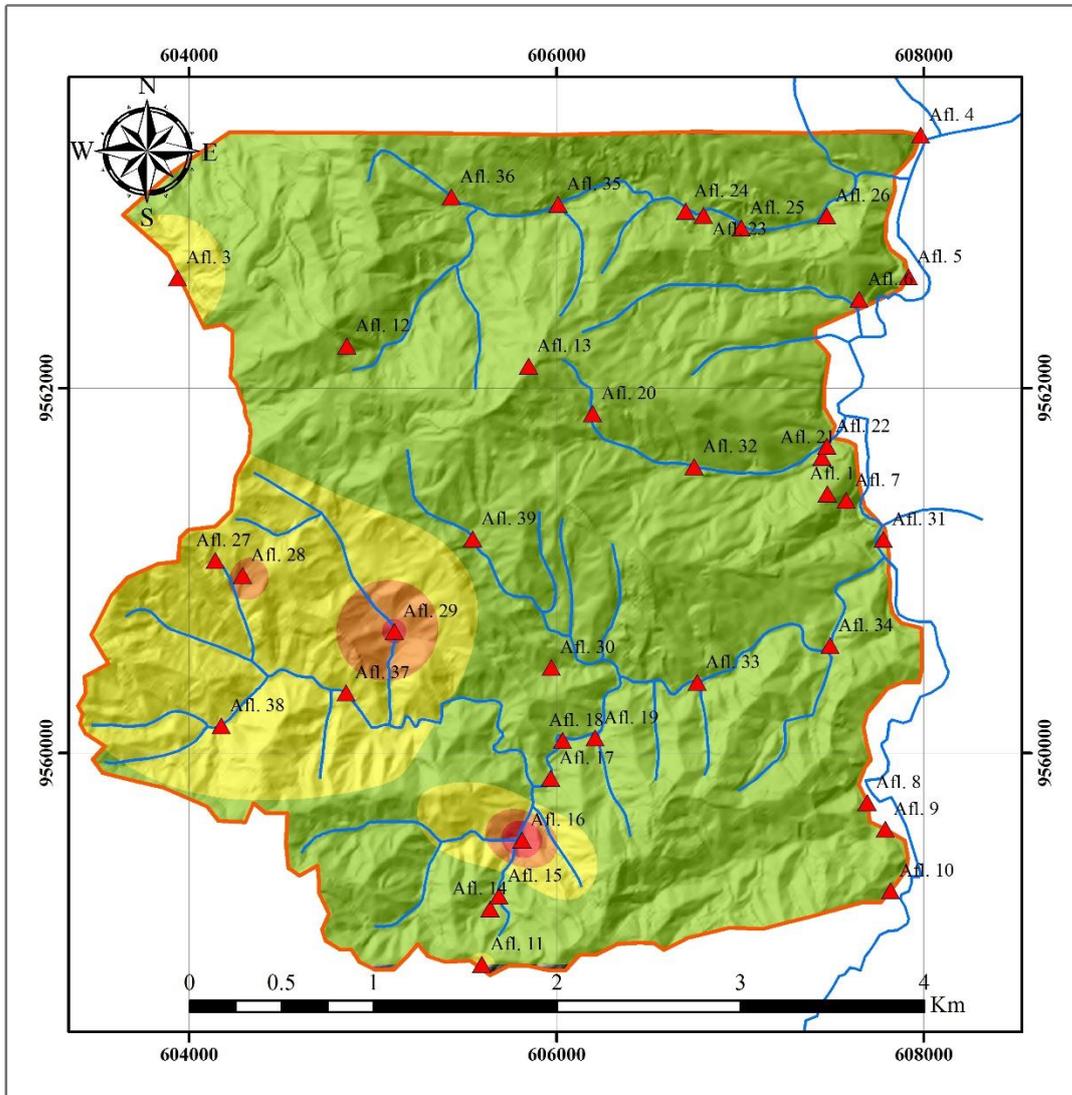
ESCALA.
1:30,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA	
	Puntos
	Drenajes
	Área de Estudio
Valores del Cobalto (ppm)	
	23 - 55 Fondo
	56 - 88 Umbral
	89 - 121 Sub anomalía
	122 - > Anomalía

Figura 35. Mapa Geoquímico del Cobalto.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL CINCO.



