



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

**Caracterización geoquímica y mineralógica del sector Carboncillo –
Saraguro, con fines prospectivos**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Dias León, Yessenia Lizbeth

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

LOJA – ECUADOR

2018



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>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

M.Sc. – Lic.

John Luis Manrique Carreño

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **“Caracterización geoquímica y mineralógica del sector Carboncillo – Saraguro con fines prospectivos”** realizado por **Yessenia Lizbeth Dias León** ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, julio de 2018

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Yessenia Lizbeth Dias León declaro ser autora del presente trabajo de titulación: **“Caracterización geoquímica y mineralógica del sector Carboncillo – Saraguro con fines prospectivos”**, de la Titulación Geología y Minas, siendo 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 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”.

f.....

Autor: Yessenia Lizbeth Dias León

Cédula: 1900714021

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía, por darme la sabiduría necesaria para poder culminar con éxito la meta que desde niña me propuse cumplir, por haberme dado la fortaleza para poder afrontar los momentos más difíciles que me toco atravesar en el transcurso de mi vida estudiantil, porque sé que si se camina junto a él todo es posible.

A la mujer que me dio la vida, la que me enseñó a valorar cada cosa por más simple que sea, que me instruyo que nada es imposible en esta vida, la que supo educarme con su ejemplo, que siempre estuvo cuando más la necesite, a la que seco mis lágrimas cuando veía todo perdido, la que estuvo en mis noches de desvelo, la que me daba la fortaleza y los ánimos necesarios para poder culminar con mis metas propuestas, a la mujer más buena, bondadosa, cariñosa, amorosa de este mundo, a la mejor de todas, a mi MADRECITA el pilar fundamental en mi vida.

A mis dos amores mi amada hija Paula y mi esposo Jefferson, son la bendición en mi vida, por ustedes y para ustedes todos mis esfuerzos, los amo.

A mis hermanos Belén, Jeison, Karina, Cristina y Elián, mis hermanos menores, quienes, con su alegría, su valentía para afrontar la vida y por la esperanza de tener días mejores para todos me incentivaron a no darme por vencida y ser ejemplo de superación para ellos.

A mis pequeños angelitos mis sobrinos: Mateito y Josué quienes con sus sonrisas y ocurrencias llenaron de alegría mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por su amor infinito y por guiarme en cada paso que he dado. También agradezco a la Universidad Técnica Particular de Loja, a las autoridades y docentes que conforman la Titulación de Geología y Minas, por permitirme culminar mis estudios profesionales, cumplir con mis anhelos de superación, y por educarme en valores para poder servir a la sociedad.

A mi director de tesis MSc. John Manrique y a mi Codirector MSc. Galo Guamán muchas gracias por toda su ayuda.

Al Ing. Juan Carlos Quintuña, un agradecimiento total por su ayuda, consejos, enseñanzas y por su amistad.

A mi madre por su gran amor y su apoyo incondicional.

A mis amigas Bonny, Brigitte y Karlita gracias por haberme apoyado, por siempre estar en los momentos que más necesite de su ayuda, por compartir tantos buenos y malos momentos, por saberme querer tal y como soy. Las adoro mis queridas geólogas.

Un agradecimiento total a mi familia, en especial a mis tíos Wilson, Bertha y Carmen, gracias por su ayuda, por sus sabios consejos, su cariño y estima les agradezco infinitamente.

Aunque no estés presente y nunca puedas leer esto, quiero plasmar tu nombre en estas líneas, querido tío Lauro, sé que desde el cielo estas cuidándome y estás tan feliz como lo estoy yo de haber logrado lo que tanto he anhelado, tú fuiste una de mis inspiraciones para seguir esta carrera universitaria, siempre quise trabajar contigo, pero ahora ya no estas y no sabes cuánto me duele tu partida y que no puedas ser parte de este logro tan importante en mi vida.

Agradezco muy sinceramente al padre que la vida me puso, José, gracias por criarme, educarme y por tu ayuda, este logro también es gracias a ti.

A mi esposo, gracias por ser el amigo, confidente, consejero, compañero y por darme todo tu amor, estuviste en los momentos que más necesite, me ayudaste desinteresadamente, me incentivaste a seguir en la lucha y no darme por vencida en ningún momento, por eso y muchas cosas más te AMO y te doy las gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	4
GENERALIDADES	4
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Justificación.....	6
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II.....	7
CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y FÍSICAS DEL SECTOR CARBONCILLO – SARAGURO	7
2.1. Localización geográfica	8
2.2. Acceso.....	9
2.3. Clima	10
2.4. Flora.....	10
2.5. Fauna	10
2.6. Geomorfología.....	11
2.7. Hidrografía.....	12
CAPÍTULO III.....	14
MARCO GEOLÓGICO.....	14
3.1. Geología Histórica	15
3.2. Geología Regional.....	15
3.2.1. Grupo Ayancay (Mioceno).....	16
3.2.2. Grupo Saraguro (Eoceno tardío – Mioceno temprano).....	16
3.2.3. Formación Saraguro (Oligoceno).....	16
3.2.4. Formación Tarqui (Mioceno Tardío).....	17

3.2.5.	Formación Uchucay (Mioceno Tardío).....	17
3.2.6.	Unidad Sacapalca (Paleoceno – Eoceno temprano).....	17
3.2.7.	Intrusivos.....	18
3.3.	Geología Local	20
CAPÍTULO IV	22
GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS DE INTERÉS.....		22
4.1.	Geoquímica del Mercurio.....	23
4.1.1.	Clarke de concentración.....	23
4.1.2.	Elementos trazadores de mercurio.....	23
4.1.3.	Mineralogía.....	23
4.1.4.	Tipos de depósitos y origen.....	23
4.1.5.	Ciclo del mercurio.....	24
4.2.	Geoquímica del Molibdeno.....	24
4.2.1.	Clarke de concentración.....	24
4.2.2.	Mineralogía.....	25
4.2.3.	Yacimientos.....	25
4.3.	Geoquímica del Cobre.....	25
4.3.1.	Clarke de concentración.....	26
4.3.2.	Mineralogía.....	26
4.3.3.	Yacimientos.....	27
4.4.	Geoquímica del titanio.....	27
4.4.1.	Clarke de concentración.....	28
4.4.2.	Mineralogía.....	28
4.4.3.	Yacimientos.....	28
4.5.	Geoquímica del circonio.....	28
4.5.1.	Mineralogía.....	29
4.5.2.	Yacimientos.....	29
CAPÍTULO V	30
METODOLOGÍA.....		30
5.1.	Metodología.....	31
5.1.1.	Recopilación Bibliográfica.....	31
5.1.2.	Trabajo de Campo.....	31
5.1.3.	Muestreo.....	31
5.1.4.	Tratamiento físico de las muestras.....	34
5.1.5.	Identificación de minerales y rocas por microscopio Petrográfico.....	37
5.1.6.	Análisis mineralógico mediante Difracción de Rayos X (DRX).....	38
5.1.7.	Análisis químico mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	39

CAPÍTULO VI	40
RESULTADOS Y ANÁLISIS	40
6.1. Mineralogía.....	41
6.1.1. Resultados de análisis macroscópico de sedimentos y suelos.	41
6.2. Resultados de análisis de rocas mediante microscopio petrográfico.	43
6.3. Resultados de Difracción de Rayos X (DRX).....	47
6.3.1. Difracción de Rayos X (DRX) en rocas.....	47
6.3.2. Difracción de Rayos X (DRX) en sedimentos.....	52
6.3.3. Difracción de Rayos X (DRX) en suelos.	54
6.4. Resultados del análisis de Fluorescencia de rayos x (FRX) realizados a muestras de rocas.....	60
6.4.1. Concentración de elementos mayoritarios (%) en rocas.	61
6.4.2. Concentración de elementos traza (ppm) en rocas.....	63
6.4.3. Concentración de elementos mayoritarios (%) en sedimentos.....	64
6.4.4. Concentración de elementos traza (%) en sedimentos.	65
6.4.5. Concentración de elementos mayoritarios (%) en suelos.....	66
6.4.6. Concentración de elementos traza (ppm) en suelos.	66
6.5. Análisis de resultados estadísticos de los elementos químicos presentes en rocas. 67	
6.5.1. Resultados estadísticos de los elementos traza presentes en rocas.	67
6.5.2. Coeficiente de correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios en rocas.....	76
6.6. Análisis de resultados estadísticos de los elementos químicos presentes en sedimentos.....	84
6.6.1. Resultados estadísticos de los elementos traza presentes en sedimentos.	84
6.6.2. Coeficiente de correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios en sedimentos.	93
6.7. Análisis de resultados estadísticos de los elementos químicos presentes en suelos. 99	
6.7.1. Resultados estadísticos de elementos mayoritarios y traza presentes en suelos. 99	
6.7.2. Coeficiente de correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios en suelos.....	104
CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	111
ANEXOS.....	114
ANEXO I. Fotografía muestra de roca brecha hidrotermal (MR AFL3)	115
ANEXO II. Difractogramas de muestras de rocas.....	116

ANEXO III. Serie de Bowen de cristalización magmática	118
Anexo IV. Mapas de concentración de minerales en rocas.	119
ANEXO V. Mapas de concentración de minerales en sedimentos.....	125
Anexo VI. Mapas de concentración de minerales en suelos.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Minerales contenedores de Mo	25
Tabla 2. Minerales contenedores de Cu.....	26
Tabla 3. Minerales contenedores de Ti.....	28
Tabla 4. Minerales contenedores de Zr.....	29
Tabla 5. Minerales identificados en las muestras de rocas	50
Tabla 6. Minerales identificados en la muestra de sedimentos	54
Tabla 7. Minerales identificados en las muestras de suelos.....	59
Tabla 8. Concentración de elementos mayoritarios (%) en rocas.....	61
Tabla 9. Concentración de elementos traza (ppm) en rocas.	63
Tabla 10. Concentración de elementos mayoritarios en sedimentos.....	64
Tabla 11. Concentración de elementos traza (%) en sedimentos.	65
Tabla 12. Concentración de elementos mayoritarios (%) en suelos.....	66
Tabla 13. Concentración de elementos traza (ppm) en suelos.....	66
Tabla 14. Valores estadísticos de muestras de rocas.	67
Tabla 15. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios y elementos traza en rocas.	77
Tabla 16. Valores estadísticos de muestras de sedimentos.....	84
Tabla 17. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios y elementos traza en sedimentos.	94
Tabla 18. Valores estadísticos de muestras de suelos.....	99
Tabla 19. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios y traza en suelos.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	8
Figura 2. Mapa de acceso a la zona de estudio	9
Figura 3. Relieve de la zona de estudio	12
Figura 4. Red hídrica del área de estudio	13
Figura 5. Formaciones geológicas que regionalmente está enmarcado la zona de estudio .	19
Figura 6. Afloramiento de toba riolítica (MR AFL 8)	20
Figura 7. Afloramiento de brecha hidrotermal	21
Figura 8. Afloramiento de toba soldada.....	21
Figura 9. Muestreo de sedimentos.....	32
Figura 10. Muestreo en suelos.....	32
Figura 11. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo para rocas, sedimentos y suelos de la zona de estudio.....	33
Figura 12. Trituradora Retsch BB200 WC laboratorio UTPL (a) y Trituración primaria de roca (b).....	34
Figura 13. Tamizado de muestras de suelo	35
Figura 14. Pulverizadora Retsch RS 200	35
Figura 15. Homogenización con tamizador (a) y homogenización manual (b)	36
Figura 16. Envasado de muestra de sedimentos	36
Figura 17. Estéreo zoom Olympus SZ – STB1, UTPL.....	37
Figura 18. Briqueta de rocas.....	38
Figura 19. Envasado de muestras para DRX.....	38
Figura 20. Equipo de Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	39
Figura 21. Muestra MSQP3 minerales no magnéticos.	41
Figura 22. Muestra MSQP3 minerales magnéticos	41
Figura 23. Muestra suelos MSS10, minerales no magnéticos.....	42
Figura 24. Muestra suelos MSS10, minerales magnéticos.....	42
Figura 25. Muestra MR Afl 4, LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos.....	43
Figura 26. Muestra MR Afl 4 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 aumentos.....	43
Figura 27. Muestra MR Afl 4 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 aumentos.....	44
Figura 28. Muestra MR Afl 3 en LPNA (izquierda) y en LPA (derecha) a 50 aumentos.....	44
Figura 29. Muestra MR Afl 3, LPA con filtro rojo de	45
Figura 30. Muestra MR Afl 3 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos.....	45
Figura 31. Calcedonias coloformes MR Afl 3	46
Figura 32. Muestra MR Afl 5 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos.....	46
Figura 33. Muestra MR Afl 5 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos.....	47

Figura 34. Difractograma de la muestra MR Afl 1	48
Figura 35. Difractograma de la MR Afl 3	49
Figura 36. Difractograma de la muestra de sedimento MSQP3	53
Figura 37. Difractograma de muestra de suelo MSS10.....	55
Figura 38. Difractograma de la muestra de suelo MSS16	56
Figura 39. Difractograma de la muestra de suelo MSS27	57
Figura 40. Difractograma de la muestra de suelo MSS29	58
Figura 41. Histograma de frecuencia de azufre (roca)	68
Figura 42. Diagrama de caja y bigotes de azufre (roca).....	68
Figura 43. Histograma de frecuencia de cobre (roca).	69
Figura 44. Diagrama de caja y bigotes de cobre (roca).....	70
Figura 45. Histograma de frecuencia de Pb (roca).....	71
Figura 46. Diagrama de caja y bigote de plomo (roca).....	71
Figura 47. Histograma de frecuencia de cobalto (roca).....	72
Figura 48. Diagrama de caja y bigote de cobalto (roca).	73
Figura 49. Histograma de frecuencia de circonio (roca).	74
Figura 50. Diagrama de caja y bigote de circonio (roca).	74
Figura 51. Histograma de frecuencia de estaño (roca).....	75
Figura 52. Diagrama de caja y bigote de estaño (roca).....	76
Figura 53. Diagrama de dispersión entre SiO ₂ y K ₂ O (roca)	78
Figura 54. Diagrama de dispersión entre Al ₂ O ₃ – Pb (roca).....	79
Figura 55. Diagrama de dispersión entre CaO – S (roca)	79
Figura 56. Diagrama de dispersión entre CaO y Sr (roca)	80
Figura 57. Diagrama de dispersión entre K ₂ O – Rb (roca)	81
Figura 58. Diagrama de dispersión entre Fe ₂ O ₃ – MnO (roca)	81
Figura 59. Diagrama de dispersión entre Fe ₂ O ₃ – Cd (roca)	82
Figura 60. Diagrama de dispersión entre Fe ₂ O ₃ – Co (roca)	82
Figura 61. Diagrama de dispersión entre S – Pb (roca)	83
Figura 62. Diagrama de dispersión entre S – Cu (roca)	83
Figura 63. Histograma de frecuencias de Fe ₂ O ₃ (sedimento).....	85
Figura 64. Diagrama de caja y bigotes de Fe ₂ O ₃ (sedimento).....	85
Figura 65. Histograma de frecuencia de Mo (sedimento).....	86
Figura 66. Diagrama de caja y bigotes de Mo (sedimento).	87
Figura 67. Histograma de frecuencia de Zr (sedimento).	88
Figura 68. Diagrama de caja y bigotes de Zr (sedimento).....	88
Figura 69. Histograma de frecuencia de plomo (sedimento).	89

Figura 70. Diagrama de caja y bigotes de plomo (sedimento).....	90
Figura 71. Histograma de frecuencia de cadmio (sedimento).	91
Figura 72. Diagrama de caja y bigotes de cadmio (sedimento).....	91
Figura 73. Histograma de frecuencia de cobalto (sedimento).	92
Figura 74. Diagrama de caja y bigotes de cobalto (sedimento).....	93
Figura 75. Diagrama de dispersión entre Al ₂ O ₃ y K ₂ O (sedimentos)	95
Figura 76. Diagrama de dispersión entre Fe ₂ O ₃ y MnO (sedimentos)	96
Figura 77. Diagrama de dispersión entre Fe ₂ O ₃ - TiO ₂ (sedimentos)	96
Figura 78. Diagrama de dispersión entre Fe ₂ O ₃ – Co (sedimentos).....	97
Figura 79. Diagrama de dispersión entre Fe ₂ O ₃ y Zn (sedimentos).....	98
Figura 80. Diagrama de dispersión entre MnO – Zn (sedimentos)	98
Figura 81. Diagrama de dispersión entre MnO – Co (sedimentos).....	99
Figura 82. Histograma de frecuencia de V ₂ O ₅ (suelos).	100
Figura 83. Diagrama de caja y bigotes de V ₂ O ₅ (suelos).....	101
Figura 84. Histograma de frecuencia de Mo (suelos).	102
Figura 85. Diagrama de caja y bigotes de Mo (suelos).	102
Figura 86. Histograma de frecuencia Zr (suelos).	103
Figura 87. Diagrama de caja y bigotes de Zr (suelos).....	104
Figura 88. Diagrama de dispersión entre SiO ₂ - Al ₂ O ₃ (suelos).....	106
Figura 89. Diagrama de dispersión entre Fe ₂ O ₃ – MnO (suelos).....	107
Figura 90. Diagrama de dispersión entre Fe ₂ O ₃ - TiO ₂ (suelos).	107

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se fundamenta en la caracterización geoquímica y mineralógica del sector Carboncillo, ubicado en el Cantón Saraguro de la provincia de Loja. El propósito de la investigación es el descubrimiento de zonas mineralizadas (anomalías geoquímicas). La prospección se basó en muestreo de rocas (afloramientos), suelos y sedimentos activos. Para la identificación de posibles depósitos mineralizados se realizaron análisis mineralógicos y análisis químicos, así como análisis estadísticos.

Los análisis realizados fueron: Fluorescencia de Rayos X (FRX), Difracción de Rayos X (DRX), reconocimiento mineralógico microscópico para suelos y sedimentos y realización de láminas delgadas para rocas.

Los datos arrojados mediante el ensayo de FRX, se analizaron estadísticamente para poder determinar fondo, umbral, sub anomalía y anomalías. En el sector Carboncillo se obtuvieron concentraciones anómalas de elementos químicos tanto en rocas, sedimentos y suelos de Zr (11659 ppm en sedimentos, sub anomalía de 309 ppm en rocas y 5316 ppm en suelos), Sr (anomalía 463 ppm en rocas y 232 ppm en sedimentos), Mo (sub anomalía de 376,25 ppm en sedimentos y 184, 67 ppm en suelos), entre otros.

PALABRAS CLAVES: Prospección Geoquímica, Carboncillo, anomalías, rocas, sedimentos, suelos, circonio, molibdeno, cobalto, estroncio.

ABSTRACT

The present research work is based on the geochemical and mineralogical characterization of the Carboncillo sector, located in the Saraguro Canton of the province of Loja. The purpose of the investigation is the discovery of mineralized zones (geochemical anomalies). The survey was based on rock sampling (outcrops), soils and active sediments. For the identification of possible mineralized deposits, mineralogical analyzes and chemical analyzes were carried out, as well as statistical analyzes.

The analyzes performed were: X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), microscopic mineralogical recognition for soils and sediments and production of thin sheets for rocks.

The data obtained through the FRX test were analyzed statistically to determine the background, threshold, sub anomaly and anomalies. In the Charcoal sector, anomalous concentrations of chemical elements were obtained in rocks, sediments and soils of Zr (11659 ppm in sediments, sub anomaly of 309 ppm in rocks and 5316 ppm in soils), Sr (anomaly 463 ppm in rocks and 232 ppm in sediments), Mo (sub anomaly of 376,25 ppm in sediments and 184,67 ppm in soils), among others.

KEYWORDS: Geochemical prospection, Carboncillo, anomalies, rocks, sediments, soils, zirconium, molybdenum, cobalt, strontium

INTRODUCCIÓN

Los yacimientos minerales, tanto metálicos como no metálicos son acumulaciones o concentraciones de uno o varias sustancias útiles que están distribuidos escasamente en la corteza exterior de la Tierra (Bateman, 1978).

Las caracterizaciones geoquímicas tienen como finalidad detectar las cantidades residuales de diferentes elementos asociados. Por ello prácticamente los criterios geoquímicos ayudan en la prospección de todo tipo de yacimientos. El principio fundamental en que se basa el criterio es cuando varios elementos están presentes a una concentración superior a la normal, suelen llevar asociados determinados elementos que sirven de indicadores, y esto ocurre con independencia de la situación geográfica del depósito. El reconocimiento de estos indicadores, o de los propios elementos útiles, a concentraciones superiores a la normal, pueden conducir al descubrimiento de depósitos minerales de interés (Orche, 2001).

Esta investigación pretende localizar anomalías geoquímicas o áreas cuya estructura indique la presencia de un cuerpo mineralizado en su vecindad. Las anomalías geoquímicas están generadas por cuerpos ígneos en su profundidad, procesos metamórficos o procesos superficiales (Solé, 2008). Los procesos superficiales conllevan la desintegración de masas rocosas, el transporte y la acumulación de materiales en sectores estratégicos como ríos, quebradas o riachuelos.

La metodología empleada para la realización de este trabajo de tesis fue el muestreo de rocas en los afloramientos presentes dentro del polígono de estudio, la recolección de sedimentos y suelos, estas muestras fueron procesados en los laboratorios de la Universidad Técnica Particular de Loja, para la realización de ensayos físicos y químicos, que permitieron conocer las concentraciones de elementos y minerales presentes en la zona investigada.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

“Ecuador tiene potencial de albergar varios tipos de yacimientos minerales, por la diversidad geológica que tiene.” (Paladines y Soto, 2010). La presente investigación tiene como finalidad encontrar posibles indicios de yacimientos minerales, el cual sustente las publicaciones realizadas con respecto a mineralizaciones existentes en el Sur del país, correspondientes a la Cordillera Occidental.

Revisando publicaciones que datan del año 1892, cuando Teodoro Wolf visitó Ecuador, encontró un sin número de puntos mineralizados en provincias que se ubican dentro de la cordillera Occidental (Loja y El Oro) y en la Cordillera Real (Zamora Chinchipe), las cuales fueron visitadas en forma breve en su paso por Ecuador (Subcomisión Ecuatoriana para aprovechamiento de las cuencas hidrográficas Puyango - Tumbes y Catamayo - Chira, 1974).

En el Ecuador, la Cordillera Occidental constituye por lo menos el 40% del terreno prospectivo de minerales del país en donde reposan grandes yacimientos específicamente de oro, plata y cobre, los cuales han sido explotados desde épocas coloniales hasta la actualidad, obteniendo cifras significativas de materia mineral tales son los casos de Zaruma – Portovelo (1549), Fierro – Urcu (1955) Quimsacocha (1960), El Mozo, Bella Rica, Molleturo, Loma Larga y Rio Blanco. En la Cordillera Occidental, la mineralización epitermal, más conocida está emplazada en el Grupo Saraguro, principalmente en la cercanía de los centros eruptivos del Terciario y a lo largo de estructuras regionales mayores que suministraron conductos para la circulación hidrotermal de fluidos y el emplazamiento de intrusiones volcánicas (PRODEMINCA, 2001).

En 1995 la compañía PRODEMINCA, realizó estudios geoquímicos de drenaje regional de la Cordillera Occidental. En junio de 1998 los datos recogidos dentro de la campaña geoquímica de oro arrojan valores anómalos, particularmente asociaciones elementales indicadores de depósitos epitermales de baja sulfuración (PRODEMINCA, 2000).

“Una base de datos geoquímicos de alta calidad es pertinente para una gran variedad de investigaciones de las ciencias de la tierra y de la vida y debería ser considerada como componente esencial del conocimiento ambiental” (PRODEMINCA, 2001).

1.2. Justificación.

La zona de estudio ubicada geológicamente dentro del Arco Volcánico Saraguro y este a su vez ubicado dentro de la Cordillera Occidental, fueron la motivación para la realización de este estudio. Investigaciones realizadas a lo largo de esta Cordillera, dieron indicios satisfactorios para albergar diversas mineralizaciones de material metálico y no metálico, que representa a futuro un aporte para la economía del país (PRODEMINCA, 2000).

Además de realizar el estudio exploratorio para la determinación del potencial minero del sector, se aporta con información en el ámbito ambiental, ya que en dos sectores donde se realizó el muestreo arrojaron datos de presencia de mercurio en los sedimentos de uno de los drenajes muestreados. Estos drenajes son utilizados como fuente de consumo humano y de animales que habitan en el sector. El consumo de líquido con presencia de mercurio resulta nocivo para la salud de los comuneros.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Realizar el estudio de prospección geoquímica local en la zona Carboncillo, del cantón Saraguro, perteneciente a la provincia de Loja, para identificar posibles depósitos minerales.

1.3.2. Objetivos específicos.

- ✓ Realizar la revisión bibliográfica del área de estudio, en cuanto a la geología y estratigrafía.
- ✓ Tomar muestras de sedimentos fluviales, suelos y rocas.
- ✓ Realizar tratamiento físico de las muestras, secado, triturado y pulverizado.
- ✓ Determinar la concentración de los elementos mayoritarios y elementos traza.

CAPÍTULO II
CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y FÍSICAS DEL SECTOR CARBONCILLO –
SARAGURO

2.1. Localización geográfica

El cantón Saraguro se encuentra situado al Norte de la provincia de Loja, al Sur del Ecuador, se sitúa a 64 km de la cabecera provincial (Loja), la zona de estudio se localiza dentro de las parroquias Urdaneta, San Antonio de Cumbe y El Tablón (Figura 1), con una superficie de 20 km² aproximadamente, la misma que está enmarcada dentro de las coordenadas con proyección UTM WGS84.

- X: 699012 m Y: 9608341 m
- X: 699012 m Y: 9601435 m
- X: 703638 m Y: 9608333 m
- X: 703638 m Y: 9601427 m

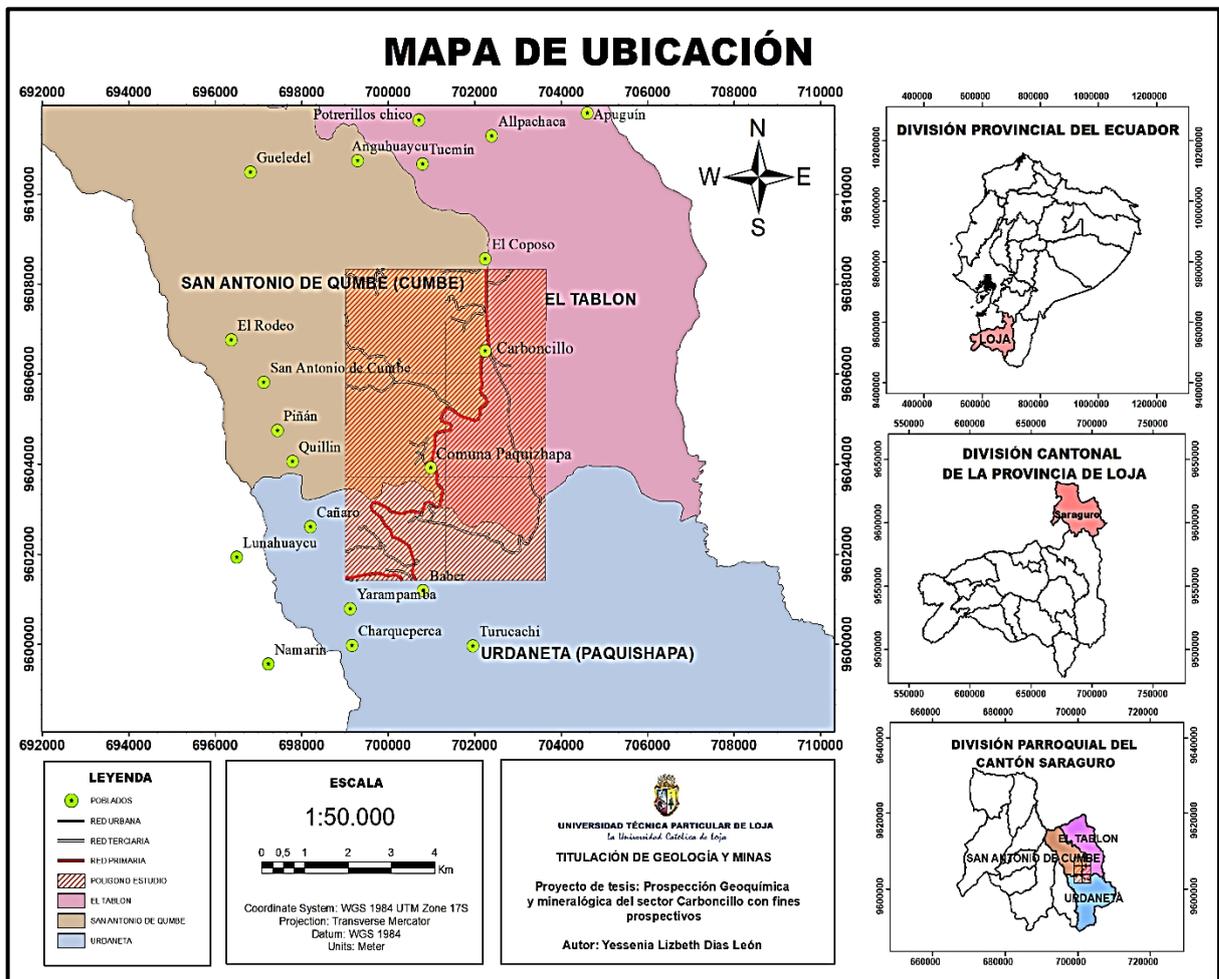


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

2.2. Acceso

El acceso al área de estudio se realiza por medio de transporte terrestre, partiendo desde la ciudad de Loja hacia Saraguro con una distancia de 73 km, la principal vía de acceso es la carretera Panamericana que conecta las provincias de Loja con Azuay y el resto del país.

El enlace a las diversas zonas en donde se localizan los puntos estratégicos de estudio se puede realizar por vías lastradas de segundo y tercer orden, mediante el uso de camionetas y rancheras que realizan el transporte a las parroquias, barrios y comunas de Urdaneta y San Antonio de Cumbe (Figura 2). El recorrido en donde ya no existen carreteras se lo hace por senderos y caminos realizados por los comuneros de los diversos sectores.

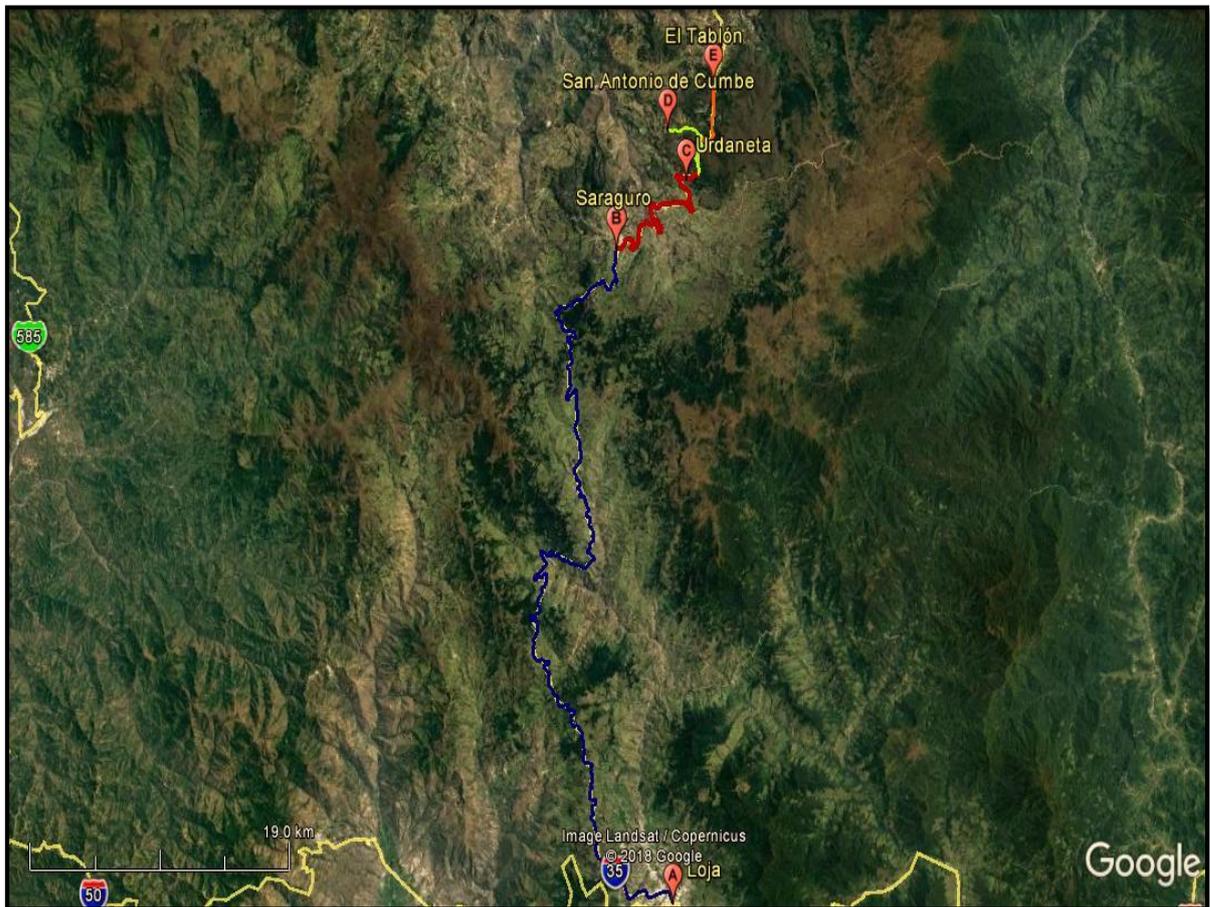


Figura 2. Mapa de acceso a la zona de estudio

Fuente: Google Earth

Elaboración: La Autora

2.3. Clima

El clima del cantón Saraguro es temperado-subhúmedo. La pluviosidad del cantón está entre los valores de 758 – 1250 mm, la época de lluvia varía desde noviembre a mayo. La época de fuertes vientos está entre los meses de junio a septiembre, y las heladas en los meses de diciembre a enero; la humedad relativa oscila de 80 a 88%, la temperatura entre los 8°C y los 27°C (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO, 2015).

Los tipos de climas que se presentan en el cantón Saraguro son: ***Ecuatorial de Alta montaña*** se encuentran al norte del cantón tiene una superficie de 9668.08 ha y cubre el 8,93% de la superficie del cantón; ***Ecuatorial Mesotérmico Seco*** este tipo de clima se distribuye al sur del cantón Saraguro con una superficie de 42230,87 ha y cubre el 39.01% del territorio del cantón, se localiza en las parroquias de Yúluc y Sumaypamba especialmente; ***Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo*** este tipo de clima cubre 56371,27 ha y cubre el 52,07% del territorio del cantón, este tipo de clima abarca las parroquias de Urdaneta, San Antonio de Cumbe y El Tablón en donde se centra la zona de estudio y otras 6 parroquias más (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO, 2015).

2.4. Flora

La diversidad de especies forestales en el cantón Saraguro son: Podocarpus, romerillo, canelo blanco, aliso, macomaco, resna, ucacedro, guaylo, shinín, gual, lumas, capulí, niguito, sauce, nogal, cascarilla, higuierón, cashcos, canelón, guato, pumamaqui, laurel de cera, duraznillo. En las faldas del cantón (parte baja) se encuentran especies como: saca, vainillo, faique, chirimoya, shinín, guaba, aguacate de montaña entre otras. Los arbustos predominantes son: gañan, niguito, joyazas, sierras, zarcillo, clavelillo, chilca de páramo, motemote, quiques, chaguarquero. (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO, 2015).

2.5. Fauna

Las principales especies de aves en el cantón son: torcazas, pavas de monte, en la parte alta zona con abundantes venados y perdices de paramo (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO, 2015).

2.6. Geomorfología

La geomorfología del cantón está expresada por la presencia de dos cordilleras paralelas de los Andes, que atraviesan el cantón de Norte a Sur.

En base a los estudios realizados por él (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO, 2015), las unidades geomorfológicas que ostenta el cantón Saraguro y en si las parroquias donde se centra la zona de estudio son las siguientes:

Colinas altas (C-a). La elevación que presentan estas colinas oscila de 0 a 300 m de altura y muestra una pendiente predominante de 25 a 50%. Superficie rocosa.

Colinas medianas (C-m). Colina desértica de configuración ondulada, de 4 a 15% de pendiente. Altitud variable entre 25 a 200 m. con cobertura dendrítica eólica.

Relieve escarpado (R-e). Relieve escarpado muy disectado, de 15% a 20% de pendiente. Su característica principal es la aridez climática y conformación desértica. Altitud variable de 25 a 300 m.

Relieve montañoso (R-m). Presenta elevaciones de 300 a 1000 m de altura y pendiente mayor de 50%. Estas elevaciones presentan una superficie rocosa con una litología mezclada de la Cordillera costera y Occidental andina.

Vertientes Irregulares (V-i). Superficie de erosión local en fondo de valle interandino y vertiente montañosa, con pendiente predominante de 4 a 15%. Corresponde a la cordillera occidental y cordillera central o Real.

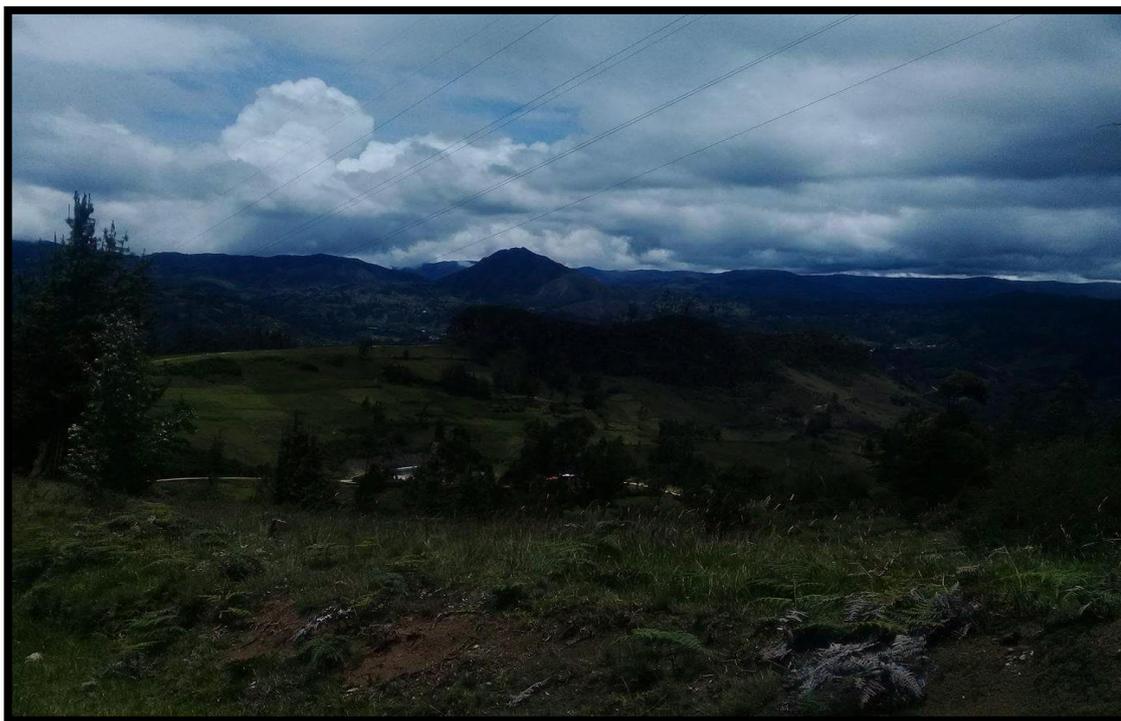


Figura 3. Relieve de la zona de estudio
Fuente: El autor
Elaboración: El autor

2.7. Hidrografía

De acuerdo a lo expuesto en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Saraguro (2014-2019), este cantón pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Jubones que se encuentra en la parte Norte de Loja, formando parte de las provincias de Loja, Azuay y El Oro, en el margen izquierdo de la cuenca superior, el Río se denomina Oña, el mismo que también constituye el límite geográfico entre las dos provincias, para aguas abajo unirse con el Río León y formar el Río Jubones (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO, 2015).

Dada la irregularidad topográfica el sistema de drenaje es dendrítico (Figura 4), todos los afluentes siguen una dirección Sur Norte para llegar al Río León y luego al Río Jubones. El Río inicial es el San Antonio, que se origina en los páramos de la cordillera oriental de Saraguro, que es afluente del Oña, que aguas abajo se denomina Oña y finalmente Jubones. (GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO, 2015).

El área de estudio se encuentra rodeado por varios cuerpos de agua tales como, Quebrada La Rinconada, Quebrada Coposo, Quebrada La Ramada, Quebrada Tierras Amarillas, Quebrada Sharihuiña, Quebrada Carreño, Quebrada Los Ajos, Quebrada Carboncillo y Río Jabonillo.

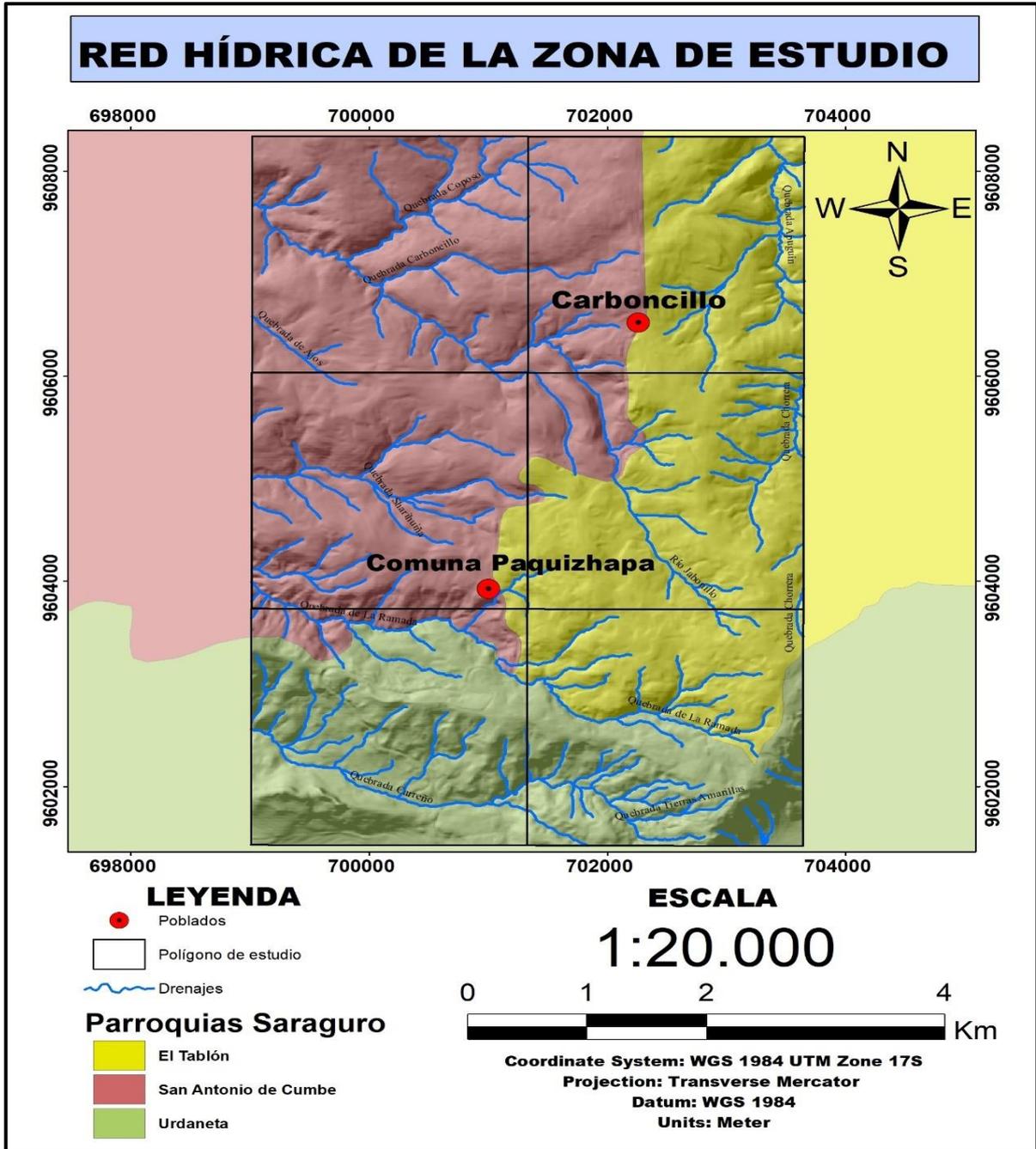


Figura 4. Red hídrica del área de estudio

Fuente: (SIGTIERRAS, s.f.)

Elaboración: El Autor

CAPÍTULO III
MARCO GEOLÓGICO

3.1. Geología Histórica

Teodoro Wolf en 1982 publicó el primer mapa y la descripción geológica completa de Ecuador. Esta investigación siguió siendo referencia hasta que Sauer en 1975 incluyó y complementó el trabajo anterior de Tschopp, basado principalmente en estudios de las cuencas sedimentarias emprendidas por el Instituto Francés del Petróleo, que condujo a la primera síntesis geodinámica de Faucher y Savoyat (Dunkley y Gaibor, 1997). Posteriormente continuaron con los trabajos investigativos relacionados a la cordillera Occidental Bristow en 1973, Bristow y Guevara en 1974, Noblet en 1988, Steinmann en 1997 y Hugerbuhler en 2002, los primeros mapas que se obtuvieron variaban sus escalas desde 1:2.000.000 hasta 1:200.000.

Jaillard, Aguirre, Lebrant, iniciaron estudios de la parte Sur de los Andes Ecuatorianos, posteriormente Hungerbuhler contribuyó al estudio de la evolución y aplicación de la tectónica regional, (Litherland et al., 1994) con su investigación "Metamorphic Belts of Ecuador" contribuyeron con información acerca de la Cordillera Real y parte de la provincia del Oro en los años 80 y 90, estos trabajos se orientaron en la determinación de edades de rocas volcánicas en la parte Sur del Ecuador. Las edades obtenidas, ubican a las rocas de la formación Saraguro en el Eoceno a Mioceno (Dunkley y Gaibor, 1997).

3.2. Geología Regional

La parte norte de la Cordillera de los Andes entre las latitudes 1°N – 4°S, involucra grupos litológicos que van desde el Paleozoico hasta el Cretácico, esta se encuentra limitada por las fallas de dirección NNE – SSW en sus extremos.

El origen de la Cordillera Occidental comienza desde el triásico con diferentes levantamientos y acreciones hasta el Eoceno, (Litherland et al., 1994), exponen dos periodos de acreción durante su evolución: uno durante el Triásico conocido como evento Moromoro – Tres Lagunas y el otro periodo de acreción durante el Cretácico Inferior conocido como evento Peltetec. Los terrenos acrecionados se dividen en: Guamote, Loja y Zamora de origen continental y Alao – Salado de origen marino. Durante el proceso de formación de la Cordillera producto de la subducción y acreción de diferentes terrenos, se producía paralelamente la fundición de la corteza oceánica por debajo de la corteza continental, el material fundido ascendía dando lugar a plutones y volcanes típicos de este tipo de borde convergente.

El cantón Saraguro está constituido por varias formaciones y unidades litotectónicas que se nombran a continuación.

3.2.1. Grupo Ayancay (Mioceno).

Según lo expuesto por Hungerbuhler en 1997, el grupo Ayancay forma parte de la secuencia sedimentaria de la cuenca de Cuenca, se extiende desde Cuenca hacia Azogues y Cañar. El grupo se compone de sedimentos de origen fluvial compuestos principalmente por areniscas, lutitas verdes y rojas y limolitas, rara presencia de tobas, capas de carbón y conglomerados. El grupo descansa inconformemente sobre el Grupo Saraguro y está sobreyacido por la Formación Turi. La secuencia deposicional comenzó hace unos 18 Ma y se completó hace 10 Ma aproximadamente (Duque, 2000).

