



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

Caracterización geoquímica y mineralógica de sedimentos pesados y rocas en las microcuencas Guineo y Chirimoyo en el sector Puyango.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTORES:

 **Eras Costa, María Cecilia**

 **Quevedo Quevedo, Darwin Patricio**

DIRECTOR: Manrique Carreño, John Luis, MSc

LOJA-ECUADOR

2017



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

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc.

John Luis Manrique Carreño.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “Caracterización geoquímica y mineralógica de sedimentos pesados y rocas en las microcuencas Guineo y Chirimoyo en el sector Puyango” realizado por: Darwin Patricio Quevedo Quevedo y María Cecilia Eras Costa, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, enero del 2017

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Darwin Patricio Quevedo Quevedo y María Cecilia Eras Costa declaramos ser los autores del presente trabajo de titulación: “Caracterización geoquímica y mineralógica de sedimentos pesados y rocas en las microcuencas Guineo y Chirimoyo en el sector Puyango”, de la Titulación en Geología y Minas siendo el MSc. John Luis Manrique Carreño director del presente trabajo; y eximimos expresadamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son exclusividad de nuestra responsabilidad.

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

f)

María Cecilia Eras Costa
1105574618

f)

Darwin Patricio Quevedo Quevedo
1104458169

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico a mis queridos padres, José Luis y Jhanet Cecilia por su amor, apoyo y dedicación que me brindan siempre, este es un logro que gracias a ustedes he cumplido.

A mis hermanos Gabriela, José Luis y Víctor, por estar siempre en las buenas y en las malas ayudándome a superarme cada día.

A todos mis familiares y amigos por sus consejos y buenos deseos.

María Eras Costa

DEDICATORIA

Dedico especialmente este trabajo a Dios por haberme permitido cumplir esta meta. Con mucho cariño a mis padres José y Gloria por apoyarme en todo momento, por sus consejos, sus valores y su gran ejemplo que permitieron que sea una persona de bien y que me enseñaron a no rendirme jamás ante los problemas de la vida y conseguir todo lo que me propongo. A mis hermanos Cristian, Jonathan, Mariuxi, Yajaira, Dayanna, David, y mi sobrina Catalina, por estar siempre conmigo en los momentos buenos y malos, los quiero, gracias por sus palabras de aliento. A mi prometida, por tu apoyo incondicional, tu confianza, amor y por compartir los mejores momentos junto a nuestro hijo Sebastián quien es la razón de nuestras vidas. A toda mi familia que fueron un pilar fundamental en este logro.

Darwin Quevedo Quevedo

AGRADECIMIENTO

Nuestra gratitud a la Universidad Técnica Particular de Loja y a los docentes de la Titulación de Geología y Minas quienes nos supieron brindar sus conocimientos y amistad durante nuestra formación profesional.

Nuestro agradecimiento al MSc. John Luis Manrique Carreño director del presente trabajo de investigación, quien gracias a sus conocimientos, consejos y paciencia supo orientarnos de una manera acertada para la culminación de este trabajo.

Darwin Quevedo Quevedo y Maria Eras Costa

ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
GENERALIDADES	5
1.1. Antecedentes.....	6
1.2. Justificación.....	7
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
CAPÍTULO II.....	8
CARACTERÍSTICAS FÍSICOGEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	8
2.1. Localización geográfica	9
2.2. Acceso.....	10
2.3. Clima	10
2.4. Vegetación	11
2.5. Fauna	11
2.6. Geomorfología.....	11
2.7. Hidrología	12
CAPÍTULO III.....	13
GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	13
3.1. Geología regional	14
3.2. Geología local y estructural	17
CAPÍTULO IV	23
GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS DE INTERÉS.....	23
4.1. Vanadio.....	24
4.2. Uranio.....	25