ESCALA.
1:30,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA

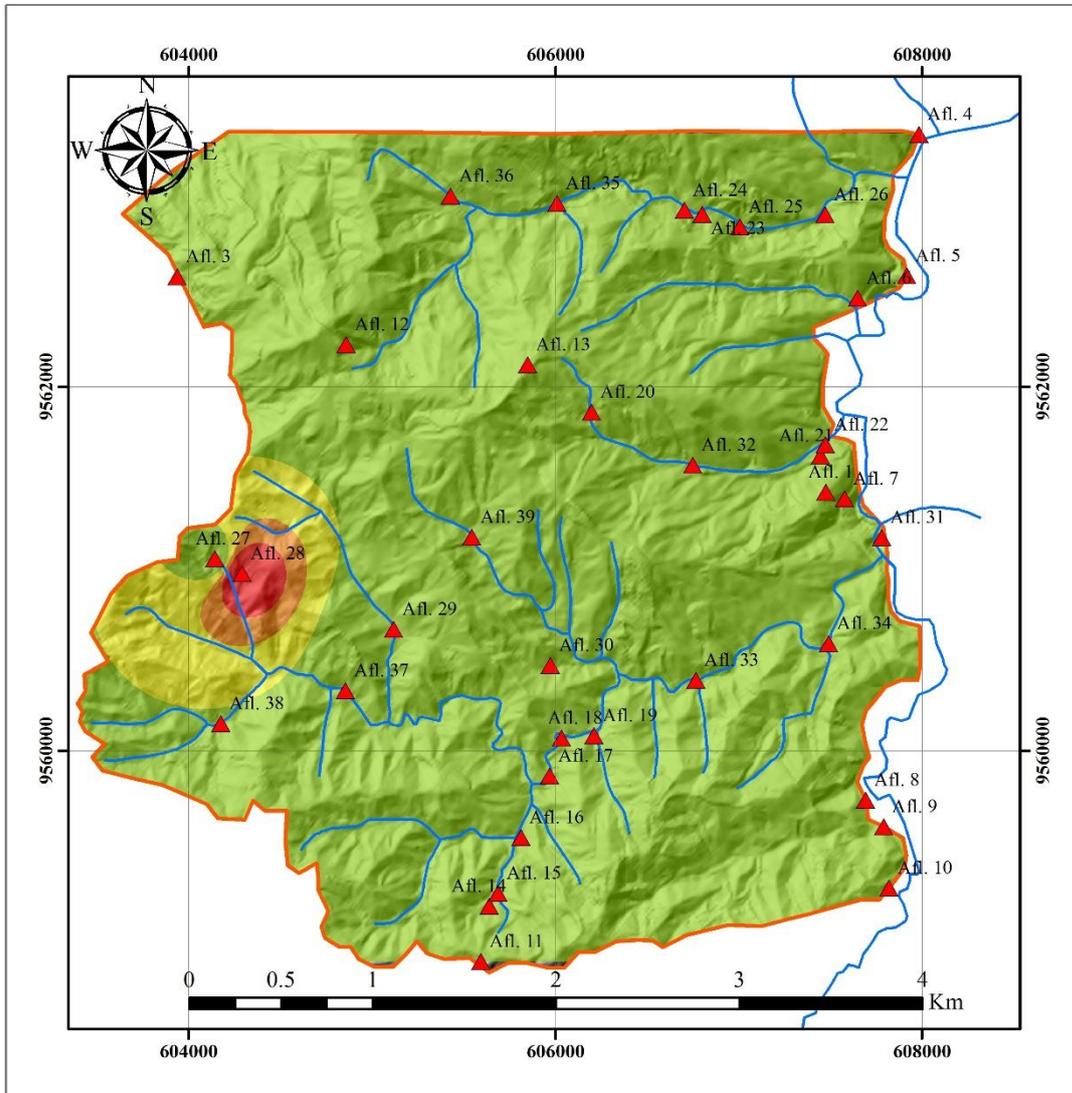
- ▲ Puntos
- Drenajes
- Área de Estudio
- Valores del Cinc (ppm)**
- 161 - 384 Fondo
- 385 - 608 Umbral
- 609 - 832 Sub anomalía
- 833 - > Anomalía