3.2.2. Grupo Saraguro (Eoceno tardío – Mioceno temprano).

El grupo Saraguro es redefinido por Dunkley y Gaibor, 1997, como una secuencia de rocas volcánicas subaéreas, calco- alcalinas intermedias a ácidas. Predominan composiciones andesíticas a dácíticas, pero son comunes rocas riolíticas (Duque, 2000). La principal litología es la toba, la textura de esta roca varía desde toba brechada a toba con fracciones mayoritaria de vidrio volcánico y de acuerdo a estimaciones realizadas en campo se ha podido determinar los siguientes criterios:

- a) Tobas andesíticas verdes, con abundantes plagioclasas, anfíboles y cristales de augita, poca presencia de texturas vítreas y foliaciones menos desarrolladas.
- b) Tobas dácíticas, que contienen cristales de feldespatos, poca cantidad de cristales de cuarzo tienen una matriz de coloraciones verde, rosa o café, los lapilli son muy comunes.
- c) Tobas riolíticas presentan colores blancos, cafés o rosadas, el contenido de cristales es muy variado, los feldespatos y cuarzos son muy comunes, el mineral biotita es un componente importante de algunas tobas (Pratt et al., 1997).

3.2.3. Formación Saraguro (Oligoceno).

De acuerdo a lo publicado en el mapa Geológico de Saraguro (1973), esta formación aflora siguiendo los ríos León, Paquizhapa, Tenta y Jubones. Está constituida por estratos de lava y piroclastos medios a ácidos. Los piroclásticos varían desde tobas de grano fino a aglomerados muy bastos, lo más común es encontrar tobas masivas aglomeráticas de coloración amarillenta. Cerca de la población que lleva el mismo nombre de la formación, afloran tobas arenosas, tobas de grano fino con bandeamiento de diversas coloraciones y lentes de aglomerado. En la parte Norte de Oña existen estratos de ignimbritas las cuales forman peñascos altos y muy escarpados.

Las ignimbritas presentes son de coloración blanca – rosácea las cuales varían en composición entre riolita y dacita. Las brechas gruesas con clastos riolíticos y andesíticos y rocas sub-volcánicas caracterizan la ubicación de los posibles centros de erupción (Hungerbühler, 1997).

La formación Saraguro descansa discordantemente al Este sobre la Serie Zamora y al Oeste sobre la Formación Piñón.

3.2.4. Formación Tarqui (Mioceno Tardío).

Baldock en 1982, determino la presencia de materiales piroclásticos intermedios a ácidos, brechas riolíticas, tobas volcánicas, flujos piroclásticos andesíticos e ignimbritas. Los piroclastos son a menudo caolinizados o silicificados. En la cordillera Occidental dentro de esta Formación se producen ciertas mineralizaciones (Hungerbühler, 1997).

En lo expuesto en el Mapa Geológico de Saraguro, (Kennerley, 1973), se expone la presencia de riolitas porfíricas con algo de tobas riolíticas, debido a la meteorización que experimentan las rocas existe la transformación a un manto arcilloso de coloración rosado a blanco. Esta formación descansa discordantemente sobre la Formación Saraguro y cubre la Serie Zamora.

3.2.5. Formación Uchucay (Mioceno Tardío).

Kennerley en 1973 dio el nombre de Uchucay a esta Formación Geológica. La formación Uchucay se compone de conglomerados mal clasificados, areniscas y limolitas predominantemente blancas. Los conglomerados contienen clastos bien redondeados que son en su mayoría procedentes de la Formación Saraguro. Las limolitas existentes están mal consolidadas y a menudo laminadas, las areniscas muestran estratificación horizontal cruzada (Hungerbühler, 1997). En Saraguro se encuentra ubicado en el valle del río Jubones en una delgada secuencia sedimentaria. Esta formación descansa discordantemente sobre el Grupo Ayancay.

3.2.6. Unidad Sacapalca (Paleoceno – Eoceno temprano).

La unidad comprende lavas andesíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lutitas lacustres y tobas dácíticas. En una sección del sinclinal de Chiquiribamba aparece una parte de esta unidad, específicamente al norte de Catamayo. Según Jaillard (1996), esta unidad está intruida por el Plutón San Lucas y por la Intrusión de El Tingo (Duque, 2000).

3.2.7. Intrusivos.

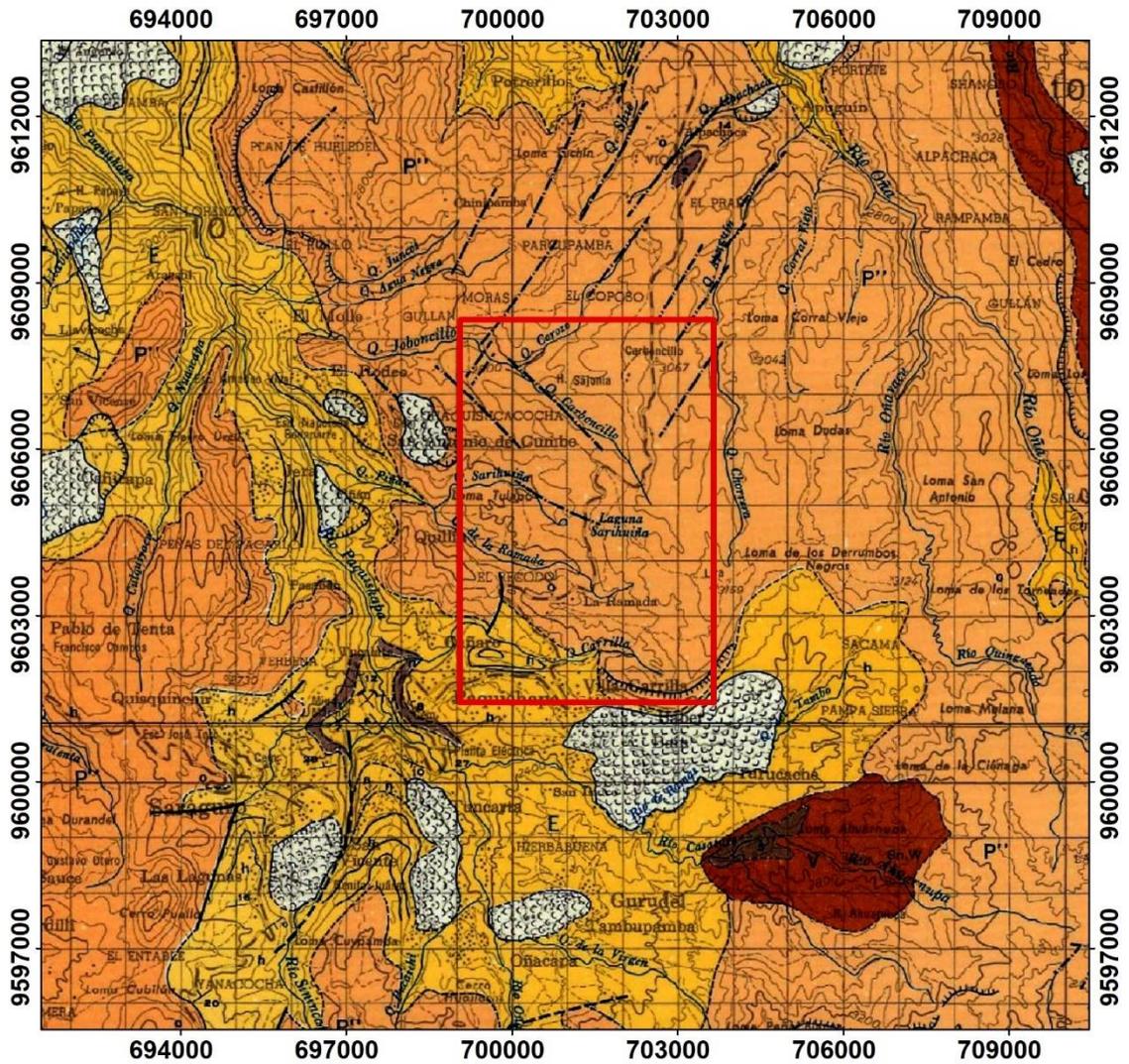
3.2.7.1. *Plutón Pichinal (Eoceno).*

Plutón ubicado en la cordillera Real, mayormente granodiorítico, aflora al E de Saraguro. Puede ser la fuente de la cercana Unidad Sacapalca. Litherland y otros (1994) citan una edad de K/Ar de 54 Ma (Duque, 2000).

3.2.7.2. *Granitoide Tres Lagunas (Triásico).*

Granitoide ubicado en la cordillera Real. Es la principal unidad ígnea del terreno Loja, pero ocurre también fuera de él como pequeños bloques tectónicos. Se encuentra asociado a las rocas metasedimentarias de la Unidad Chiguinda y Agoyán en toda la cordillera Real. Forma un cinturón semi continuo desde Papallacta hasta Tres Lagunas al Este de Saraguro, alcanza los 100 Km de longitud y alrededor de 10 km de ancho. Su aspecto varía de masivo a cizallado y esquistoso. Cuando no está alterado tiene grano medio a grueso y presenta megacristales de feldespato alcalino y cristales de cuarzo azul pálido. Litológicamente forma monzogranitos y granodioritas con cuarzo – feldespato de potasio- plagioclasa – biotita; el granate es un mineral accesorio común. Minerales accesorios pero raros son la cordierita y sillimanita. Otra paragénesis presenta evidencias de deformación, metamorfismo y recristalización que va desde alteración incipiente en rocas masivas hasta la formación de gneis y augen gneises. Los tipos más comunes son esquistos cuarzo feldespáticos, gneises biotíticos y augen gneises (Duque, 2000).

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL



LEYENDA

- Polígono de estudio
- Formación Tarqui (Pleistoceno)
- Formación Saraguro (Eoceno)



ESCALA

1:50.000



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984

Figura 5. Formaciones geológicas que regionalmente está enmarcado la zona de estudio
 Fuente: Kennerley, J. B., (1973)
 Elaboración: La Autora

3.3. Geología Local

El área de exploración se extiende por 3 parroquias del cantón Saraguro con dirección NW – SW, atravesando formaciones geológicas como Formación Saraguro y Formación Tarqui. En dirección NW del polígono de estudio aflora la Formación Tarqui (Figura 6), constituidos por rocas extrusivas, definidas como tobas riolíticas, en este afloramiento se observa una depositación de tipo volcano sedimentario, la diaclasa principal tiene una dirección de 195° N con buzamiento de 20° NW; son rocas de alta y baja meteorización con coloraciones amarillentas, su textura piroclástica equigranular de grano fino, con clastos de tamaño milimétricos a centimétricos; el cuarzo como fenocristal es sub-redondeados y angulosos, como minerales se observa vidrio volcánico, plagioclasas, escasas biotitas y feldespatos potásicos.



Figura 6. Afloramiento de toba riolítica (MR AFL 8)

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

En la parte NE del polígono en el sector Carboncillo, en la vía a Cuenca (Figura 7) se aprecia un afloramiento de tipo artificial de brecha hidrotermal (MR Afl. 3) perteneciente a la Formación Saraguro, con una etapa de formación teletermal, de estructura brechificada y nodular, textura bandeada, los clastos de la muestra son básicamente sinter silíceos de hábito globular y color blanco. La matriz es de grano muy fino y de dureza muy baja, está compuesta de filosilicatos como arcillas. Las bandas se destacan por presentar coloraciones rosadas, blancas, grises, marrones (Anexo I). Con el ensayo de DRX se ha identificado la presencia de minerales arcillosos de la matriz tales como, caolinita, montmorillonita y feldespatos: sanidina y albita.



Figura 7. Afloramiento de brecha hidrotermal

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

En dirección SE (MR Afl. 5) se evidencia la presencia de un afloramiento de roca ígnea - piroclástica denominada toba soldada (Figura 8), perteneciente a la Formación Tarqui es una roca masiva diaclasada, presenta dos coloraciones representativas café (franja más gruesa) y marrón (franja más fina), presencia de minerales cuarzo y plagioclasas incrustados en una matriz silíceosa, presencia de oxidaciones (limonita).

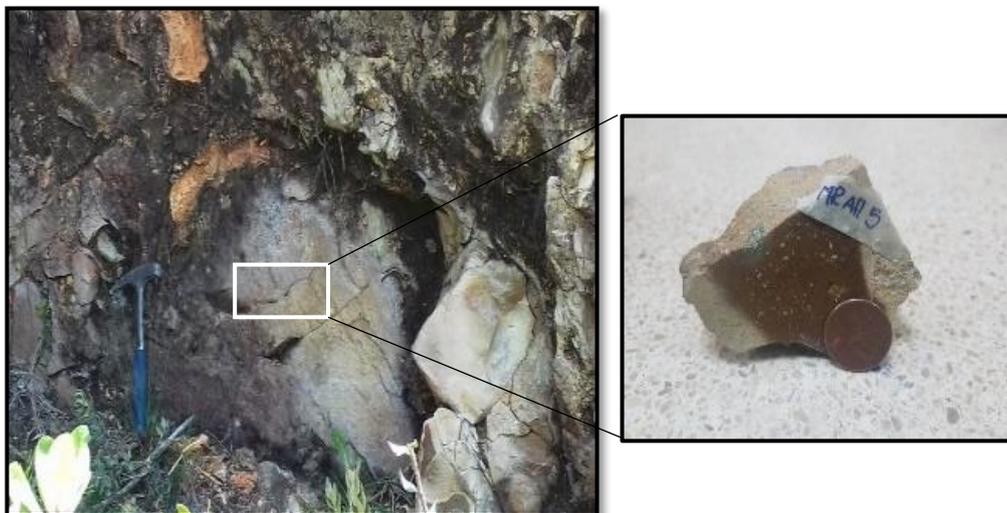


Figura 8. Afloramiento de toba soldada

Fuente: La autora

Elaboración: La autora

CAPÍTULO IV
GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS DE INTERÉS

El conocimiento de la composición química de la Tierra y de las diversas esferas geoquímicas es la base para el estudio de la ciencia Geoquímica. La distribución de los elementos químicos en las diversas esferas geoquímicas depende del comportamiento químico que presente cada elemento, de las condiciones físico – químicas que se encuentren en el interior de la Tierra y de el origen de las geosferas.

4.1. Geoquímica del Mercurio.

4.1.1. Clarke de concentración.

El contenido promedio de Hg en la corteza continental, en granito y basaltos es de 0,08 ppm. El mercurio se produce en los tres estados de oxidación Hg^0 , Hg^{+1} y Hg^{+2} . Este metal tiene una fuerte afinidad con la materia orgánica, viva o muerta, por lo que las lutitas negras se enriquecen en comparación con las rocas magmáticas. Las pizarras europeas de cobre contienen un promedio de 0,13 ppm de Hg. El petróleo, el gas natural, las aguas de formación y el carbón tienen elevados contenidos de Hg (Pohl, 2011).

Desde el punto de vista geoquímico el mercurio es un elemento calcófilo, la asociación geoquímica característica comprende otros elementos volátiles, semi-metales, incluyendo el As, Sb, Te y TI (Pohl, 2011).

4.1.2. Elementos trazadores de mercurio.

Las trazas de mercurio se producen en muchos minerales de sulfuro. También es un compañero frecuente del oro, antimonio, barita y minerales de estroncio, resultando una considerable producción de mercurio. Durante la formación de cuerpos minerales, el vapor de mercurio forma anchos halos de dispersión primaria, lo que lo hace útil como elemento de localización (Pohl, 2011).

4.1.3. Mineralogía.

Solo existe un mineral importante de mercurio, el cinabrio (HgS), es un mineral blando, de color rojo sangre que se encuentra en yacimientos hidrotermales en pocos lugares en el mundo. Junto con el cinabrio se encuentra cantidades de mercurio metálico (Craig et al., 2012).

4.1.4. Tipos de depósitos y origen.

Los depósitos de mercurio se forman a partir de soluciones hidrotermales a temperaturas relativamente bajas.

Los principales tipos de depósitos son: depósitos de emplazamiento, filones de fisura y rellenos de espacios porosos, los depósitos de mercurio pueden presentarse en cualquier clase de roca que haya sido fracturada, con la que se permita la entrada de las soluciones. Los depósitos mencionados están asociados principalmente a vulcanismo joven (terciario) (Bateman, 1978).

El mercurio se obtiene en las minas como metal primario y también como subproducto de la minería de zinc y del cobre.

4.1.5. Ciclo del mercurio.

La volatilidad del mercurio facilita su emigración, esta característica lo hace diferente a otros metales. El mercurio puede emigrar en estado puro o en forma de cloruro mercúrico soluble (HgCl). En presencia de agentes oxidante el mineral principal de mercurio (cinabrio HgS) se oxida a sulfato (Rankama y Sahama, 1962).

Los sedimentos constituyen el medio adecuado para la concentración de mercurio. El contenido de mercurio en agua de mar es muy reducido debido a la absorción de los sedimentos y de óxidos.

La presión de vapor relativamente elevada del mercurio hace que se encuentre en el aire en pequeñas cantidades producidas por su evaporación en la superficie terrestre. El vapor de mercurio de la atmósfera vuelve a la tierra como agua de lluvia (Rankama y Sahama, 1962).

4.2. Geoquímica del Molibdeno.

El molibdeno es un elemento siderófilo sensible a los cambios redox (con una fuerte tendencia calcófila).

4.2.1. Clarke de concentración.

Su abundancia promedio en la corteza terrestre es de 1,2 ppm (Smith y Huyck, 1999). En basaltos se estima un valor de 0,7 ppm, en granitos 1ppm. En rocas magmáticas, el molibdeno en concentraciones trazas están alojado en magnetitas, titanitas e ilmenitas (hasta 500 ppm), en biotitas y anfíbol, en incluso en feldespatos.

El molibdeno es menos abundante que el U, Th, Cs y la mayoría de los elementos de tierras raras. En general los sedimentos contienen muy poco molibdeno (<1 ppm). Debido a que el metal es un micronutriente esencial, esta enriquecido en la materia orgánica (carbón, petróleo, querógeno, grafito) (Pohl, 2011).

Por alteración supergénica, la molibdenita altera a óxidos ocráceos, incluyendo la ferromolibdenita amarilla $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Estos productos de meteorización se disuelven

fácilmente y la zona oxidada de los depósitos el molibdeno se empobrece comúnmente. Sin embargo, las muestras de suelo y de plantas son medios de exploración geoquímica útiles.

El molibdeno en los sedimentos es originado por la meteorización del mineral y las rocas, lo que libera Mo^{+6} , altamente móvil, litófilo y oxidado. El ion molibdato disuelto MoO_4^{2-} puede ser inmovilizado por hidróxidos de Fe-Mn-Al (por ejemplo, los nódulos de manganeso de mar profundo), o por cationes que incluyen Pb (formación de wulfenita), Cu, Ca, UO_2 , Bi, Co y por reacción con azufre reducido (formación de jordisita). Finalmente, las enzimas de la mayoría de las formas de vida son trampas bioquímicas para las trazas de molibdeno (Pohl, 2011).

4.2.2. Mineralogía.

En la Tabla 1 se mencionan los minerales que contienen Mo.

Tabla 1. Minerales contenedores de Mo

Mineral	Fórmula Química	% Mo	Densidad gr/cm³
Molibdenita	MoS_2	60	4,7
Wulfenita	PbMoO_4	26	6,5-7,5
Powelita	CaMoO_4	48	4,2

Fuente: Pohl, 2011

Elaboración: La autora

4.2.3. Yacimientos.

La principal mena de molibdeno es la molibdenita, esta se forma como mineral accesorio en ciertos granitos; aparece en pegmatitas y aplitas; también aparece asociado en depósitos porfíricos de cobre (Cornelis y Cornelius, 1997).

Corrientemente se halla en filones de alta temperatura asociada a casiterita, scheelita, volframita y fluorita. También se encuentra en depósitos metamórficos de contacto con silicatos de cal, scheelita y calcopirita (Cornelis y Cornelius, 1997).

4.3. Geoquímica del Cobre.

Las propiedades geoquímicas del cobre están dominadas por su gran afinidad con el azufre, que caracteriza a los elementos calcófilos. Aunque el cobre es sensible a los cambios redox, tanto el Cu^+ y Cu^{2+} son cationes móviles que se oxidan en condiciones bajas (Pohl, 2011).

El cobre forma complejos estables con sustancias orgánicas. Por lo tanto, las lutitas negras, el carbón y las cenizas del petróleo siempre tienen rastros elevados de cobre. El cobre es

absorbido por las arcillas y los oxi-hidróxidos de Mn-Fe (por ejemplo, los nódulos de manganeso de las profundidades del mar) (Pohl, 2011).

4.3.1. Clarke de concentración.

La abundancia promedio de cobre en la corteza terrestre es de 68 ppm, 100 ppm en rocas magmáticas máficas y 10 ppm en rocas félsicas. En los sedimentos, las pelitas tienen los más altos contenidos con 70 ppm, los carbonatos con 6 ppm son los que menor cantidad de cobre contienen (Pohl, 2011).

4.3.2. Mineralogía.

En la tabla 2 se mencionan los minerales que contienen Cu.

Tabla 2. Minerales contenedores de Cu

Mineral	Formula Química	% Cu	Densidad (g/cm ³)
Calcopirita	CuFeS ₂	34	4,1 - 4,3
Enargita	Cu ₃ AsS ₄	47	4,4
Cu-Tetraedrita	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	Max. 45	4,6 - 5,1
Cu- Tennantita	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	Max. 53	4,6 - 5,1
Calcosina	Cu ₂ S	80	5,5 – 5,8
Digenita	Cu ₉ S ₅	79	5,6
Covelina	CuS	66	4,7
Cuprita	Cu ₂ O	88	6
Malaquita	Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃	57	4
Atacamita	Cu ₂ Cl(OH) ₃	59	3,7

Fuente: Pohl, 2011

Elaboración: La autora

4.3.3. Yacimientos.

El cobre es polimagmatogénico (se relaciona a rocas basaltofílicas y granitofílicas). Con el magmatismo básico el cobre se concentra en la etapa plutónica formando yacimientos de licuación y de skarn, con la etapa volcánica forma yacimientos de tipo pirítico (sulfuros masivos volcanogénicos). Con el magmatismo granítico se relacionan los yacimientos post magmáticos de cobre, el Cu es transportado en soluciones hidrotermales en forma de tiosulfatos y complejos clorhídricos (Paladines y Soto, 2010).

Los depósitos de cobre nativo más primarios están asociados a lavas basálticas, donde la deposición de cobre es el resultado de soluciones hidrotermales con minerales de óxido de hierro (Cornelis y Cornelius, 1997).

En condiciones exógenas el cobre se concentra, en primer lugar, al producirse alteraciones hipergénicas de las menas de cobre, formando en la zona de oxidación minerales como la malaquita, azurita, cuprita, cobre nativo y otros como la covelina, calcosina entre otros. En segundo lugar, el cobre es transportado en forma de soluciones complejas fosfato-carbonáticas, las mismas que son estables incluso con pH 10,5. Las cuales se depositan en ambientes lagunar deltaicos y marinos de orilla formando depósitos de infiltración o exóticos (Paladines y Soto, 2010).

El cobre está asociado a minerales tales como prehnita, epidota, datolita, calcita y varias zeolitas. Están presentes pequeñas cantidades de plata nativa (Cornelis y Cornelius, 1997).

4.4. Geoquímica del titanio.

El titanio es un elemento litófilo (afinidad por los silicatos; concentrados en la corteza de la tierra).

Debido a que solo sirven económicamente los óxidos de titanio, se requieren sistemas geológicos que favorezcan la formación de óxidos, lo que se realiza en ciertos magmas y mediante metamorfismo de alto grado. El metamorfismo no afecta las concentraciones de Ti, pero libera titanio desde la titanita $\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$. El titanio se recristaliza como un óxido, principalmente rutilo (Pohl, 2011).

Esta es la razón por la cual las granulitas y las eclogitas son rocas óptimas para los depósitos de placer de óxido de titanio. Las eclogitas ferrogabroicas pueden alcanzar un contenido de $\text{TiO}_2 > 6\%$, casi en forma de rutilo (Pohl, 2011).

El titanio es geoquímicamente inmóvil y un elemento de referencia para investigaciones petrogenéticas. Por ejemplo, en la alteración de los halos de depósitos de minerales de pórfido de cobre. En el pórfido inalterado, el titanio se encuentra en la titanita, biotita y hornblenda.

Los tres minerales se destruyen durante la alteración hidrotermal y el rutilo de grano fino está presente en la nueva paragénesis. El contenido de TiO_2 de la roca permanece sin cambios (Pohl, 2011).

4.4.1. Clarke de concentración.

La abundancia promedio de Titanio en la corteza de la tierra es de 6320 ppm (Smith & Huyck, 1999). El contenido más alto se da en rocas máficas (9000 – 27000 ppm de TiO_2) y en rocas magmáticas alcalinas (1000 – 60000 ppm) (Pohl, 2011).

4.4.2. Mineralogía.

En la tabla 3 se mencionan los minerales que contienen Ti.

Tabla 3. Minerales contenedores de Ti

Mineral	Fórmula Química	% Ti	Densidad (g/cm³)
Rutilo	TiO_2	>95	4,2
Anatasa	TiO_2	>95	3,8 – 3,9
Ilmenita	FeTiO_3	52 (35 – 70)	4,5 – 5,0

Fuente: Pohl, 2011

Elaboración: La autora

4.4.3. Yacimientos.

La producción de titanio es obtenida a partir de depósitos primarios o secundarios. En los depósitos primarios, el rutilo raramente es encontrado en concentraciones económicamente aprovechables. En los depósitos secundarios ocurren en forma de placeres, localizados en arenas de playa o próxima a las mismas. En estos placeres el cuarzo es el mineral predominante, además puede contener los minerales de ilmenita, rutilo y otros minerales de interés económico como circonita y monacita. En ambos tipos de depósitos la ilmenita es más común que el rutilo, por ende, las reservas de ilmenita a nivel mundial serán mucho mayores que las de rutilo (Valderrama, 2008).

4.5. Geoquímica del circonio.

El circonio es un elemento litófilo (similar al titanio y hafnio), tiene una abundancia relativamente alta de 160 (130 – 400) ppm. En basaltos 150 ppm y en granitos 180 ppm (Smith y Huyck, 1999). El circón es un mineral común en rocas ígneas, sedimentos clásticos y equivalentes metamórficos.

El enriquecimiento primario del circonio se ha observado en rocas magmáticas alcalinas. Las concentraciones económicas conocidas se dan en pegmatitas. Las concentraciones de circón hidrotermal son raras. En aguas superficiales, el circonio muestra una solubilidad muy baja (Pohl, 2011).

4.5.1. Mineralogía.

En la tabla 4 se mencionan los minerales que contienen Zr

Tabla 4. Minerales contenedores de Zr

Mineral	Fórmula Química	% ZrO₂	Densidad (g/cm³)
Baddeleyita	ZrO ₂	94	5,5 – 6
Zircón	ZrSiO ₄	67.2	Max. 4,68

Fuente: Pohl, 2011

Elaboración: La autora

4.5.2. Yacimientos

Desde el punto de vista comercial el circón es el mineral más importante. El circón es un mineral accesorio corriente en toda clase de rocas ígneas. Es especialmente frecuente en las del tipo silíceo como granito, granodiorita, sienita, monzonita. Es muy común en la sienita nefélica. Comúnmente se encuentra en las calizas cristalinas, en gneises y esquistos. Como es estable, aparece corrientemente como mineral accesorio en muchos sedimentos. Frecuentemente aparece en granos redondos en las arenas de los ríos y de las playas, muchas veces junto con el oro (Cornelis y Cornelius, 1997).

CAPÍTULO V
METODOLOGÍA

5.1. Metodología.

El presente trabajo de investigación se desarrolla en diferentes etapas las cuales se describen a continuación.

5.1.1. Recopilación Bibliográfica.

Esta sección constituye el camino para consultar, detectar, analizar la información apropiada, que servirá para realizar la investigación y para dar cumplimiento a los objetivos planteados. La información preliminar se obtuvo de libros (PRODEMINCA), artículos científicos, tesis, enlaces web, mapas, informes con descripciones geológicas, estructurales y mineras, del área de estudio.

5.1.2. Trabajo de Campo.

El trabajo de campo en el sector Carboncillo va a consistir en la recolección de muestras representativas de rocas, sedimentos y suelos ubicados a lo largo de las diversas redes hídricas o en afloramientos expuestos en la zona de estudio. El equipo utilizado para realizar el trabajo de campo es: brújula, GPS, batea, martillo, mapa topográfico de la zona, kit de reconocimiento de minerales (imán, ácido clorhídrico, lupa, porcelana, lápiz rayador) y utensilios varios como lápiz, pinturas, reglas, escalímetro, fundas plásticas, cinta adhesivas y marcadores.

5.1.3. Muestreo.

El muestreo geoquímico se realiza con la finalidad de recolectar muestras de materiales que contengan elementos químicos o minerales de interés, en un determinado sector.

Las muestras deben ser recogidas en lugares en donde no exista la presencia de elementos contaminantes (pinturas, botellas, detergentes, aceites, etc.).

Las muestras de sedimentos (Figura 9), suelos y rocas deben representar la composición total de lo que se está investigando. Deben estar libres de material orgánico (hojas, tallos y raíces de plantas). La cantidad de muestra a recolectar va a depender de dos situaciones: el número de ensayos que se vayan a realizar y la homogeneidad o heterogeneidad que presente la muestra de roca.

El envasado de las muestras de sedimento se los realiza en fundas de plástico de alta resistencia y para el envasado de muestras de roca se hace en sacos de plástico, estas muestras deben tener la respectiva etiqueta en donde conste la fecha de recolección, las coordenadas geográficas y el número de muestra.



Figura 9. Muestreo de sedimentos

Fuente: La autora

Elaboración: La Autora

Para realizar el muestreo de suelos se realiza una excavación de 15 cm de profundidad aproximadamente y con la ayuda de una pala se procede a recoger el material, debe eliminarse toda materia orgánica macroscópica (hojas, tallos y raíces), para posteriormente pasar a envasar en fundas plásticas con su debido etiquetado (Figura 10).



Figura 10. Muestreo en suelos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

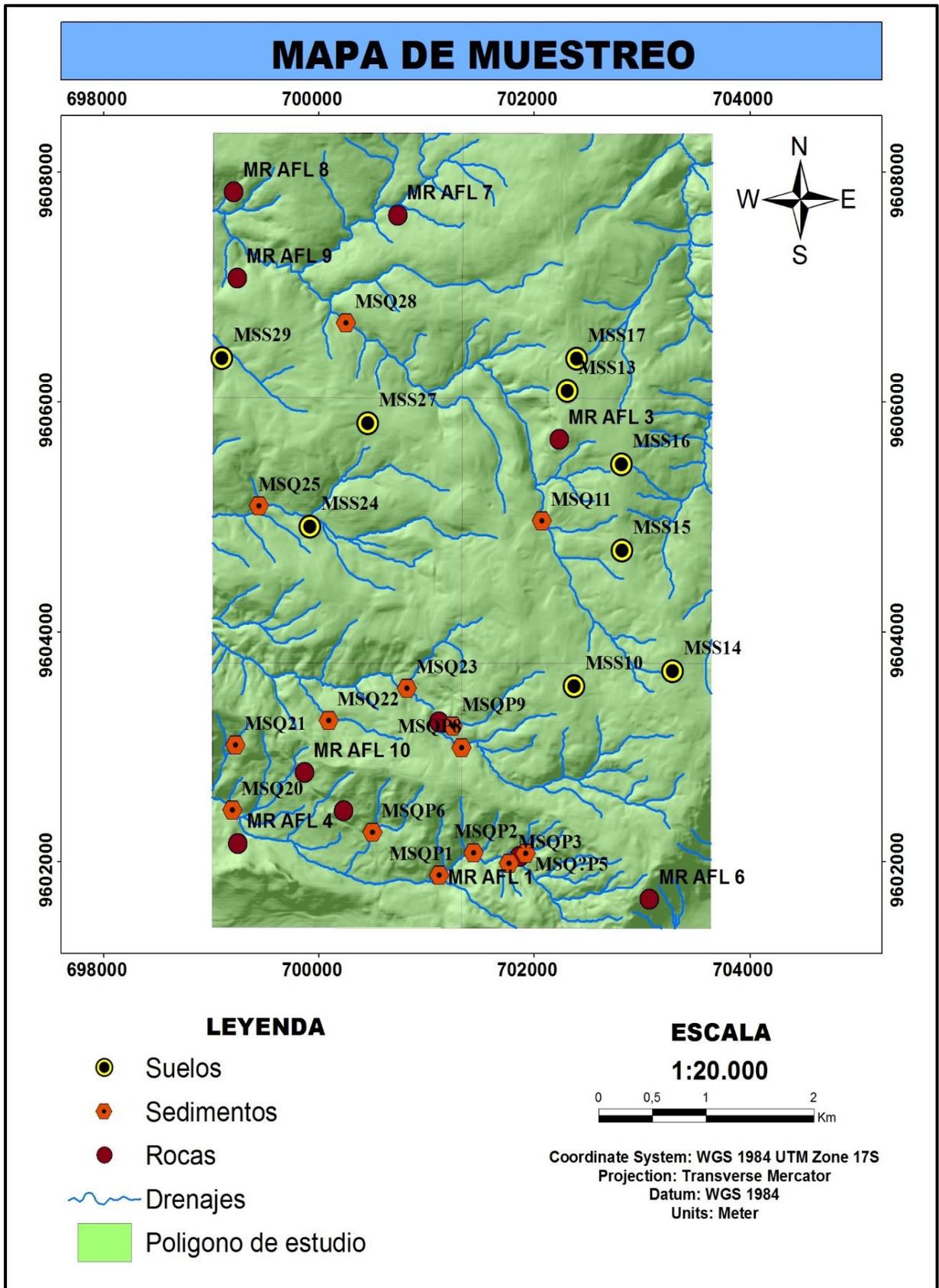


Figura 11. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo para rocas, sedimentos y suelos de la zona estudio

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

5.1.4. Tratamiento físico de las muestras.

5.1.4.1. Secado.

El primer paso para el tratamiento de las muestras en el laboratorio es el secado, se puede realizar de dos formas: al aire libre colocando el material en un plástico extendido en una superficie limpia, donde no se mezcle con otros materiales los cuales impliquen la contaminación del mismo, o mediante el uso de estufa (POL – EKO Aparatura) a una temperatura que varía de 50° C como mínimo hasta los 105° C, por un tiempo de 24 horas aproximadamente, en la estufa las muestras deben colocarse en recipientes de tipo pírrex.

5.1.4.2. Trituración.

El objetivo de la trituración es producir partículas de material de un tamaño menor al del lote. En rocas la trituración se llevó a cabo en tres etapas: trituración primaria, trituración secundaria y trituración terciaria (Figura 12), la trituración se llevó a cabo en trituradora de marca Retsch BB200 WC, hasta lograr un diámetro de partícula idóneo (3mm). En el caso de los sedimentos que contengan partículas de tamaño superior a 0,18 mm la trituración se la realizó en morteros de ágata (variedad de cuarzo con una dureza de 7 en la escala de Mohs).



Figura 12. Trituradora Retsch BB200 WC laboratorio UTPL (a) y Trituración primaria de roca (b).

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

5.1.4.3. Tamizado.

El tamizado se lo realizó utilizando una malla metálica (tamiz) de marca Humboldt, N.º 80 con abertura de 0,177 milímetros (Figura 13), las fracciones pasantes a esta malla se emplean en campañas geoquímicas. Beeson en 1984 expuso la importancia de utilizar los materiales finos para realizar las anomalías en la concentración de los elementos metálicos, ya que existe la presencia de partículas arcillosas que son capaces de absorber gran número de iones.

La importancia de tomar materiales de diámetros de grano milimétricos proporciona muestras más representativas y una mayor homogeneidad en la distribución de valores (Acero et al., 2002).



Figura 13. Tamizado de muestras de suelo
Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

5.1.4.4. Pulverización.

La pulverización tuvo como finalidad dejar partículas de tamaño inferior a $75\ \mu\text{m}$ (malla metálica N.º 200). Este procedimiento se realizó en morteros de ágata para sedimentos y suelos que contengan minerales magnéticos y en un equipo pulverizador de marca Retsch para rocas, la muestra será introducida en un tazón fabricado de carburo de tungsteno (Figura 14).



Figura 14. Pulverizadora Retsch RS 200
Fuente: Laboratorio UTPL
Elaboración: La Autora

5.1.4.5. Homogenización.

La homogenización se realizó utilizando cuarteadores (Fritsch) y de forma manual, se colocó la muestra (2kg) en un plástico totalmente limpio y libre de orificios, se realizó un círculo y se procedió a dividirlos en 4 partes de las cuales se recogió material de cada uno de los cuadrantes (Figura 15).



Figura 15. Homogenización con tamizador (a) y homogenización manual (b)

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

5.1.4.6. Envasado de material.

La etapa final del tratamiento de las muestras es el envasado, las muestras totalmente pulverizadas se colocaron en fundas plásticas de alta resistencia (fundas zip – zap), se las selló y se las guardó en lugares específicos, donde no exista presencia de humedad ni estén expuestas a temperaturas altas (Figura 16).

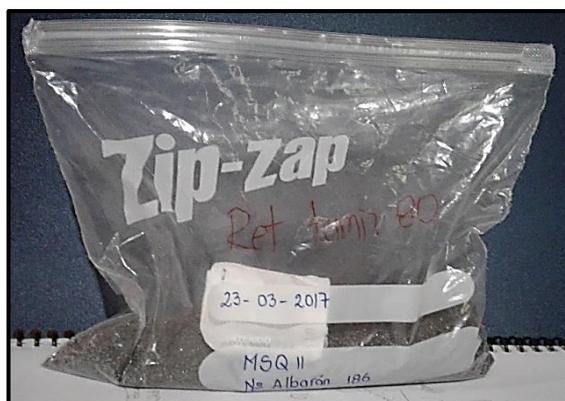


Figura 16. Envasado de muestra de sedimentos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

5.1.5. Identificación de minerales y rocas por microscopio Petrográfico.

El estudio, identificación y clasificación de los minerales y rocas se realizó con la ayuda de un microscopio petrográfico de marca OLYMPUS BHSM, para poder reconocer con mayor exactitud el tipo de mineral o roca que se está analizando se recomienda hacer láminas delgadas (Rodríguez et al., 2004). La finalidad de la identificación microscópica de minerales y rocas es determinar las propiedades ópticas como pleocroísmo, color, birrefringencia, etc.

5.1.5.1. Análisis macroscópico.

Para realizar la identificación de propiedades físicas en minerales presentes en suelos y sedimentos se utilizó los siguientes materiales; estéreo zoom de marca OLYMPUS SZ -STB1 (Figura 17), lápiz rayador, gotero con ácido clorhídrico diluido (10%), placa de porcelana no vitrificada, imán, vidrio y clavo (determinar la tenacidad). Posteriormente se procede a pasar el material por la malla # 80 y finalmente se analiza el material pasante, así como el material retenido.



Figura 17. Estéreo zoom Olympus SZ – STB1, UTPL

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

5.1.5.2. Análisis microscópico.

Para la preparación de láminas delgadas de rocas para el estudio petrográfico se procedió a cortar las muestras, para el desbaste se utilizó carburo de silíceo de diferente textura de grano (# 120, 240, 400, 600 y 800), el pegado de la muestra en portaobjetos con resina epoxy, se realizaron cortes de desbaste en la roca hasta obtener el espesor deseado de 30 μm .

Se controló el espesor de la lámina, a través de los colores de interferencia de los minerales observados en el microscopio petrográfico (Figura 18).

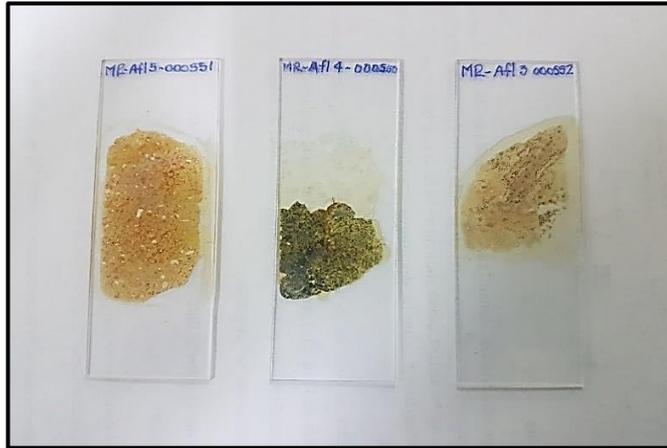


Figura 18. Briqueta de rocas
Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

5.1.6. *Análisis mineralógico mediante Difracción de Rayos X (DRX).*

La Difracción de Rayos X es una técnica muy utilizada en la identificación de minerales constituyentes de una roca. La difracción de Rayos X constituye uno de los métodos más fiables de identificación mineralógica en todos aquellos materiales que presentan una estructura cristalina y por consiguiente sus componentes están ordenados espacialmente.

Esta técnica se basa en la interferencia de un haz de rayos X con la red cristalina. Las longitudes de onda empleadas son muy pequeñas y su valor depende del metal empleado para la generación de rayos X (Rodríguez et al., 2004). El resultado de este análisis es un espectro denominado difractograma. Las muestras deben ser trituradas, pulverizadas y colocadas en un debido recipiente (Figura 19) con 30 gr de material, para enviar a analizar en el equipo de Difracción de Rayos X marca, Bruker, modelo D8 ADVANCE. Terminado el proceso se procedió a examinar los difractogramas en el software EVA DifracPlus para la identificación de los minerales presentes en las distintas muestras y para la cuantificación de los mismos se utilizó el Software Topas.



Figura 19. Envasado de muestras para DRX
Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

5.1.7. Análisis químico mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX).

La absorción de rayos X produce iones excitados electrónicamente que vuelven a su estado fundamental mediante transiciones que involucran a los electrones de los niveles de mayor energía (Skoog et al., 2001). Los espectros de rayos X producidos se analizan haciendo uso de los cristales los cuales poseen un espacio reticular patrón con red de difracción, lo cual constituye una secuencia de la ley de Bragg para la difracción de los rayos X (Beltrán, 1981). En el analizador se detectan los espectros de líneas de caracteres específicos emitidos por diferentes elementos de la muestra. La intensidad de cada línea es proporcional a la concentración de elementos individuales (Haldar, 2013).

Las muestras secadas y pulverizadas se analizaron en el equipo de FRX, marca Bruker S1Turbo (Figura 20). El método utilizado para determinar elementos traza y elementos mayoritarios son: Mining Light Elements y Soil.



Figura 20. Equipo de Fluorescencia de Rayos X (FRX).

Fuente: Laboratorio UTPL

Elaboración: La Autora

CAPÍTULO VI
RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. Mineralogía.

6.1.1. Resultados de análisis macroscópico de sedimentos y suelos.

6.1.1.1. Sedimentos pasantes malla #80.

En la muestra MSQP3, se identificaron los siguientes minerales no magnéticos: cuarzo (Qtz) 50%, plagioclasas (Pl) 40%, porciones menores de micas (biotita) 5%, ilmenita (Ilm) 2% y hematita (Hmta) 3% (Figura 21).

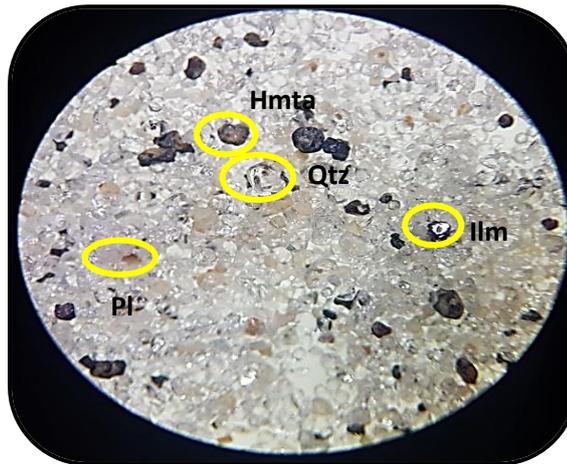


Figura 21. Muestra MSQP3 minerales no magnéticos.

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

En la porción magnética se identificaron los siguientes minerales: Magnetita (Mgnta) 45%, ilmenitas (Ilm) 40%, hematita (Hmta) 10%, cuarzo (Qtz) 5% (Figura 22).



Figura 22. Muestra MSQP3 minerales magnéticos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

6.1.1.2. Suelos pasantes malla #80.

En las muestras (MSS10, MSS16, MSS27 Y MSS29) se identificaron los siguientes minerales no magnéticos: cuarzo (Qtz) y plagioclasas (Pl) en un 80% y en un 20% biotita, moscovita, ilmenita, hematita, bornita y feldespatos (Figura 23).

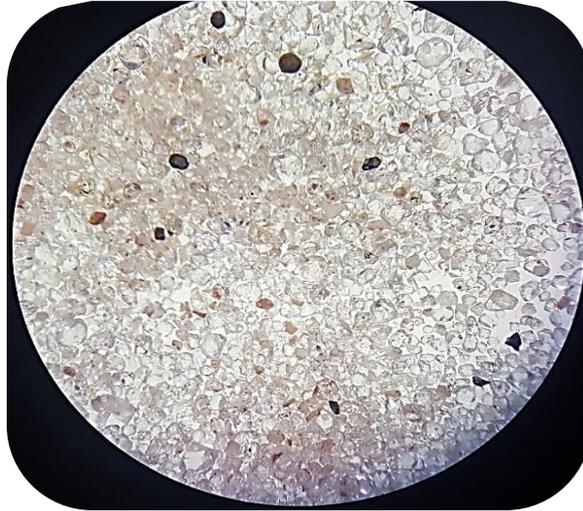


Figura 23. Muestra suelos MSS10, minerales no magnéticos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

En la porción magnética se identificaron los siguientes minerales: Magnetitas (Mgnta) e ilmenita (Ilm) en un 90% y en un 10% minerales como hematita (Hmta) y cuarzos (Qtz) (Figura 24).

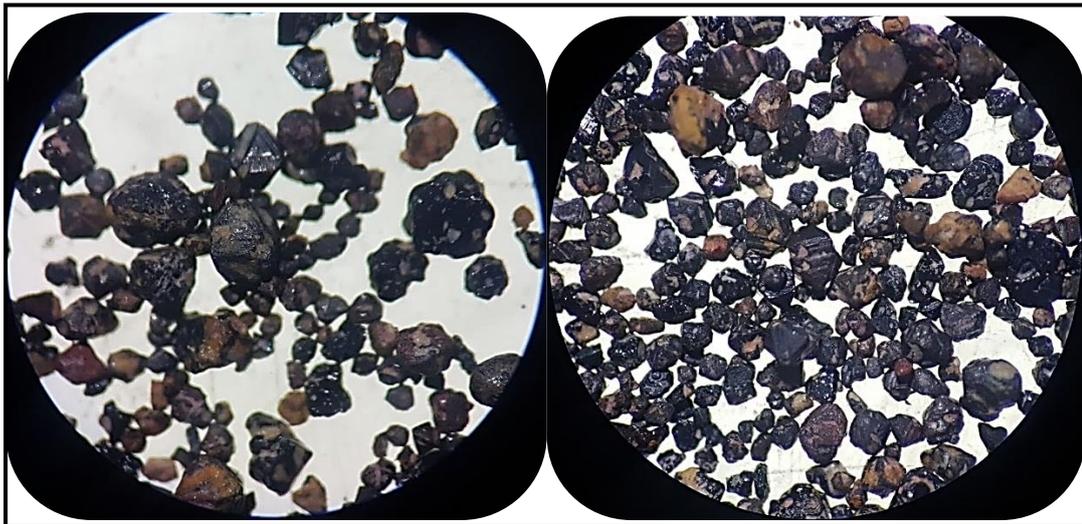


Figura 24. Muestra suelos MSS10, minerales magnéticos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

6.2. Resultados de análisis de rocas mediante microscopio petrográfico.

En la figura se muestra una lámina delgada de jaspe (MR Afl. 4), Figura 25. La apariencia de la lámina es de un agregado de granos de sílice (cuarzo y/o tridimita de grano muy fino), el cual le da a la lámina una apariencia de roca volcánica. Además de sílice aparentemente granular existen minerales verdes, limonita, hematita y calcedonia.

Apariencia general de la muestra con minerales opacos, posiblemente hematita (opacos), que se está alterando a limonita de color marrón a naranja (LPNA).