4.3.	Molibdeno.....	26
4.4.	Selenio.....	27
4.5.	Bismuto.....	28
4.6.	Estaño.....	28
CAPÍTULO V.....		29
METODOLOGÍA.....		29
5.1.	Muestreo.....	30
5.1.1.	Roca.....	30
5.1.2.	Sedimentos.....	32
5.2.	Tratamiento Físico de las muestras.....	34
5.2.1.	Roca.....	34
5.2.2.	Sedimentos.....	34
5.3.	Identificación de minerales.....	34
5.3.1.	Análisis macroscópico.....	34
5.3.2.	Análisis microscópico.....	35
5.4.	Análisis por Difracción de Rayos X (DRX).....	35
5.5.	Análisis por Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	36
CAPÍTULO VI.....		38
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		38
6.1.	Mineralogía.....	39
6.1.1.	Sedimentos retenidos en la malla #80.....	39
6.1.2.	Sedimentos pasantes de la malla #80.....	40
6.2.	Resultados de los análisis por Microscopio Petrográfico de rocas.....	41
6.3.	Difracción de rayos X (DRX).....	44
6.3.1.	Resultados del DRX de la microcuenca Chirimoyo.....	48
6.3.2.	Resultados del DRX de la microcuenca Guineo.....	49
6.4.	Resultados del análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) de las muestras de roca de la microcuenca Chirimoyo.....	52
6.4.1.	Concentración (%) de elementos mayoritarios de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.....	52
6.4.2.	Concentración (ppm) de elementos traza de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.....	53
6.4.3.	Correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.....	61
6.5.	Resultados del análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) de las muestras de sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.....	65

6.5.1. Concentración (%) de elementos mayoritarios de sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.	65
6.5.2. Concentración (ppm) de los elementos traza de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.	66
6.5.3. Correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.....	75
6.6. Resultados del análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) de las muestras de roca de la microcuenca Guineo.....	78
6.6.1. Concentración (%) de elementos mayoritarios de las rocas de la microcuenca Guineo. 79	
6.6.2. Concentración (ppm) de los elementos traza de las rocas de la microcuenca Guineo. 80	
6.6.3. Correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios de las rocas de la microcuenca Guineo.....	89
6.7. Resultados del análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) de las muestras de sedimentos de la microcuenca Guineo.....	92
6.7.1. Concentración (%) de elementos mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Guineo.....	92
6.7.2. Concentración (ppm) de elementos traza de los sedimentos de la microcuenca Guineo. 93	
6.7.3. Correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Guineo.	102
6.8. Mapas de anomalías en las rocas de las microcuencas Chirimoyo y Guineo	105
6.9. Mapas de anomalías en sedimentos de las microcuencas Chirimoyo y Guineo ..	109
6.10. Resultados de análisis del pH del área total de estudio.....	112
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFÍA.....	116
ANEXOS.....	118
ANEXO I. FOTOGRAFÍAS DE LA MICROCUENCA CHIRIMOYO.....	119
ANEXO II. FOTOGRAFÍAS DE LA MICROCUENCA GUINEO	120
ANEXO III. DIFRACTOGRAMAS MICROCUENCA CHIRIMOYO.....	120
ANEXO IV. DIFRACTOGRAMAS MICROCUENCA GUINEO.....	124

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Ubicación del área de estudio	9
Figura 2. Ubicación de las microcuencas.....	10
Figura 3. Relieve de las microcuencas	11
Figura 4. Hidrografía del Cantón Puyango	12
Figura 5. Mapa de la geología regional de la zona de estudio	16
Figura 6. Calizas negras	17
Figura 7. Lutitas de color negro	18
Figura 8. Pliegue sinclinal.	18
Figura 9. Lutitas negras	19
Figura 10. Lutitas negras carbonatadas.....	19
Figura 11. Calizas negras, muestra (PAP-M10).....	20
Figura 12. Areniscas, muestra (GUI-M13).....	21
Figura 13. Mapa geológico de las microcuencas Chirimoyo y Guineo	22
Figura 14. Diagrama Potencial Iónico	24
Figura 15. Medición del pH del agua.....	30
Figura 16. Mapa de muestreo de rocas del área de estudio.....	31
Figura 17. Sedimentos (izquierda) y roca (derecha)	32
Figura 18. Mapa de muestreo de sedimentos del área de estudio	33
Figura 19. Briquetas de roca.....	35
Figura 20. Ley de Bragg	36
Figura 21. Equipo de Fluorescencia de Rayos X	37
Figura 22. Muestra CH-M27 minerales no magnéticos	39
Figura 23. Muestra GUI-M2 minerales no magnéticos	39
Figura 24. Muestra CH-M27 porción magnética.....	40
Figura 25. Muestra CH-M7, porción magnética (izquierda) y porción no magnética (derecha)	40
Figura 26. Muestra PAP-M4, porción magnética (izquierda) y porción no magnética (derecha)	41
Figura 27. Muestra CH-M2, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 micras	41
Figura 28. Muestra CH-M2, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 10 micras	42
Figura 29. Muestra CH-M9, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 20 micras	42
Figura 30. Muestra CH-M13, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 micras	43
Figura 31. Muestra CH-M4, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 micras	43
Figura 32. Muestra CH-M29, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 micras	44