Figura 36. Mapa Geoquímico del Cinc.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL CIRCONIO.



ESCALA.
1:30,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA

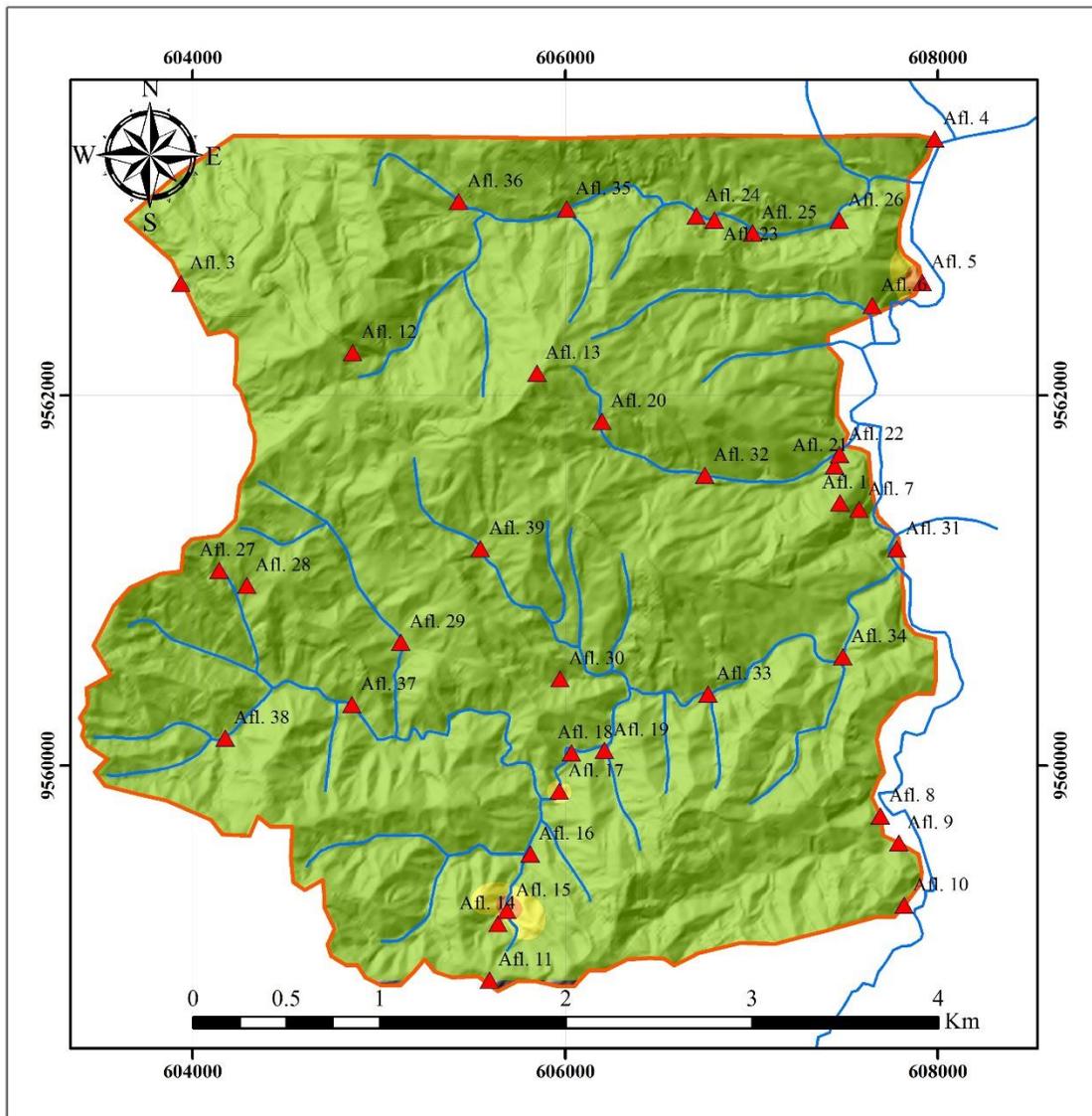
- ▲ Puntos
 - Drenajes
 - Área de Estudio
- Valores del Circonio (ppm)**
- 119 - 234 Fondo
 - 235 - 350 Umbral
 - 351 - 466 Sub anomalía
 - 467 - > Anomalía