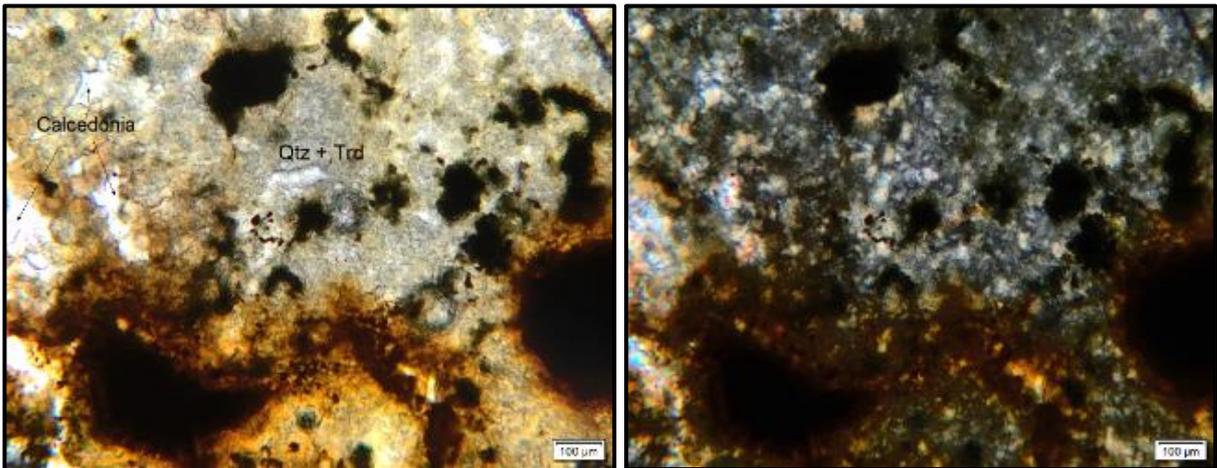


Figura 25. Muestra MR Afl 4, LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

En la Figura 26, MR Afl4 se observa calcedonia rodeada de limonita y minerales opacos.

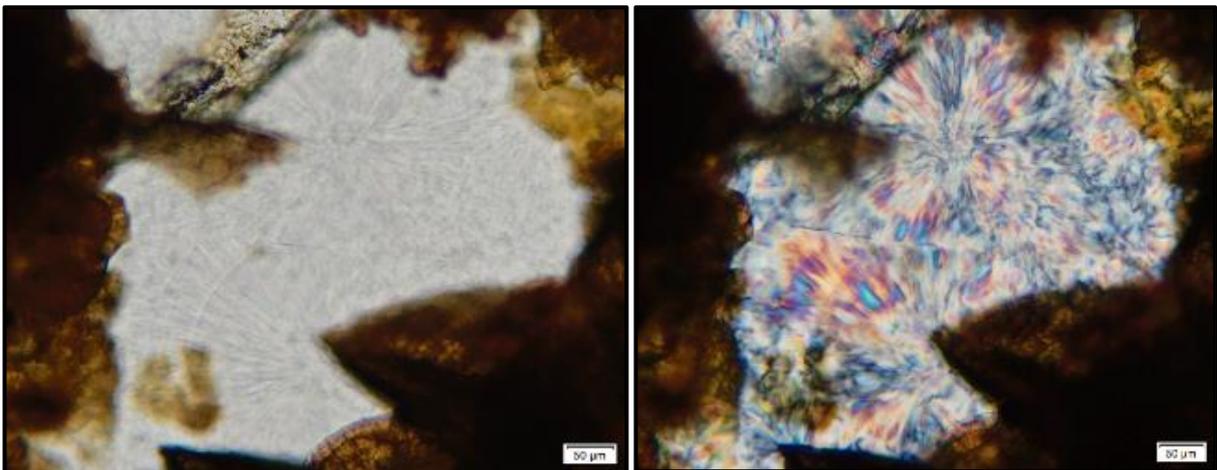


Figura 26. Muestra MR Afl 4 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 aumentos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

En la Figura se observa un mineral verde (LPNA), el cual tiene pleocroísmo fuerte por lo que cambia a color marrón, en la interpretación se ha considerado como celadonita (Figura 27).

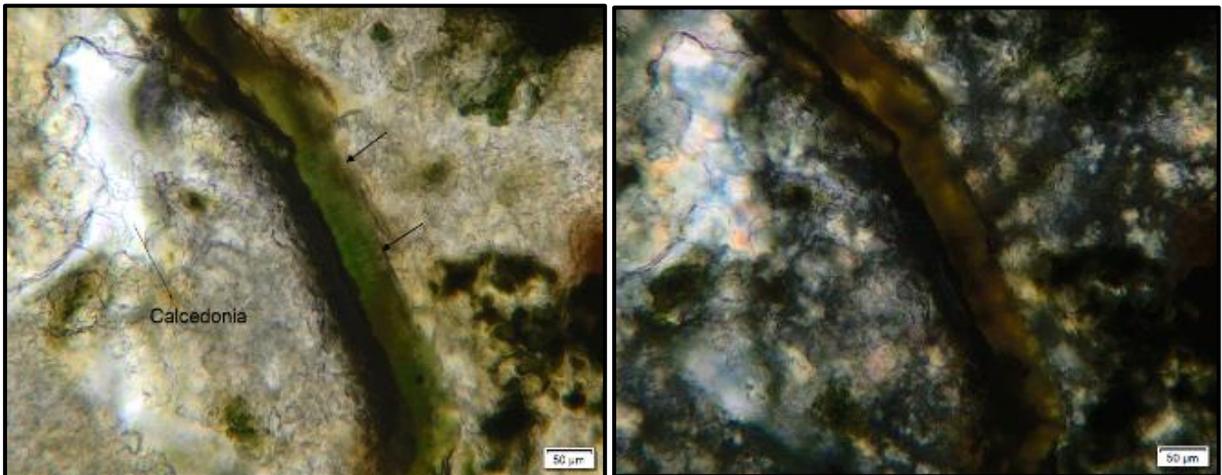


Figura 27. Muestra MR Afl 4 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 aumentos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

En la figura se observa una lámina delgada de brecha hidrotermal (MR Afl.3), la muestra tiene una estructura brechificada y nodular, los clastos son básicamente sinter silíceo de hábito globular y color blanco, la calcedonia presenta colores variados. La matriz tiene una dureza baja, es de grano muy fino y está hecha de filosilicatos como arcillas. También se aprecia mineral ópalo (sílice amorfo), con una coloración levemente amarillenta (LPNA) (Figura 28).

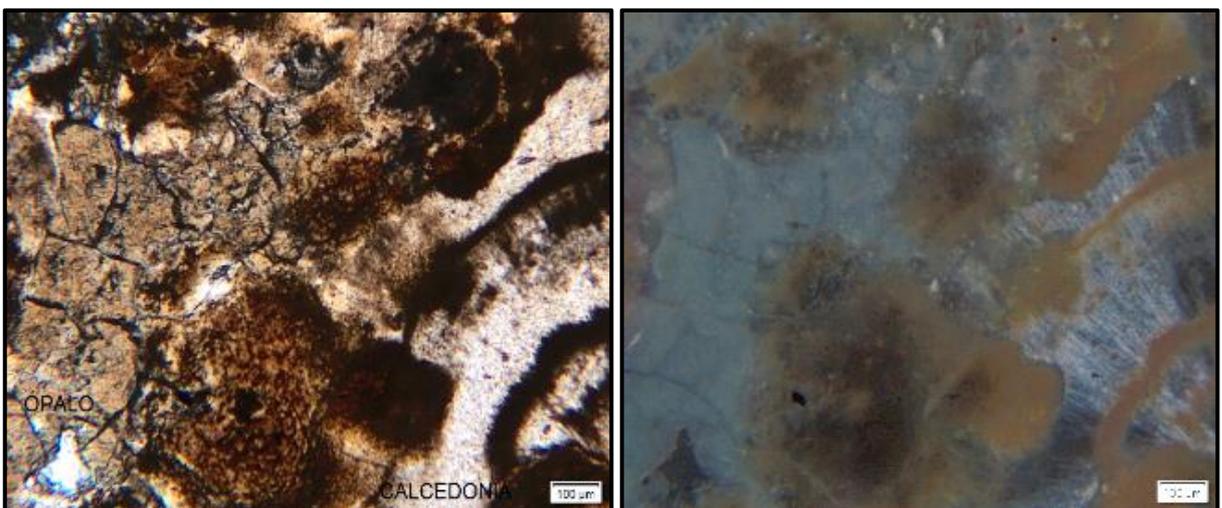


Figura 28. Muestra MR Afl 3 en LPNA (izquierda) y en LPA (derecha) a 50 aumentos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

En la Figura 29 (MR Afl.3) se observa calcedonia con colores de interferencia de primer orden en LPNA y al colocar el filtro rojo de primer orden esta adquiere los colores amarillos – azul – púrpura en función de lado largo lento, corto rápido o posiciones de extinción; mientras que el ópalo solo permanece púrpura, lo que indica la presencia de una sustancia no cristalina.

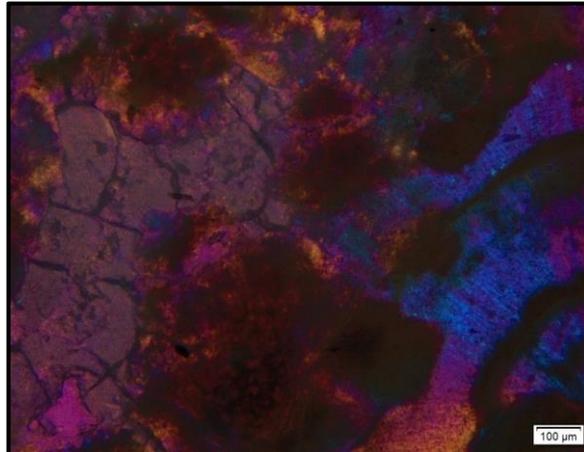


Figura 29. Muestra MR Afl 3, LPA con filtro rojo de primer orden a 50 aumentos
Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

En la Figura 30 se aprecia el hábito coloforme de la calcedonia.

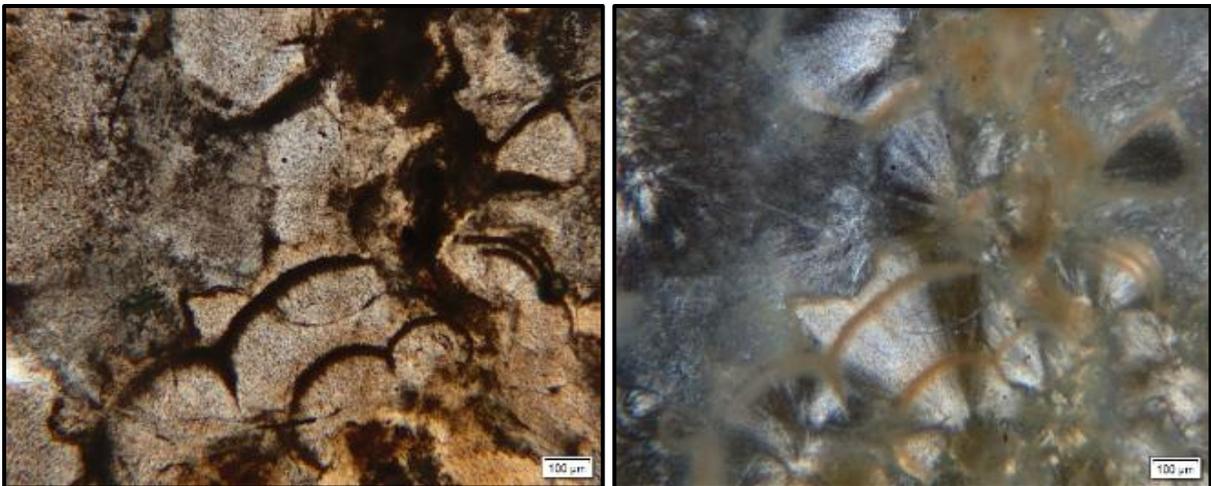


Figura 30. Muestra MR Afl 3 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos
Fuente: La Autora
Elaboración: La Autora

Producto del corte que se ejecutó a la roca, en cara plana, se aprecian las calcedonias coloformes de mejor manera (Figura 31).

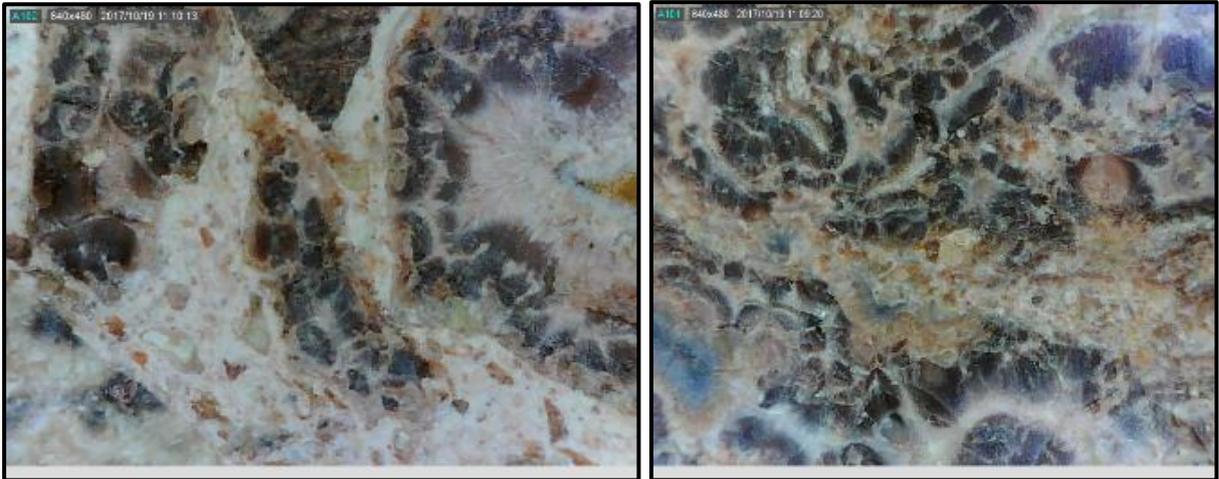


Figura 31. Calcedonias coloformes MR Afl 3

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

En la Figura 32 (MR Afl.5) se muestra una lámina delgada de roca piroclástica - toba soldada, con matriz vítrea y textura eutaxítica. La roca está constituida por cristales tabulares de plagioclasas (Pl), cuarzo (Qtz), limonita y minerales opacos (hematita). Presencia de entradas en las plagioclasas que están llenas de vidrio volcánico.

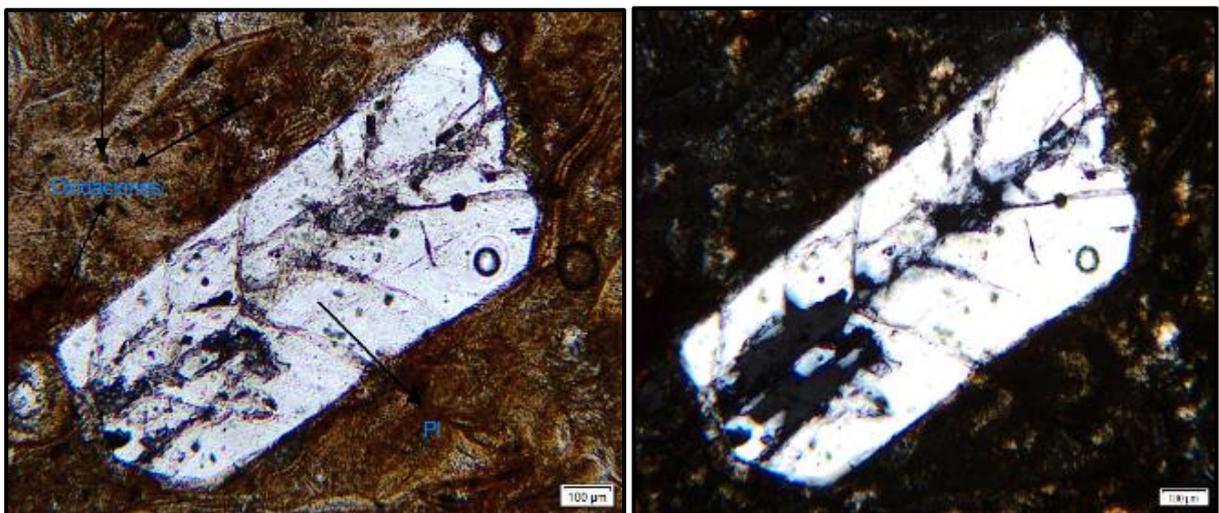


Figura 32. Muestra MR Afl 5 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

En la Figura 33 se observa plagioclasas (Pl) y cuarzo (Qtz).

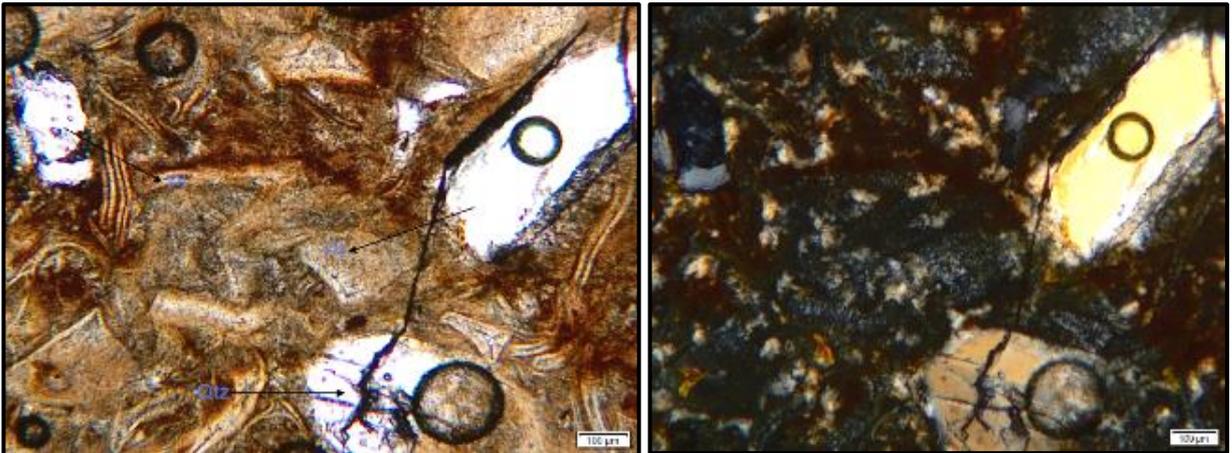


Figura 33. Muestra MR Afl 5 en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos.

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

6.3. Resultados de Difracción de Rayos X (DRX).

6.3.1. Difracción de Rayos X (DRX) en rocas.

Con la finalidad de realizar la interpretación mineralógica se realizó Difracción de Rayos X (DRX) a 6 muestras de rocas recolectadas en los diversos puntos de la zona de estudio.

Los resultados arrojados en la Difracción de Rayos X para la muestra MR Afl 1 (Figura 34) corresponde a una roca de tipo toba riolítica perteneciente a la Formación Tarqui, que está constituida principalmente por minerales silicatados como cuarzo, cristobalita, caolinita e illita y óxidos como la magnetita.

En la muestra MR Afl 3 correspondiente a roca de tipo brecha hidrotermal (Figura 35), mediante el análisis de Difracción se detectaron minerales silicatados como: tridimita, montmorillonita, sanidina, albita y cristobalita. También se detectó óxidos como magnetita.

Los resultados de difracción de las muestras de roca restantes se encuentran en el (Anexo II).

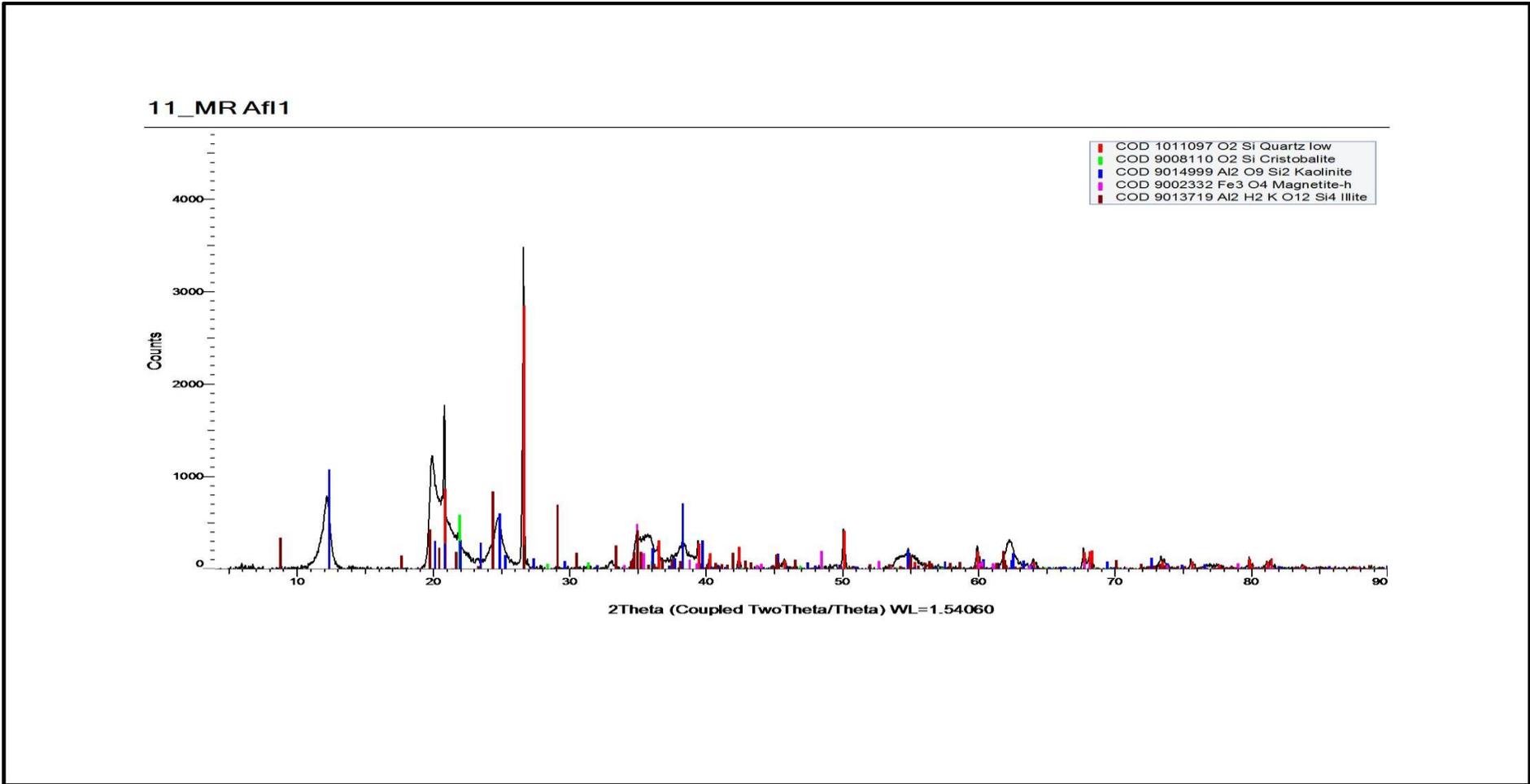


Figura 34. Difractograma de la muestra MR Af1

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

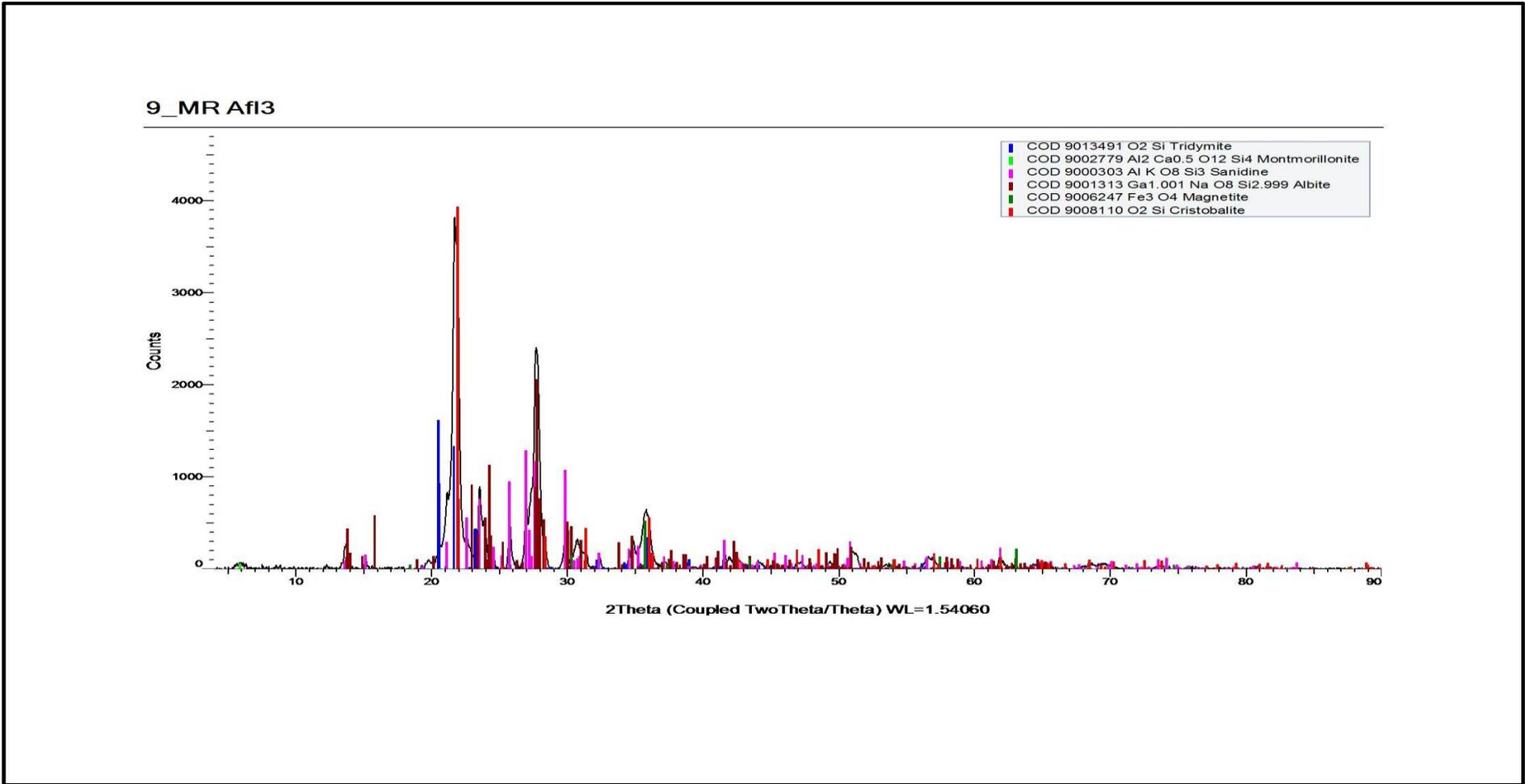


Figura 35. Difractograma de la MR Af1 3

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autor

6.3.1.1. Descripción de los minerales analizados mediante DRX en rocas.

En la Tabla 5., se muestran los minerales identificados en el análisis de DRX realizados.

Tabla 5. Minerales identificados en las muestras de rocas

ROCAS			
Muestra	Minerales	Fórmula química	Concentración
MR Afl 1	Cuarzo	SiO ₂	17,36%
	Cristobalita	SiO ₂	0,59%
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	64,67%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	0,84%
	Illita	K _{0.65} Al _{2.0} {Al _{0.65} Si _{3.35} O ₁₀ }(OH) ₂	6,09%
MR Afl 2	Cuarzo	SiO ₂	36,05%
	Sanidina	(K,Na) AlSi ₃ O ₈	31,68%
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0,48%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	0,06%
	Cristobalita	SiO ₂	29,37%
	Illita	K _{0.65} Al _{2.0} {Al _{0.65} Si _{3.35} O ₁₀ }(OH) ₂	2,36%
MR Afl 3	Tridimita	SiO ₂	0,10%
	Montmorillonita	(Al,Mg) ₈ (Si ₄ O ₁₀) ₄ (OH) ₈ .12H ₂ O	2,76%
	Sanidina	(K,Na) AlSi ₃ O ₈	27,81%
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈ (An ₀ -An ₁₀)	23,52%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	0,14%
	Cristobalita	SiO ₂	45,67%

MR Afl 4	Cuarzo	SiO ₂	27,06%
	Tridimita	SiO ₂	47,15%
	Celadonita		6,41%
	Goethita	FeO(OH)	1,78%
	Montmorillonita	(Al,Mg) ₈ (Si ₄ O ₁₀) ₄ (OH) ₈ .12H ₂ O	3,79%
	Zeolita		13,81%
MR Afl 6	Cuarzo	SiO ₂	11,88%
	Cristobalita	SiO ₂	45,62%
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈ (An ₀ -An ₁₀)	9,72%
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0,57%
	Sanidina	(K,Na) AlSi ₃ O ₈	29,68%
	Illita	K _{0.65} Al _{2.0} {Al _{0.65} Si _{3.35} O ₁₀ }(OH) ₂	2,19%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	0,34%
MR Afl 7	Cuarzo	SiO ₂	6,58%
	Tridimita	SiO ₂	11,57%
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈ (An ₀ -An ₁₀)	47,63%
	Sanidina	(K,Na) AlSi ₃ O ₈	18,38%
	Montmorillonita	(Al,Mg) ₈ (Si ₄ O ₁₀) ₄ (OH) ₈ .12H ₂ O	11,18%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	4,30%
	Goethita	FeO(OH)	0,33%
	Ilmenita	FeTiO ₃	0,04%

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

Los minerales predominantes en las rocas son silicatos tales como cuarzo, tridimita, cristobalita, micas, feldespatos potásicos como sanidina y plagioclasa sódica (albita). También se evidencia la presencia en cantidades considerables de arcillas tales como: montmorillonita, illita, y caolinita. Los minerales accesorios son magnetita, goethita e ilmenita.

Mediante el análisis de Difracción de Rayos X se identificaron minerales principalmente de caolinita e illita, en menor cantidad se evidencia la presencia de cuarzo y cristobalita en la MR AFL 1, esta muestra corresponde a una roca vulcano sedimentaria, es decir se trata de una roca bastante alterada o meteorizada con gran proporción de arcillas, se detectó magnetita como mineral accesorio.

En la muestra MR AFL 2, se evidencia una roca volcánica de composición ácida, ya que está compuesta principalmente de cuarzo, sanidina y cristobalita. Se detectó magnetita como mineral accesorio.

La muestra MR AFL 3, corresponde a una brecha, la cual está compuesta principalmente de cristobalita, sanidina y albita, es una roca de composición ácida. Se detectó magnetita como mineral accesorio.

La muestra MR AFL4 está compuesta en mayor proporción de tridimita y cuarzo, cantidades menores de celadonita, zeolita, montmorillonita y goethita. Se trata de una roca volcánica (jaspe) con alto contenido de sílice.

La muestra MR AFL 6 se compone de cristobalita, sanidina y cuarzo, por lo que se puede clasificar como una roca de composición ácida o félsica. Contiene además biotita, minerales arcillosos como illita y caolinita y trazas de magnetita.

En la muestra MR AFL 7, la roca se compone de albita, sanidina, tridimita, cuarzo y montmorillonita, por lo que se puede clasificar como una roca de composición ácida o félsica meteorizada. Contiene magnetita en una proporción elevada para una roca volcánica y trazas de ilmenita y goethita.

6.3.2. Difracción de Rayos X (DRX) en sedimentos.

Los sedimentos que están expuestos en drenajes (ríos, quebradas, arroyos, vertientes), son un compuesto de diversas litologías. Son materiales que se transportan hacia los depósitos de agua durante el ciclo geomorfológico presente.

La composición mineral de los sedimentos, son los minerales que se han desintegrado de las rocas origen y se transportaron hasta finalmente depositarse en los drenajes próximos.

Para el análisis de DRX se tomó una muestra de sedimento correspondiente a la muestra MSQP3 (Figura 36), en el cual se identificó minerales como: cuarzo como mineral abundante, ilmenita, magnetita, albita y circón.

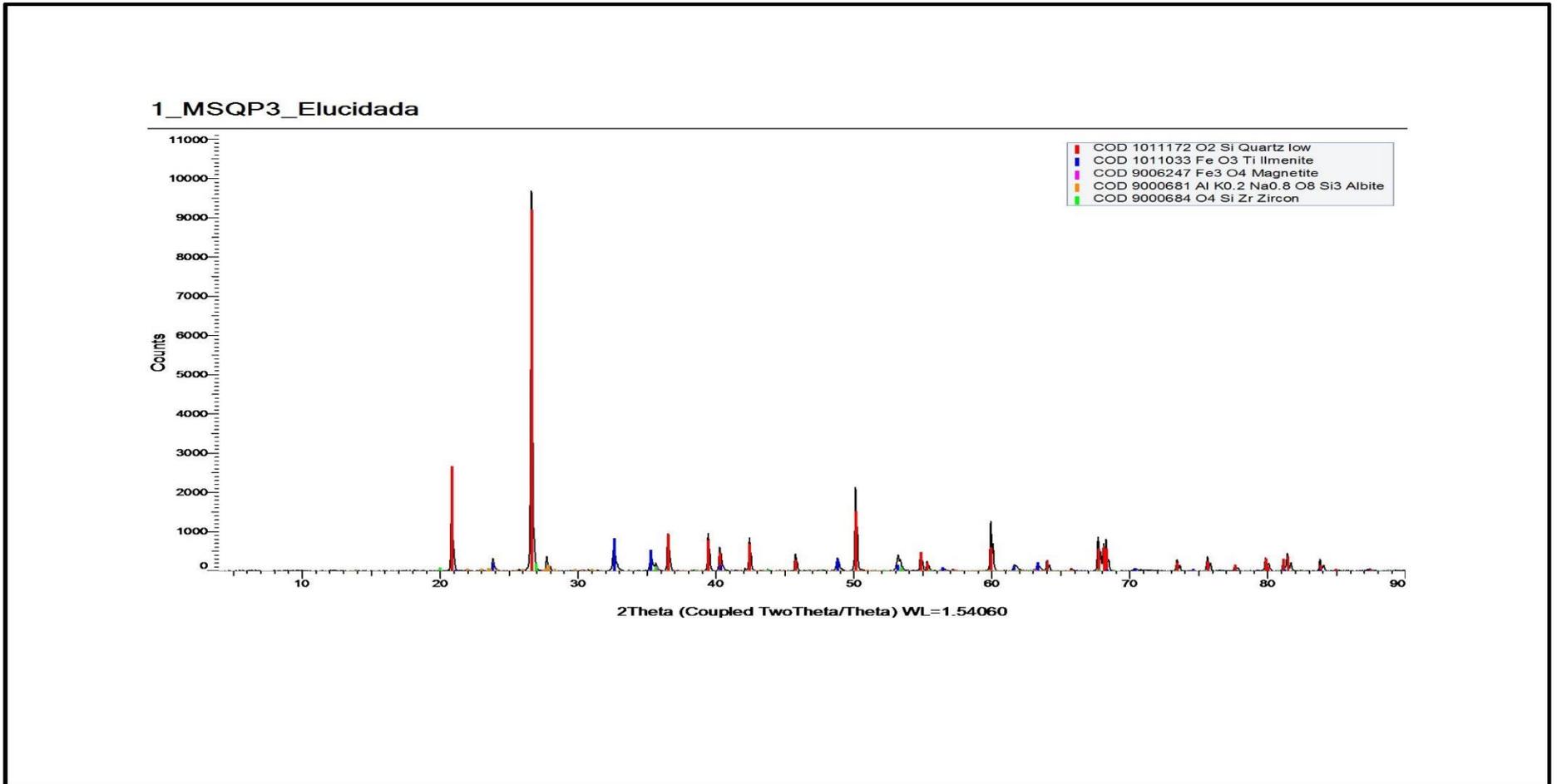


Figura 36. Difractograma de la muestra de sedimento MSQP3

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

6.3.2.1. Descripción de los minerales analizados mediante DRX a sedimentos.

Tabla 6. Minerales identificados en la muestra de sedimentos

SEDIMENTOS			
Muestra	Mineral	Formula química	Concentración
MSQP3	Cuarzo	SiO ₂	86,05%
	Ilmenita	FeTiO ₃	13,24%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	0,35%
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈ (An ₀ -An ₁₀)	0,01%
	Circón	ZrSiO ₄	0,35%

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

6.3.3. Difracción de Rayos X (DRX) en suelos.

Cuando las rocas origen se exponen a la superficie estas se meteorizan, se fracturan, se alteran y producto de esta meteorización química o mecánica de las rocas se forman los suelos in situ. Estos suelos albergan los minerales que se desintegraron de la roca origen.

Para el análisis de DRX se tomaron 4 muestras de suelos las cuales se describen en los siguientes difractogramas (Figura 37, 38, 39 y 40).

2_MSS10

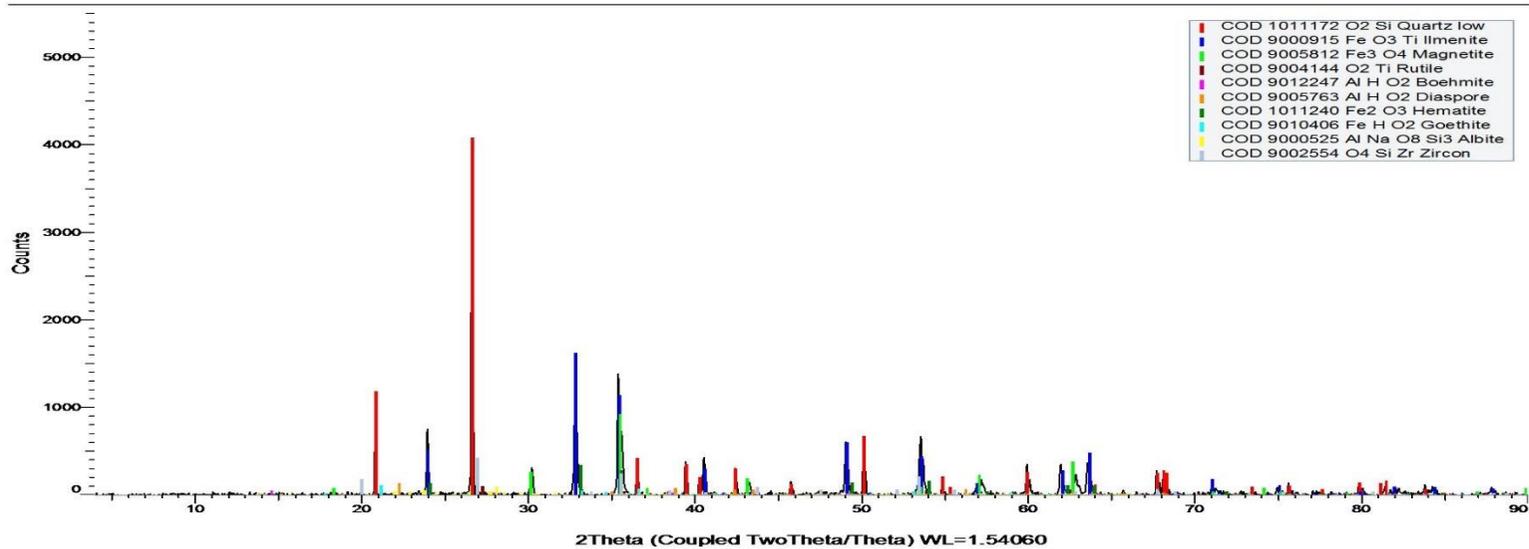


Figura 37. Difractograma de muestra de suelo MSS10

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

5_MSS16

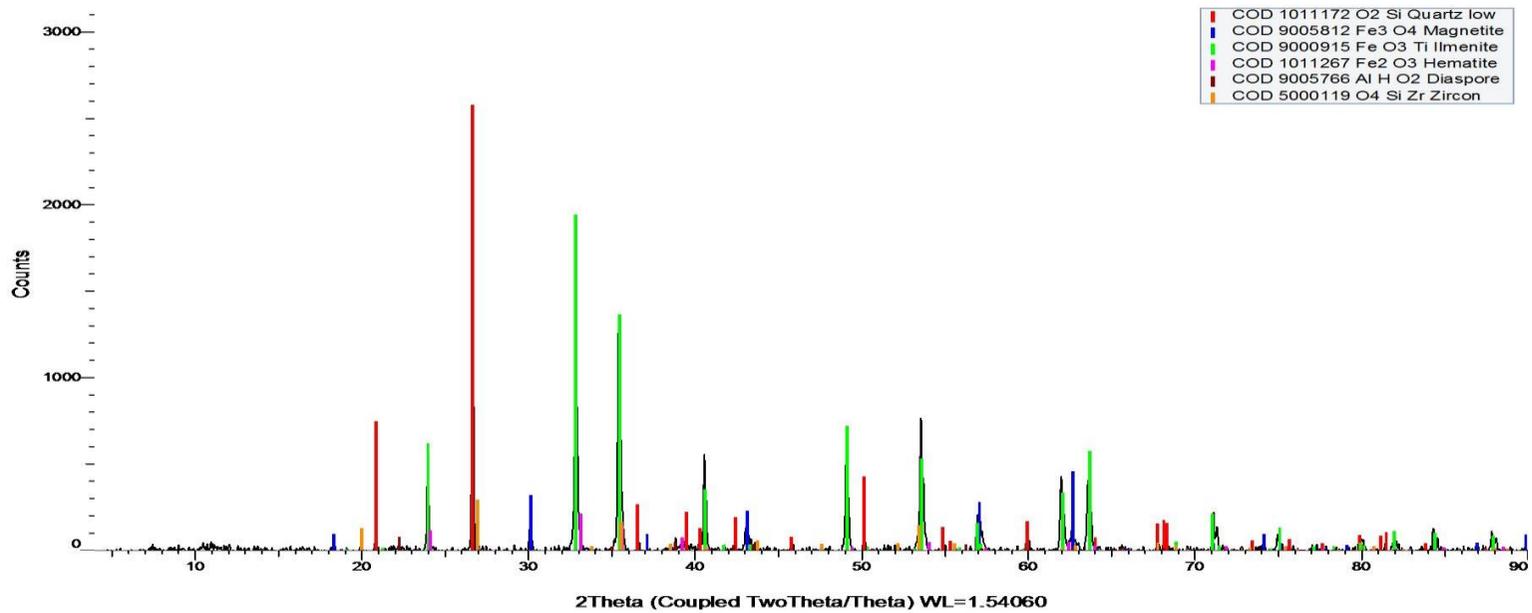


Figura 38. Difractograma de la muestra de suelo MSS16

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

3_MSS27

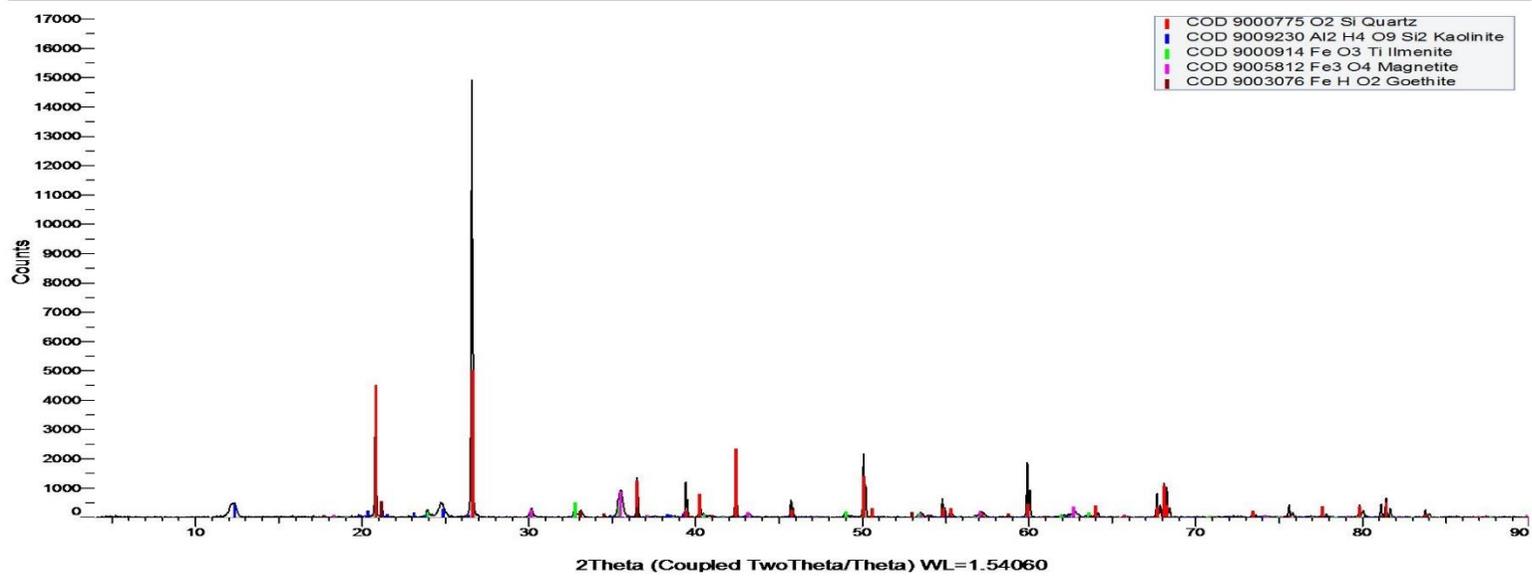


Figura 39. Difractograma de la muestra de suelo MSS27

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

4_MSS29

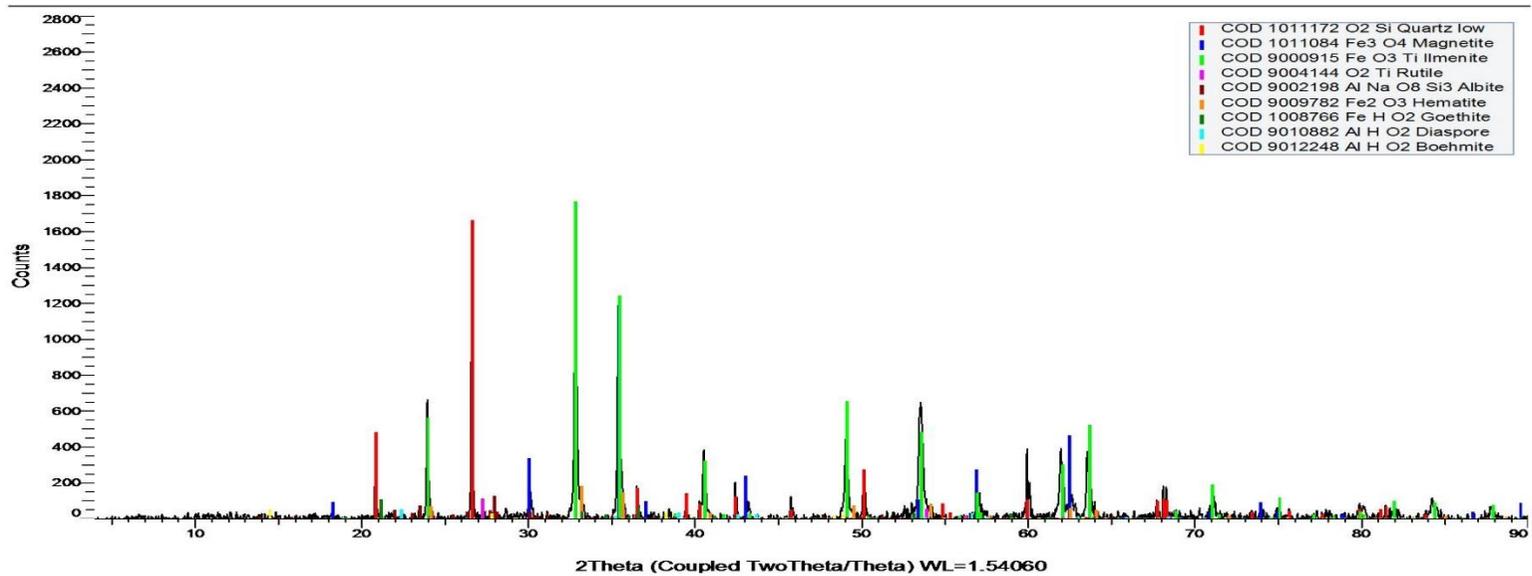


Figura 40. Difractograma de la muestra de suelo MSS29

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autora

6.3.3.1. Descripción de los minerales analizados mediante DRX a suelos.

En la tabla 7 se indican los minerales presentes en las muestras de suelos.