Figura 33. Difractograma de la muestra CH-M34.....	45
Figura 34. Difractograma de la muestra CH-M25-S	46
Figura 35. Difractograma de la muestra GUI-M5.....	47
Figura 36. Histograma de frecuencias de V_2O_5 (ROCA CHIRIMOYO)	56
Figura 37. Diagrama de caja y bigotes de V_2O_5 (ROCA CHIRIMOYO).....	56
Figura 38. Histograma de frecuencias de U (ROCA CHIRIMOYO)	57
Figura 39. Diagrama de caja y bigotes de U (ROCA CHIRIMOYO)	57
Figura 40. Histograma de frecuencias de Mo (ROCA CHIRIMOYO).....	58
Figura 41. Diagrama de caja y bigotes de Mo (ROCA CHIRIMOYO)	58
Figura 42. Histograma de frecuencias de Se (ROCA CHIRIMOYO)	59
Figura 43. Caja de bigotes de Bi (ROCA CHIRIMOYO)	60
Figura 44. Diagrama de caja y bigotes de Bi (ROCA CHIRIMOYO).....	60
Figura 45. Diagrama de caja y bigotes de SnO_2 (ROCA CHIRIMOYO).....	61
Figura 46. Diagrama de caja y bigotes de SnO_2 (ROCA CHIRIMOYO).....	61
Figura 47. Diagrama de dispersión V_2O_5 (log)-Mo (log) (ROCA CHIRIMOYO).....	63
Figura 48. Diagrama de dispersión U (log)- V_2O_5 (log) (ROCA CHIRIMOYO).....	64
Figura 49. Diagrama de dispersión U (log)-Bi (log) (ROCA CHIRIMOYO)	64
Figura 50. Diagrama de dispersión U (log)- SnO_2 (log)(ROCA CHIRIMOYO)	65
Figura 51. Histograma de frecuencias de V_2O_5 (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	68
Figura 52. Diagrama de caja y bigotes de V_2O_5 (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	69
Figura 53. Histograma de frecuencias de U (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	70
Figura 54. Diagrama de caja y bigotes de U (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	70
Figura 55. Histograma de frecuencias de Mo (SEDIMENTOS CHIRIMOYO).....	71
Figura 56. Diagrama de caja y bigotes de Mo (SEDIMENTOS CHIRIMOYO).....	71
Figura 57. Histograma de frecuencias de Se (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	72
Figura 58. Histograma de frecuencias de Bi (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	72
Figura 59. Diagrama de caja y bigotes de Bi (SEDIMENTOS CHIRIMOYO).....	73
Figura 60. Diagrama de caja y bigotes de Sn (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	74
Figura 61. Diagrama de caja y bigotes de Bi (SEDIMENTOS CHIRIMOYO).....	74
Figura 62. Diagrama de dispersión V_2O_5 (log)-Mo (log) (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	76
Figura 63. Diagrama de dispersión U (log)- V_2O_5 (log) (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	77
Figura 64. Diagrama de dispersión U (log)-Bi (log) (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	77
Figura 65. Diagrama de dispersión U (log)- SnO_2 (log) (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)	78
Figura 66. Histograma de frecuencias de V_2O_5 (ROCA GUINEO).....	83
Figura 67. Diagrama de caja y bigote de V_2O_5 (ROCA GUINEO).....	83
Figura 68. Histograma de frecuencias de U (ROCA GUINEO).....	84