Figura 37. Mapa Geoquímico del Circonio.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL PALADIO.



ESCALA.
1:30,000

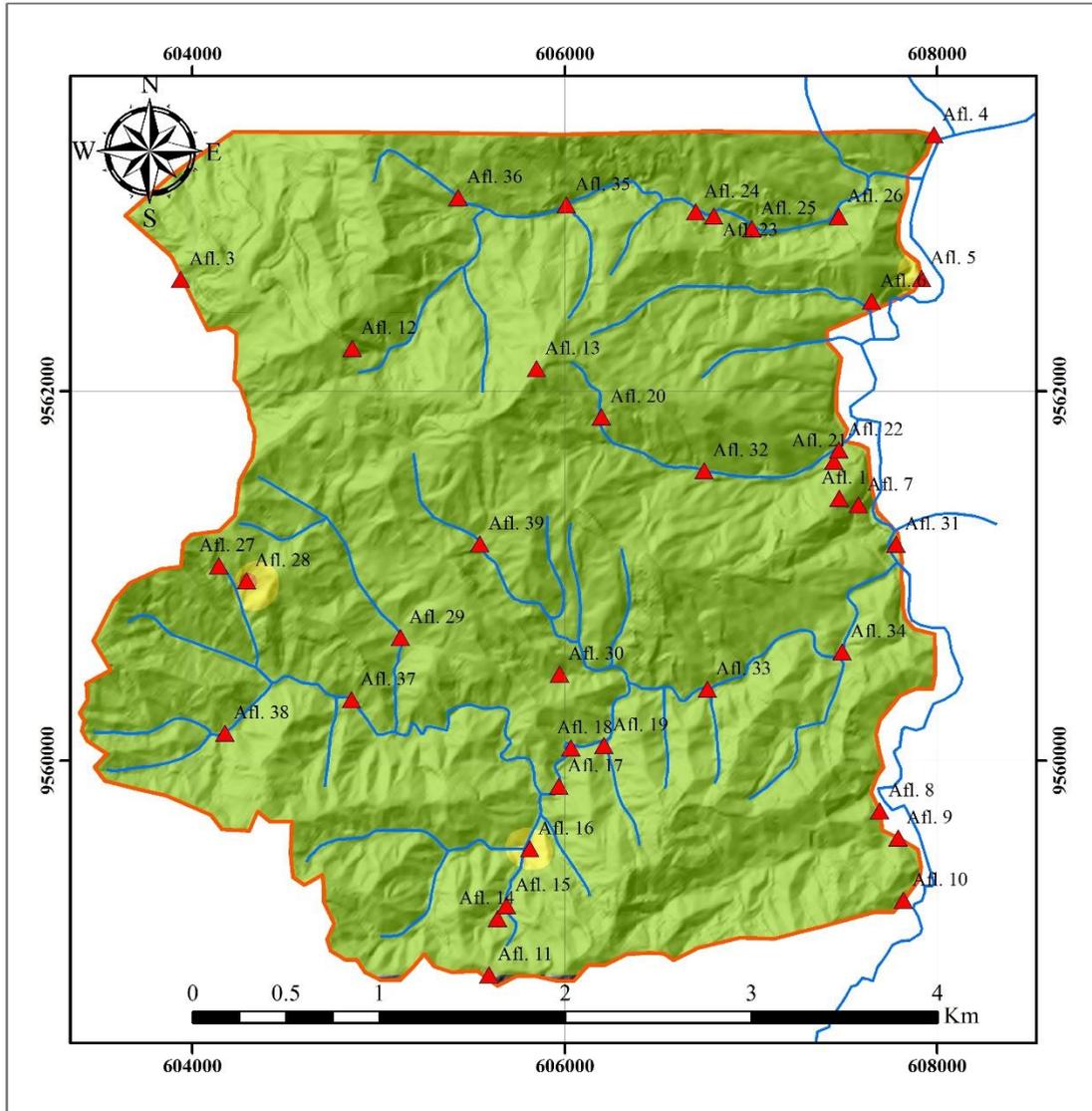
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA

- ▲ Puntos
- Drenajes
- ⊞ Área de Estudio
- Valores del Paladio (ppm)
- 107 - 149 Fondo
- 150 - 192 Umbral
- 193 - 235 Sub anomalía
- 236 - > Anomalía

Figura 38. Mapa Geoquímico del Paladio.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL CADMIO.



ESCALA.
1:30,000

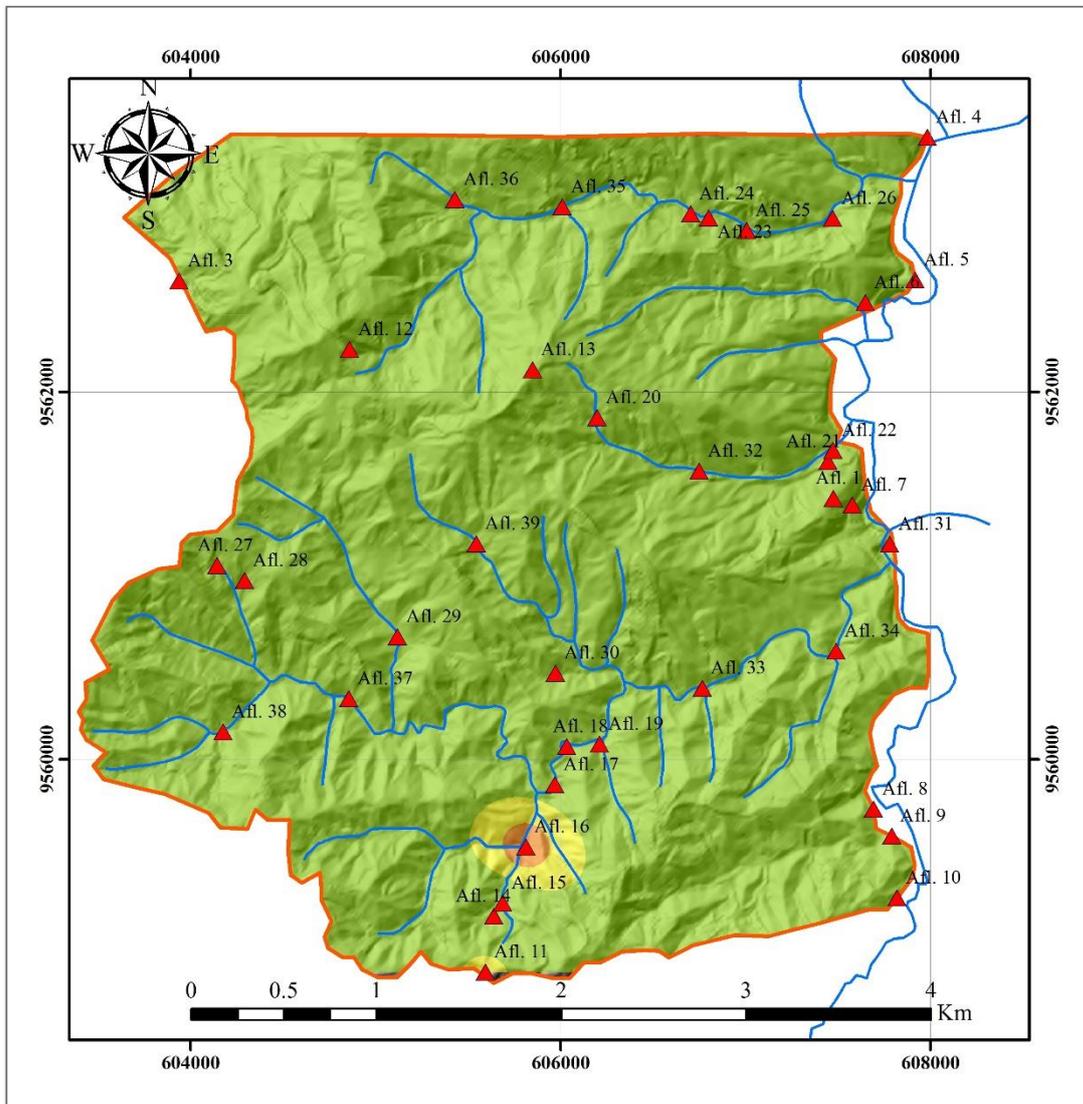
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA

- ▲ Puntos
- Drenajes
- Área de Estudio
- Valores del Cadmio (ppm)**
- 83 - 106 Fondo
- 107 - 130 Umbral
- 131 - 154 Sub anomalía
- 155 - > Anomalía

Figura 39. Mapa Geoquímico del Cadmio.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL BARIO.



ESCALA.
1:30,000

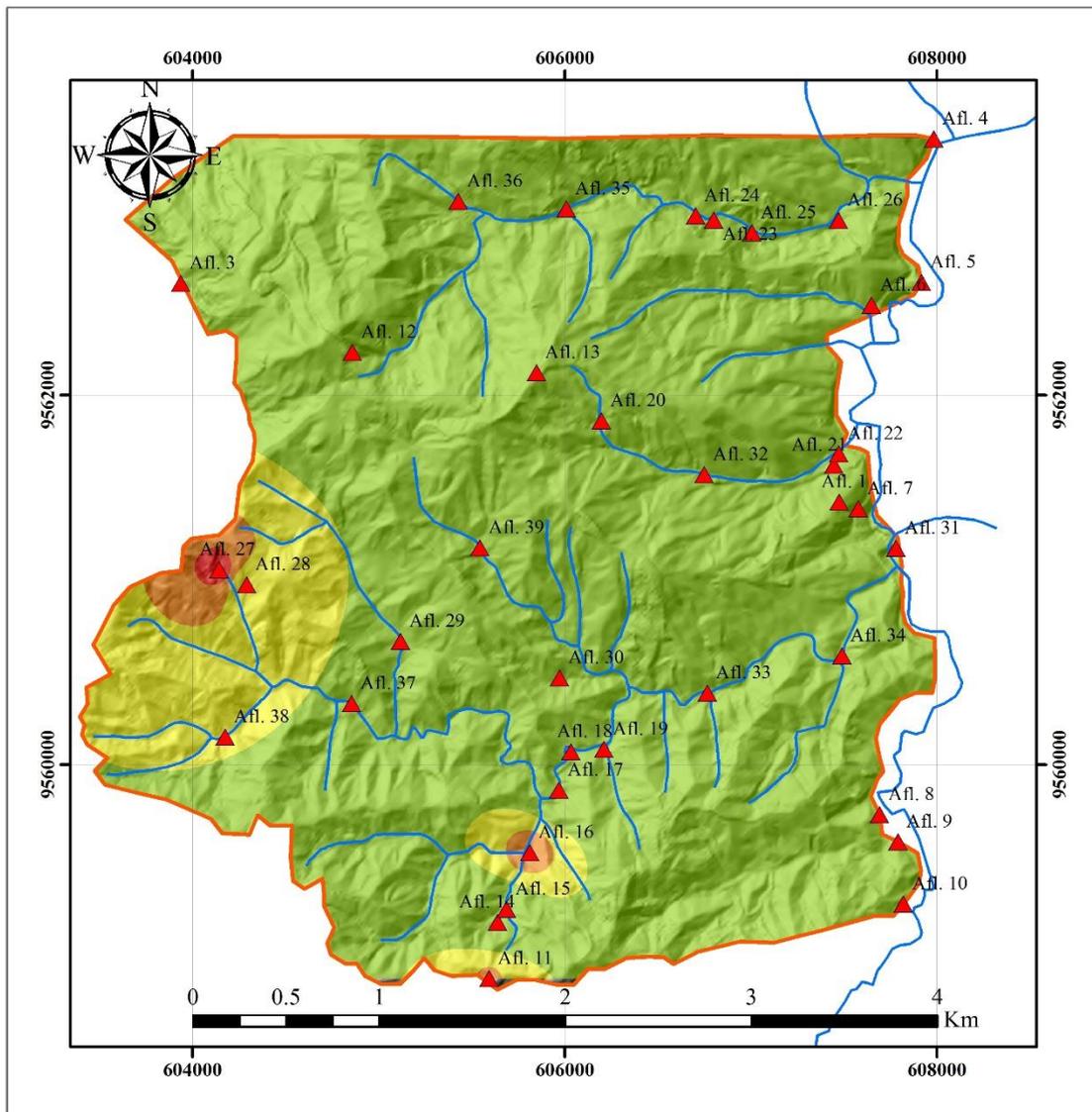
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA

- ▲ Puntos
- Drenajes
- Área de Estudio
- Valores del Bario (ppm)**
- 1190 - 1922 Fondo
- 1923 - 2655 Umbral
- 2656 - 3388 Sub anomalía
- 3389 - > Anomalía

Figura 40. Mapa Geoquímico del Bario.
Fuente: Autor.
Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL COBRE.

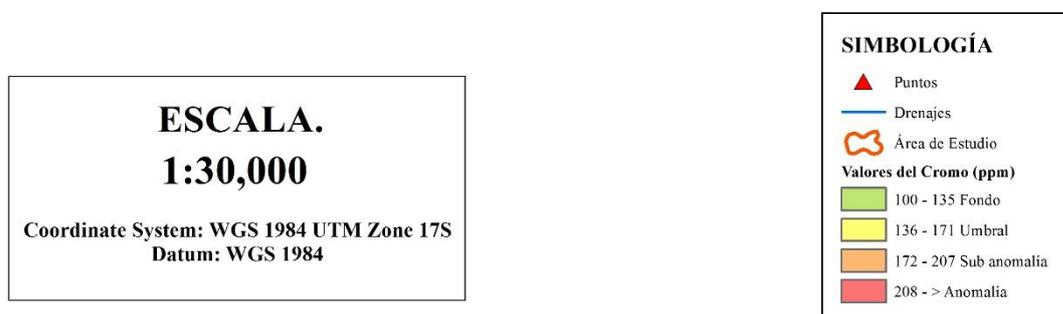
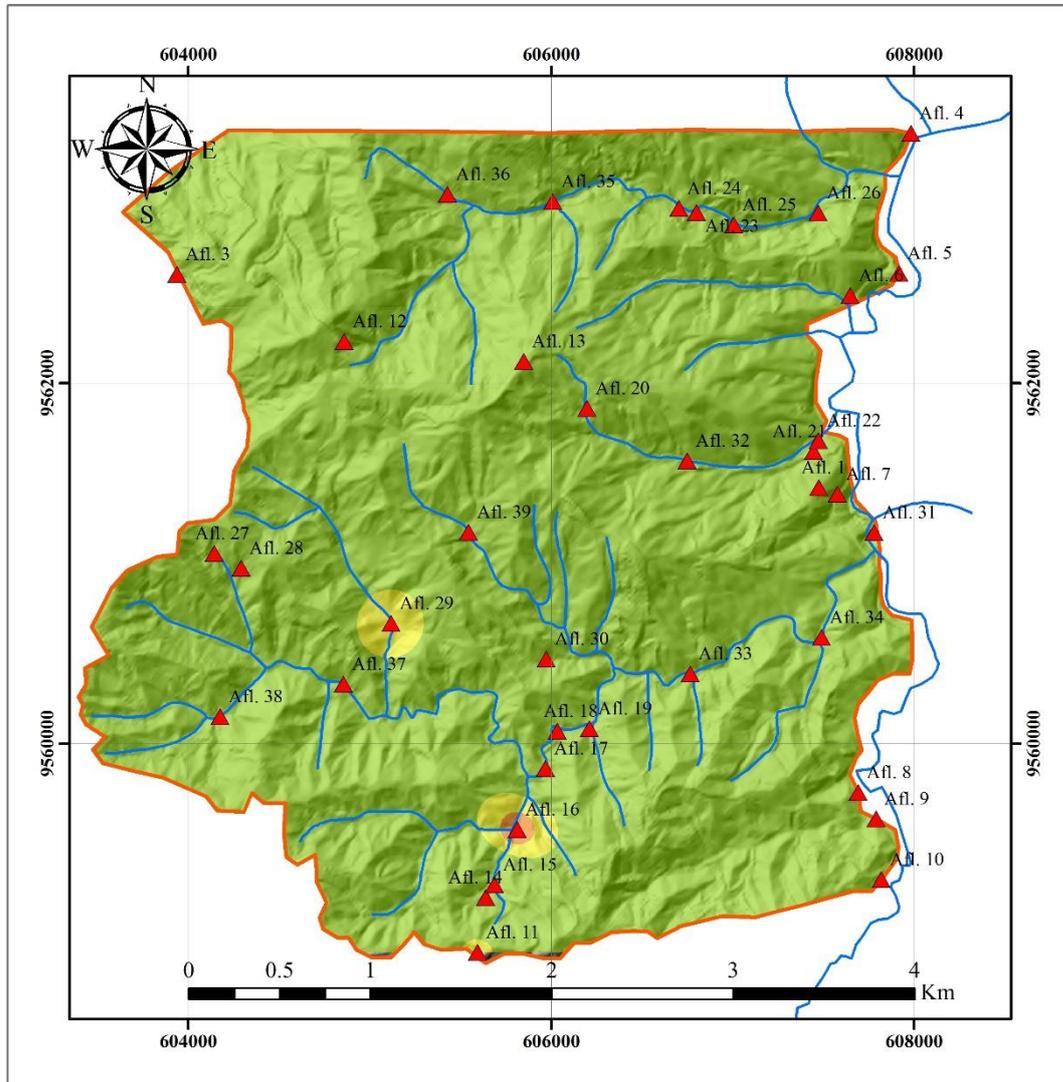


ESCALA.
1:30,000
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Datum: WGS 1984

SIMBOLOGÍA	
	Puntos
	Drenajes
	Área de Estudio
Valores del Cobre (ppm)	
	39 - 62 Fondo
	63 - 86 Umbral
	87 - 110 Sub anomalía
	111 - > Anomalía

Figura 41. Mapa geoquímico del Cobre.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.

MAPA GEOQUÍMICO DEL CROMO.



ESCALA.
1:30,000

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 17S
 Datum: WGS 1984

Figura 42. Mapa Geoquímico del Cromo.
 Fuente: Autor.
 Elaboración: Autor.