Tabla 7. Minerales identificados en las muestras de suelos

SUELOS			
Muestra	Mineral	Formula química	Concentración
MSS10	Cuarzo	SiO ₂	43,98%
	Ilmenita	FeTiO ₃	33,26%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	11,90%
	Rutilo	TiO ₂	0,15%
	Bohemita	AlOOH	2,28%
	Diásporo	AlOOH	2,49%
	Hematita	Fe ₂ O ₃	5,31%
	Goethita	FeOOH	0,55%
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈ (An ₀ -An ₁₀)	0,01%
	Circón	ZrSiO ₄	0,06%
MSS16	Cuarzo	SiO ₂	24,95%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	14,61%
	Ilmenita	FeTiO ₃	49,36%
	Hematita	Fe ₂ O ₃	9,93%
	Diásporo	AlHO ₂	0,02%
	Circón	ZrSiO ₄	0,94%
MSS27	Cuarzo	SiO ₂	65,30%
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	20,79%
	Ilmenita	FeTiO ₃	5,91%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	7,91%
	Goethita	FeOOH	0,03%

MSS29	Cuarzo	SiO ₂	11,90%
	Magnetita	Fe ₃ O ₄	2,79%
	Ilmenita	FeTiO ₃	27,18%
	Rutilo	TiO ₂	1,66%
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈ (An ₀ -An ₁₀)	12,94%
	Hematita	Fe ₂ O ₃	2,80%
	Goethita	FeOOH	28,33%
	Diásporo	AlHO ₂	9,15%
	Bohemita	AlHO ₂	2,21%

Fuente: La Autora

Elaboración: La Autor

Los minerales comunes en los suelos son los silicatos como el cuarzo, este mineral es químicamente muy resistente, permanece casi inalterado frente a la erosión. Otro de los minerales resistente y presente como mineral accesorio en rocas eruptivas es el circón, el cual está asociado a magnetita, hematita y rutilo. Producto de la meteorización de minerales de hierro aparece la goethita.

6.4. Resultados del análisis de Fluorescencia de rayos x (FRX) realizados a muestras de rocas.

Los análisis realizados muestran las concentraciones de elementos químicos mayoritarios expresados en % y elementos traza expresados en ppm, el objetivo del análisis es la clasificación del tipo de roca según la concentración de los elementos presentes, así como determinar anomalías geoquímicas que conduzcan a detectar mineralizaciones. Las rocas predominantes en el área de estudio son rocas ígneas – volcánicas y piroclásticas.

La composición química de una roca ígnea se puede definir por su contenido de sílice. (Tarbuck y Lutgens, 2005), indican que el contenido de sílice es un indicador de la composición de la roca, los porcentajes expuestos menores al 45% de sílice representa a una roca ultramáfica y los porcentajes mayores al 70 % son de una roca félsica (ácida). Las rocas con abundante sílice carecen de minerales oscuros compuestos por hierro, magnesio y calcio, pero están enriquecidos por sodio y potasio. Por el contrario, si la roca carece de sílice contiene cantidades grandes de hierro, magnesio y calcio por ende contiene mayor variedad de minerales oscuros.

Las rocas piroclásticas están compuestas por fragmentos que fueron expulsados en una erupción volcánica. La roca representativa es la toba que está compuesta por pequeños fragmentos de cenizas que al caer y enfriarse de fueron cementando constituyendo finalmente la matriz de la roca.

Según lo expresado por (Huang, 2010), las tobas son denominadas por la naturaleza de los fragmentos de roca reconocible, así se las podría denominar como tobas riolíticas, dácíticas, toba de basalto, tobas soldadas entre otras.

6.4.1. Concentración de elementos mayoritarios (%) en rocas.

Tabla 8. Concentración de elementos mayoritarios (%) en rocas.

Muestras	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)	S (%)
MR AFL 1	47.3	33.4	0.11	0.07	6.71	0.12	0.62	ND
MR AFL 2	76.4	15.7	0.24	4.05	2	0.06	0.17	ND
MR AFL 3	76.3	14.6	0.92	3.55	1.5	0.07	0.15	ND
MR AFL 4	78.9	ND	0.38	1.59	8.37	0.10	0.09	0.16
MR AFL 5	81.8	12.2	0.63	3.01	1.85	0.05	0.17	ND
MR AFL 6	73.3	16.9	1.18	3.55	3.18	0.07	0.40	0.15
MR AFL 7	58.5	15.7	3.98	1.49	5.98	0.10	0.47	0.41
MR AFL 8	63.6	27.5	0.11	0.11	2.57	0.04	0.30	0.17
MR AFL 9	71.8	18.4	0.23	4.59	2.46	0.06	0.28	0.12
MR AFL 10	77.6	14.2	0.93	4.42	1.58	0.06	0.19	0.25
Min	47.30	12.20	0.11	0.07	1.50	0.04	0.09	0.12
Max	81.80	33.40	3.98	4.59	8.37	0.12	0.62	0.41
Media	70.55	18.73	0.87	2.64	3.62	0.07	0.28	0.21
Mediana	74.80	15.70	0.50	3.28	2.52	0.06	0.23	0.16
Desviación Estándar	10.83	7.02	1.16	1.71	2.47	0.03	0.17	0.11
Toba Dácítica		Toba Riolítica		Brecha		Jaspe		Toba soldada

Fuente y elaboración: La Autora

Con los porcentajes determinados y expuestos en la Tabla 8, las muestras MR AFL 1, 2, 8, 9 y 10 corresponden a tobas riolíticas (rocas acidas) debido a su composición mineral de sílice de 20 – 60 % los cuales incluyen minerales de cuarzo (SiO₂) y Cristobalita (SiO₂), contienen también feldespatos alcalinos como sanidina ((K, Na) SiAl₃O₈), están presentes minerales de arcilla como caolinita Al₂Si₂O₅(OH)₄ y illita (K_{0.65}Al_{2.0}{Al_{0.65}Si_{3.35}O₁₀}(OH)₂), contienen minerales accesorios como magnetita (Fe₃O₄).

En las tobas dáciticas (rocas intermedias) de las muestras MR AFL 6 y 7 al igual que en las tobas riolíticas el contenido de SiO_2 es similar, abarca de un 20 – 60 % o más del contenido de sílice, pero con la diferencia que en las tobas dáciticas aumentan los contenidos de CaO para la formación de plagioclasas como la albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). También contiene minerales accesorios como la Magnetita (Fe_3O_4).

La muestra (MR AFL 4) corresponde a un jaspe, se considera como una variedad amorfa de cuarzo, con un contenido de SiO_2 de 78,9%, presenta minerales accesorios como la celadonita ($\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Fe}^{3+}(\text{SiO}_{10})(\text{OH})_2$). Se lo

En base a los datos obtenidos en el análisis de FRX, se ha denominado a la (MR AFL 5) como toba soldada, con presencia de SiO_2 en un 81,8%. Según lo expuesto por (Tarbuck y Lutgens, 2005), una toba soldada está compuesta por fragmentos diminutos de vidrio volcánico el cual durante el vuelo permanecieron calientes y se fundieron juntos tras el impacto, existió una carga pesada la cual fue aplanando y presionando los fragmentos de vidrio.

6.4.2. Concentración de elementos traza (ppm) en rocas.

Tabla 9. Concentración de elementos traza (ppm) en rocas.

Muestras	U (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Pd (ppm)	Nb (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	W (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ce (ppm)	Sn (ppm)
MR AFL 1	25	58	ND	28	101	67	ND	ND	22	387	ND	129	26	24	625	535
MR AFL 2	44	57	ND	ND	ND	50	202	ND	ND	119	911	186	158	38	289	3207
MR AFL 3	33	39	ND	ND	ND	71	211	ND	6	123	1100	117	109	106	109	1608
MR AFL 4	35	39	63	ND	34	34	578	63	16	75	638	60	77	62	710	2577
MR AFL 5	47	35	ND	16	ND	56	239	ND	3	182	1060	128	135	78	263	1190
MR AFL 6	ND	38	31	18	ND	51	ND	ND	ND	161	1050	102	99	120	ND	2774
MR AFL 7	52	60	57	89	59	51	284	79	29	115	ND	ND	55	465	469	2222
MR AFL 8	ND	31	ND	27	ND	48	115	50	13	205	ND	ND	13	16	ND	726
MR AFL 9	31	46	29	29	37	50	217	ND	ND	144	ND	ND	117	51	406	6588
MR AFL 10	45	49	32	30	38	39	170	50	ND	106	ND	ND	158	82	210	5280
ND	No dato															
Min	25	31	29	16	34	34	115	50	3	75	638	60	13	16	109	535
Max	52	60	63	89	101	71	578	79	29	387	1100	186	158	465	710	6588
Media	39	45	42	34	54	52	252	61	15	162	952	120	95	104	385	2671
Mediana	40	43	32	28	38	51	214	57	15	134	1050	123	104	70	348	2399
Desv estándar	9	10	16	25	28	11	141	14	10	88	189	41	51	131	208	1953

Fuente y elaboración: La Autora

En la Tabla 9, se observa la concentración de elementos traza, medidos en cada una de las rocas. Estos elementos químicos analizados son de interés, ya que presentan concentraciones elevadas con respecto al Clarke de concentración en la corteza. Los elementos considerados son los siguientes: Cu, Pb, Co, Zr, Ce, U y Sn.

6.4.3. Concentración de elementos mayoritarios (%) en sedimentos.

Tabla 10. Concentración de elementos mayoritarios en sedimentos.

Muestra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)
MSQP3	43	3.46	0.10	ND	23.4	0.39	17.3	ND	ND
MSQP6	67.1	19.4	0.21	ND	5.6	0.09	3.28	ND	ND
MSQP1	75.6	11	0.53	0.69	2.93	0.08	1.55	ND	0.49
MSQP2	58.1	8.69	0.21	0.25	14.8	0.28	9.33	0.24	ND
MSQ?	25.9	10.6	0.06	ND	32.7	0.45	8.75	ND	0.26
MSQ9	76.1	6.1	0.10	0.20	5.17	0.14	6.12	0.59	ND
MSQ 28	40.9	6.26	0.24	ND	24.6	0.25	14.5	ND	0.24
MSQP8	72.4	4.33	0.15	0.08	6.29	0.17	9.01	0.25	ND
MSQ 11	28.3	3.73	0.15	ND	36	0.30	19.5	ND	ND
MSQ 21	49.7	5.81	0.13	0.01	25.4	0.26	7.92	ND	ND
MSQ 20	65.4	11.6	1.28	0.86	5.05	0.11	2.65	ND	ND
MSQ 22	67.7	6.7	0.36	0.05	10	0.17	8.43	0.38	ND
MSQ 23	87.6	4.64	0.51	0.37	1.05	0.06	0.587	ND	0.07
MSQ25	74.7	3.27	0.33	0.06	6.88	0.15	7.39	ND	ND

Fuente y elaboración: La Autora

Según los datos obtenidos y representados en la Tabla 10, los sedimentos están compuestos de silicatos y aluminosilicatos (minerales que contienen aluminio (Al₂O₃) y silicio (SiO₂)), como los feldespatos, cuarzo (y sus polimorfos) y arcillas. Además, se evidencian las concentraciones altas de óxidos de hierro (Fe₂O₃) debido a la presencia de minerales férricos como la hematita y magnetita. También se puede observar que unos de los elementos químicos con una concentración alta es el titanio (TiO₂), contenidos en minerales como la ilmenita (FeTiO₃).

6.4.4. Concentración de elementos traza (%) en sedimentos.

Tabla 11. Concentración de elementos traza (%) en sedimentos.

Muestra	U (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Pd (ppm)	Nb (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ce (ppm)	Sn (ppm)
MSQP3	54	383	79	73	ND	80	188	2466	ND	231	12802	4610	26	47	ND	ND
MSQP6	16	90	47	66	ND	65	94	556	109	58	962	2530	26	42	ND	ND
MSQP1	ND	53	33	59	26	51	72	282	42	50	78	2830	52	70	ND	430
MSQP2	ND	363	77	57	ND	132	202	1593	ND	174	5224	5250	37	47	278	ND
MSQ?	ND	112	93	ND	49	156	258	3729	ND	42	1717	1410	27		1921	ND
MSQ9	54	335	103	ND	36	144	124	479	68	258	1880	10500	36	60	ND	332
MSQ 28	ND	222	106	ND	ND	215	237	2782	ND	157	1865	ND	35	45	ND	ND
MSQP8	ND	370	79	81	58	120	181	728	ND	306	1621	12300	18	59	ND	552
MSQ 11	ND	84	ND	ND	ND	158	161	4110	ND	102	2412	ND	ND	44	1066	ND
MSQ 21	ND	65	67	ND	53	73	242	2532	ND	48	1095	2110	32	61	993	ND
MSQ 20	28	28	45	61	30	61	62	442	114	32	230	2440	46	259	ND	634
MSQ 22	35	133	78	79	61	124	108	741	81	121	1524	4930	38	93	ND	ND
MSQ 23	29	104	47	90	ND	87	76	111	124	126	ND	5070	27	83	ND	673
MSQ25	ND	117	ND	67	ND	96	104	525	34	146	977	6950	22	75	ND	ND
ND	No Dato															
Min	16	28	33	57	26	51	62	111	34	32	78	1410	18	42	278	332
Max	54	383	106	90	61	215	258	4110	124	306	12802	12300	52	259	1921	673
Media	36	176	71	70	45	112	151	1505	82	132	2491	5078	32	76	1065	524
Mediana	32	115	78	67	49	108	143	735	81	124	1621	4770	32	60	1030	552
Desv	15	131	24	11	14	47	68	1359	36	86	3346	3386	10	57	672	142

Fuente y Elaboración: La Autora

En la Tabla 11, se expone las concentraciones de elementos traza, medidos en cada una de las muestras de sedimentos, los elementos que presentan mayores concentraciones en relación a los demás, son los siguientes: Mo, Cd, Pb, Co, Nb, Zr, Ba y U.

6.4.5. Concentración de elementos mayoritarios (%) en suelos.

Tabla 12. Concentración de elementos mayoritarios (%) en suelos.

Muestra	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)	S (%)
MSS10	20.3	4.97	0.06	54.3	0.41	18.3	ND
MSS27	69.1	13.3	0.05	9.75	0.15	2.99	0.51
MSS15	18.4	3.39	0.06	44.3	0.41	18.1	0.24
MSS13	23.1	7.11	0.08	50.8	0.39	16.1	ND
MSS14	22.2	6.92	0.06	33.6	0.24	15.4	0.38
MSS 16	11.8	4.66	0.08	62.2	0.47	17.9	0.15
MSS 17	20.4	10.9	0.10	47.9	0.37	18.5	ND
MSS24	77.3	8.93	0.06	5.38	0.10	2.34	0.03
MSS29	19.2	3.66	0.06	56.3	0.59	16.1	ND

Fuente y Elaboración: La Autora

En la Tabla 12, se evidencian las concentraciones de elementos mayoritarios expuestos en los suelos, los cuales están compuestos principalmente por silicatos (SiO₂) como mica moscovita (KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂), cuarzo y feldespatos, además de hierro en forma de hematita (Fe₂O₃), magnetita (Fe₃O₄) y óxidos de hierro y titanio como la ilmenita (FeTiO₃) y titanio. Estos suelos son el producto de la desintegración de la roca madre de donde se originaron, debido a procesos de meteorización, factores ambientales y erosión.

6.4.6. Concentración de elementos traza (ppm) en suelos.

Tabla 13. Concentración de elementos traza (ppm) en suelos.

Muestra	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Nb (ppm)	Zr (ppm)	Rb (ppm)	Ce (ppm)
MSS10	81	168	83	98	242	382	1470	96	5358	48	ND
MSS27	69	68	89	32	65	193	432	42	128	23	764
MSS15	105	91	ND	ND	157	320	2060	114	1806	50	1840
MSS13	162	174	ND	ND	238	349	1970	70	1998	62	2939
MSS14	206	160	ND	ND	157	269	1840	98	2176	ND	713
MSS 16	66	216	ND	ND	278	393	2290	51	2627	66	3036
MSS 17	76	160	ND	ND	143	276	1940	79	1561	45	1897
MSS24	49	ND	40	39	46	74	79	35	179	13	ND
MSS29	131	197	ND	ND	296	538	2440	56	3900	70	1644
ND	No Dato										
Min	49	68	40	32	46	74	79	35	128	13	713
Max	206	216	89	98	296	538	2440	114	5358	70	3036
Media	105	154	71	56	180	310	1613	71	2192	47	1833
Mediana	81	164	83	39	157	320	1940	70	1998	49	1840
Desv	52	50	27	36	89	131	821	27	1659	20	922

Fuente y elaboración: La Autora

De acuerdo a lo expuesto en la Tabla 13., los elementos de interés económico son los siguientes: Mo, Zr, Co y Ce.

6.5. Análisis de resultados estadísticos de los elementos químicos presentes en rocas.

La interpretación de resultados estadísticos en elementos químicos presentes en rocas, sedimentos y suelos, se dieron en base a las concentraciones obtenidas en los elementos traza, estos análisis fueron arrojados en FRX. Para el tratamiento de datos, realización de diferentes cálculos y obtención de diagrama de frecuencia, diagrama de caja y bigotes y diagrama de dispersión se utilizó el programa Microsoft EXCEL. Para la realización de mapas de concentraciones químicas se utilizó el programa ArcGis 10.5.

Los elementos analizados que implican mayor interés en las muestras de rocas son los siguientes: S, Cu, Pb, Co, Zr y Sn.

6.5.1. Resultados estadísticos de los elementos traza presentes en rocas.

Tabla 14. Valores estadísticos de muestras de rocas.

	S (%)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Co (ppm)	Zr (ppm)	Sn (ppm)
Fondo	0,16	28	38	214	134	2399
Umbral	0,27	53	66	355	221	4352
Sub anomalía	0,38	78	94	495	309	6305
Anomalia	0,49	103	123	636	397	8258

Fuente y elaboración: La Autora

Los resultados de estos análisis se obtuvieron en base a fórmulas estadísticas tales como: Fondo (mediana); Umbral (fondo + Desviación Estándar); Sub anomalía (fondo más 2 veces la desviación estándar) y Anomalia (fondo + 3 veces la desviación estándar). En la Tabla 14., se observa que, en las muestras de roca, tanto el S, Cu, Pb, Co, Zr y Sn alcanzan a tener concentraciones sub anómalas en las muestras analizadas.

Azufre (S)

El Clarke de concentración del azufre en la corteza terrestre es de 0.034%, comparándolo con el fondo (mediana) de S de las rocas es 0.16% ver Tabla 14., y existen valores anómalos de 0.41% en la muestra MR AFL 7 que corresponde a una roca toba dácitica, por ende, se dice que el valor del fondo es mayor que el Clarke de concentración.

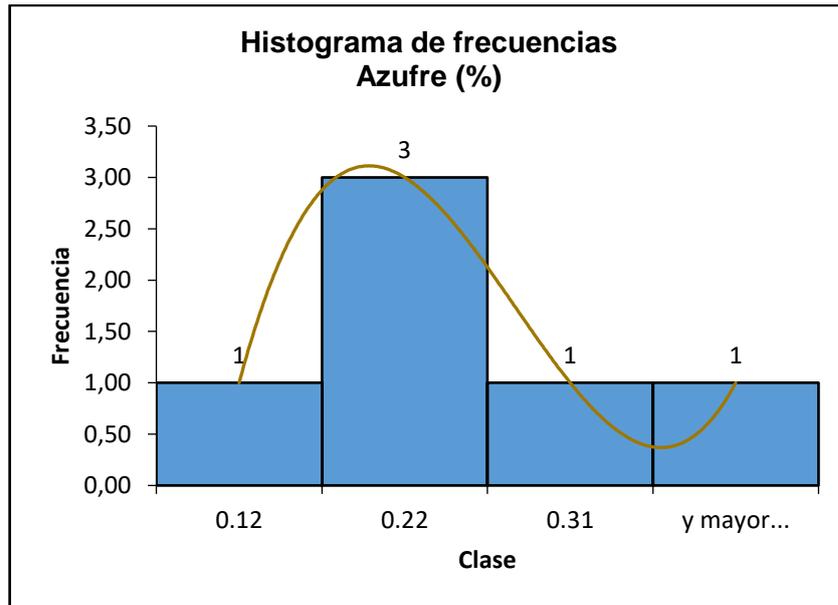


Figura 41. Histograma de frecuencia de azufre (roca)
Fuente y elaboración: La Autora

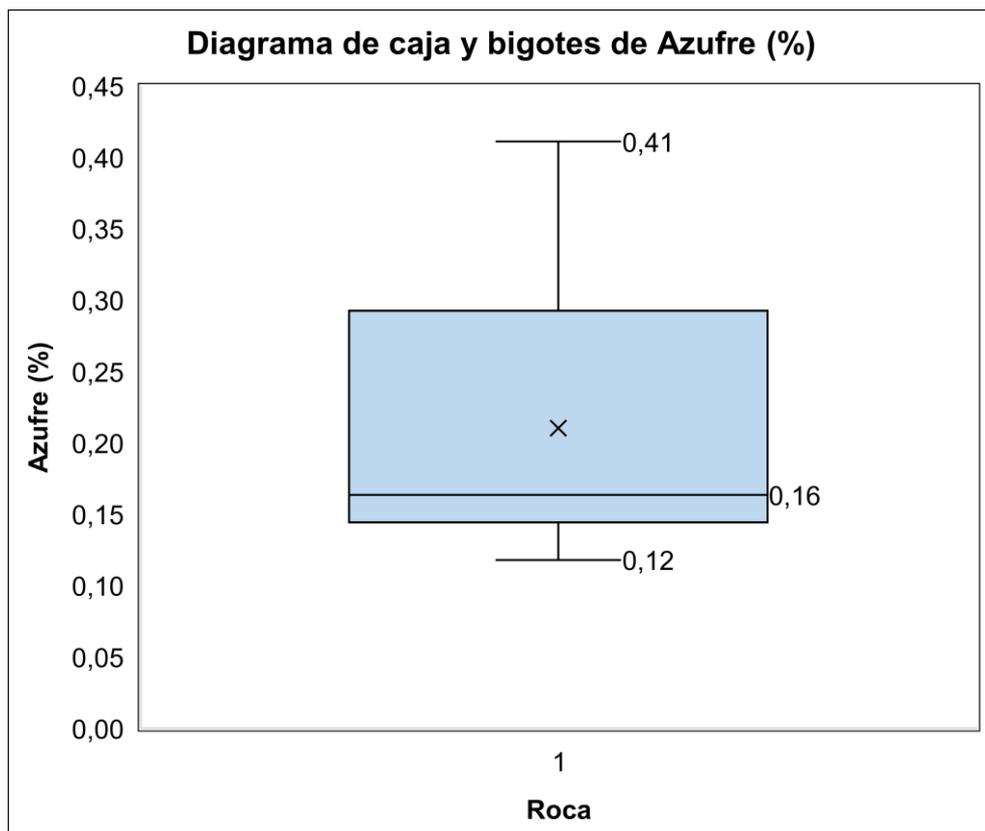


Figura 42. Diagrama de caja y bigotes de azufre (roca)
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 41, el rango de valor de concentración de Azufre con mayor frecuencia está ubicado en la segunda barra, en la cual existen 3 clases con un valor de 0,22% el cual está dentro del rango que corresponde al valor de fondo, además se observa un valor anómalo de 0,41%.

En la Figura 42, se muestra el diagrama de cajas y bigotes, el cual agrupa los valores mínimos y máximos de un conjunto de datos. La mediana tiene un valor de 0,16%, el valor máximo es 0,41% y el valor mínimo es de 0,12%. No presenta valores atípicos.

Cobre (Cu)

El Clarke de concentración del Cobre (Cu) en la corteza terrestre es de 68 (14 – 100) ppm, 100 ppm en rocas magmáticas máficas y 10 ppm en rocas félsicas. Comparando estos valores con el valor de fondo (mediana) de Cu de la roca se puede decir que el valor del fondo (28 ppm) es menor al Clarke de concentración ver Tabla 14, existe un valor anómalo de 89 ppm en la muestra MR AFL7 que corresponde a una roca toba dacítica.

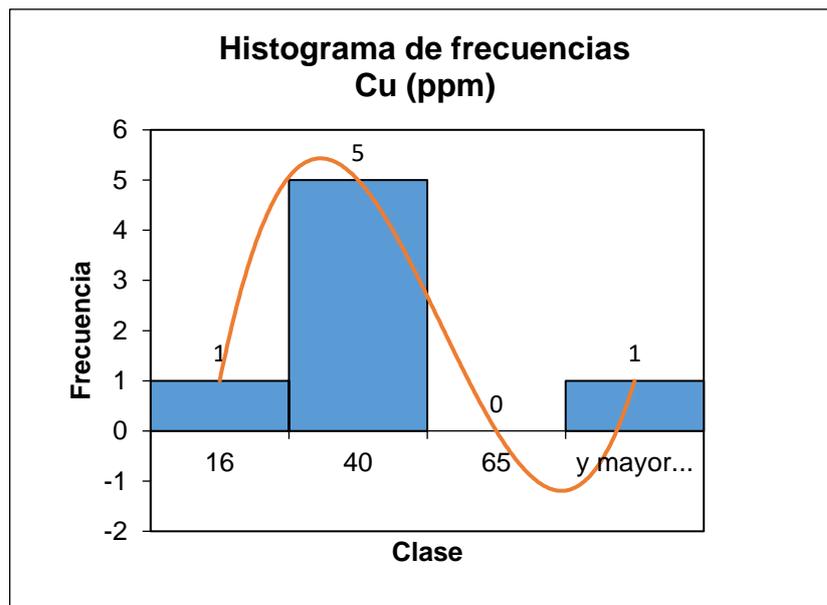


Figura 43. Histograma de frecuencia de cobre (roca).
Fuente y elaboración: La Autora

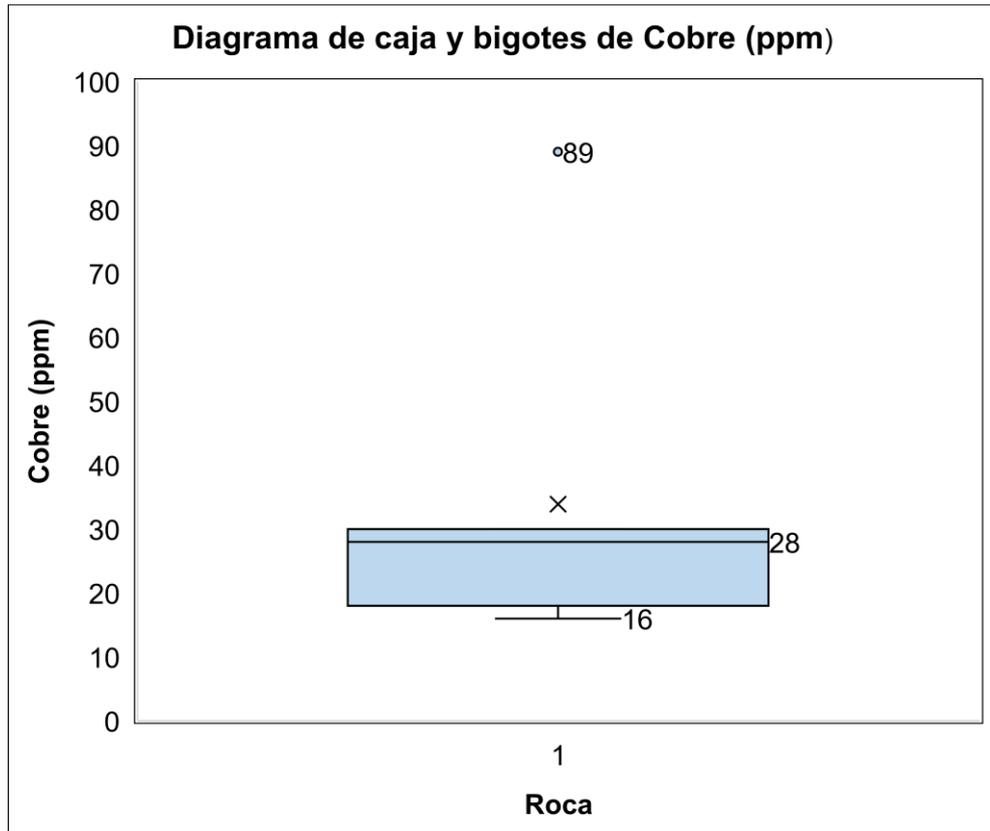


Figura 44. Diagrama de caja y bigotes de cobre (roca)
Fuente y elaboración: La autora

Como se observa en la Figura 43, el rango de valor de concentración de Cobre con mayor frecuencia está ubicado en la segunda barra, en la cual existen 5 clases con valores que van desde 16 ppm a 40 ppm, el cual está dentro del rango que corresponde al valor de fondo, además se observa un valor anómalo de 89 ppm.

En la Figura 44, se muestra el diagrama de cajas y bigotes, el cual muestra los siguientes valores: fondo (mediana) tiene un valor de 28 ppm, el valor máximo es 89 ppm, un valor mínimo de 16 ppm, en este caso existen un valor anómalo atípico de 89 ppm este corresponde a muestra de roca de toba dacítica (MR AFL 7).

Plomo (Pb)

El Clarke de concentración de Plomo (Pb) en la corteza terrestre es de 13 ppm, en rocas máficas 5 ppm y en rocas félsicas 20 ppm. Comparando estos valores con el fondo (mediana) de Pb en rocas se puede decir que el valor del fondo de 38 ppm (Tabla 14), es mayor al Clarke de concentración.

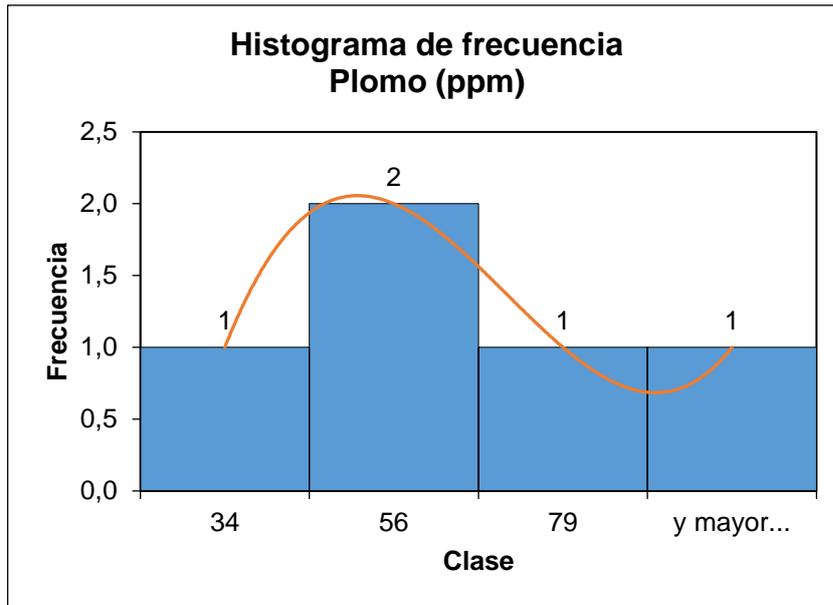


Figura 45. Histograma de frecuencia de Pb (roca).
Fuente y elaboración: La Autora

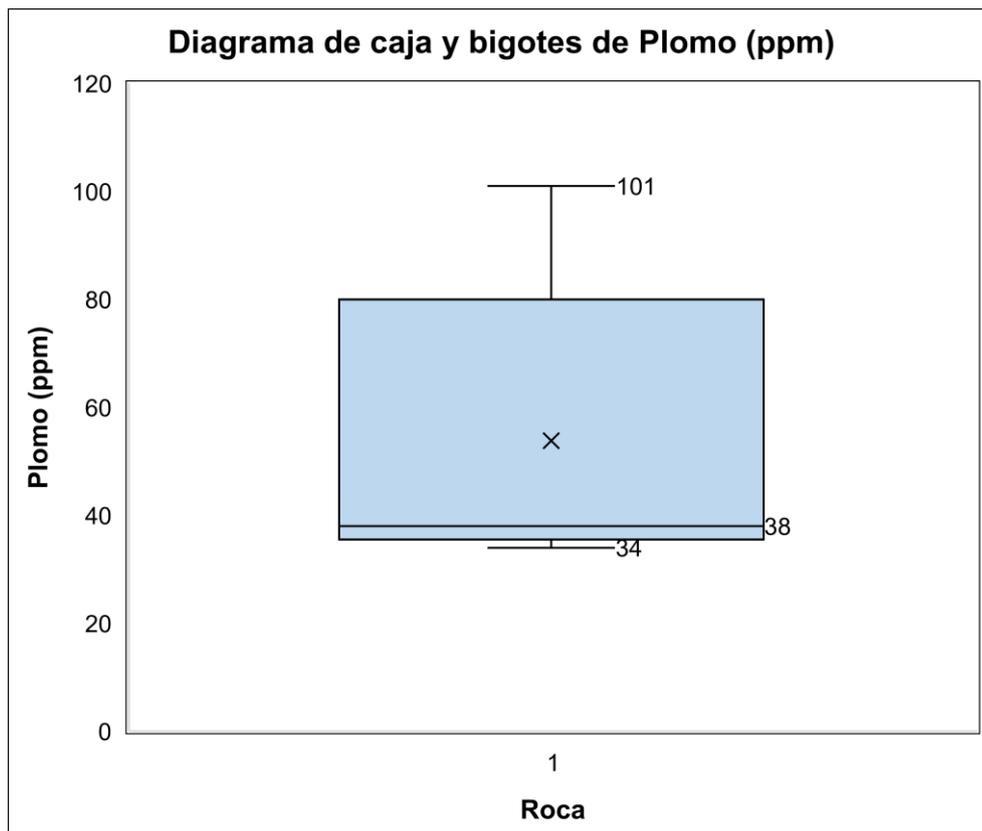


Figura 46. Diagrama de caja y bigote de plomo (roca).
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 45, el rango de valores de concentración de Plomo con mayor frecuencia se ubica en la segunda barra con valores que van de 34 a 56 ppm respectivamente, con una cantidad de 2 muestras, las cuales están dentro del valor de fondo.

El diagrama de caja y bigotes de la Figura 46, muestra los datos calculados de concentración de Plomo (Tabla 16). La mediana tiene un valor de 38 ppm, el valor máximo es 101 ppm y el valor mínimo es 34 ppm.

Cobalto (Co)

El Clarke de concentración de Cobalto en la corteza terrestre es de 29 ppm, en rocas máficas 50 ppm y en rocas félsicas 1 ppm, comparándolo con el fondo (mediana) de Co en las rocas es de 214 ppm (Tabla 14) y el valor del umbral es de 355 ppm, estos valores son mayores al Clarke de concentración.

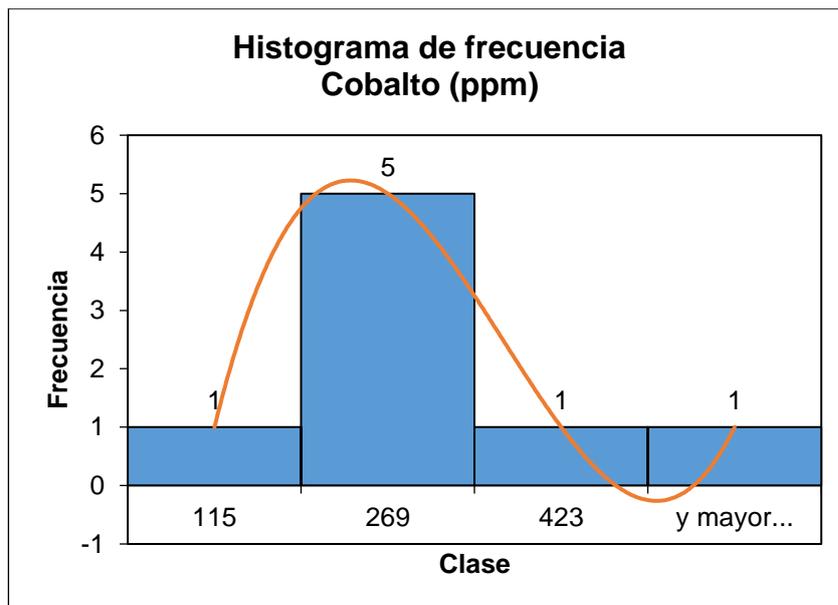


Figura 47. Histograma de frecuencia de cobalto (roca).
Fuente y elaboración: La Autora

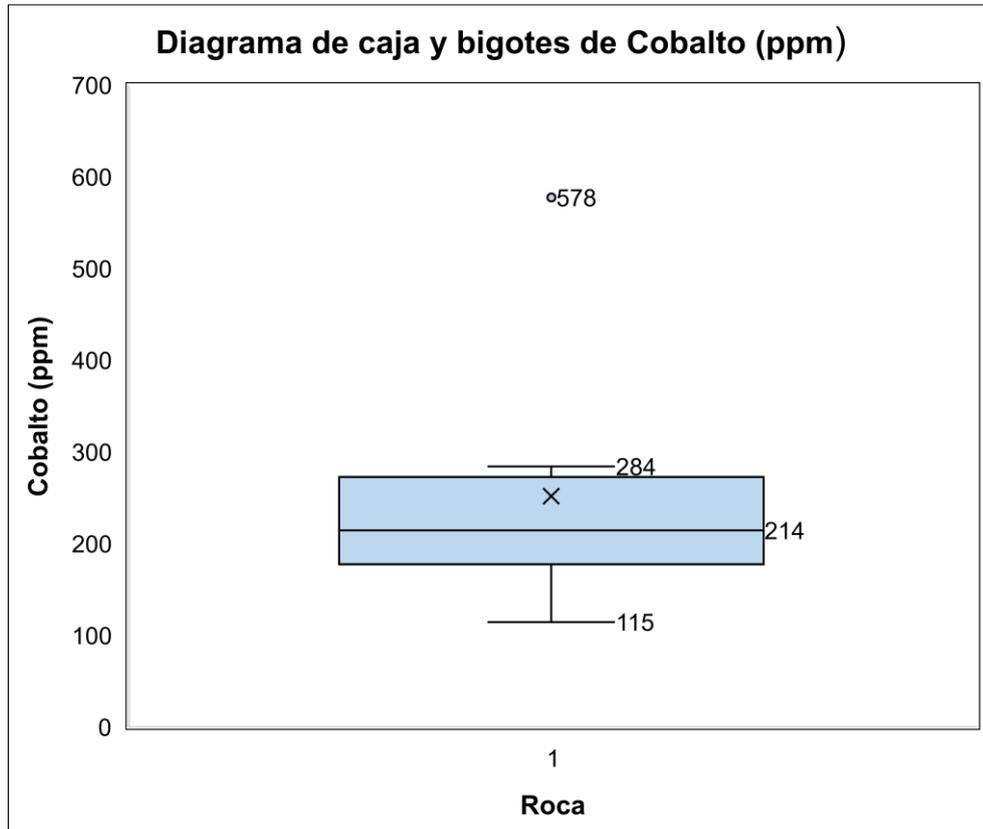


Figura 48. Diagrama de caja y bigote de cobalto (roca).
Fuente y elaboración: La Autora

En la Figura 47, se observa el rango de valores de concentración de Cobalto, la mayor frecuencia se ubica en la segunda barra, la cual va de 115 a 269 ppm, con una cantidad de 5 muestras, las cuales se encuentran dentro del valor de fondo.

En la Figura 48, se observa el diagrama de caja y bigotes, el cual indica que el fondo (mediana) está expresado por un valor de 214 ppm, el valor máximo es 578 ppm y el valor mínimo es 115 ppm. En este caso existe un valor atípico en la muestra de roca MR AFL 4 (578 ppm) que corresponde a una brecha de origen hidrotermal.

Circonio (Zr)

El Clarke de concentración de Circonio en la corteza terrestre es de 162 ppm, en rocas máficas es de 150 ppm y en rocas félsicas es de 180 ppm. Comparándolo con el fondo (mediana) que es de 134 ppm (Tabla 14), este es menor al Clarke de concentración, pero existen valores anómalos de 205 ppm en la muestra MR AFL 8, 182 ppm en muestra MR AFL 5 y 387 ppm en la muestra MR AFL 1.

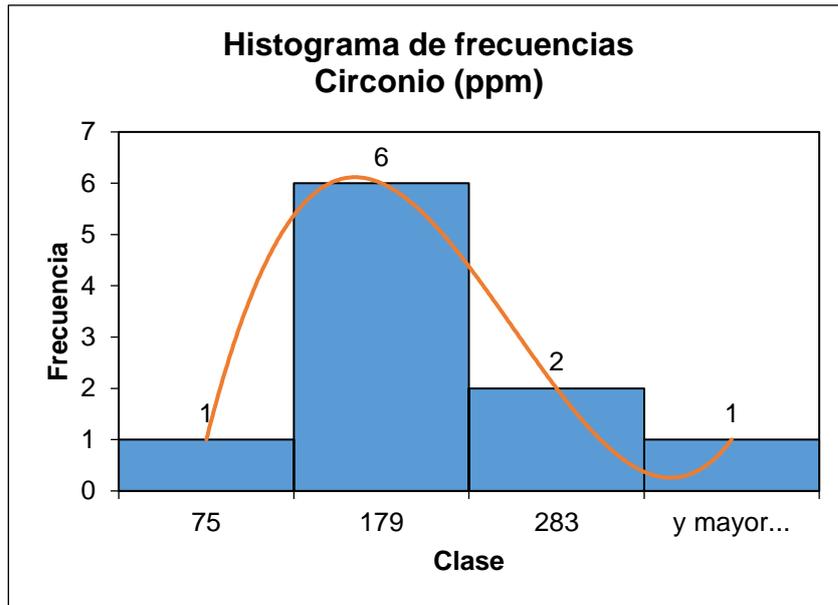


Figura 49. Histograma de frecuencia de circonio (roca).
Fuente y elaboración: La Autora

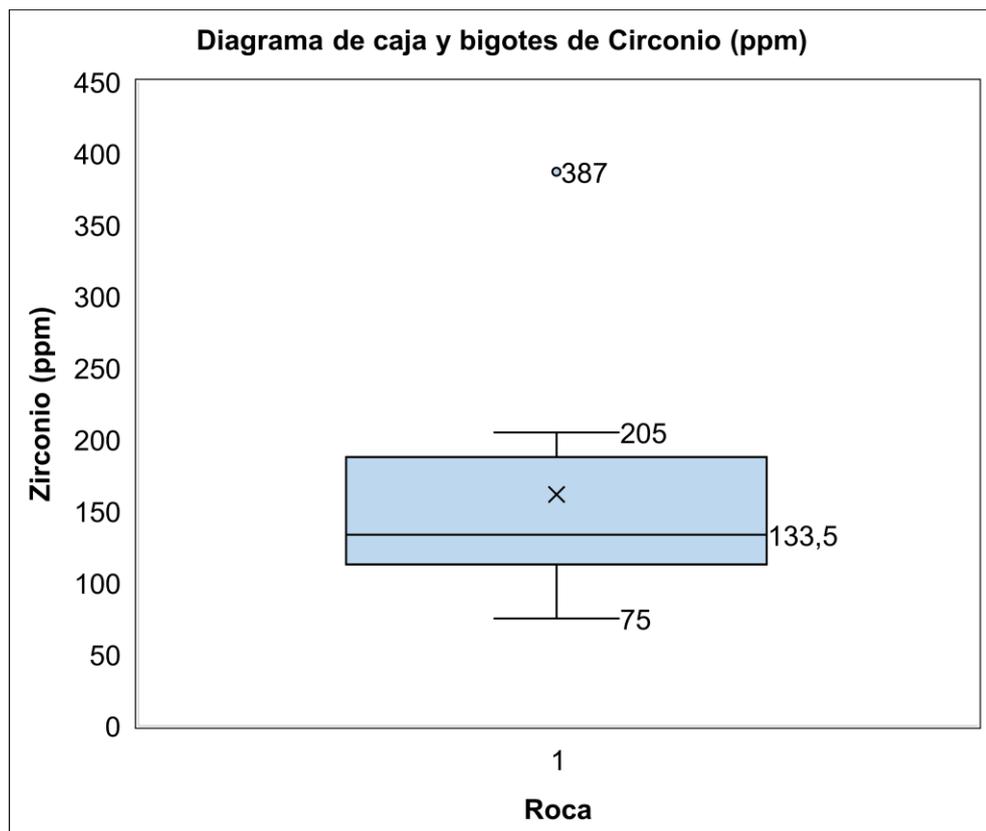


Figura 50. Diagrama de caja y bigote de circonio (roca).
Fuente y elaboración: La Autora

En la Figura 49, se muestra el histograma de frecuencia de Circonio (Zr), el rango de concentración de este elemento con mayor frecuencia se ubica en la segunda barra, la cual va de 75 a 119 ppm con una cantidad de 6 muestras.

El diagrama de caja y bigotes representado en la Figura 50, agrupa los datos calculados de concentración de Circonio (Tabla 16). El fondo o mediana tiene un valor de 133,5 aproximadamente 134 ppm, el valor máximo es de 387 ppm y el valor mínimo es de 75 ppm. En este caso existe un valor atípico en la MR AFL 1 correspondiente a una toba riolítica perteneciente a la formación geológica Tarqui, esta concentración se da ya que el elemento Circonio se encuentra principalmente en rocas silíceas magmáticas.

Estaño (Sn)

El Clarke de concentración de Estaño en la corteza terrestre es de 2,10 ppm. En rocas máficas (basalto) la concentración es de 1 ppm y en rocas félsicas (granito) la concentración es de 3 ppm. Comparando estos valores con el fondo (mediana) que es de 2399 ppm (Tabla 14), este valor es mayor al Clarke de concentración.

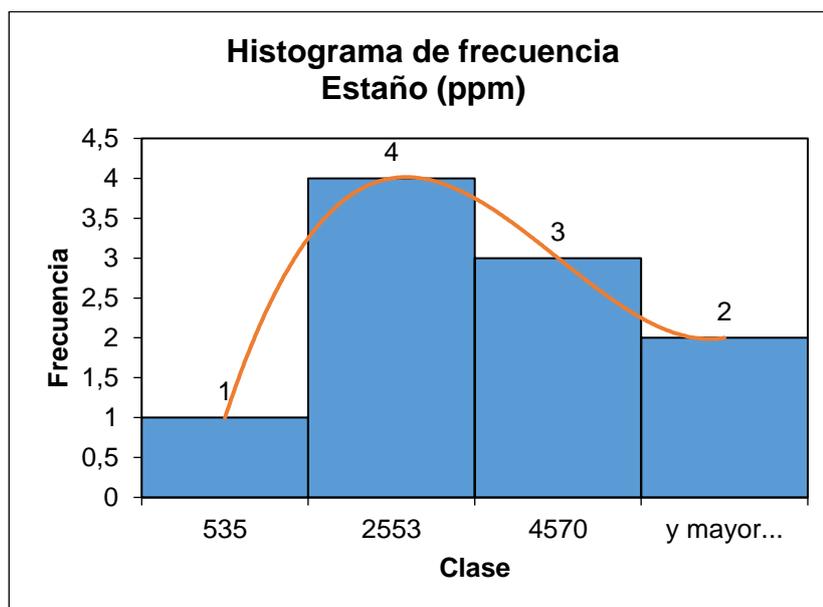


Figura 51. Histograma de frecuencia de estaño (roca).
Fuente y elaboración: La Autora

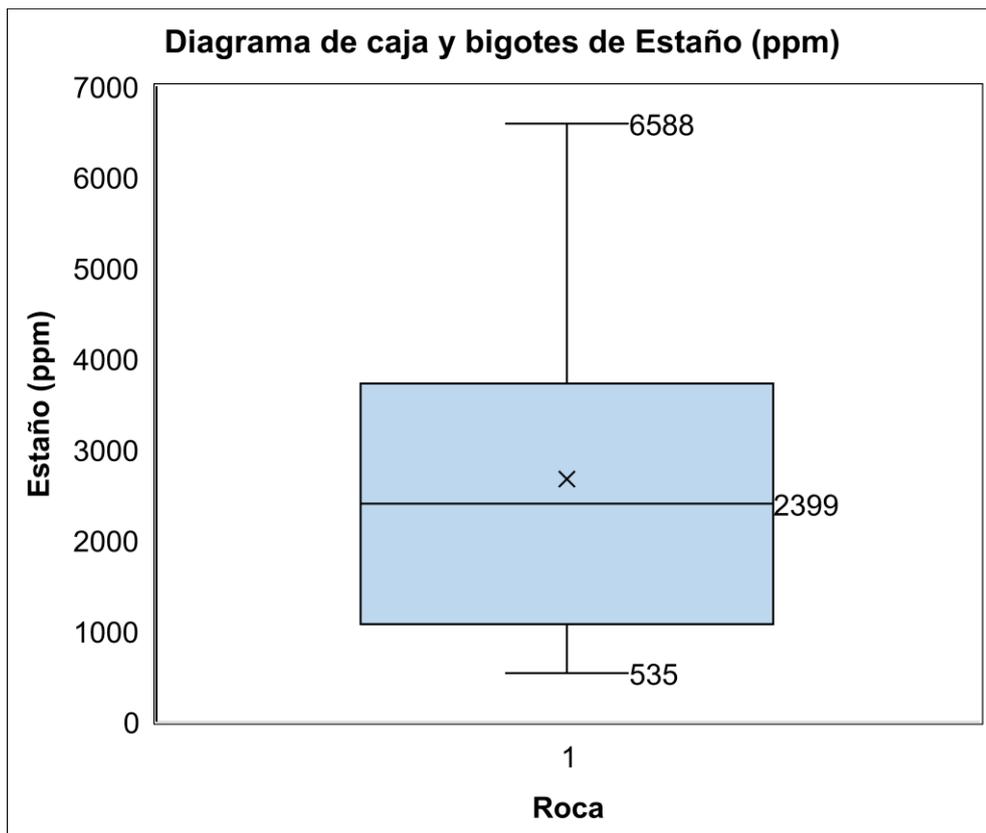


Figura 52. Diagrama de caja y bigote de estaño (roca).
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 51, el histograma de frecuencia de Estaño (Sn), el rango de concentración de este elemento con mayor frecuencia se ubica en la segunda barra, la cual expone valores comprendidos entre 535 a 2553 ppm con una cantidad de 4 muestras.