Figura 69. Diagrama de caja y bigote de U (ROCA GUINEO).....	84
Figura 70. Histograma de frecuencias de Mo (ROCA GUINEO)	85
Figura 71. Diagrama de caja y bigote de Mo (ROCA GUINEO)	85
Figura 72. Histograma de frecuencias de Se (ROCA GUINEO).....	86
Figura 73. Histograma de frecuencias de Bi (ROCA GUINEO)	87
Figura 74. Diagrama de caja y bigote de Bi (ROCA GUINEO)	87
Figura 75. Histograma de frecuencias de SnO ₂ (ROCA GUINEO).....	88
Figura 76. Diagrama de caja y bigote de SnO ₂ (ROCA GUINEO).....	88
Figura 77. Diagrama de dispersión V ₂ O ₅ (log)-Mo (log) (ROCA GUINEO)	90
Figura 78. Diagrama de dispersión U (log)-V ₂ O ₅ (log) (ROCA GUINEO).....	91
Figura 79. Diagrama de dispersión U (log)-Mo (log) (ROCA GUINEO)	91
Figura 80. Diagrama de dispersión U (log)-Bi (log) (ROCA GUINEO).....	92
Figura 81. Histograma de frecuencias de V ₂ O ₅ (SEDIMENTOS GUINEO)	95
Figura 82. Diagrama de caja y bigotes de V ₂ O ₅ (SEDIMENTOS GUINEO).....	96
Figura 83. Histograma de frecuencias de U (SEDIMENTOS GUINEO).....	97
Figura 84. Diagrama de caja y bigotes de U (SEDIMENTOS GUINEO).....	97
Figura 85. Histograma de frecuencias de Mo (SEDIMENTOS GUINEO)	98
Figura 86. Diagrama de caja y bigotes de Mo (SEDIMENTOS GUINEO)	98
Figura 87. Histograma de frecuencias de Se (SEDIMENTOS GUINEO).....	99
Figura 88. Histograma de frecuencias de Bi (SEDIMENTOS GUINEO)	99
Figura 89. Diagrama de caja y bigotes de Bi (SEDIMENTOS GUINEO)	100
Figura 90. Histograma de frecuencias de Sn (SEDIMENTOS GUINEO).....	101
Figura 91. Diagrama de caja y bigotes de Sn (SEDIMENTOS GUINEO)	101
Figura 92. Diagrama de dispersión V ₂ O ₅ (log)-Mo (log) (SEDIMENTOS GUINEO).....	103
Figura 93. Diagrama de dispersión U (log)-V (log) SEDIMENTOS GUINEO).....	104
Figura 94. Diagrama de dispersión U (log)-Mo (log) (SEDIMENTOS GUINEO).....	104
Figura 95. Diagrama de dispersión U (log)-Bi (log) (SEDIMENTOS GUINEO).....	105
Figura 96. Mapa de anomalías de Vanadio en rocas de las microcuencas Chirimoyo y Guineo.....	106
Figura 97. Mapa de anomalías de Uranio en rocas de las microcuencas Chirimoyo y Guineo	107
Figura 98. Mapa de anomalías de Estaño en rocas de las microcuencas Chirimoyo y Guineo	108
Figura 99. Mapa de anomalías de Vanadio en sedimentos de las microcuencas Chirimoyo y Guineo.....	109

Figura 100. Mapa de anomalías de Uranio en sedimentos de las microcuencas Chirimoyo y Guineo.....	110
Figura 101. Mapa de anomalías de Uranio en sedimentos de las microcuencas Chirimoyo y Guineo.....	111
Figura 102. Mapa de pH de las microcuencas Chirimoyo y Guineo	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Minerales identificados en las muestras de rocas de la microcuenca Chirimoyo.	48
Tabla 2. Minerales identificados en las muestras de sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.	49
Tabla 3. Minerales identificados en las muestras de rocas de la microcuenca Guineo.	49
Tabla 4. Minerales identificados en las muestras de sedimentos de la microcuenca Guineo.	51
Tabla 5. Concentración de elementos mayoritarios de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.	52
Tabla 6. Concentración (ppm) de elementos traza de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.	54
Tabla 7. Valores estadísticos de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.....	55
Tabla 8. Coeficiente de correlación elemental para las muestras rocas de la microcuenca Chirimoyo	62
Tabla 9. Concentración de elementos mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.	65
Tabla 10. Concentración de elementos traza de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.	67
Tabla 11. Valores estadísticos de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo	68
Tabla 12. Coeficiente de correlación elemental para los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo	75
Tabla 13. Concentración de elementos mayoritarios de las rocas de la microcuenca Guineo.	79
Tabla 14. Concentración de elementos traza de las rocas de la microcuenca Guineo.	81
Tabla 15. Valores estadísticos de las rocas de la microcuenca Guineo	82
Tabla 16. Coeficiente de correlación elemental para las muestras rocas de la microcuenca Guineo.....	89
Tabla 17. Concentración de elementos mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Guineo.....	92
Tabla 18. Concentración de elementos traza de los sedimentos de la microcuenca Guineo	94
Tabla 19. Valores estadísticos de los sedimentos de la microcuenca Guineo.....	95
Tabla 20. Coeficiente de correlación elemental para sedimentos de la microcuenca Guineo	102

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en las microcuencas Chirimoyo y Guineo que comprende parte del bosque petrificado en el cantón Puyango provincia de Loja. El trabajo se enmarcó en la prospección geoquímica de minerales radiactivos, que pueden ser de interés económico, basada en muestreos litogeoquímicos y de sedimentos activos en los principales drenajes y afloramientos de interés.