El diagrama de caja y bigotes representado en la Figura 52, agrupa los valores de concentración de Estaño (Tabla 16). El fondo o mediana tiene un valor de 2399 ppm, el valor máximo es de 6588 ppm y el valor mínimo es de 535 ppm.

6.5.2. Coeficiente de correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios en rocas.

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

	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	CaO (%)	K2O (%)	Fe2O3 (%)	MnO (%)	TiO2 (%)	S (%)	U (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Pd (ppm)	Nb (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	W (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ce (ppm)	Sn (ppm)	
SiO2 (%)	1.00																								
Al2O3 (%)	-0.83	1.00																							
CaO (%)	-0.21	-0.36	1.00																						
K2O (%)	0.71	-0.78	-0.05	1.00																					
Fe2O3 (%)	-0.47	0.60	0.21	-0.64	1.00																				
MnO (%)	-0.64	0.49	0.28	-0.51	0.85	1.00																			
TiO2 (%)	-0.91	0.71	0.29	-0.51	0.36	0.56	1.00																		
S (%)	-0.59	-0.41	0.92	-0.23	0.22	0.53	0.47	1.00																	
U (ppm)	0.32	-0.72	0.64	0.23	-0.25	-0.37	-0.24	0.98	1.00																
Bi (ppm)	-0.50	0.12	0.39	0.01	0.29	0.61	0.47	0.80	0.11	1.00															
Cd (ppm)	-0.24	-0.31	0.40	-0.96	0.96	0.98	-0.17	0.42	0.27	0.21	1.00														
Cu (ppm)	-0.42	-0.13	0.90	-0.24	0.56	0.47	0.35	0.92	0.49	0.66	0.98	1.00													
Pb (ppm)	-0.95	0.91	0.00	-0.75	0.36	0.79	0.92	0.92	-0.39	0.75	0.32	-0.02	1.00												
Zn (ppm)	-0.38	0.27	-0.01	-0.12	-0.21	0.16	0.40	0.16	-0.37	0.11	-0.41	-0.09	0.90	1.00											
Co (ppm)	0.25	-0.69	0.08	-0.22	0.88	0.75	-0.34	-0.08	-0.22	-0.01	0.82	0.59	-0.25	-0.45	1.00										
Pd (ppm)	-0.48	-0.41	0.86	-0.21	0.68	0.87	0.55	0.74	0.46	0.71	0.72	1.00	0.82	0.35	0.44	1.00									
Nb (ppm)	-0.76	0.40	0.58	-0.62	0.73	0.76	0.72	0.98	0.08	0.83	-1.00	0.82	0.33	-0.21	0.26	0.96	1.00								
Zr (ppm)	-0.74	0.86	-0.31	-0.57	0.19	0.38	0.74	-0.29	-0.54	0.17	-0.75	-0.30	0.93	0.57	-0.65	-0.41	0.16	1.00							
Ba (ppm)	-0.22	-0.32	0.66	0.75	-0.91	-0.82	0.50	-1.00	0.26	-0.19	-1.00	-1.00	#DIV/0!	0.88	-0.90	#DIV/0!	-0.96	0.81	1.00						
W (ppm)	-0.12	-0.06	-0.31	0.38	-0.61	-0.32	0.11	-1.00	0.36	0.63	-1.00	0.39	1.00	0.39	-0.84	#DIV/0!	-0.25	0.21	0.43	1.00					
Rb (ppm)	0.78	-0.80	-0.11	0.92	-0.58	-0.47	-0.62	-0.12	0.41	0.06	-0.76	-0.28	-0.76	-0.18	-0.12	-0.23	-0.66	-0.54	0.41	0.51	1.00				
Sr (ppm)	-0.24	-0.33	0.99	-0.09	0.26	0.31	0.30	0.90	0.61	0.41	0.45	0.92	0.01	0.00	0.12	0.90	0.60	-0.30	0.60	-0.39	-0.14	1.00			
Ce (ppm)	-0.50	0.80	-0.02	-0.74	0.94	0.77	0.42	-0.20	-0.34	0.25	0.82	0.30	0.35	-0.31	0.87	0.47	0.65	0.31	-0.97	-0.52	-0.73	0.04	1.00		
Sn (ppm)	0.38	-0.41	-0.03	0.76	-0.28	-0.26	-0.28	-0.23	0.04	0.19	-0.71	-0.01	-0.75	-0.46	-0.05	-0.20	0.22	-0.49	-0.47	0.06	0.60	-0.03	-0.18	1.00	
	Maximo		Medio		Minimo																				

Fuente y elaboración: La Autora

Los coeficientes de correlación se clasifican en primer lugar en positivos y negativos. Luego en correlación alta (cercana a 1 o -1) y correlación baja (cercana a 0). En la Tabla 15, se muestran las correlaciones que existen entre los elementos químicos de las rocas. Las correlaciones más significativas están marcadas con color rojo, mientras que las correlaciones mínimas están marcadas con color verde. Para la realización de este trabajo se tomaron los elementos con las correlaciones positivas siguientes: SiO₂ – K₂O, Al₂O₃ – Pb, CaO – S, Fe₂O₃ – MnO, Fe₂O₃ – Co, Fe₂O₃ – Cd, S – Cd, S – Cu, entre otros.

SiO₂ – K₂O

La correlación positiva de 0,49 (Figura 53) que existe entre el SiO₂ y K₂O es producto de la presencia de mineral sanidina ((K, Na) AlSi₃O₈). Según la serie de Bowen (Anexo III) este mineral se forma en la serie de los feldspatos potásicos (última etapa de la formación mineral), este mineral es típico de rocas extrusivas félsicas de enfriamiento rápido, como las riolitas y traquitas. Se forman a temperaturas mayores a 900°C a diferencia de otros feldspatos potásicos como la microclina que se forman a temperaturas menores.

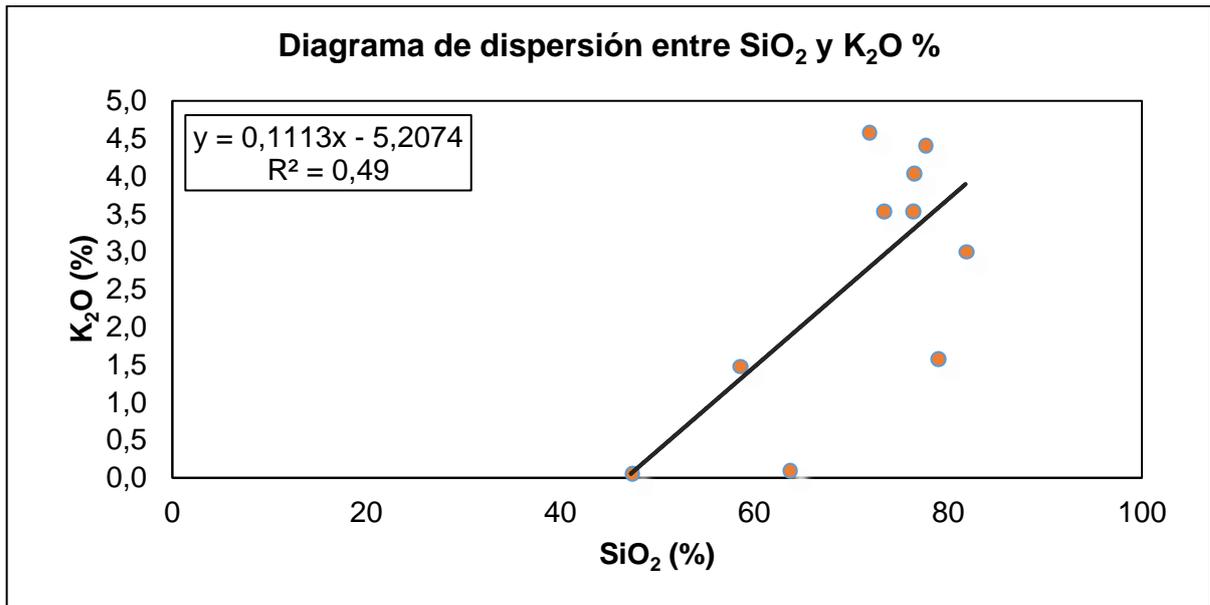


Figura 53. Diagrama de dispersión entre SiO₂ y K₂O (roca)
Fuente y elaboración: La Autora

Al₂O₃ – Pb

La correlación positiva que existe entre estos dos elementos (Figura 54) es producto de la presencia de minerales arcillosos como la caolinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄), illita (K_{0.65}Al_{2.0}{Al_{0.65}Si_{3.35}O₁₀} (OH)₂) y montmorillonita ((Al, Mg)₈(Si₄O₁₀)₄(OH)₈.12H₂O). Trabajos realizados han demostrado el poder de absorción que tienen las arcillas. Las arcillas son consideradas como coloides (carga negativa) por ende atraen cationes (carga positiva) como el plomo. Es por esto que muchos de los elementos químicos con carga positiva (Pb) están retenidos por arcillas.

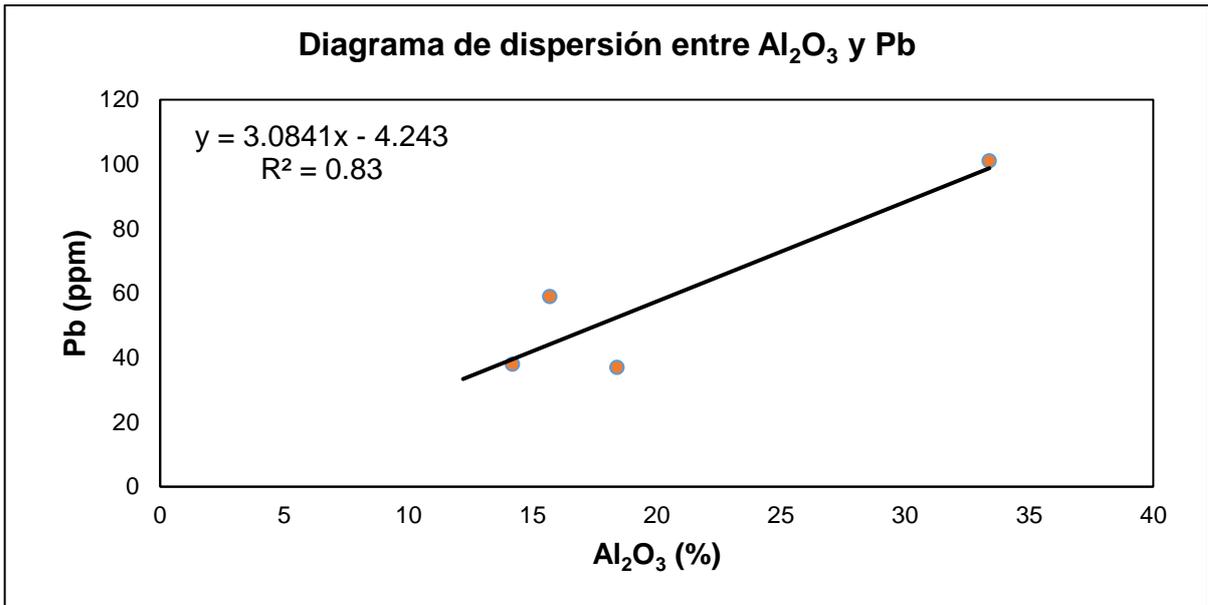


Figura 54. Diagrama de dispersión entre Al_2O_3 – Pb (roca)
Fuente y elaboración: La Autora

CaO – S

La correlación positiva que existe entre CaO y S (Figura 55), es por la posible presencia de mineral anhidrita. Según lo expuesto por (Cornelis y Cornelius, 1997), debido a la absorción de agua, la anhidrita se transforma en yeso con aumento de volumen. La génesis de la anhidrita (CaSiO_4), varía entre hidrotermal, magmática y sedimentaria.

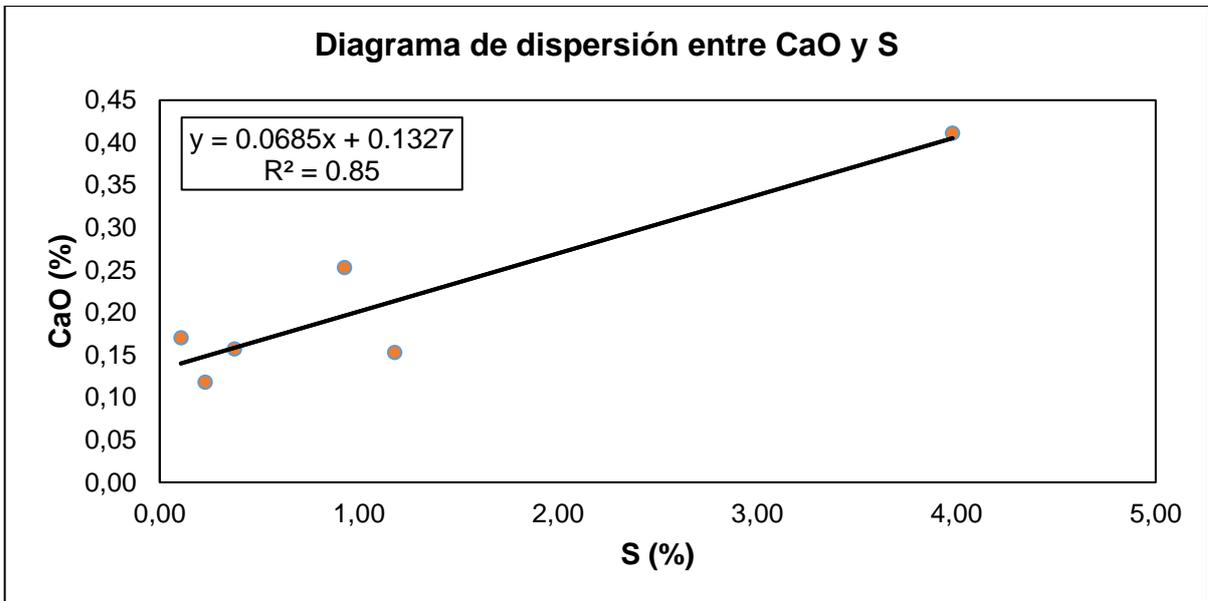


Figura 55. Diagrama de dispersión entre CaO – S (roca)
Fuente y elaboración: La Autora

CaO – Sr y K₂O – Rb

La correlación positiva que existe entre CaO y Sr (Figura 56), se da ya que donde existen minerales con presencia de Ca (calcio), como las plagioclasas o la montmorillonita. En este caso se introduce el Sr por sustitución iónica ya que los dos elementos tienen valencia +2 y radios iónicos similares. La misma sustitución iónica ocurre con la correlación positiva que existe entre K₂O y Rb (Figura 57), donde existan minerales de potasio como los feldespatos potásicos, la caolinita y la celadonita el rubidio se encuentra presente como elementos traza sustituyendo al K. Los dos elementos tienen valencia +1 y radios iónicos similares.

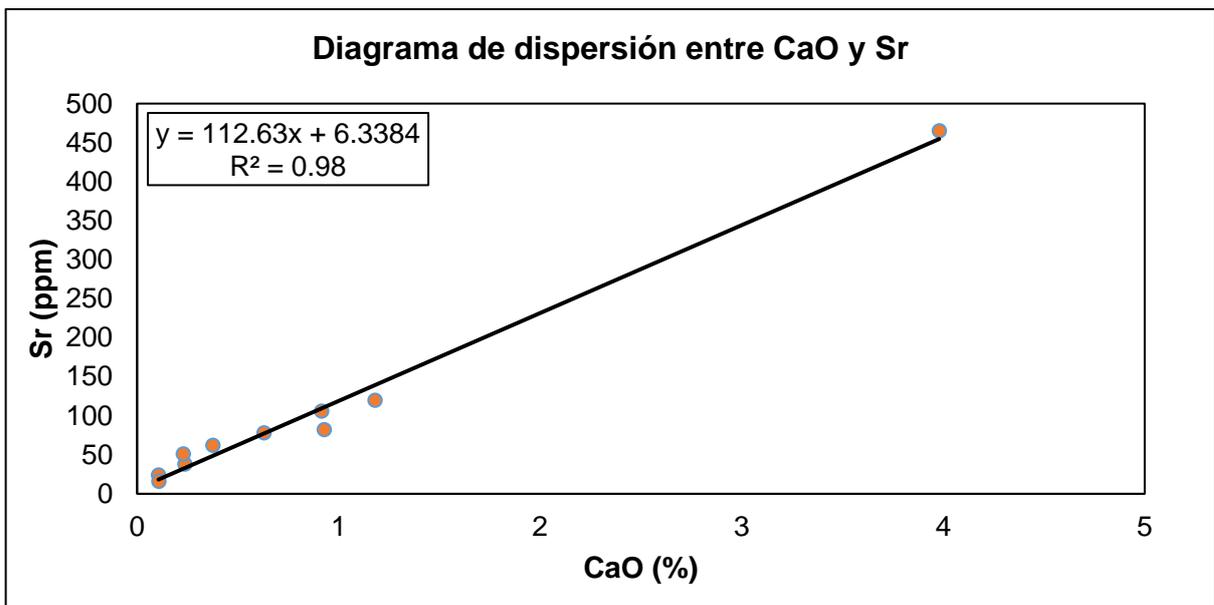


Figura 56. Diagrama de dispersión entre CaO y Sr (roca)

Fuente y elaboración: La Autora

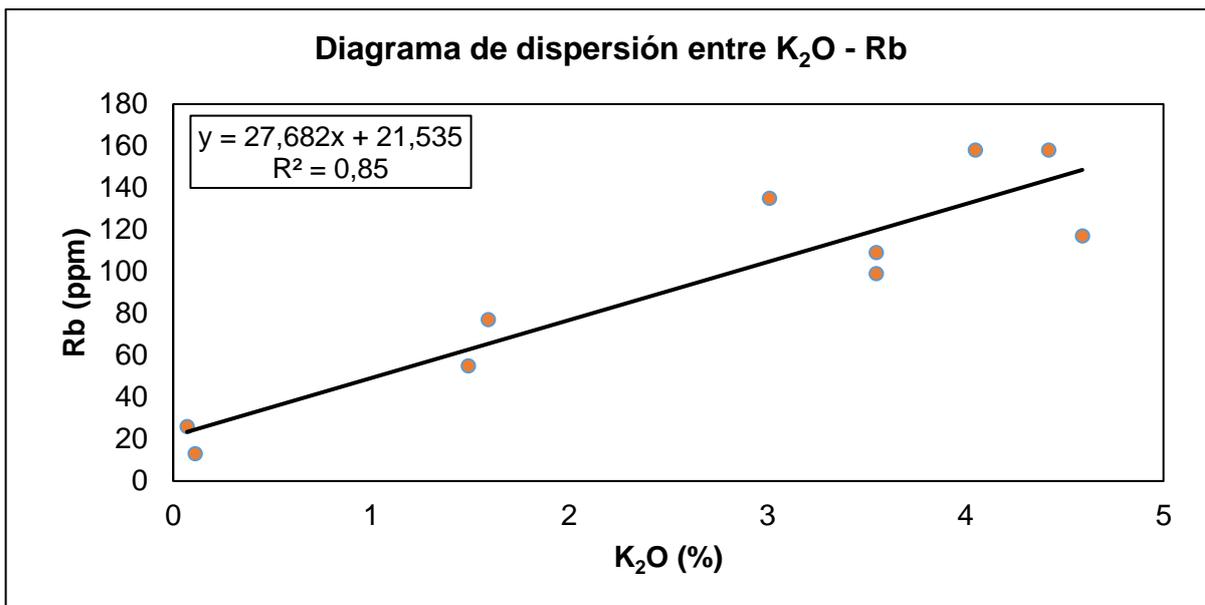


Figura 57. Diagrama de dispersión entre K₂O – Rb (roca)

Fuente y elaboración: La Autora

Fe₂O₃ – MnO, Fe₂O₃ – Cd y Fe₂O₃ – Co

La correlación positiva que existe entre Fe₂O₃ y MnO (Figura 58), se da debido a la presencia de mineral magnetita (Fe₃O₄), el Mn se introduce en la estructura de la magnetita por sustitución iónica, el manganeso divalente (Mn +2) sustituye al Fe⁺².

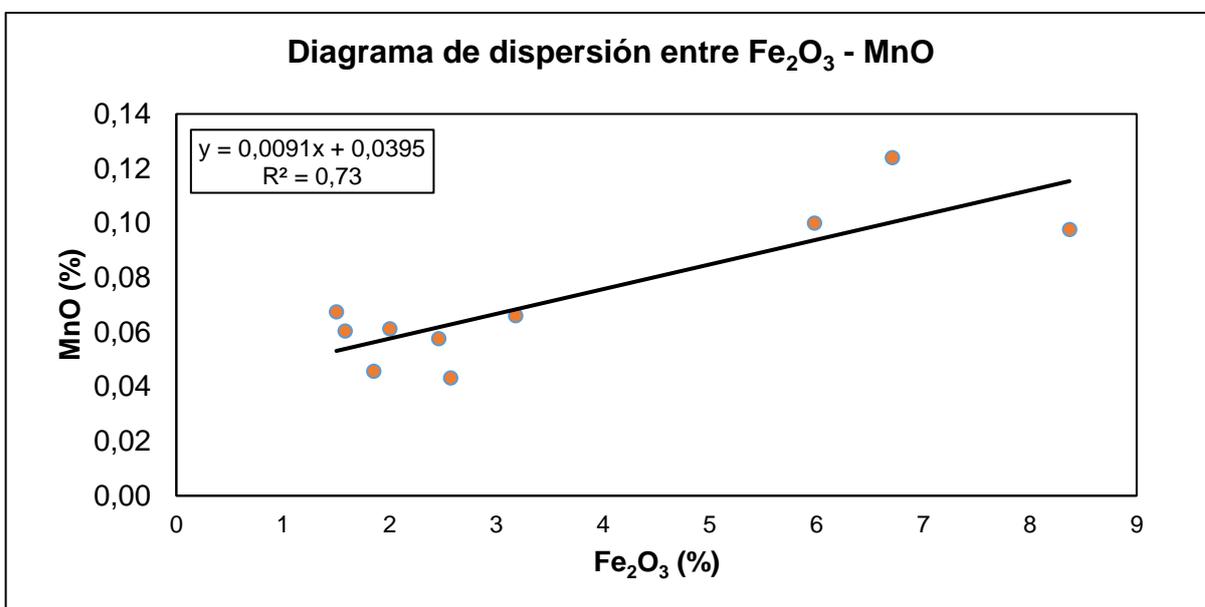


Figura 58. Diagrama de dispersión entre Fe₂O₃ – MnO (roca)

Fuente y elaboración: La Autora

La misma sustitución iónica en la estructura de la magnetita (Fe₃O₄) se da con los elementos Cadmio (Cd) y Cobalto (Co), tanto el cadmio como el cobalto reemplazan al hierro, ya que tienen la misma carga (+2) y el radio iónico es similar.

En la Figura 59, se observa la correlación positiva entre Fe_2O_3 – Cd y en la Figura 60, se muestra la correlación positiva entre Fe_2O_3 – Co.

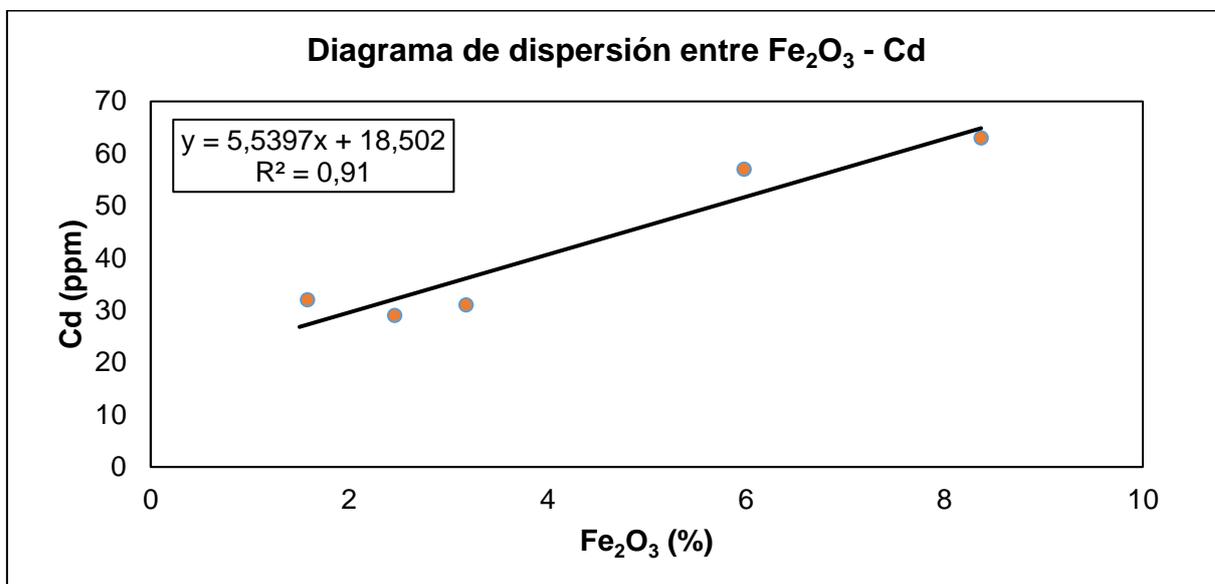


Figura 59. Diagrama de dispersión entre Fe_2O_3 – Cd (roca)
Fuente y elaboración: La Autora

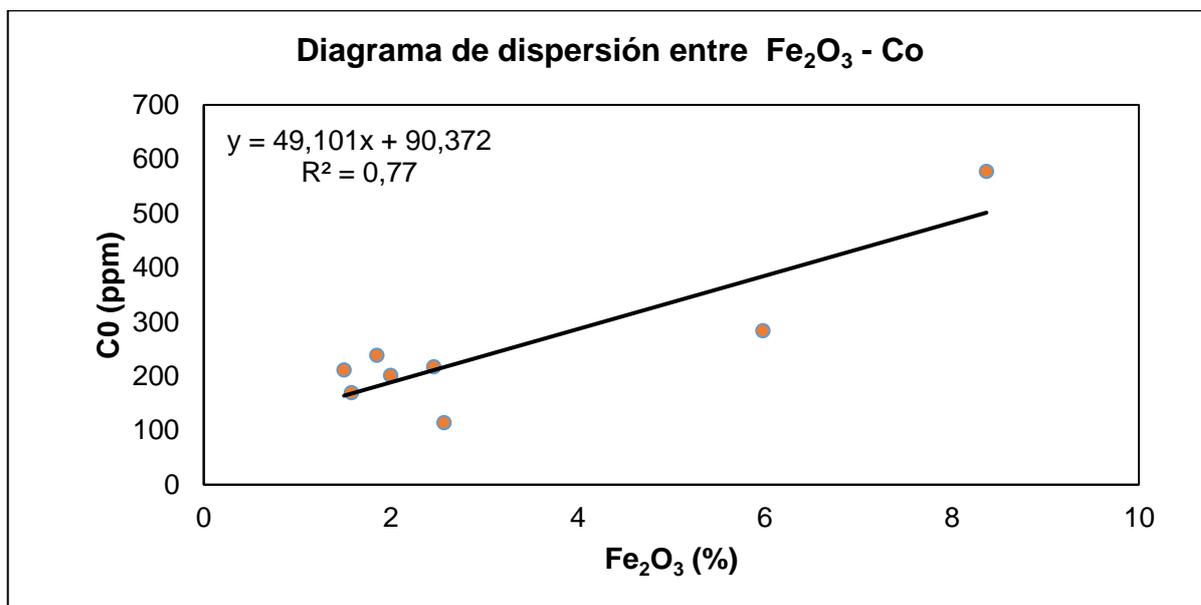


Figura 60. Diagrama de dispersión entre Fe_2O_3 – Co (roca)
Fuente y elaboración: La Autora

S – Pb y S – Cu

La correlación positiva existente entre azufre (S) y plomo (Pb) (Figura 61), es producto de la afinidad geoquímica (elementos calcófilos), se dice que los elementos calcófilos tienen afinidad por el azufre y forman sulfuros. Un ejemplo de sulfuro de plomo es la galena (PbS) fuente importante en la extracción de plomo.

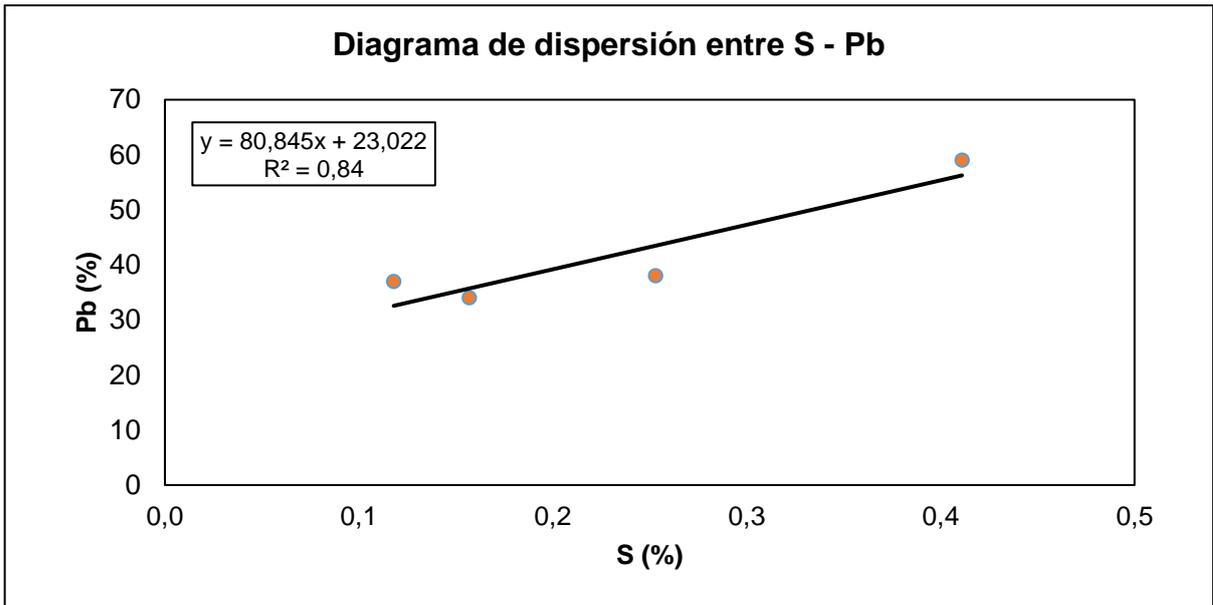


Figura 61. Diagrama de dispersión entre S – Pb (roca)

Fuente y elaboración: La Autora

El mismo caso sucede en la correlación positiva existente entre S – Cu (Figura 62), ya que el cobre (Cu) es un elemento calcófilo por ende tendrá afinidad por el azufre y forma sulfuro de cobre como la bornita. Estas correlaciones son indicadores de la posible existencia de sulfuros mineralizados de Pb y Cu en las rocas.

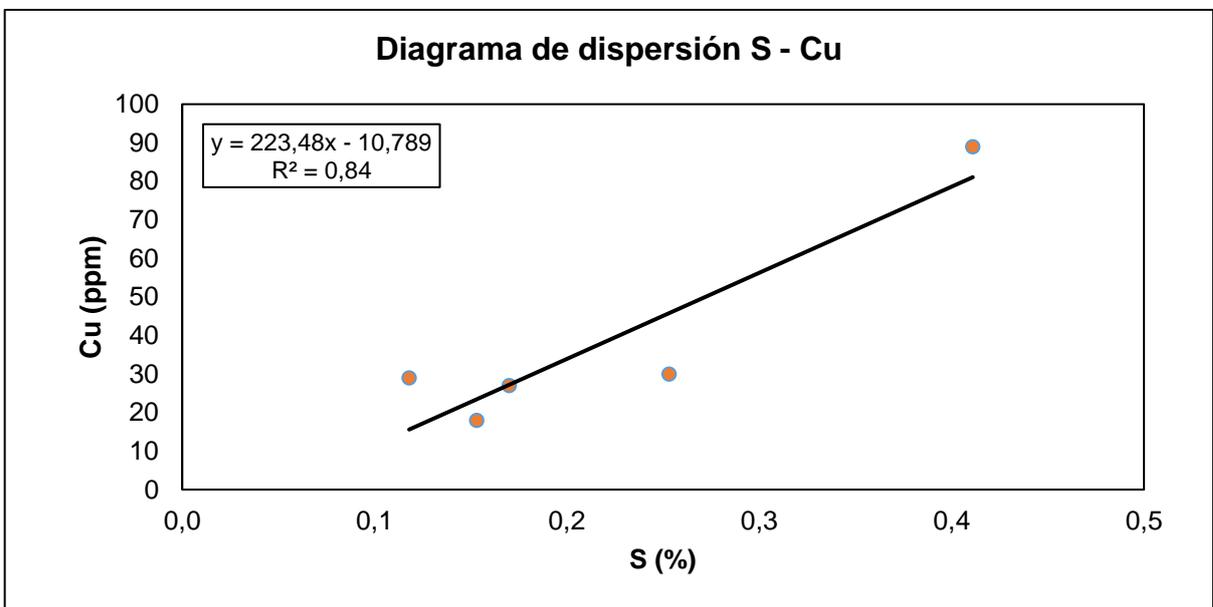


Figura 62. Diagrama de dispersión entre S – Cu (roca)

Fuente y elaboración: La Autora

6.6. Análisis de resultados estadísticos de los elementos químicos presentes en sedimentos.

Para la realización de la interpretación estadística de los elementos químicos presentes en las muestras de sedimentos, se tomaron las concentraciones de elementos traza y mayoritarios obtenidas en los ensayos de FRX.

Los elementos analizados con concentraciones de interés para la prospección geoquímica son los siguientes: Fe, Mo, Zr, Pb, Cd y Co.

6.6.1. Resultados estadísticos de los elementos traza presentes en sedimentos.

Tabla 16. Valores estadísticos de muestras de sedimentos.

	Fe ₂ O ₃ (%)	Mo (ppm)	Zr (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)
Fondo	8	115	1621	108	67	735
Umbral	20	245	4967	155	78	2094
Sub anomalía	32	376	8313	201	89	3453
Anomalía	44	507	11659	248	101	4813

Fuente y elaboración: La Autora

Para la obtención los resultados tanto de fondo, umbral, anomalía y sub anomalía, se procesaron los datos en Excel y se aplicaron las mismas fórmulas expuestas para el análisis de muestras de rocas.

En la Tabla 16, se observa que en las muestras de sedimentos existen concentraciones anómalas en circonio (Zr), mientras que los elementos Fe, Mo, Pb, Cd y Co alcanzan a ser sub anomalías.

Hierro (Fe₂O₃)

El Clarke de concentración de hierro (Fe) en la corteza terrestre es de 6.22%, comparándolo con el fondo (mediana) de Fe₂O₃ de los sedimentos que es de 8 % (Tabla 16), se deduce que el valor de fondo (8%) es mayor que le Clarke de concentración. Existe un valor anómalo de 36% correspondiente a la muestra (MSQ 11).

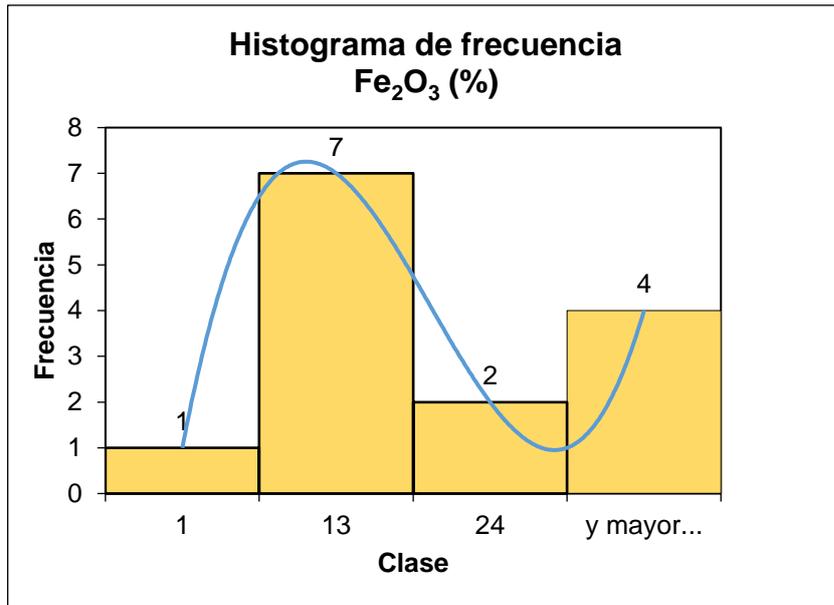


Figura 63. Histograma de frecuencias de Fe₂O₃ (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

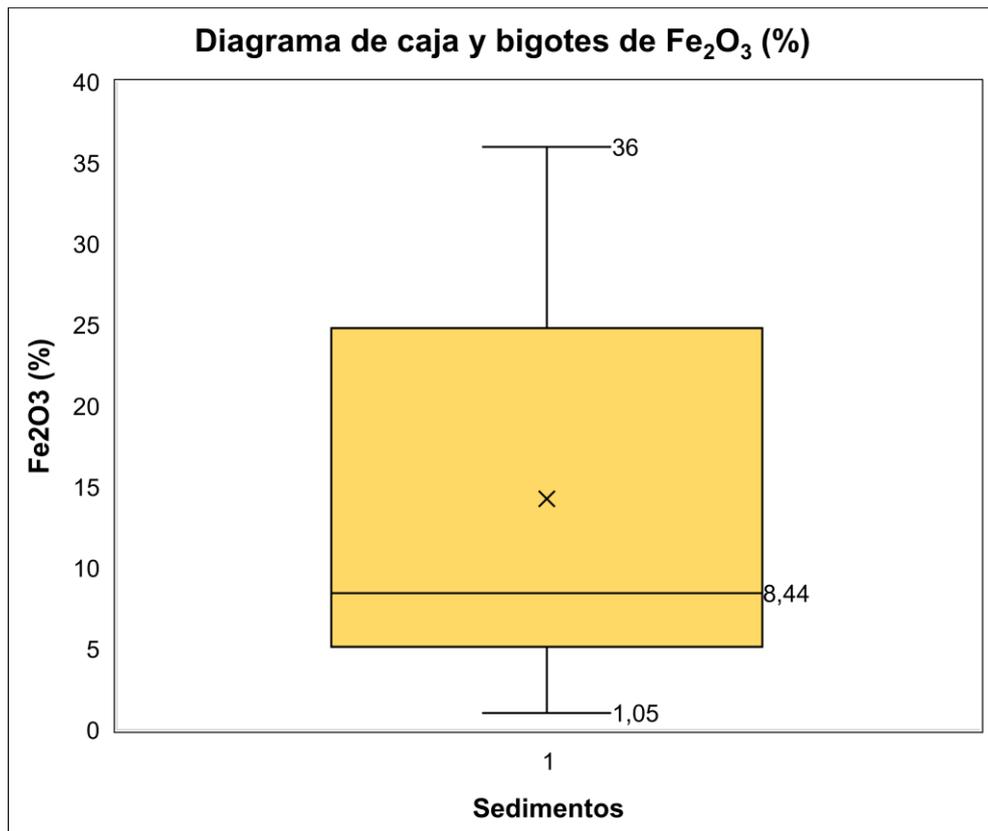


Figura 64. Diagrama de caja y bigotes de Fe₂O₃ (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 63, el rango de valor de concentración de Fe_2O_3 con mayor frecuencia está ubicado en la segunda barra, en la cual existen 7 clases con valores que oscilan de 1 hasta 13 %, estos valores entran dentro del rango que corresponde al valor de fondo. La curva representada es multimodal ya que existen dos valores máximos, rango uno de 1 a 13% y el segundo rango de 24 hasta el mayor.

En la Figura 64., se muestra el diagrama de caja y bigotes, el cual muestra los siguientes valores: fondo (mediana) tiene un valor de 8%, el valor máximo es de 36% y el valor mínimo de 1%.

Molibdeno (Mo)

El Clarke de concentración de molibdeno (Mo) en la corteza terrestre es de 1,2 ppm, comparando este valor con el valor del fondo (mediana) de Mo en sedimentos se deduce que el valor de fondo (115 ppm) es mayor que el Clarke de concentración.

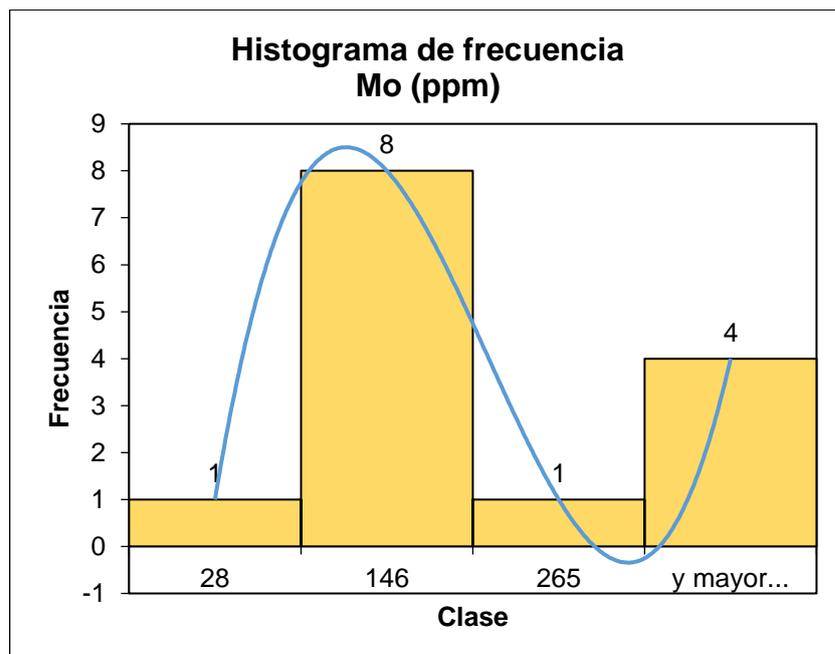


Figura 65. Histograma de frecuencia de Mo (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

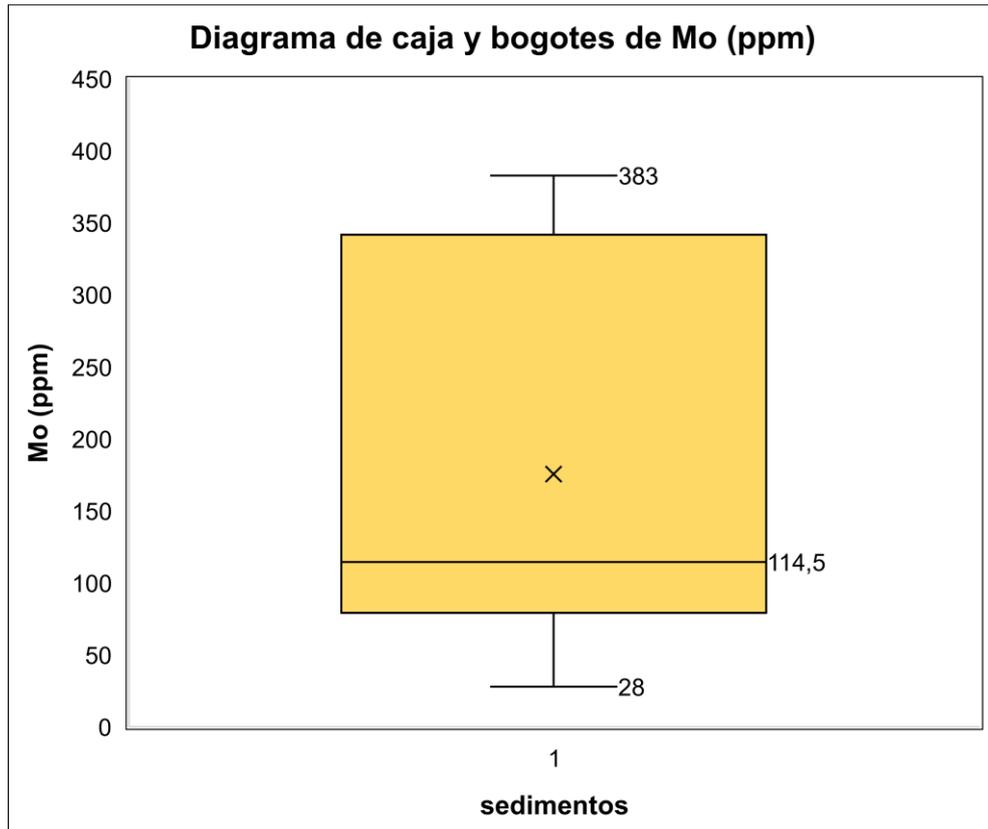


Figura 66. Diagrama de caja y bigotes de Mo (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 65, el rango de valores de concentración de Mo con mayor frecuencia se ubica en la segunda barra con valores que oscilan de 28 a 146 ppm, con una cantidad de 8 muestras, las cuales están dentro del valor de umbral. La curva corresponde a una multimodal ya que existe dos valores máximos, el primer rango con valores entre 28 a 146 ppm y el segundo rango con valores de 265 a mayor.

En el diagrama de caja y bigotes de la Figura 66, muestra los datos calculados de concentración de Mo (Tabla 16). La mediana tiene un valor de 115 ppm, el valor máximo de 383 ppm y el valor mínimo 28 ppm. No existen valores atípicos.

Circonio (Zr)

El Clarke de concentración de circonio (Zr) en la corteza terrestre es de 162 ppm, comparándola con el fondo (mediana) de Zr de los sedimentos es de 1621 ppm (tabla 16), se comprueba que el valor del fondo es mayor que el Clarke de concentración.

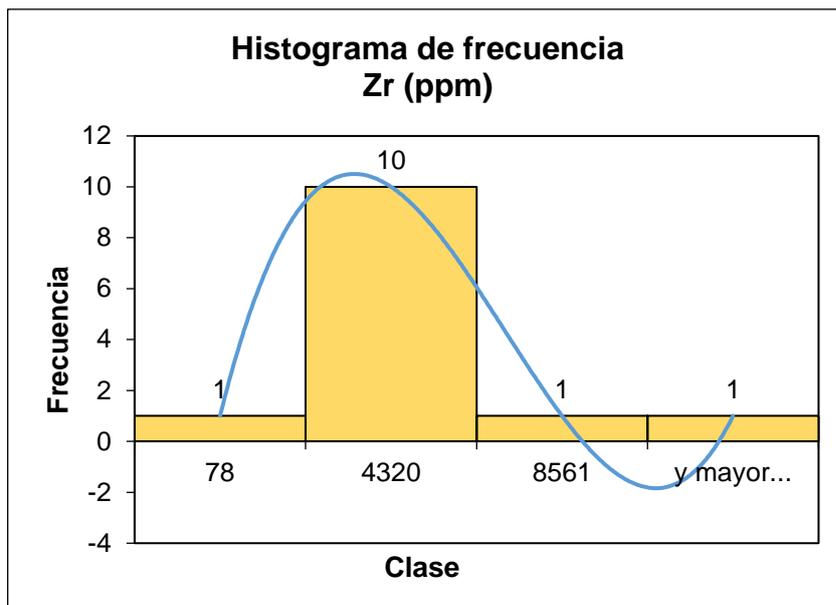


Figura 67. Histograma de frecuencia de Zr (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

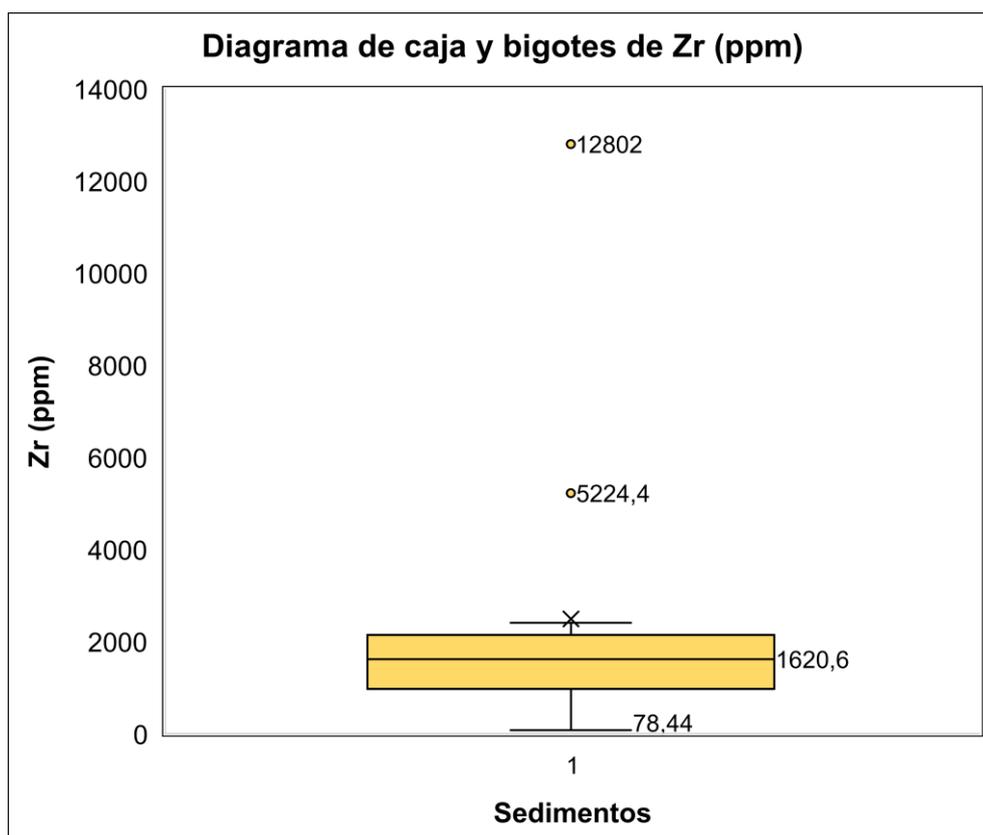


Figura 68. Diagrama de caja y bigotes de Zr (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

En la Figura 67, se muestra el histograma de frecuencias de Circonio (Zr), el rango de concentración con mayor frecuencia se ubica en la segunda barra, la cual expone valores comprendidos entre 78 y 4320 con una cantidad de 10 muestras.

El diagrama de caja y bigotes representado en la Figura 68, agrupa los valores de concentración de circonio (Tabla 16). El fondo o mediana tiene un valor de 1621 ppm, el valor máximo es de 12802 ppm y el valor mínimo de 78 ppm, en este caso existen valores atípicos en las muestras MSQP2 (5224 ppm) y MSQP3 (12802 ppm). En la muestra MSQP3 se identificó circón en 0,35%, lo cual corrobora las concentraciones elevadas de circonio en las muestras.

Plomo (Pb)

El Clarke de concentración del plomo en la corteza terrestre es de 13 ppm, comparándolo con el fondo (mediana) de Pb en sedimentos se puede decir que el valor del fondo (108 ppm) es mayor al Clarke de concentración. Existe un valor alto de 215 ppm presente en la muestra MSQ28.

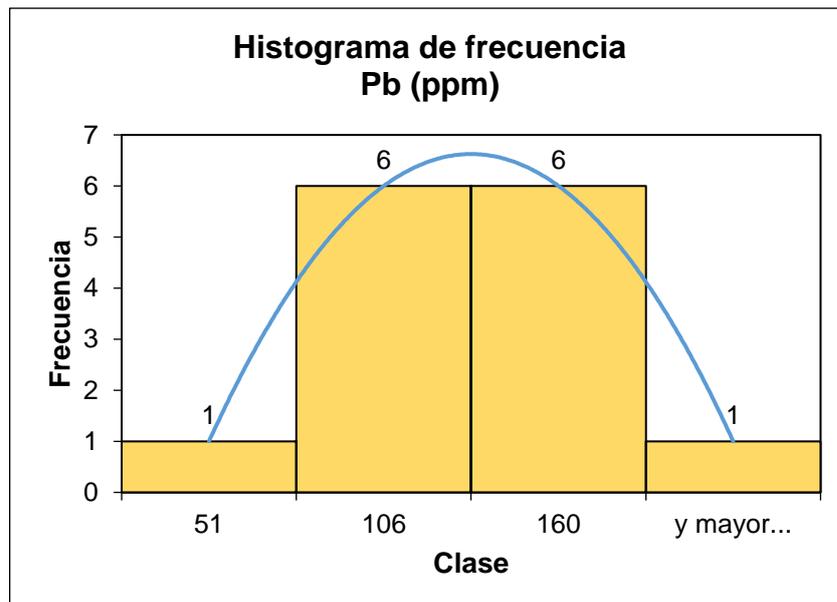


Figura 69. Histograma de frecuencia de plomo (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

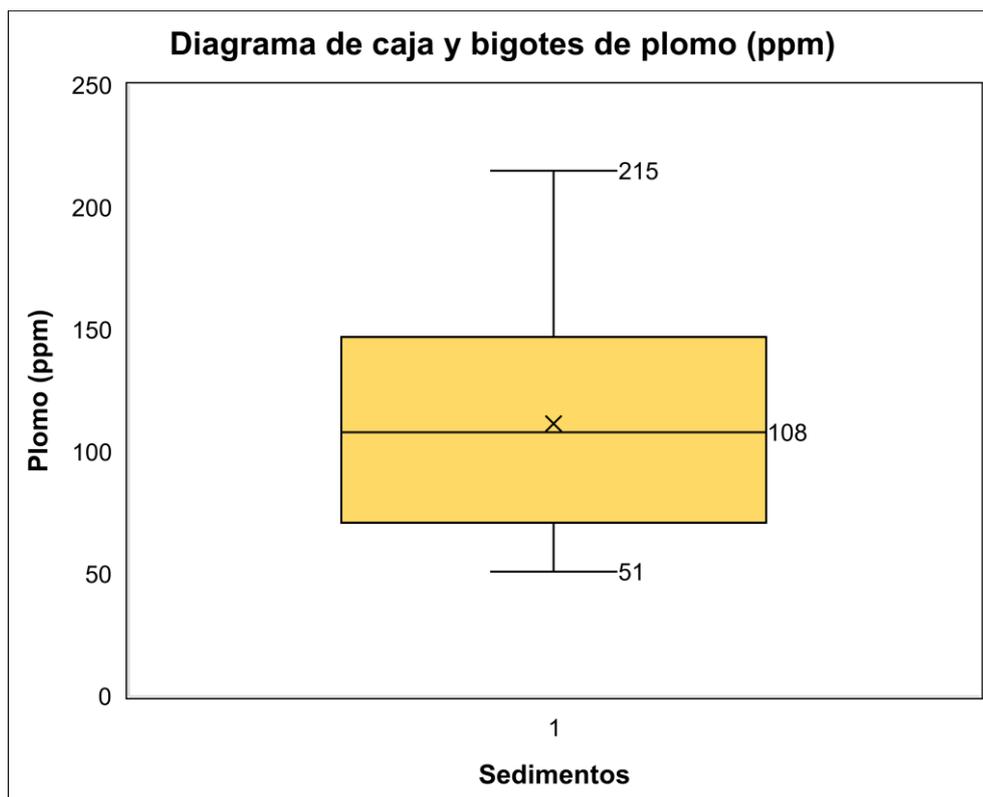


Figura 70. Diagrama de caja y bigotes de plomo (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 69, el rango de valores de concentración de plomo con mayor frecuencia se ubica en la segunda y tercera barra con valores que oscilan entre 51 y 106 ppm en la segunda barra y en la tercera barra con valores de 106 a 160 ppm, cada barra contiene 6 muestras. Los valores se encuentran dentro de fondo (108 ppm) y umbral (155 ppm).

El diagrama de caja y bigotes de la Figura 70, muestra los datos calculados de concentración de plomo en sedimentos. El valor de fondo (mediana) tiene un valor de 108 ppm, el valor máximo 215 ppm correspondiente a la muestra MSQ28 y un valor mínimo de 51 ppm. No existen valores anómalos o atípicos.

Cadmio (Cd)

El Clarke de concentración de cadmio en la corteza terrestre es de 0,16 ppm, comparando este valor con el fondo (mediana) de Cd presente en sedimentos de 67 ppm (Tabla 16), se afirma que el valor de fondo es mayor al Clarke de concentración.

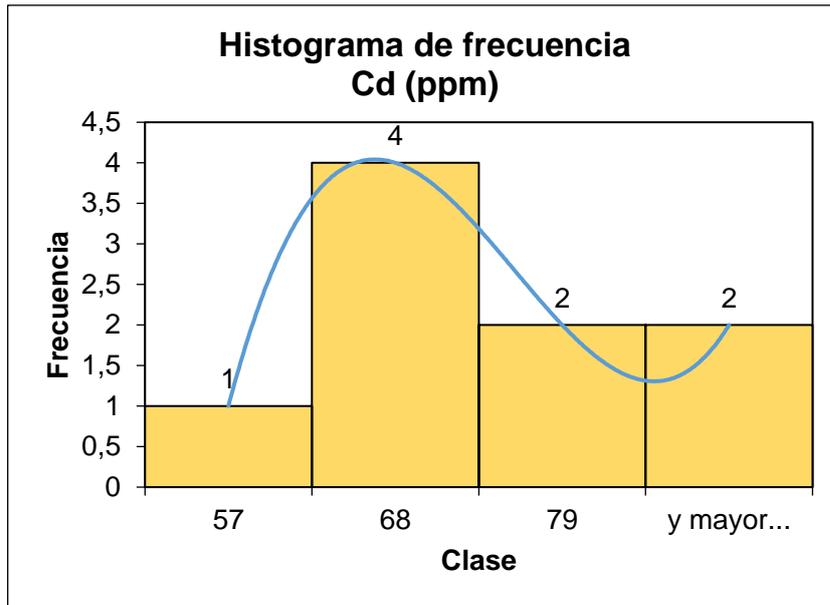


Figura 71. Histograma de frecuencia de cadmio (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

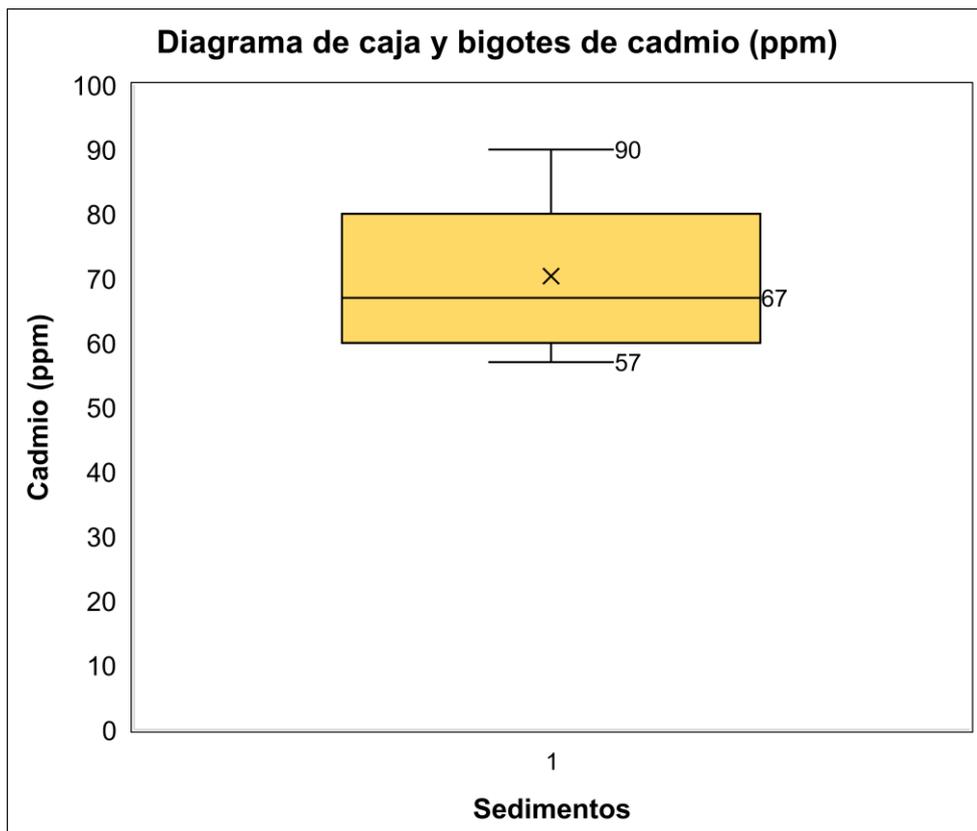


Figura 72. Diagrama de caja y bigotes de cadmio (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

En la figura 71, se muestra el histograma de frecuencia de cadmio (Cd), el rango de frecuencia de concentración de este elemento se ubica en la segunda barra con un total de 4 muestras, con valores que oscilan entre 57 y 68 ppm.

El diagrama de caja y bigotes representado en la Figura 72, nos agrupa los datos calculados de concentración de cadmio. El fondo o mediana tiene un valor de 67 ppm, el valor máximo es de 90 ppm y el valor mínimo de 57 ppm. No existen valores atípicos.

Cobalto (Co)

El Clarke de concentración de cobalto en la corteza terrestre es de 29 ppm, comparándolo con el valor de fondo (mediana) de Co en los sedimentos es de 735 ppm (Tabla 16), este valor es mayor al Clarke de concentración.

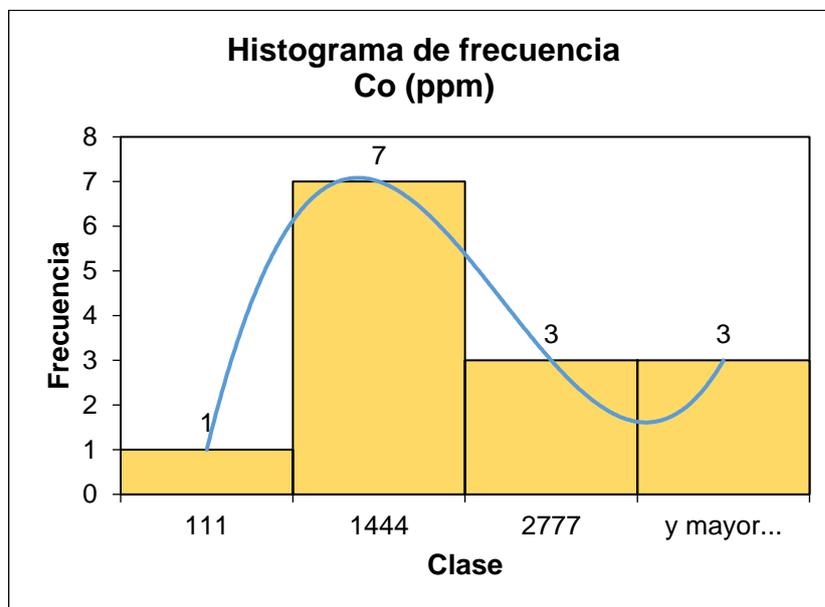


Figura 73. Histograma de frecuencia de cobalto (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

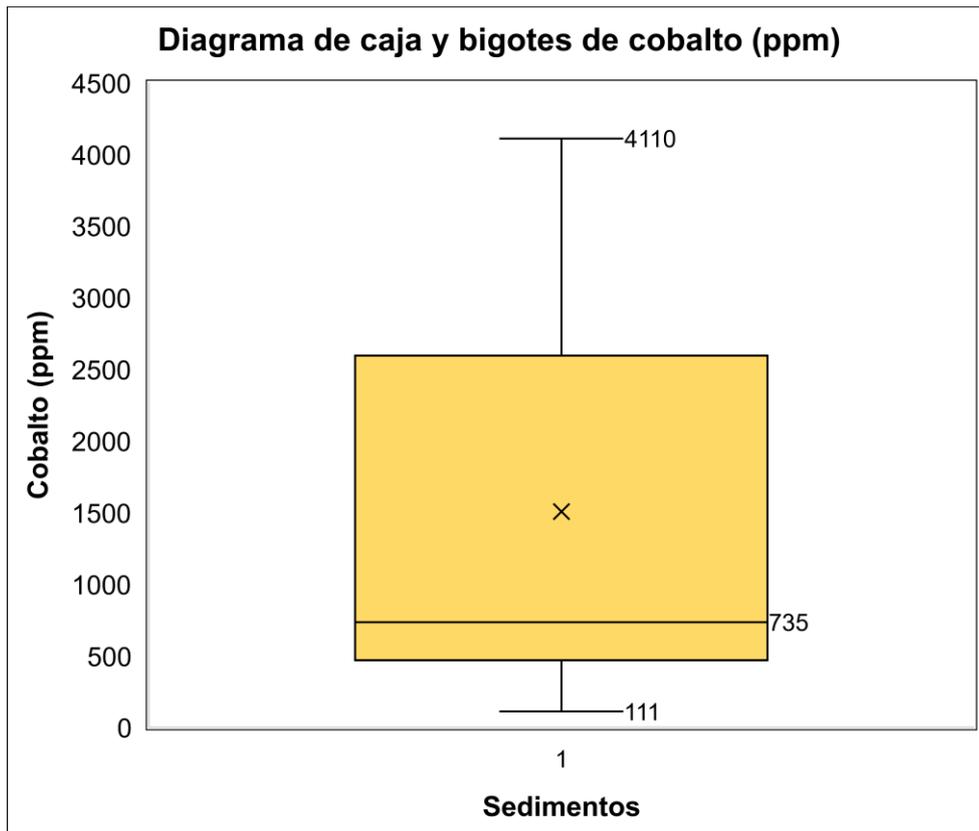


Figura 74. Diagrama de caja y bigotes de cobalto (sedimento).
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 73, el rango de concentración de cobalto con mayor frecuencia está ubicado en la segunda barra, en la cual existen 7 muestras con valores que oscilan de 111 a 1444 ppm. Estos valores están dentro del rango que corresponde al umbral.

En la Figura 74, se muestra el diagrama de caja y bigotes, el cual muestra los siguientes valores: fondo (mediana) tiene un valor de 735 ppm, el valor máximo es 4110 ppm y el valor mínimo 111 ppm. No existen valores atípicos o anómalos.

6.6.2. Coeficiente de correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios en sedimentos.

Tabla 17. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios y elementos traza en sedimentos.

	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	CaO (%)	K2O (%)	Fe2O3 (%)	MnO (%)	TiO2 (%)	P2O5 (%)	S (%)	U (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Pd (ppm)	Nb (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ce (ppm)	Sn (ppm)	
SiO2 (%)	1.00																									
Al2O3 (%)	0.07	1.00																								
CaO (%)	0.38	0.26	1.00																							
K2O (%)	0.21	0.82	0.85	1.00																						
Fe2O3 (%)	-0.97	-0.24	-0.48	-0.50	1.00																					
MnO (%)	-0.89	-0.25	-0.52	-0.55	0.88	1.00																				
TiO2 (%)	-0.76	-0.50	-0.52	-0.77	0.80	0.74	1.00																			
P2O5 (%)	0.67	-0.13	-0.27	0.07	-0.59	-0.70	-0.98	1.00																		
S (%)	-0.09	0.84	0.12	1.00	-0.03	-0.01	-0.05	ND	1.00																	
U (ppm)	-0.36	-0.77	-0.44	-0.53	0.57	0.69	0.70	1.00	ND	1.00																
Mo (ppm)	0.00	-0.36	-0.48	-0.43	0.01	0.30	0.40	-0.21	-0.39	0.91	1.00															
Bi (ppm)	-0.52	-0.45	-0.60	-0.73	0.57	0.59	0.72	0.91	-0.26	0.86	0.61	1.00														
Cd (ppm)	0.37	-0.51	-0.24	-0.45	-0.14	-0.11	0.05	0.50	-1.00	0.20	0.13	0.26	1.00													
Cu (ppm)	-0.30	-0.68	-0.56	-0.86	0.43	0.45	0.93	-0.87	-1.00	-0.08	0.32	0.52	0.99	1.00												
Pb (ppm)	-0.50	-0.32	-0.44	-0.62	0.53	0.45	0.58	0.75	-0.30	0.59	0.34	0.88	0.29	0.51	1.00											
Zn (ppm)	-0.75	-0.25	-0.64	-0.64	0.79	0.83	0.61	-0.77	-0.10	0.76	0.37	0.69	0.00	0.59	0.58	1.00										
Co (ppm)	-0.97	-0.22	-0.48	-0.47	1.00	0.87	0.79	-0.70	-0.04	0.57	0.02	0.58	-0.15	0.39	0.55	0.78	1.00									
Pd (ppm)	-0.01	0.35	0.36	0.34	-0.27	-0.44	-0.47	-1.00	-1.00	-0.78	-0.22	-0.21	0.44	0.17	-0.17	-0.38	-0.21	1.00								
Nb (ppm)	0.21	-0.55	-0.42	-0.50	-0.16	0.06	0.33	0.06	-0.60	0.92	0.90	0.54	0.43	0.31	0.32	0.16	-0.14	-0.28	1.00							
Zr (ppm)	-0.33	-0.34	-0.34	-0.35	0.31	0.59	0.60	-0.46	-1.00	0.62	0.64	0.25	0.15	0.68	0.00	0.31	0.30	-0.03	0.45	1.00						
Ba (ppm)	0.47	-0.53	-0.28	-0.45	-0.40	-0.22	0.18	0.19	-0.57	0.72	0.69	0.48	0.46	0.24	0.43	-0.05	-0.39	-0.37	0.91	0.04	1.00					
Rb (ppm)	0.10	0.30	0.56	0.71	-0.18	-0.26	-0.33	0.43	0.88	0.00	-0.35	-0.34	-0.56	-0.76	-0.16	-0.33	-0.19	-0.13	-0.45	-0.26	-0.39	0.44	1.00			
Sr (ppm)	0.24	0.21	0.94	0.70	-0.35	-0.36	-0.42	0.25	-0.23	-0.27	-0.42	-0.39	-0.18	-0.40	-0.36	-0.51	-0.37	0.37	-0.39	-0.29	-0.28	0.44	0.27	1.00		
Ce (ppm)	-0.84	0.30	-0.98	-1.00	0.77	0.84	-0.03	ND	ND	ND	-0.69	0.67	ND	-1.00	0.31	0.51	0.76	ND	-0.84	-0.74	-0.91	-1.00	0.27	1.00		
Sn (ppm)	0.10	-0.06	0.57	0.27	-0.32	-0.31	-0.35	-1.00	-1.00	-0.99	-0.44	-0.54	0.57	0.19	-0.43	-0.27	-0.25	0.86	-0.34	-0.42	-0.36	-0.28	0.50	ND	1.00	
	Maximo		Medio		Minimo																					

Fuente y elaboración: La Autora

Los coeficientes de correlación se clasifican en primer lugar en positivos y negativos. Luego en correlación alta (cercana a 1 o -1) y correlación baja (cercana a 0). En la tabla 17, se muestran las correlaciones que existen entre los elementos químicos presentes en los sedimentos. Las correlaciones más significativas o más fuertes están marcadas con rojo, mientras que las correlaciones mínimas o más bajas están marcadas con verde. Para la presente investigación se tomaron las correlaciones siguientes: Al₂O₃ – K₂O, Fe₂O₃ – MnO, Fe₂O₃ – TiO₂, Fe₂O₃ – Co, Fe₂O₃ – Zn, MnO – TiO₂ y Mn – Co.

$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$

La correlación positiva existente entre Al_2O_3 y K_2O (Figura 75), se da debido a la presencia de feldespatos alcalinos denominados albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), este mineral está presente en la MSQP3. La albita puede contener cantidades apreciables tanto de calcio (Ca) como de potasio (K) los cuales sustituyen al sodio en la red cristalina. Según lo expuesto por (Cornelis & Cornelius, 1997), el K se presenta en cantidades significativas en el extremo de la serie de la albita, la cual va en orden de albita baja formada a temperaturas menores a 400°C , albita intermedia y albita alta formada a temperaturas mayores a 1000°C . Este tipo de mineral es típico de rocas ígneas tales como la riolita y granito, se encuentra asociado a minerales de cuarzo y micas tales como la moscovita.

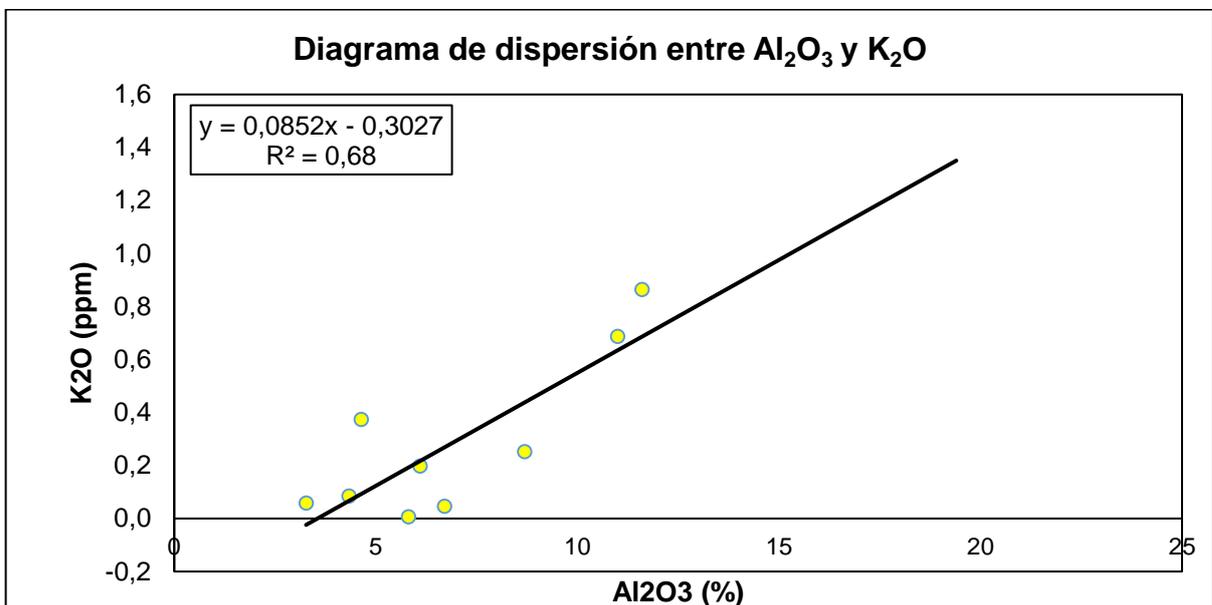


Figura 75. Diagrama de dispersión entre Al_2O_3 y K_2O (sedimentos)

Fuente y elaboración: La Autora

$\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MnO}$

La correlación positiva existente entre Fe_2O_3 y MnO (Figura 76), se da por la presencia de mineral magnetita en los sedimentos, el manganeso (Mn) se presenta en la magnetita sustituyendo al Fe^{+2} , esta sustitución ocurre ya que tanto el hierro (Fe) como el manganeso (Mn) tienen la misma valencia +2 y radios iónicos similares. Estos sedimentos son producto de la desintegración física de las rocas aledañas a los drenajes.

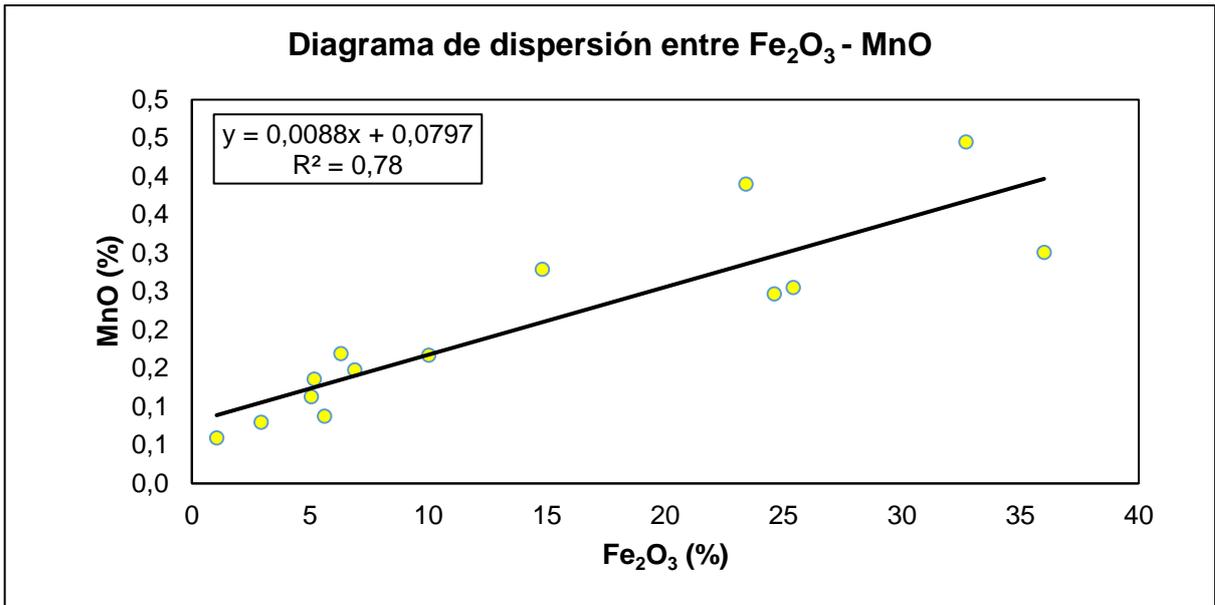


Figura 76. Diagrama de dispersión entre Fe_2O_3 y MnO (sedimentos)
Fuente y elaboración: La Autora

Fe_2O_3 - TiO_2

La correlación positiva existente entre Fe_2O_3 - TiO_2 (Figura 77), es por la presencia de mineral ilmenita (FeTiO_3) identificado en la muestra de sedimento MSQP3. La ilmenita está asociada a la magnetita (Fe_3O_4).

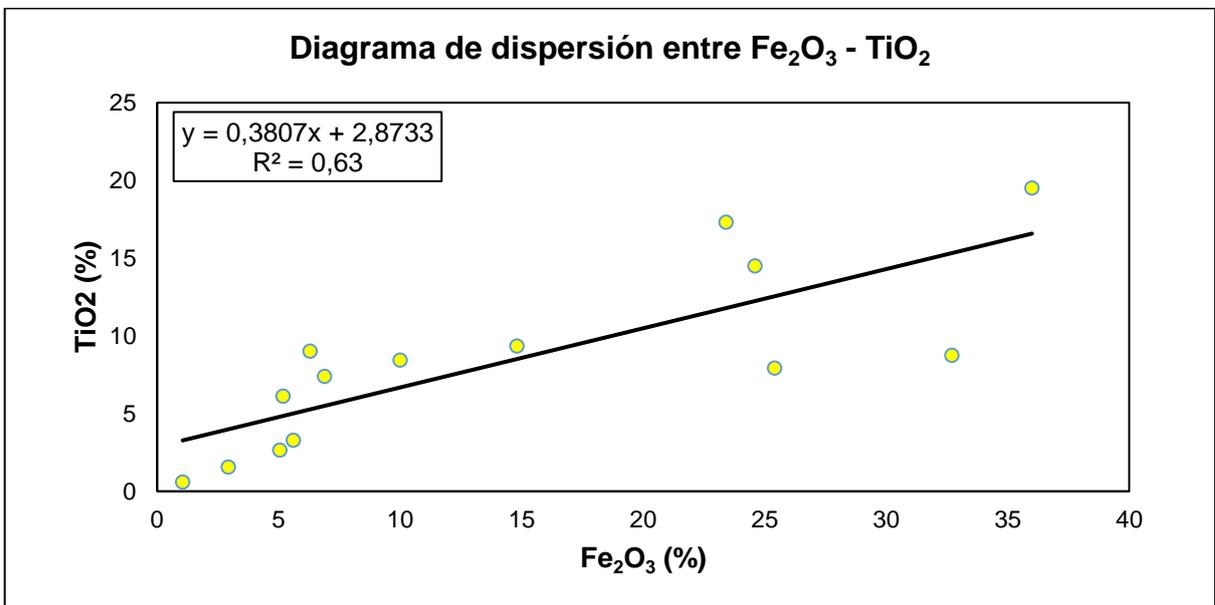


Figura 77. Diagrama de dispersión entre Fe_2O_3 - TiO_2 (sedimentos)
Fuente y elaboración: La Autora

Fe₂O₃ – Co

La correlación positiva existente entre Fe₂O₃ y Co (Figura 78), es por la presencia de magnetita (Fe₃O₄), el cobalto (Co) se introduce en la estructura de la magnetita por intercambio iónico ya que los dos contienen valencia +2 y de igual manera radios iónicos similares.

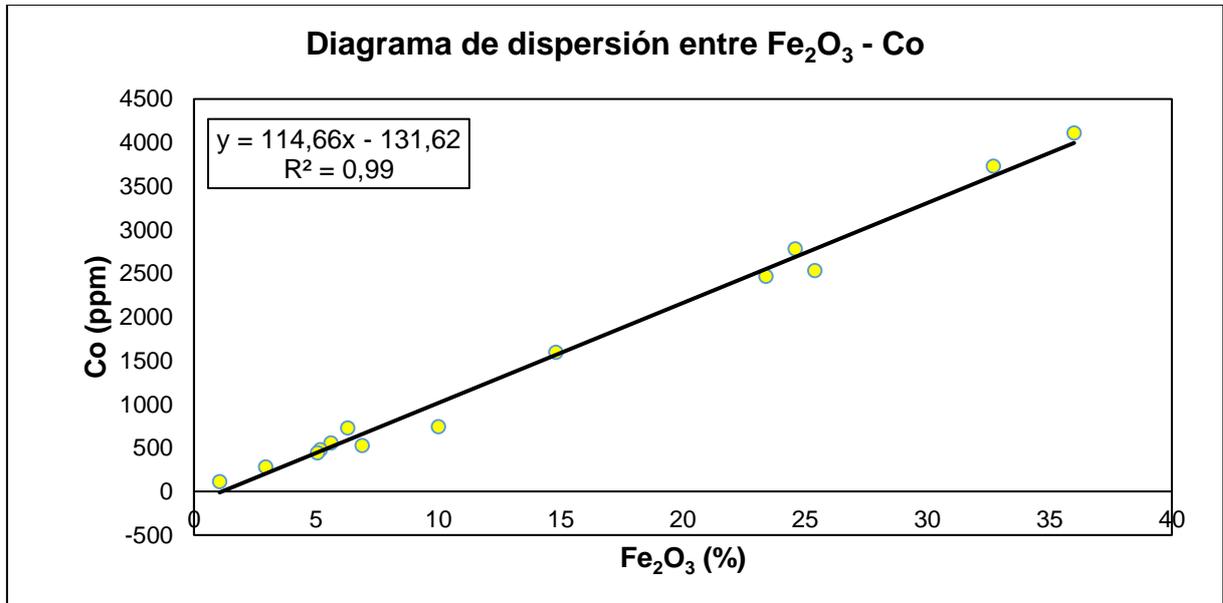


Figura 78. Diagrama de dispersión entre Fe₂O₃ – Co (sedimentos)

Fuente y elaboración: La Autora

Fe₂O₃ – Zn

La correlación positiva existente entre Fe₂O₃ y Zn (Figura 79), es por la presencia de óxidos de hierro como la hematita (Fe₂O₃) y magnetita (Fe₃O₄) en los sedimentos, estos dos minerales férricos tienden a absorber Zn y otros metales como manganeso.

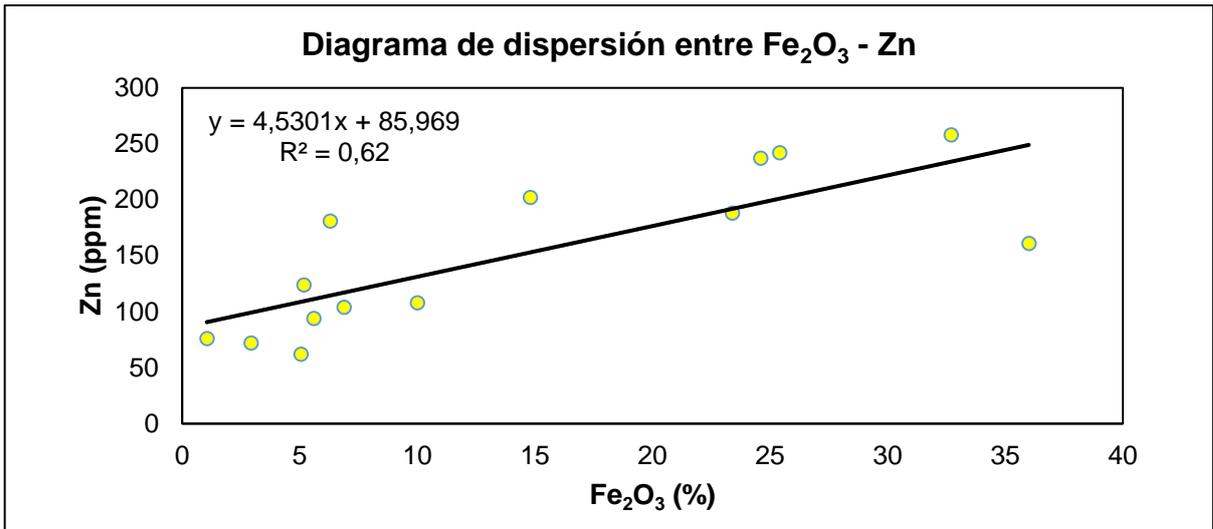


Figura 79. Diagrama de dispersión entre Fe₂O₃ y Zn (sedimentos)
Fuente y elaboración: La Autora

MnO – Zn y Mn – Co

La correlación positiva existente entre MnO - Zn y MnO y Co (Figura 80 y 81), es producto de la posible presencia de óxido de manganeso (pirolusita MnO₂) en los sedimentos, estos óxidos absorben metales como el zinc (Zn) y cobalto (Co).

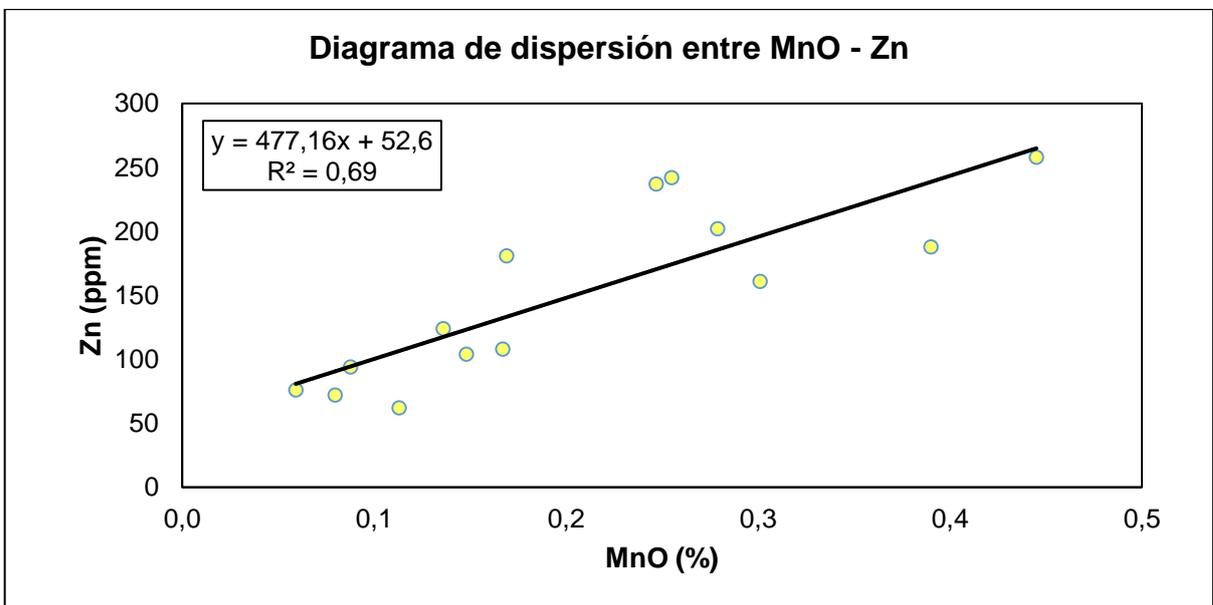


Figura 80. Diagrama de dispersión entre MnO – Zn (sedimentos)
Fuente y elaboración: La Autora

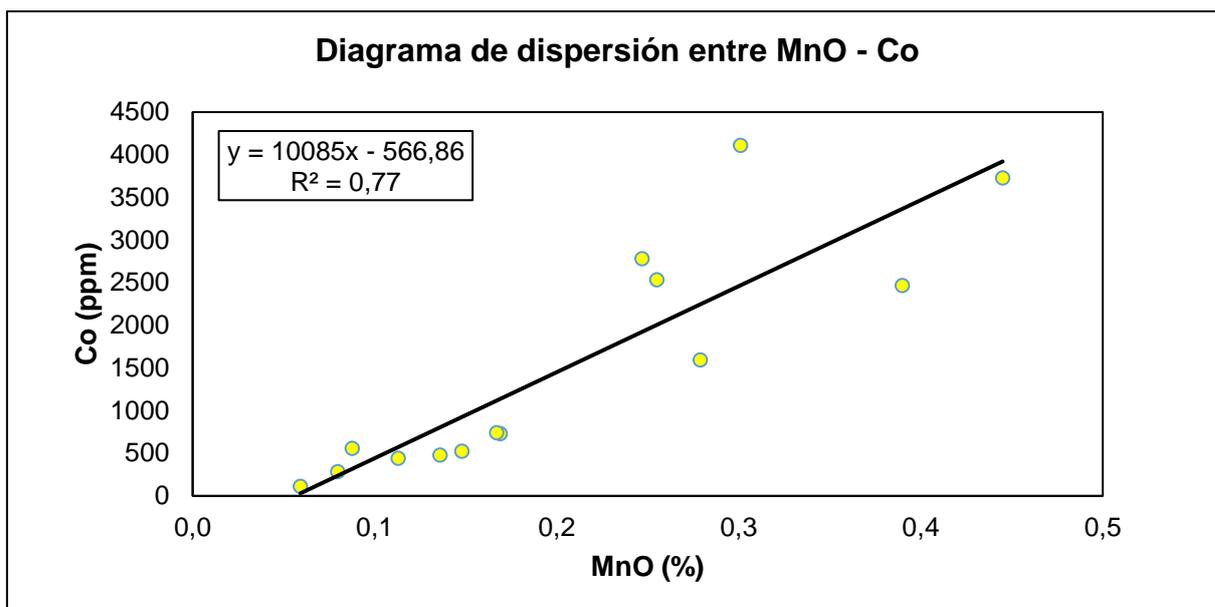


Figura 81. Diagrama de dispersión entre MnO – Co (sedimentos)

Fuente y elaboración: La Autora

Las correlaciones positivas existentes entre los siguientes elementos Cd – Cu, Bi – Pb y Zn – Co (ver tabla 17), muestran la posible presencia de sulfuros u óxidos, ya que los mencionados elementos son calcófilos y tienen afinidad por el azufre.

6.7. Análisis de resultados estadísticos de los elementos químicos presentes en suelos.

Para la realización de la interpretación estadística de los elementos químicos presentes en las muestras de suelos, se tomó las concentraciones de elementos traza y mayoritarios obtenidas en los ensayos de FRX.

Los elementos que presentan interés y los cuales serán analizados son los siguientes: V₂O₅, Mo y Zr.

6.7.1. Resultados estadísticos de elementos mayoritarios y traza presentes en suelos.

Tabla 18. Valores estadísticos de muestras de suelos.

	V2O5 (ppm)	Mo (ppm)	Zr (ppm)
Fondo	785	81	1998
Umbral	1963	133	3657
Sub anomalía	3141	185	5316
Anomalía	4320	237	6976

Fuente y elaboración: La Autora

En la tabla 18., se observa que en las muestras de suelos la concentración, los elementos V_2O_5 , Mo y Zr, son sub anómalas.

Vanadio (V_2O_5)

El Clarke de concentración del vanadio en los suelos es de 100 ppm (Smith y Huyck, 1999), comparando este valor con el fondo (mediana) de vanadio en los suelos se puede decir que el valor de fondo (785 ppm) es mayor al Clarke de concentración. Existe un valor anómalo 3170 ppm, presente en la muestra MSS10.

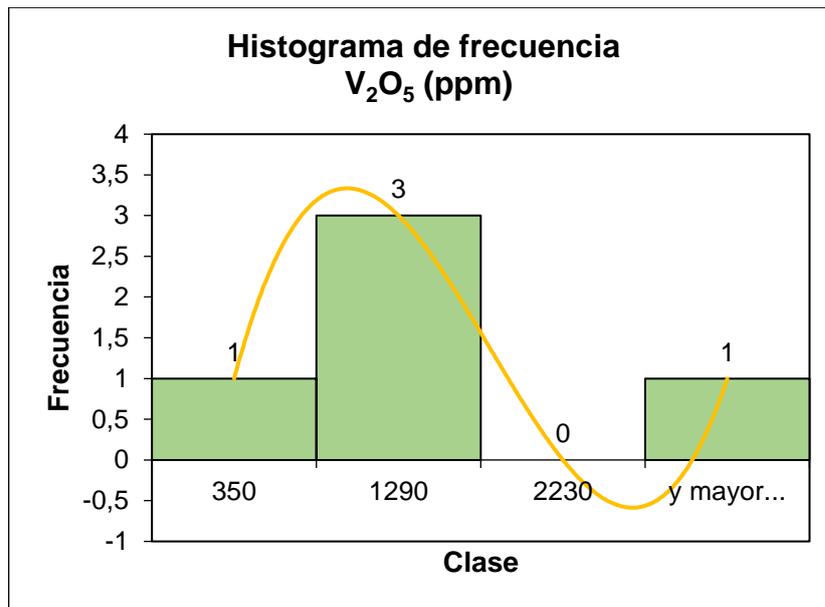


Figura 82. Histograma de frecuencia de V_2O_5 (suelos).
Fuente y elaboración: La Autora

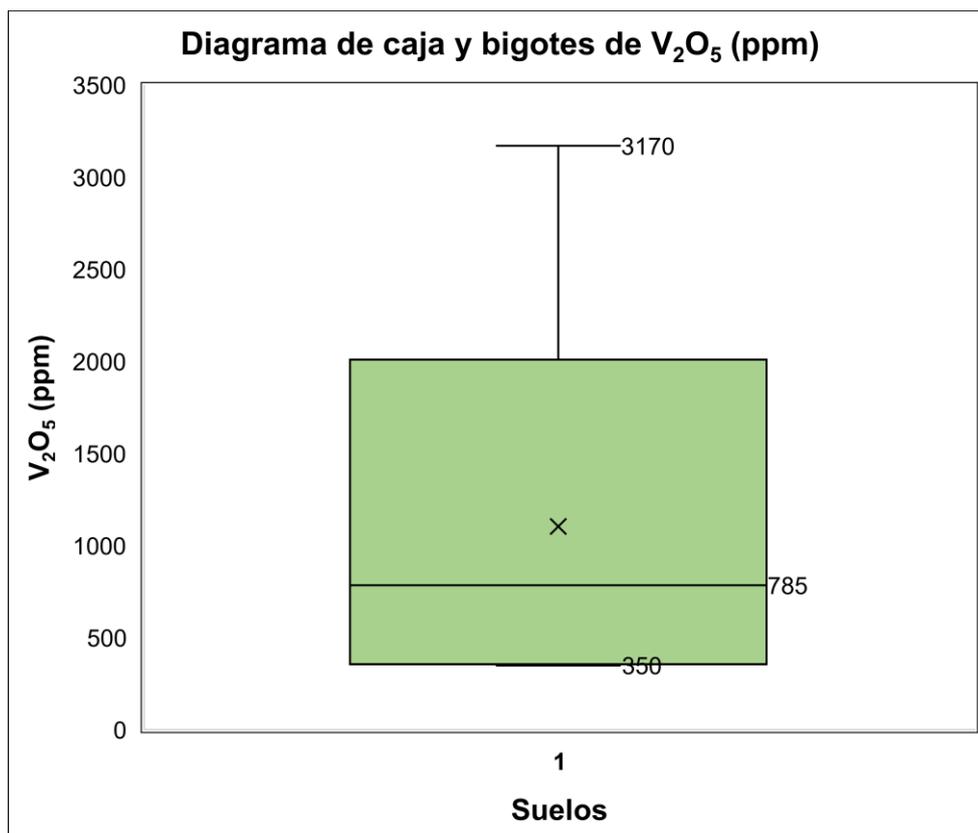


Figura 83. Diagrama de caja y bigotes de V_2O_5 (suelos).
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 82, el rango de valor de concentración de V_2O_5 con mayor frecuencia está ubicado en la segunda barra, en la cual existen 3 clases con valores que oscilan de 350 a 1290 ppm, estos valores se encuentran dentro del rango que corresponde al valor de fondo.

En la Figura 83, se muestra el diagrama de caja y bigotes, el cual muestra los siguientes valores: fondo (mediana) tiene un valor de 785 ppm, el valor máximo es de 3170 ppm y el valor mínimo es de 350 ppm.

Molibdeno (Mo)

El Clark de concentración de molibdeno en los suelos es de 2 ppm, comparando este valor con el valor de fondo (mediana) de molibdeno en los suelos, se puede decir que el valor de fondo (81 ppm) es mayor al Clarke de concentración. Existe un valor anómalo de 206 ppm presente en la muestra MSS14.

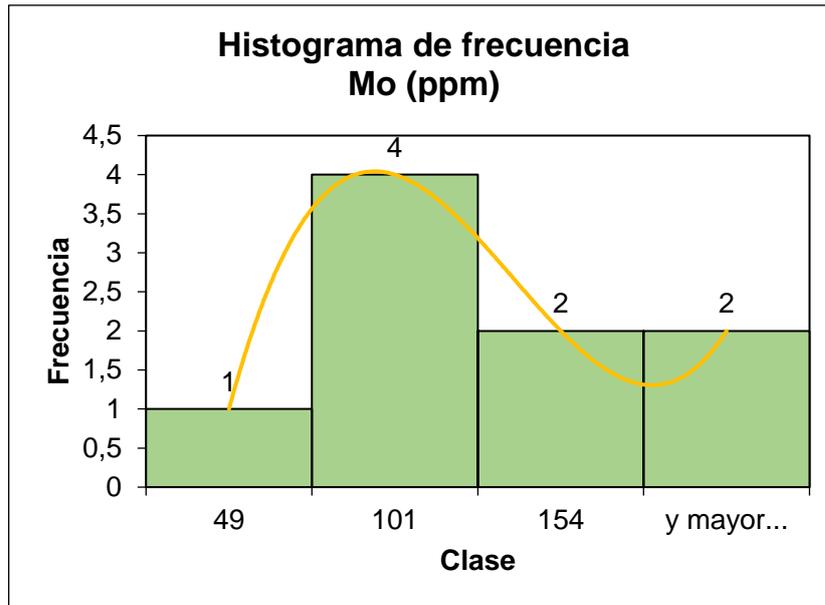


Figura 84. Histograma de frecuencia de Mo (suelos).
Fuente y elaboración: La Autora

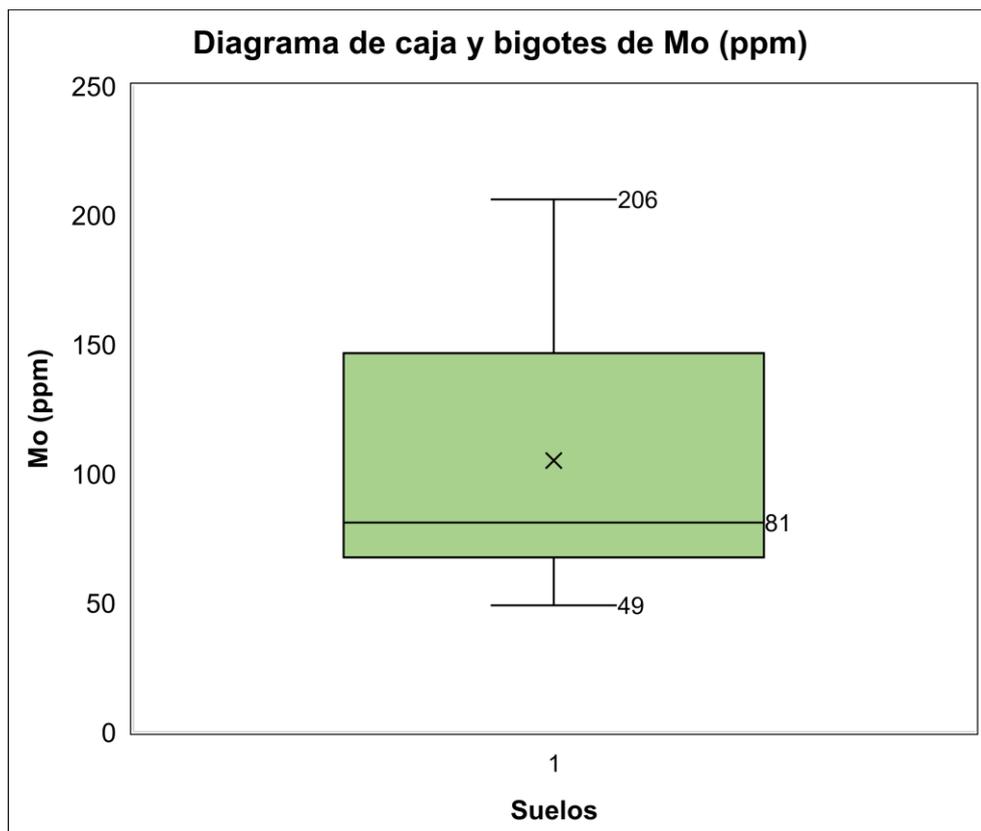


Figura 85. Diagrama de caja y bigotes de Mo (suelos).
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 84, el rango de valor de concentración de Mo con mayor frecuencia está ubicado en la segunda barra, en la cual existen 4 clases con valores que oscilan de 49 a 101 ppm, estos valores se encuentran dentro del rango que corresponde al valor de fondo.

En la Figura 85., se muestra el diagrama de caja y bigotes, el cual muestra los siguientes valores: fondo (mediana) tiene un valor de 81 ppm, el valor máximo es de 206 ppm y el valor mínimo es de 49 ppm.

Circonio (Zr)

El Clarke de concentración de circonio en los suelos es de 300 ppm, comparando este valor con el valor fondo (mediana) de circonio en los suelos, se puede decir que el valor de fondo (1998) es mayor al Clarke de concentración. Existe un valor anómalo de 5358 ppm presente en la muestra MSS10.

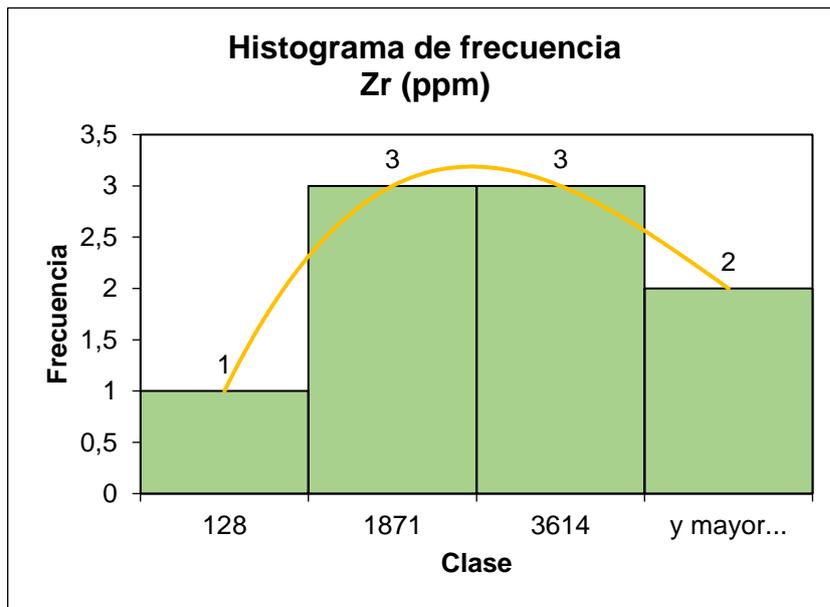


Figura 86. Histograma de frecuencia Zr (suelos).

Fuente y elaboración: La Autora

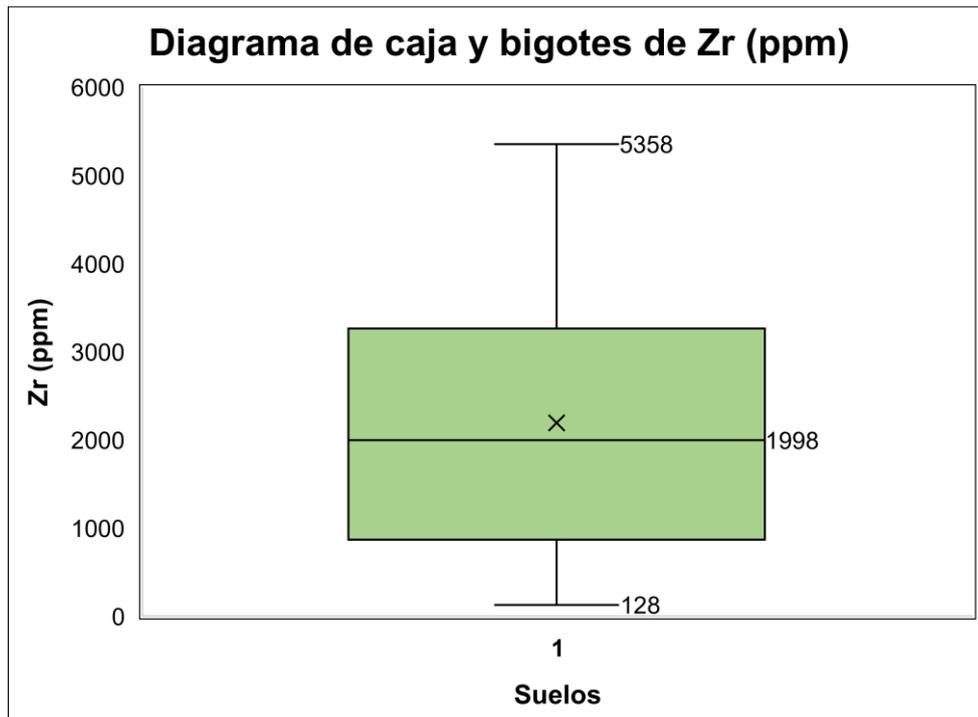


Figura 87. Diagrama de caja y bigotes de Zr (suelos).
Fuente y elaboración: La Autora

Como se observa en la Figura 86., el rango de valor de concentración de Zr con mayor frecuencia está ubicado en la segunda y tercera barra, en la cual existen 3 clases en cada una de ellas con valores que oscilan en la segunda barra de 128 a 1871 ppm y en la tercera barra con valores comprendidos entre 1871 a 3614 ppm, estos valores se encuentran dentro del rango que corresponde al valor de fondo.

En la Figura 87, se muestra el diagrama de caja y bigotes, el cual muestra los siguientes valores: fondo (mediana) tiene un valor de 1998 ppm, el valor máximo es de 5358 ppm y el valor mínimo es de 128 ppm. No existen valores atípicos.

6.7.2. Coeficiente de correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios en suelos.

Tabla 19. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios y traza en suelos.

	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	CaO (%)	Fe2O3 (%)	MnO (%)	TiO2 (%)	S (%)	V2O5 (ppm)	Mo (ppm)	Bi (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Co (ppm)	Nb (ppm)	Zr (ppm)	Rb (ppm)	Ce (ppm)	
SiO2 (%)	1.00																			
Al2O3 (%)	0.67	1.00																		
CaO (%)	-0.45	0.11	1.00																	
Fe2O3 (%)	-0.94	-0.68	0.48	1.00																
MnO (%)	-0.84	-0.72	0.30	0.93	1.00															
TiO2 (%)	-0.98	-0.64	0.51	0.93	0.81	1.00														
S (%)	0.02	0.51	-0.58	-0.17	-0.16	-0.08	1.00													
V2O5 (ppm)	-0.32	-0.63	-0.39	0.38	0.39	0.38	-1.00	1.00												
Mo (ppm)	-0.43	-0.28	-0.07	0.23	0.19	0.36	0.42	-0.05	1.00											
Bi (ppm)	-0.73	-0.48	0.44	0.83	0.68	0.64	-0.67	0.26	0.17	1.00										
Cd (ppm)	-0.52	0.14	-0.62	0.47	0.54	0.43	1.00	-1.00	0.88	-1.00	1.00									
Cu (ppm)	-0.97	-0.90	0.56	0.98	0.97	0.99	-1.00	1.00	0.72	1.00	0.31	1.00								
Pb (ppm)	-0.82	-0.73	0.23	0.92	0.92	0.76	-0.17	0.48	0.31	0.86	0.48	0.98	1.00							
Zn (ppm)	-0.80	-0.69	0.12	0.88	0.96	0.74	0.11	0.58	0.32	0.70	0.72	0.88	0.94	1.00						
Co (ppm)	-0.96	-0.66	0.44	0.91	0.89	0.91	-0.01	0.01	0.47	0.72	0.61	0.94	0.83	0.85	1.00					
Nb (ppm)	-0.63	-0.45	0.07	0.42	0.30	0.69	0.20	0.71	0.46	-0.17	0.49	0.98	0.21	0.26	0.49	1.00				
Zr (ppm)	-0.69	-0.69	-0.02	0.76	0.74	0.70	-0.12	0.94	0.21	0.61	0.39	1.00	0.81	0.79	0.58	0.43	1.00			
Rb (ppm)	-0.91	-0.70	0.35	0.94	0.96	0.84	-0.11	0.15	0.66	0.84	0.64	0.93	0.95	0.93	0.96	0.34	0.66	1.00		
Ce (ppm)	-0.58	-0.41	0.60	0.78	0.59	0.57	-0.91	0.89	-0.22	0.58	ND	ND	0.67	0.44	0.57	-0.14	0.34	0.73	1.00	
	Maximo		Medio		Minimo															

Fuente y elaboración: La Autora

Los coeficientes de correlación se clasifican en primer lugar en positivos y negativos. Luego en correlación alta (cercana a 1 o -1) y correlación baja (cercana a 0). En la Tabla 19, se muestran las correlaciones que existen entre los elementos químicos presentes en los suelos. Las correlaciones más significativas o más fuertes están marcadas con rojo, mientras que las correlaciones mínimas o más bajas están marcadas con verde. Para la presente investigación se tomaron las correlaciones siguientes: SiO₂ - Al₂O₃, Fe₂O₃ – MnO, Fe₂O₃ – TiO₂.

SiO₂ – Al₂O₃

La correlación positiva que existe entre SiO₂ y Al₂O₃ (Figura 88), es por la presencia de arcillas, ya que las arcillas son el componente principal tanto de los suelos como de los sedimentos. En la muestra MSS27, se presenta el mineral arcilloso caolinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄).

Los feldespatos también forman parte de los minerales aluminosilicatos, estos minerales también son comunes en los suelos, en la muestra MSS29 se presenta el mineral albita (NaAlSi₃O₈).

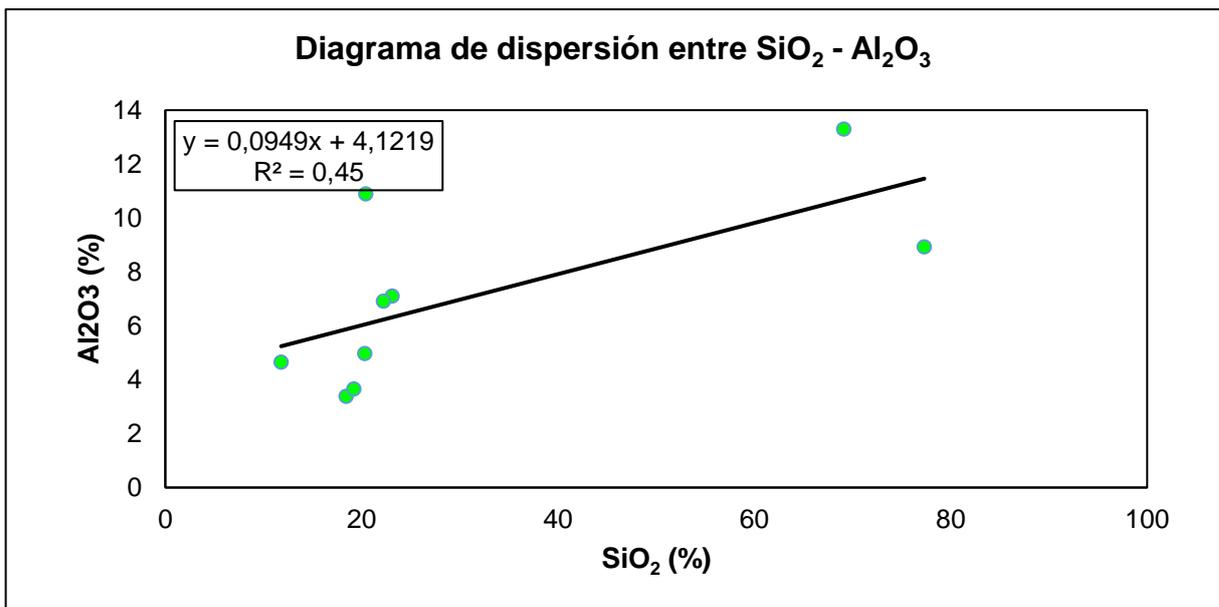


Figura 88. Diagrama de dispersión entre SiO₂ - Al₂O₃ (suelos).

Fuente y elaboración: La Autora

Fe₂O₃ - MnO

La correlación positiva existente entre Fe₂O₃ y MnO (Figura 89), es por la presencia de magnetita (Fe₃O₄), el Mn se aloja en la estructura de la magnetita al reemplazar al Fe⁺², esta sustitución ocurre ya que los dos tienen valencia +2 y similares radios iónicos.

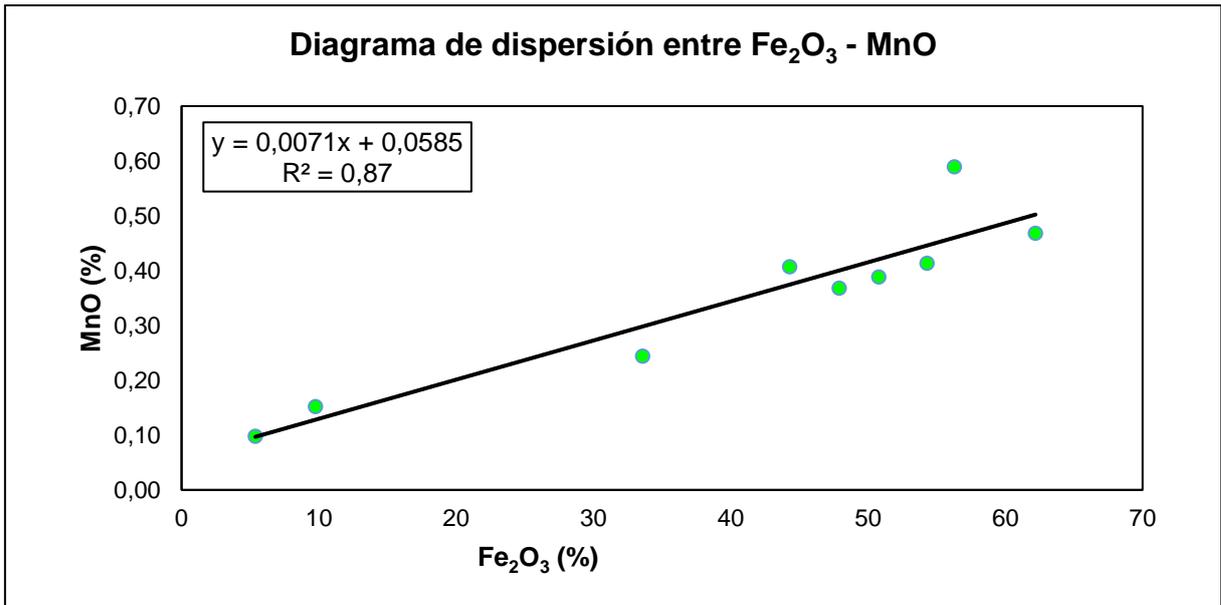


Figura 89. Diagrama de dispersión entre Fe₂O₃ – MnO (suelos)
Fuente y elaboración: La Autora

Fe₂O₃ – TiO₂

La correlación positiva existente entre Fe₂O₃ – TiO₂ (Figura 90), se da por la presencia de magnetita la cual contiene porcentajes pequeños de Titanio, el Ti⁴⁺ sustituye al Fe³⁺ (Cornelis y Cornelius, 1997).

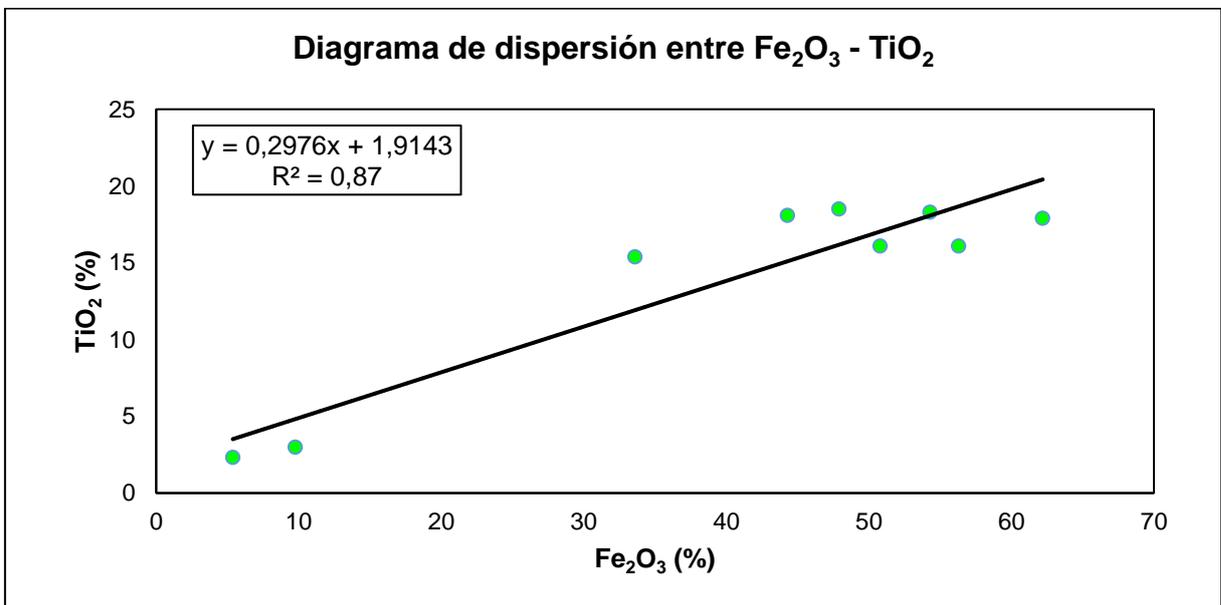


Figura 90. Diagrama de dispersión entre Fe₂O₃ - TiO₂ (suelos).
Fuente y elaboración: La Autora

Las correlaciones positivas entre el Cu y Pb, Zn, Co son por la posible presencia de sulfuros, ya que los elementos presentes son calcófilos y tienen afinidad por el azufre.

La correlación positiva siguiente también se daría por la presencia de sulfuros, ya que estos elementos son calcófilos, Mo y Cd, Cu.

CONCLUSIONES

- ✓ El estudio de prospección geoquímica realizado en el sector Carboncillo, cantón Saraguro, permitió identificar zonas sub anómalas en las concentraciones de azufre (0,38%), cobre (78 ppm), plomo (94 ppm), cobalto (495 ppm), circonio (309 ppm) y estaño (6305 ppm) presentes en rocas volcánicas.
- ✓ En los sedimentos se detectaron sub anomalías de hierro (32,03 %), molibdeno (376 ppm), plomo (201 ppm), cadmio (89 ppm), cobalto (3453 ppm) y anomalías de circonio (11659 ppm).
- ✓ En los suelos se detectaron concentraciones o zonas sub anómalas de vanadio (3141 ppm), molibdeno (184,67 ppm) y circonio (5316 ppm).
- ✓ La presencia de sinter silicio, calcedonia, sulfuros en cantidades bajas y como mineral ganga illita son características distintivas para continuar la exploración de un posible depósito epitermal de baja sulfuración. Además, se encuentran metales como Zn, Pb, Cu y Mo, los cuales son de interés económico.
- ✓ La presencia de cobre, molibdeno y estaño en rocas ácidas en la superficie indica la posible existencia de pórfidos a una profundidad considerable.
- ✓ Estudios realizados por distintos autores, fueron los desencadenantes para la realización de trabajos exploratorios en el sector, ya que pusieron de manifiesto las mineralizaciones de Fe, Ti, Cu, Cu – Mo, Pb - Zn existentes en la Cordillera Occidental, más específico sobre el Grupo Saraguro (volcánicos continentales) en donde se encuentra la zona de estudio.
- ✓ Los minerales identificados mediante el análisis macroscópico a muestras de sedimentos fueron cuarzo, plagioclasas, micas, ilmenita, hematita y magnetita. En suelos los minerales identificados fueron cuarzo, plagioclasas, micas (biotita y moscovita), ilmenita, hematita, bornita, feldespatos, magnetita e ilmenita.
- ✓ En el análisis microscópico de láminas delgadas se identificaron minerales como cuarzo y/o tridimita, limonita, hematita, calcedonia y plagioclasas lo cual permitió reconocer el tipo de roca presente.
- ✓ Mediante el análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX), se detectaron valores mayores al Clarke de concentración en la corteza terrestre tal es el caso de Mo, Co, Pb, Cu, Zr, Sn y Cd en las muestras analizadas.
- ✓ En las muestras de sedimentos y suelos se detectó la presencia de abundante cuarzo beta, este tipo de cuarzo es típico de magmas ácidos de alta presión y temperatura.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar análisis de ICP OES, ya que este método analítico permite la detección de más de 50 elementos químicos entre metales y no metales, con límites de detección muy bajos.
- ✓ Realizar perforaciones en los sectores donde exista presencia de minerales indicadores de un cuerpo mineralizado a profundidad.
- ✓ Llevar a cabo exploración mediante métodos geofísicos ya que esto permitirá localizar depósitos minerales en el subsuelo, aprovechando las propiedades físicas de minerales como densidad, magnetismo, propiedades eléctricas, radiactividad entre otras.
- ✓ Las concentraciones de mercurio y plomo en sedimentos representan un grado de toxicidad alto, por ende, se recomienda realizar un estudio ambiental más a detalle para determinar la presencia de estos metales en los sedimentos de las riberas de los drenajes muestreados y plantear las soluciones para evitar el consumo del agua a los habitantes del sector.
- ✓ Realizar un estudio edafológico debido a que los suelos del sector contienen elementos traza, los cuales son considerados muy tóxicos, tal es el caso de los elementos Cd, Cu, Pb, Zn y Co, estos elementos acceden a la cadena alimenticia por medio de los suelos.
- ✓ Efectuar una socialización con los propietarios de las diversas fincas en donde se centran los proyectos investigativos, ya que se tornó peligroso el acceso a los sectores de muestreo ya que los comuneros no permitían el ingreso.
- ✓ Continuar con la investigación de prospección geoquímica más a detalle, ya que existen minerales con importancia estratégica, tal como es el caso de minerales compuestos de titanio y zirconio.

BIBLIOGRAFIA

- Acero, P., Mandado, J. M., Gimeno, M. J., & Gómez, J. (2002). Implicaciones medioambientales de la dispersión de Cd y Zn en los sedimentos finos de la cabecera del río Huerva. (J. Valderrama, Ed.) Centro de Información Tecnológica, 4-192.
- Bateman, A. M. (1978). Economic Mineral Deposits. Nueva York: OMEGA, S. A .
- Beltrán, J. (1981). Introducción a la geoquímica. Barcelona, España: REVERTÉ, S. A. .
- Cornelis, K., & Cornelius, S. H. (1997). Manual de Mineralogía (Vol. II). Barcelona , España: Revertè. S. A.
- Craig, J., Vaughan, D., & Skinner, B. (2012). Recursos de la Tierra. Madrid: Lavel, S. A.
- Cumbe, G. P. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Antonio de Cumbe. Saraguro.
- Dunkley, P., & Gaibor, A. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2°00' and 3°00'S. Quito: CODIGEM-BGS.
- Duque, P. (2000). Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador. Quito - Ecuador : PRODEMINCA.
- Equipo Técnico GADP Parroquia EL Tablòn . (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia El Tablòn. Saraguro.
- GAD MUNICIPAL INTERCULTURAL DE SARAGURO. (18 de Abril de 2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Saraguro. Loja. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160001130001_DIAGNOSTICO,%20PROPUESTA%20Y%20MODELO%20DE%20GESTI%C3%93N-%20PDyOT%20abril%202015_18-04-2015_21-36-07.pdf
- Haldar, S. (2013). Mineral Exploration; Principles and Applications. Oxford, USA: Elsevier.
- Hoffman, E., Clark, J., & Yeager, J. (31 de Julio de 1999). actlabs. Obtenido de actlabs.com: http://www.actlabs.com/files/Gold_Analysis-Fire_Assaying_and_Alt_Methods.pdf
- Huang, W. (2010). Petrología. Mexico D.F: Limusa.
- Hungerbühler, D. (1997). Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: evolution, deformation and regional tectonic implications. Tesis Doctoral, Zúrich.
- Kennerley, J. B. (1973). Mapa geológico de Saraguro. Quito: D.G.G.M.

- Litherland, J. A., Aspen, R. A., & Jemielita. (1994). The Metamorphic belts of Ecuador. Nottingham: British Geological Survey.
- Macdonald, E. H. (2007). Handbook of gold exploration and evaluation. Inglaterra: Elsevier.
- Orche, E. (2001). MANUAL DE GEOLOGÍA Y PROSPECCIÓN DE YACIMIENTOS MINERALES. Madrid, España: Gráficas Arias Montano, S. A.
- Paladines, A., & Soto, J. (2010). Geología y yacimientos minerales del Ecuador. Loja: UTPL.
- Pohl, W. L. (2011). Economic Geology Principles and Practice. John Wiley & Sons Ltd.
- Pratt, W., Figueroa, J., & Flores, B. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador. Quito: CODIGEM - British Geological Survey.
- PRODEMINCA. (2000). Evaluación de distritos mineros del Ecuador (Primera ed., Vol. I). Quito, Pichincha, Ecuador: PRODEMINCA.
- PRODEMINCA. (2001). GEOQUIMICA Y AMBIENTE. Quito - Ecuador: Noción.
- Rankama, K., & Sahama, T. (1962). Geochemistry. (I. B. Izquierdo, Trad.) Madrid: Aguilar, S. A.
- Rodríguez, M., González, J., & Giner, J. (2004). GEOLOGÍA PRÁCTICA; Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas. Madrid: Artes Gráficas Cofás, S.A.
- SIGTIERRAS. (s.f.). Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. Obtenido de SIG TIERRAS: <http://www.sigtierras.gob.ec/>
- Skoog, D., Holler, J., & Nieman, T. (2001). Principios de Analisis Instrumental. Madrid: Concepción Fernández Madrid.
- Smith, K. S., & Huyck, H. L. (1999). The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Reviews in Economic Geology, 6A and 6B, 12.
- Solé, M. V. (2008). Publicacions.ub.edu. Obtenido de <http://www.publicacions.ub.edu/refs/indices/06952.pdf>
- Spangenberg, J. (Agosto de 1987). International Atomic Energy Agency. Obtenido de [iaea.org: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/067/41067551.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/067/41067551.pdf)
- Subcomisión Ecuatoriana para aprovechamiento de las cuencas hidrográficas Puyango - Tumbes y Catamayo - Chira. (1974). Inventario minero de las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe. ND: PREDESUR.
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra. Madrid: Pearson Educación S. A.

Urdaneta, G. P. (31 de Octubre de 2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Urdaneta. Saraguro. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1160032520001_PD OT%20Parroquia%20URDANETA_31-10-2015_16-15-06.pdf

Valderrama, L. (2008). Obtenido de <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/152/140>

ANEXOS

ANEXO I. Fotografía muestra de roca brecha hidrotermal (MR AFL3)

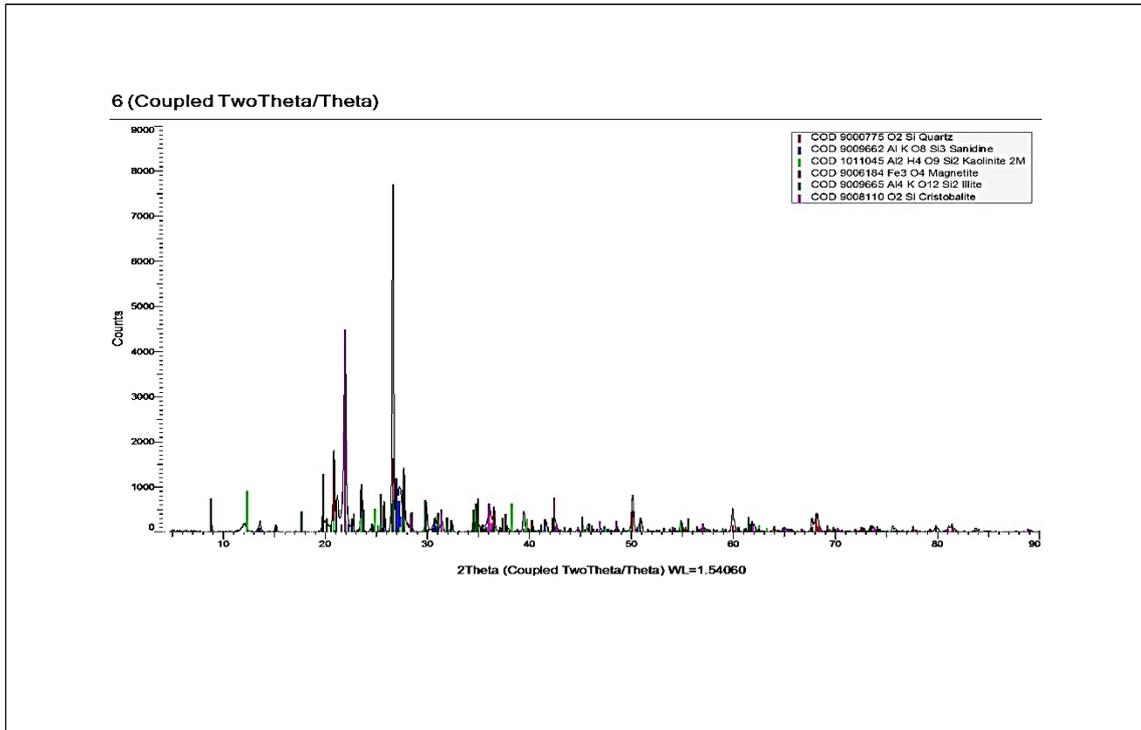


Anexo I. Muestra de roca, brecha hidrotermal.

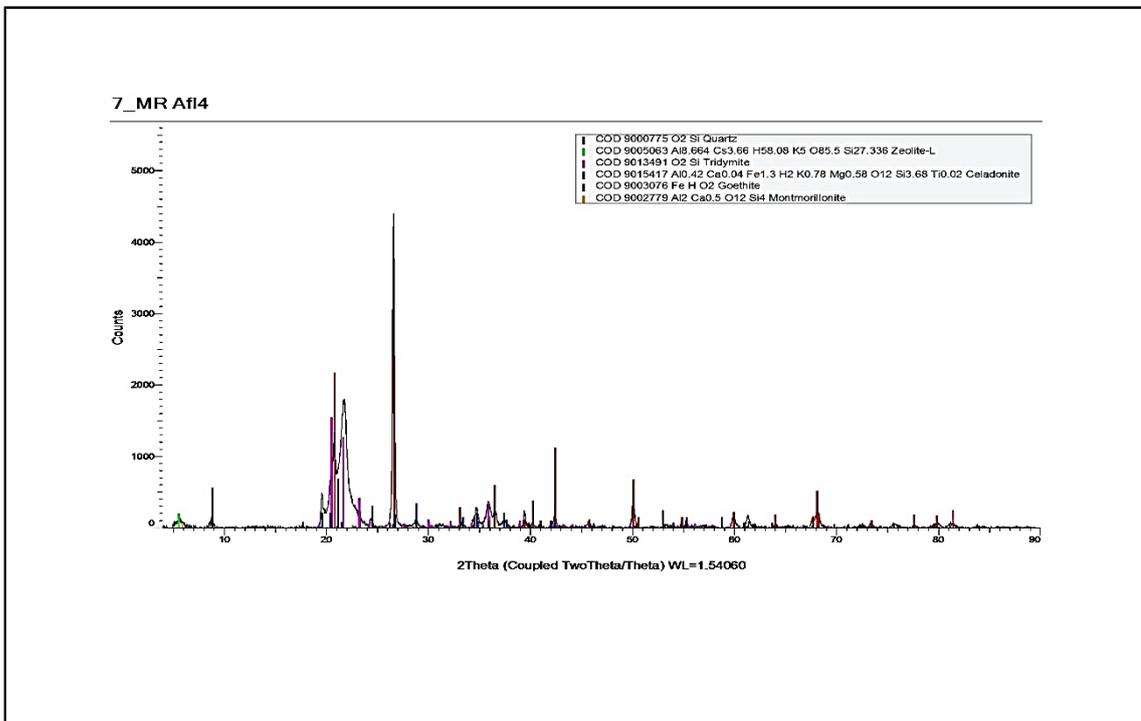


Anexo I. Sinter silíceo

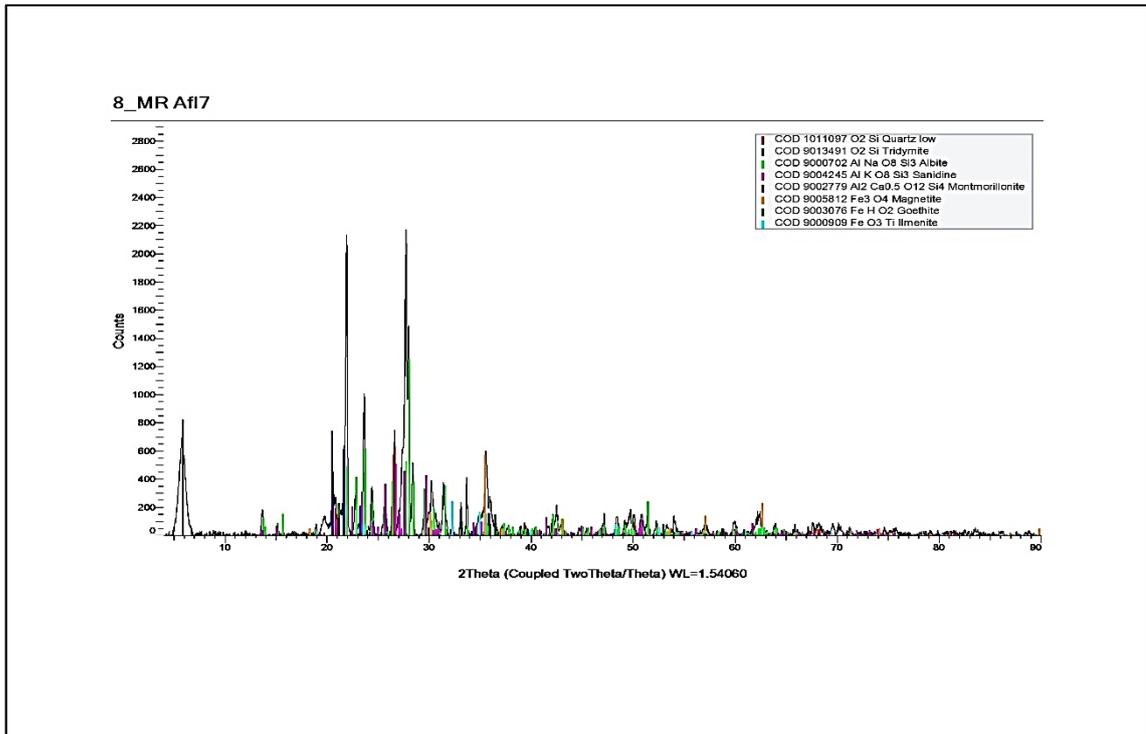
ANEXO II. Difractogramas de muestras de rocas



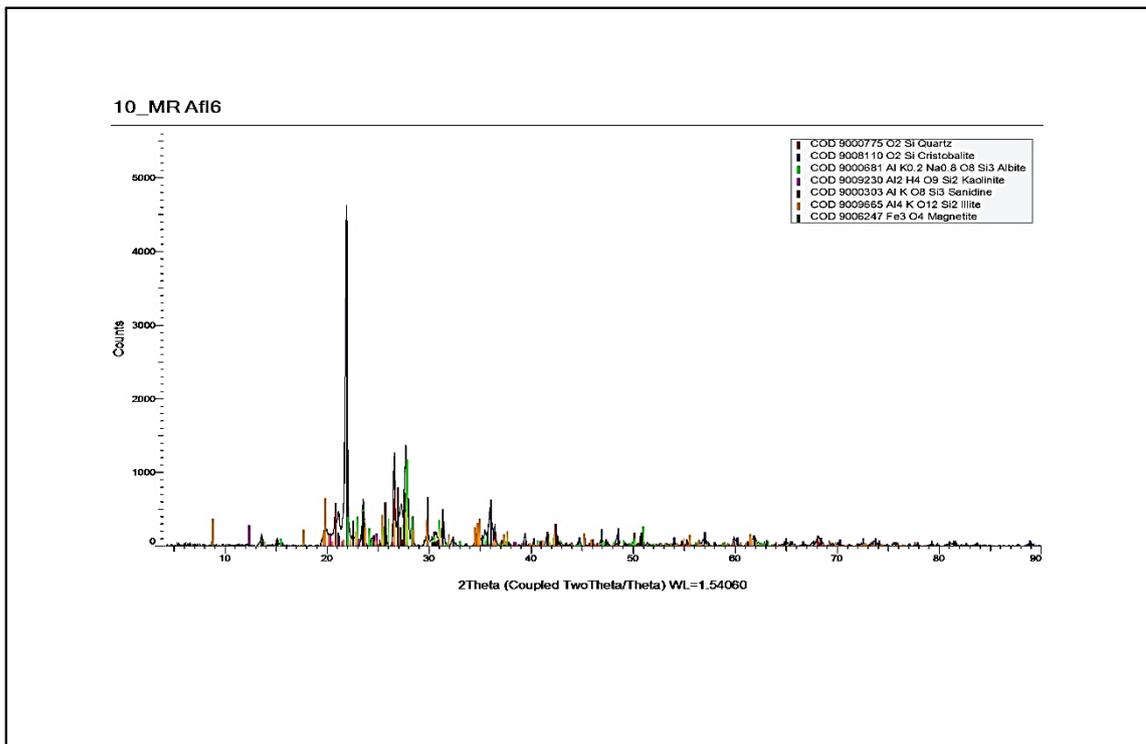
Anexo II. Difractograma de muestra de roca MR AFL 2.



Anexo II. Difractograma muestra de roca MR AFL 4

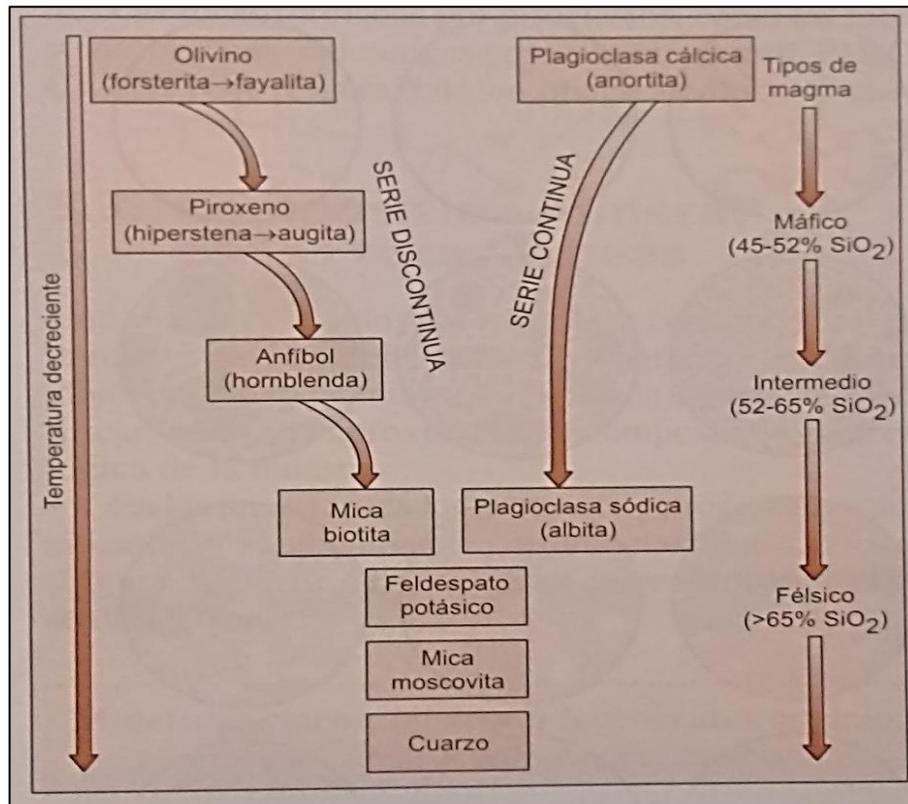


Anexo II. Difractograma muestra de roca MR AFL 7



Anexo II. Difractograma muestra de rocas MR AFL 6

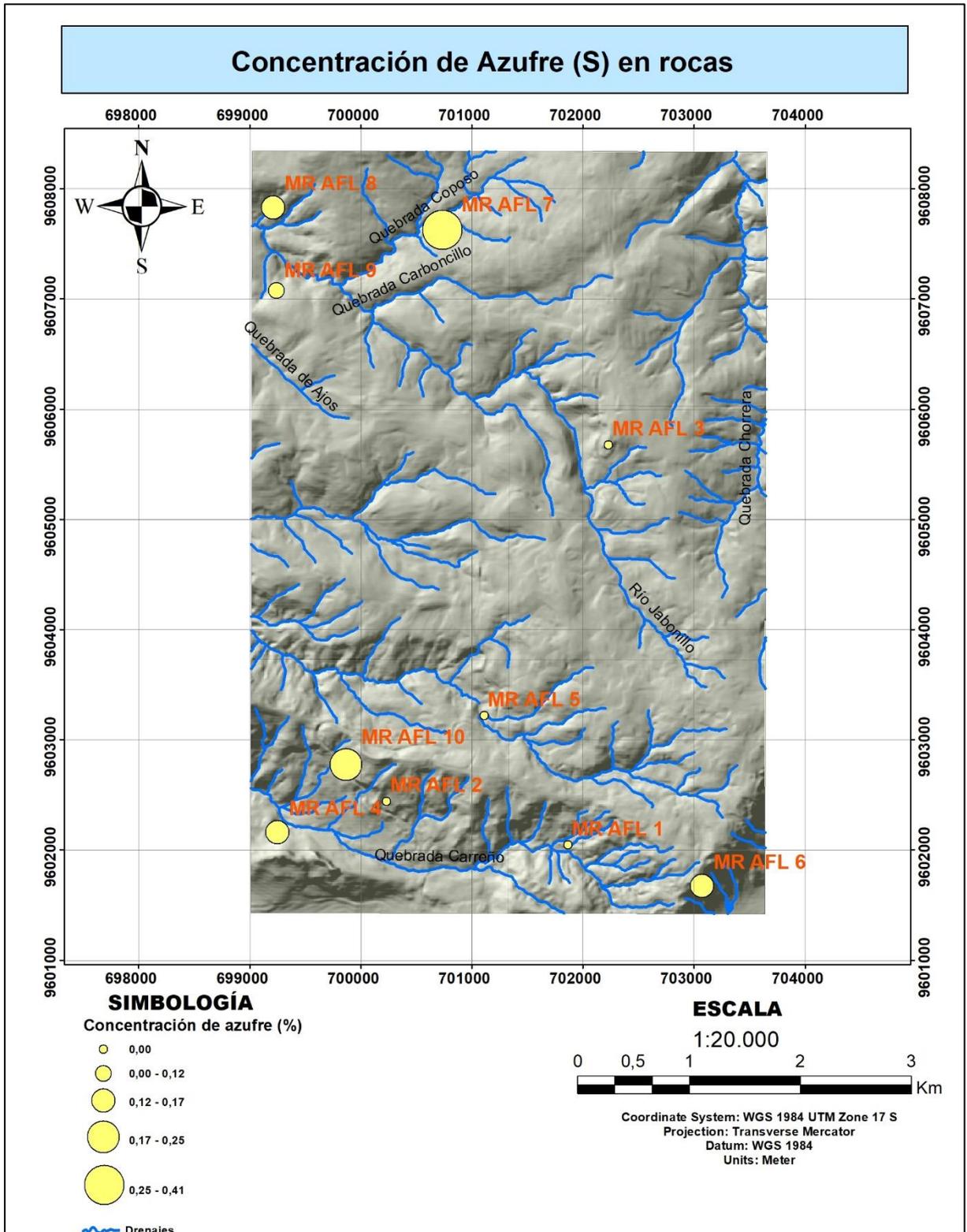
ANEXO III. Serie de Bowen de cristalización magmática



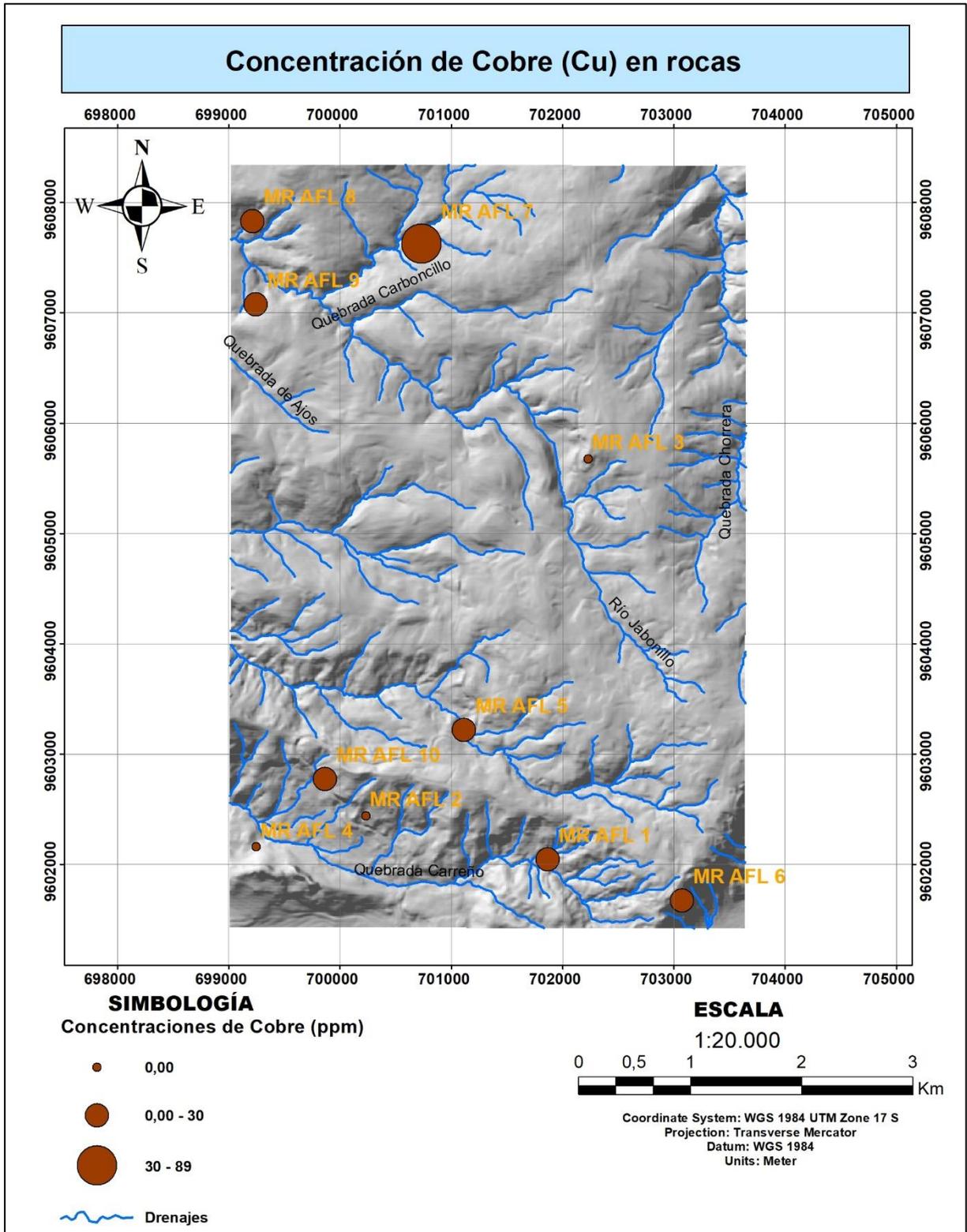
Anexo III. Serie de Bowen
Fuente: (Rodríguez et al., 2004)

Anexo IV. Mapas de concentración de minerales en rocas.

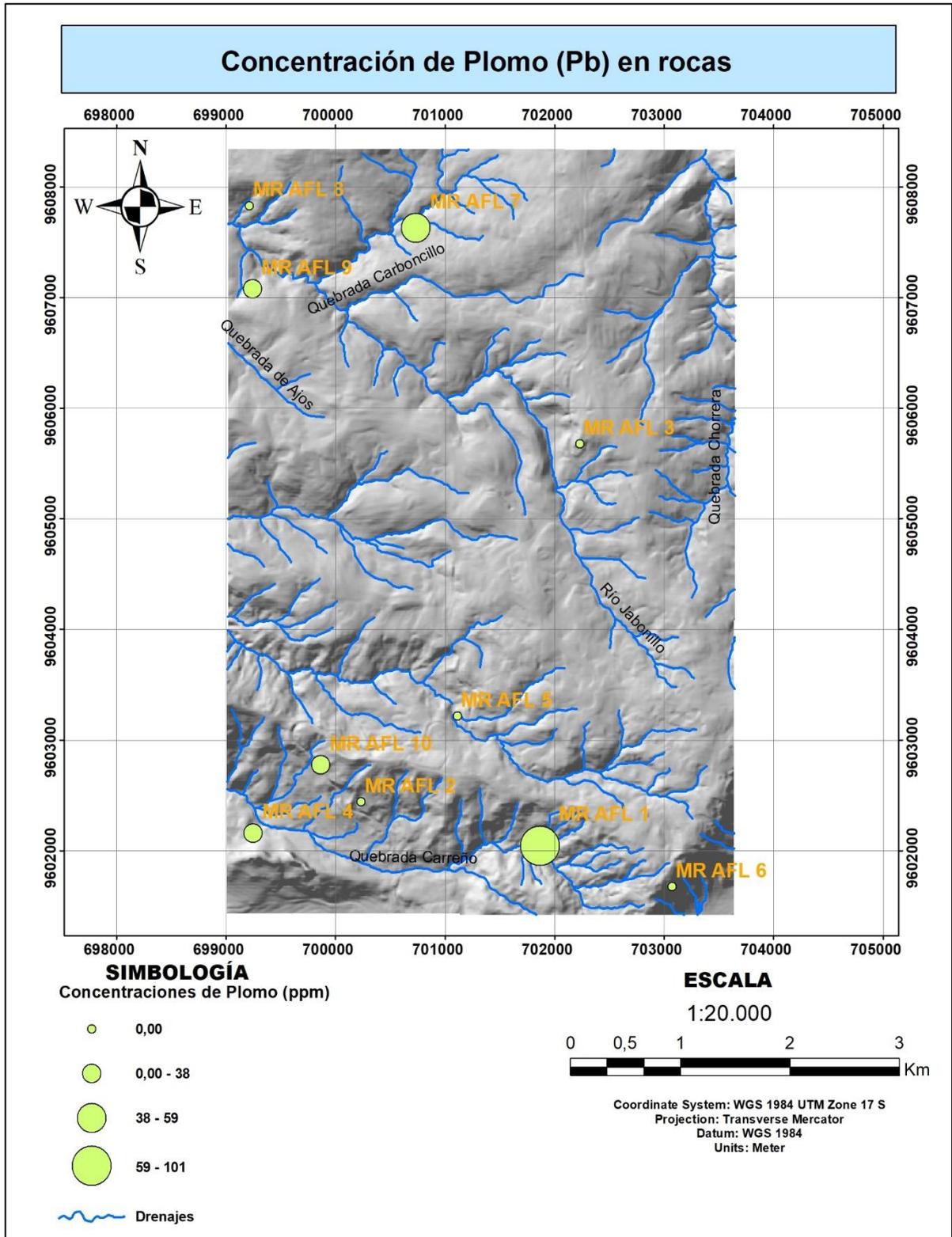
AZUFRE



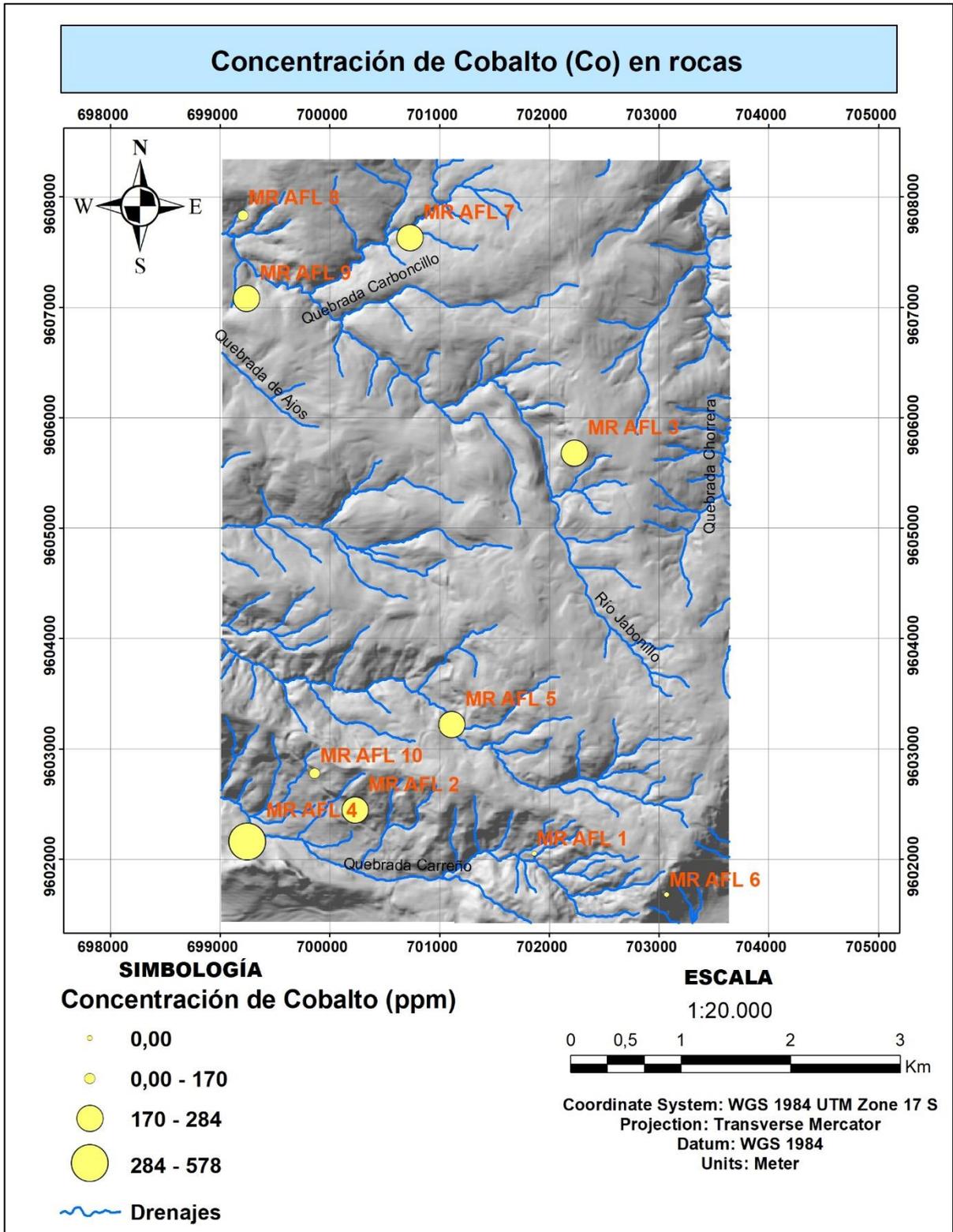
COBRE



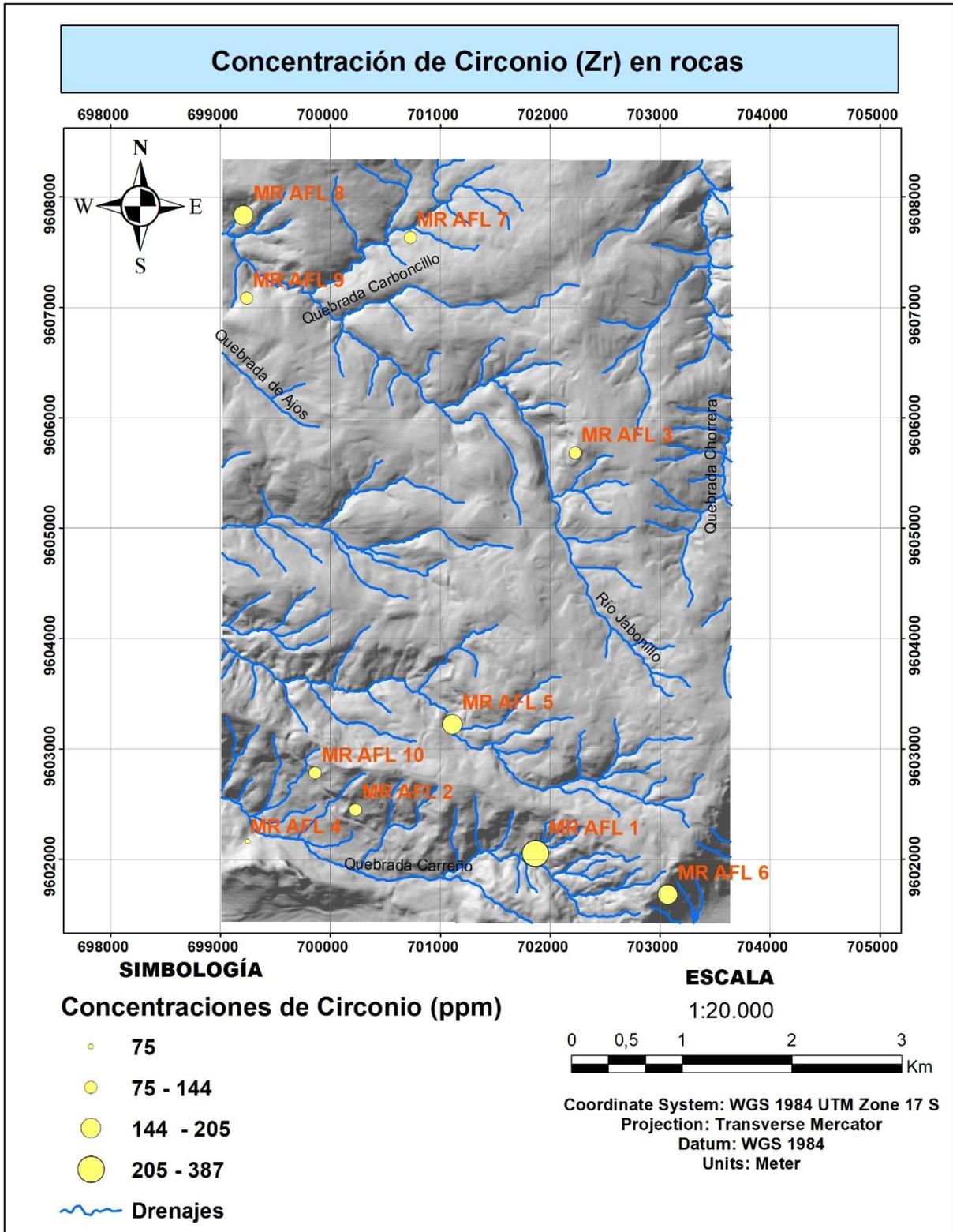
PLOMO



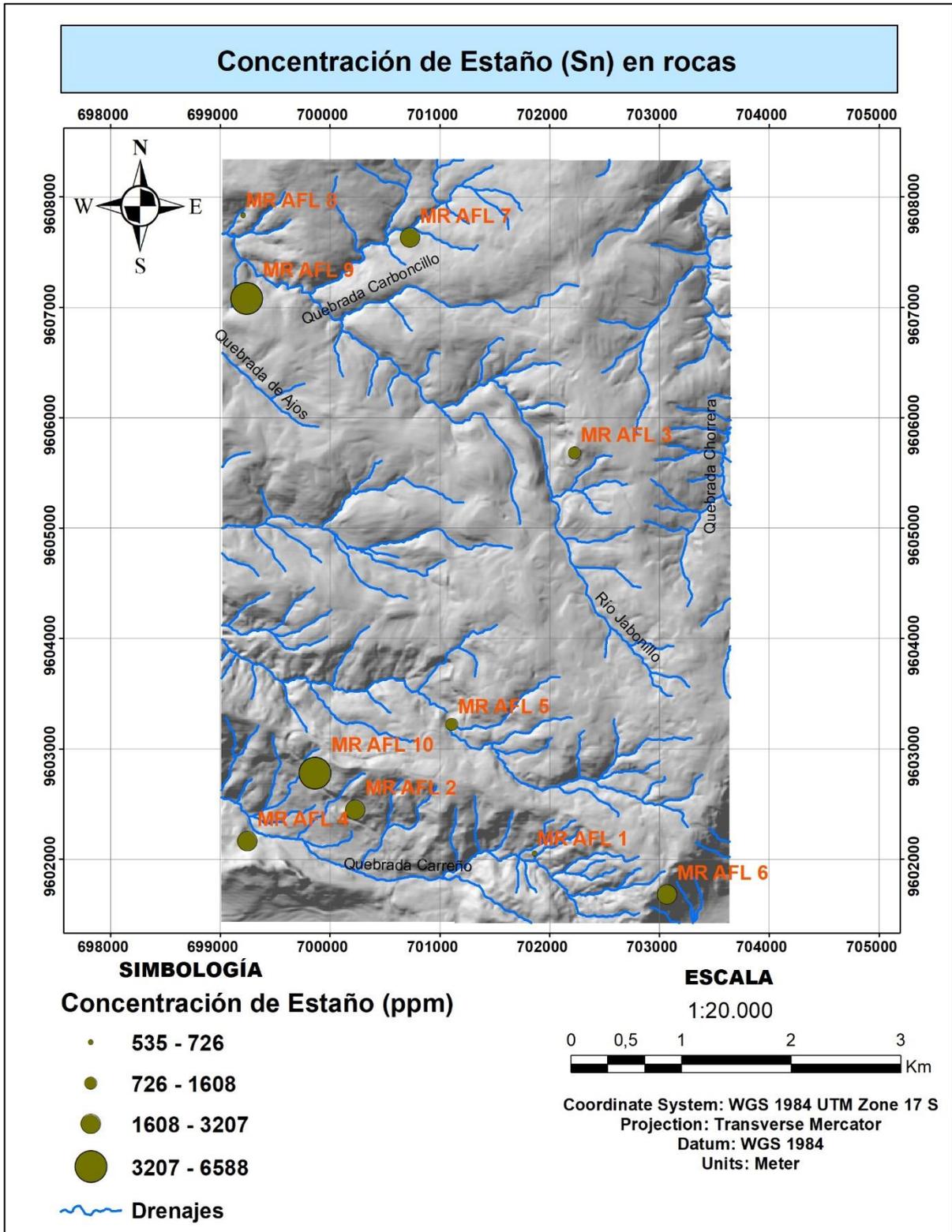
COBALTO



CIRCONIO

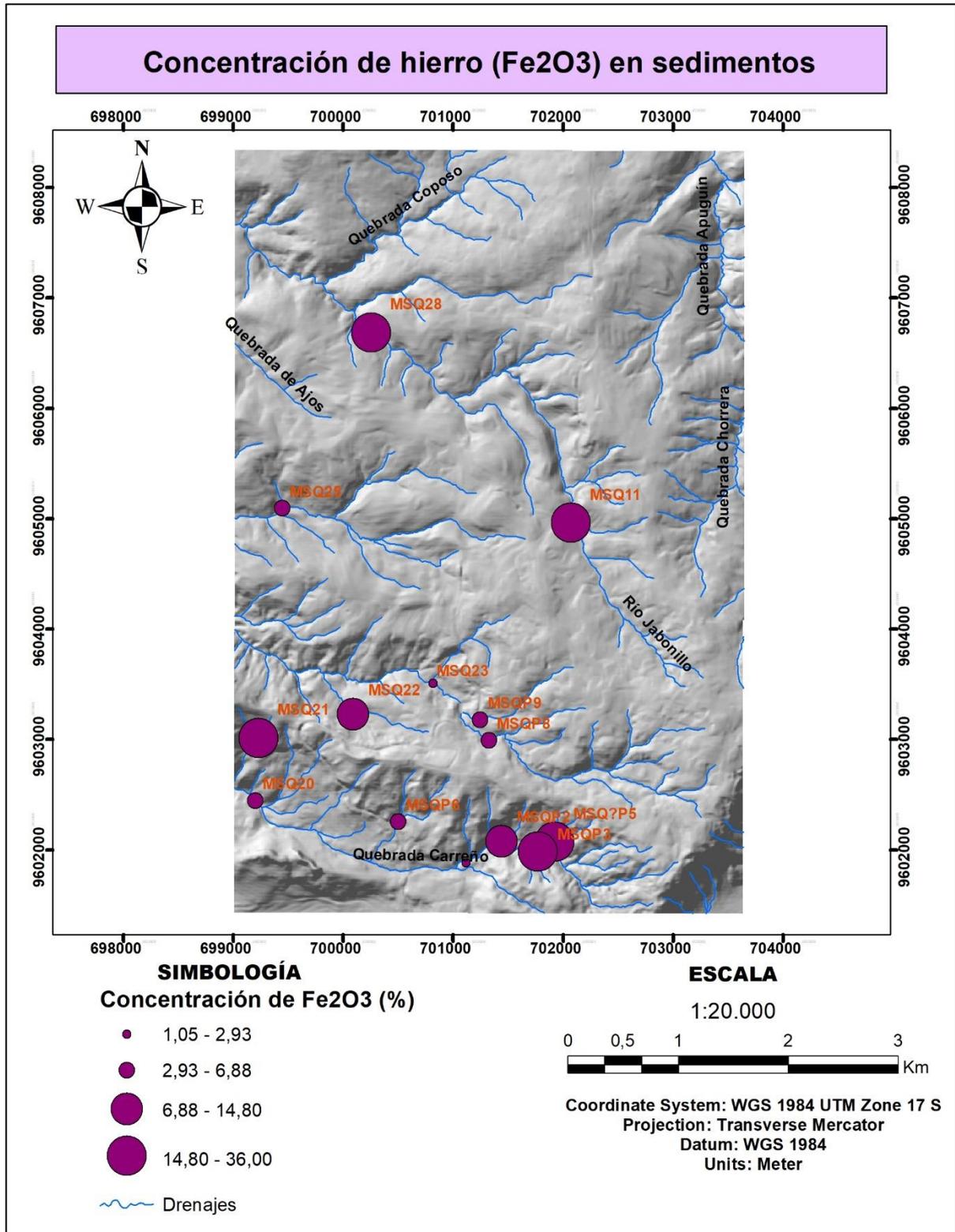


ESTAÑO

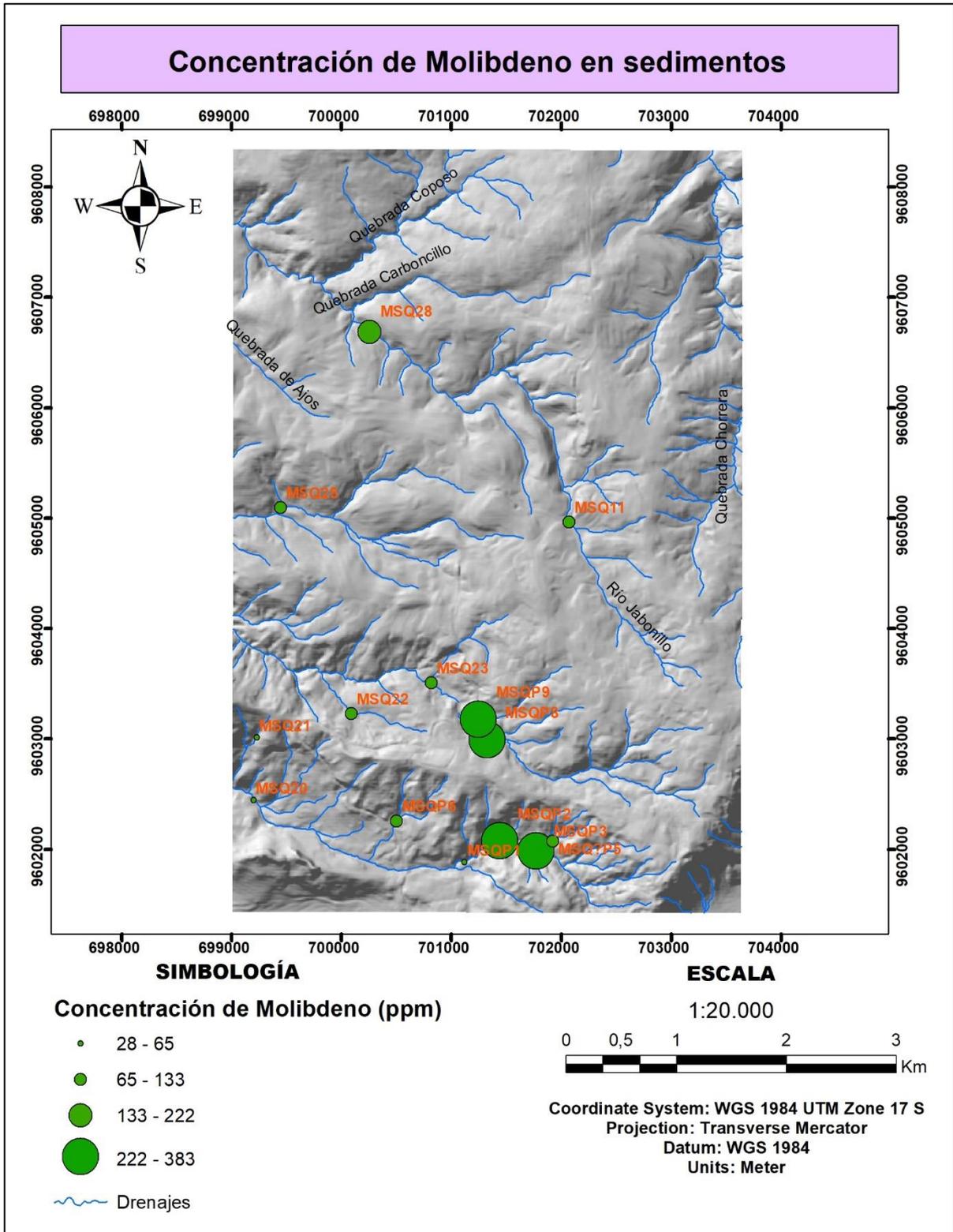


ANEXO V. Mapas de concentración de minerales en sedimentos.

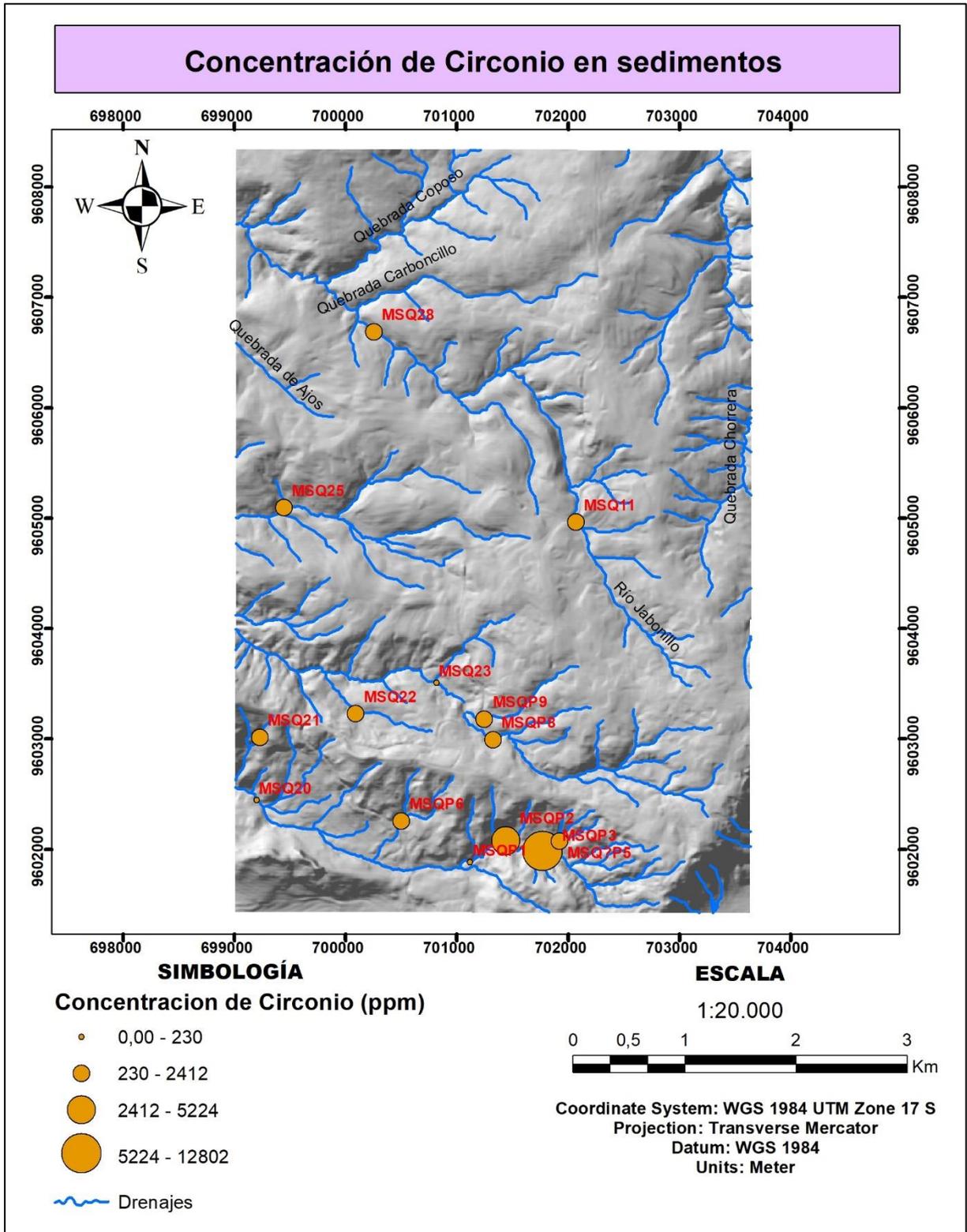
HIERRO



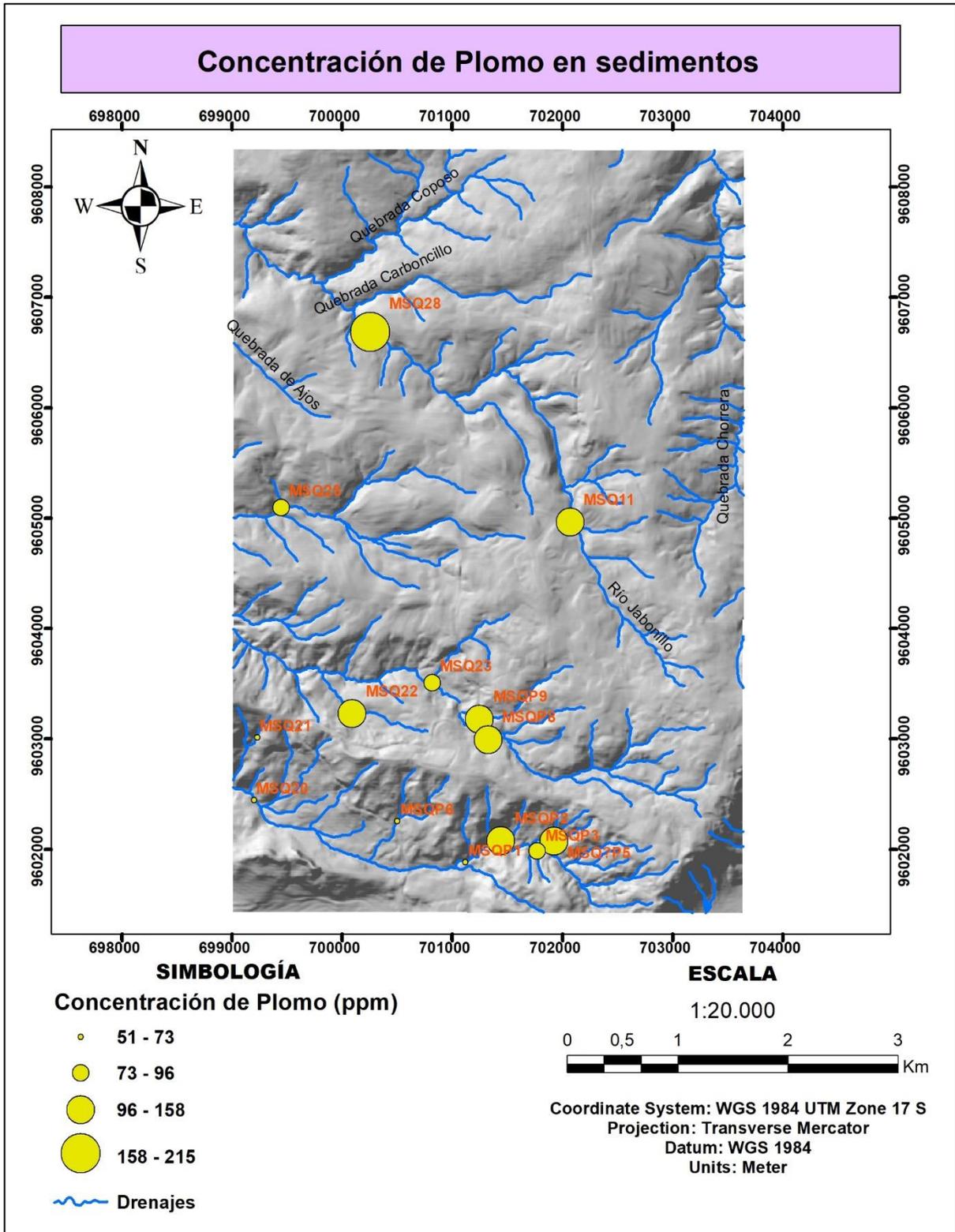
MOLIBDENO



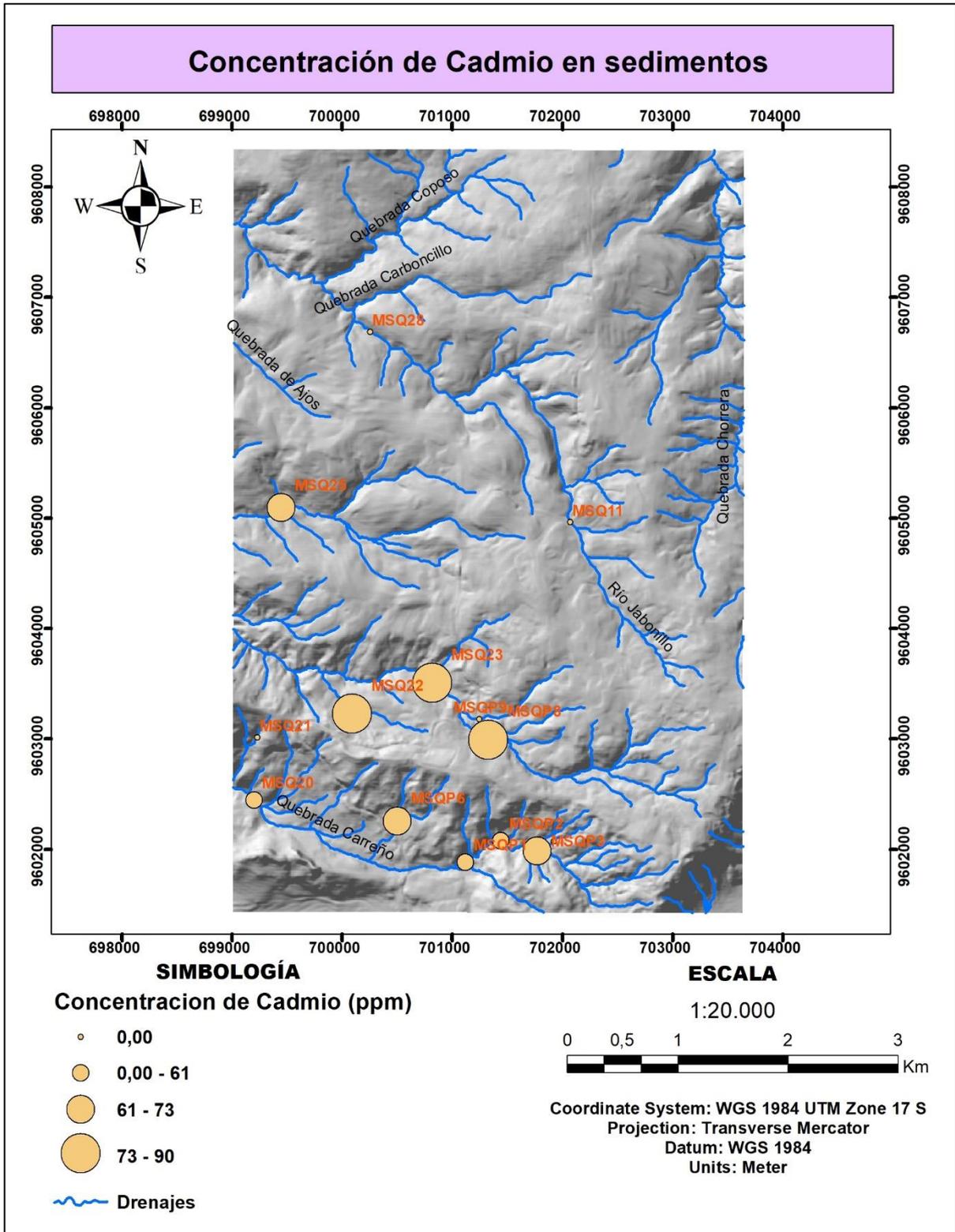
CIRCONIO



PLOMO

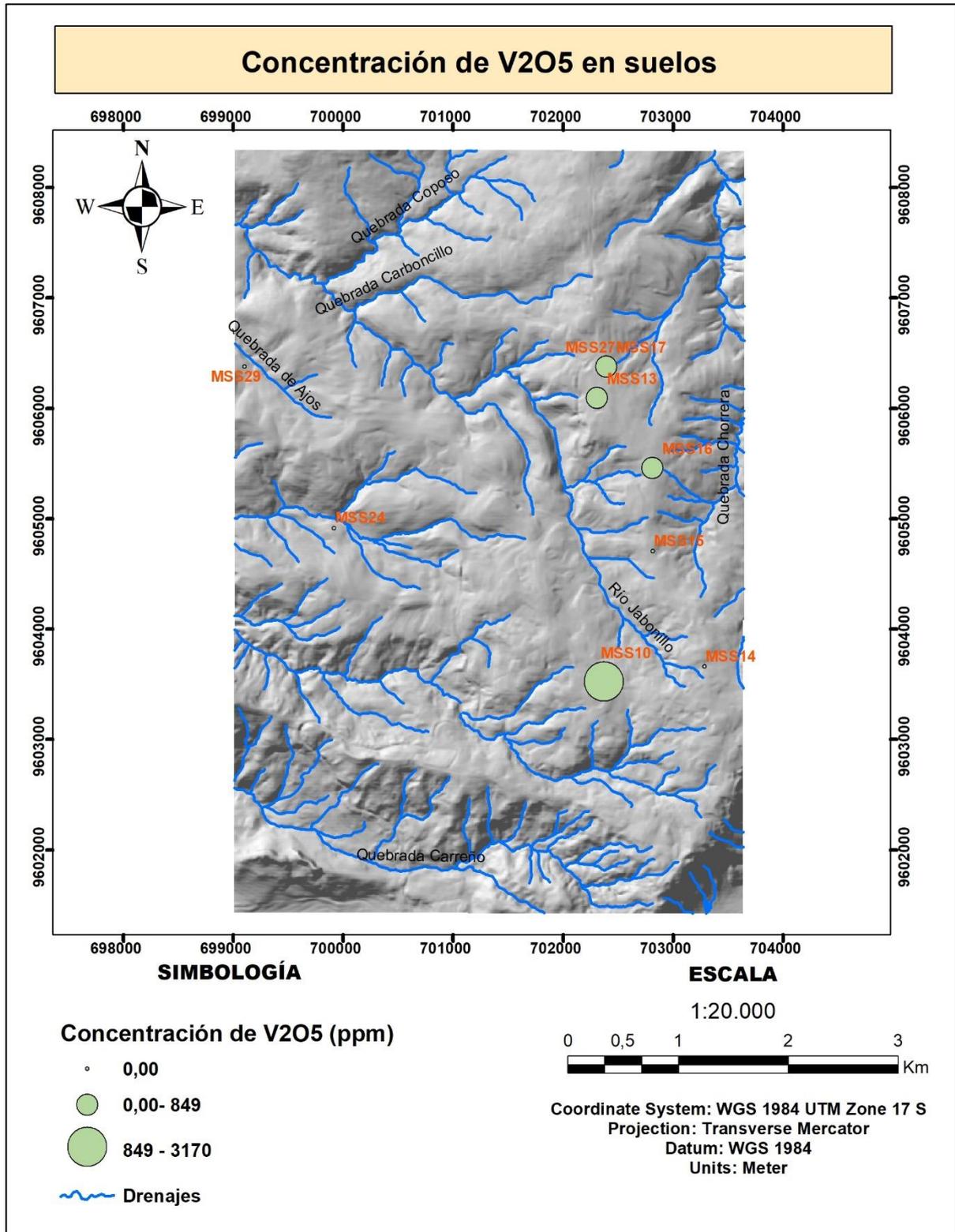


CADMIO

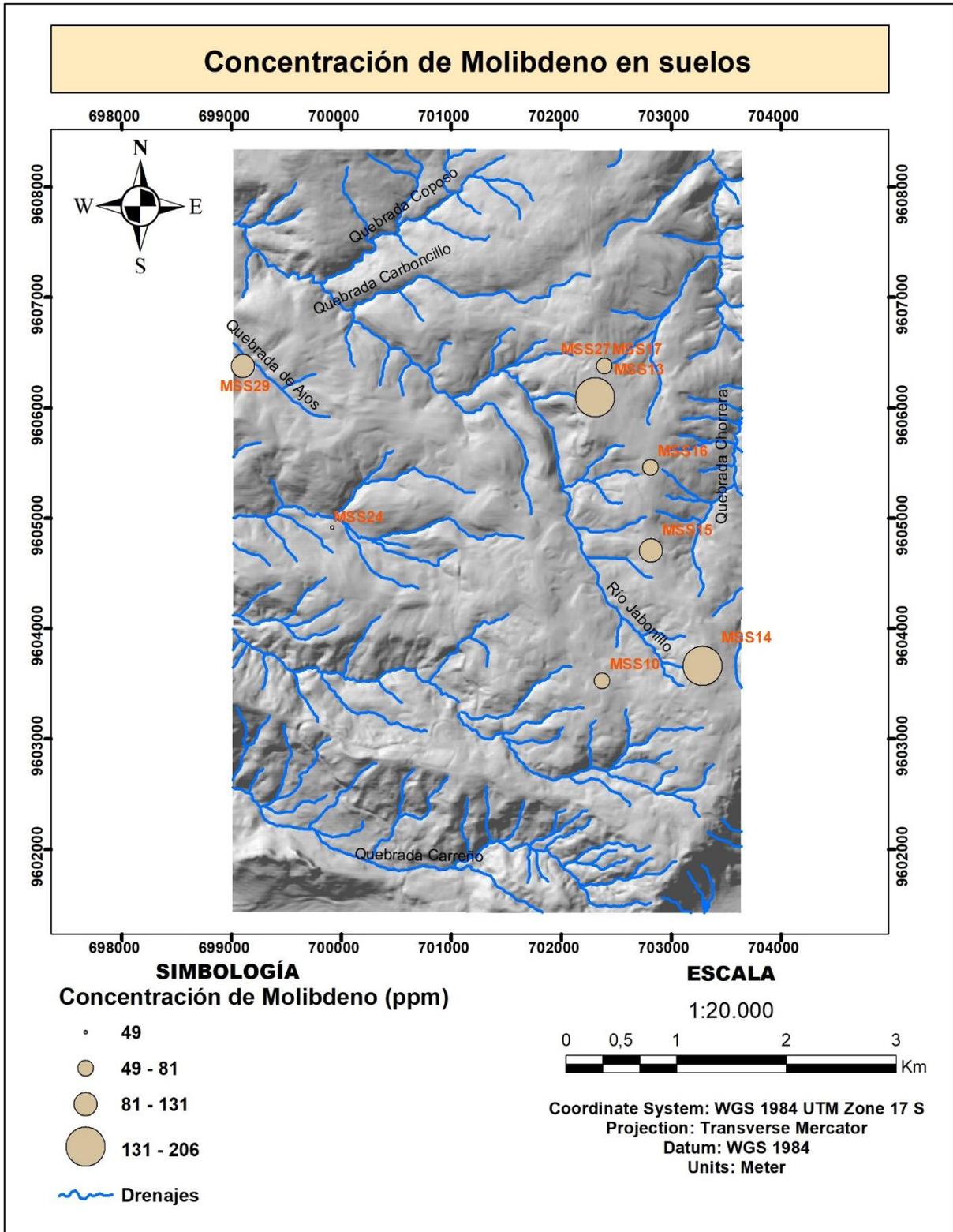


Anexo VI. Mapas de concentración de minerales en suelos.

VANADIO



MOLIBDENO



CIRCONIO