Los análisis que se realizaron para las muestras de rocas y sedimentos fueron Fluorescencia de Rayos X (FRX), Difracción de Rayos X (DRX). Con los resultados obtenidos se pudo comprobar que existen anomalías geoquímicas de vanadio (5300 ppm en las rocas y 1400 ppm en sedimentos de la microcuenca Chirimoyo), uranio (110 ppm en las rocas y 74 ppm en los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo) y estaño (6200 ppm en las rocas y 3500 ppm en los sedimentos de la microcuenca Guineo) ya que se detectaron concentraciones altas comparadas con el Clarke de concentración junto a otros elementos que son trazadores del uranio como Se, Mo, Cd, Ni, As, Pb. Y minerales que contienen uranio y vanadio como son la carnotita y tyuyamunita.

PALABRAS CLAVE: Prospección geoquímica, litogeoquímica, uranio, vanadio, sedimentos fluviales, Puyango, Chirimoyo, Guineo.

ABSTRACT

This research was in the basins Chirimoyo and Guineo, there are in the forest petrified of Puyango canton, Loja province. This thesis describe the geochemical prospection of radioactive minerals, there will be minerals economic interesting, this description was possible because we described the lithogeochemical and active sediments survey in the principal drainages and interesting outcrops.

The analysis realized in these samples of rocks and sediments were X Ray Fluorescence (FRX), and X Ray Diffraction With the results obtained it was possible to verify that there are geochemical anomalies of vanadium (5300 ppm in the rocks and 1400 ppm in sediments of the Chirimoyo micro basin), uranium (110 ppm in the rocks and 74 ppm in sediments of the Chirimoyo micro basin) and tin (6200 ppm in the rocks and 3500 ppm in sediments of the Guineo micro basin), since high concentrations were detected compared with the Clarke of concentration together with other elements that are pathfinder of uranium like Se, Mo, Cd, Ni, As, Pb. And minerals containing uranium and vanadium like carnotite and tyuyamunite

Keywords: Geochemical prospecting, lithogeochemistry, uranium, vanadium, fluvial sediments, Puyango, Chirimoyo, Guineo.

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de minerales metálicos y no metálicos en el Ecuador ha sido un gran aporte para la investigación geológica-minera del país, llevándose a cabo estas investigaciones por varios años en diferentes partes del país, cuyas investigaciones fueron ejecutadas por empresas nacionales e internacionales, dando resultados positivos en la investigación de sectores estratégicos. Para ello utilizamos métodos de prospección ejecutados por empresas mundialmente reconocidas. Unos de los métodos más eficaces es la prospección geoquímica el cual permite definir la composición química de las rocas, sedimentos, agua y plantas. En muchos países este método es utilizado en la búsqueda de metales preciosos como el oro y la plata, además de otros elementos como uranio y elementos de las tierras raras. Para realizar estos análisis es recomendable utilizar un equipo que presente normas estandarizadas para un obtener resultados con mayor veracidad. El uranio es utilizado en la producción de núcleo electricidad, en la producción de isótopos médicos y en técnicas de preservación de elementos. (World, 2016)

Con esta investigación se pretende analizar elementos que son de interés económico como fuente de energía no renovable, como el uranio y otros elementos que son importantes en varias industrias, como es el vanadio. Según (Falconí, 1985) quien realizo un escrito de un estudio realizado en el año de 1980 a 1985 con métodos de Prospección Radiométrica Autotransportada, se encontraron anomalías radiactivas en la zona de Puyango y otras partes del país. Por ello la investigación se enfocó en la zona de Puyango, en las Microcuencas Guineo y Chirimoyo que se encuentran ubicadas al sur del Bosque Petrificado. Se debe realizar el respectivo estudio tomando en cuenta el ambiente de formación como su edad y ubicación de la zona ya que de ellos depende a que se encuentre relacionado a los elementos que buscamos.

En lo referente a los análisis realizados en los laboratorios, el Departamento de Geología y el Departamento de Química cuentan con los equipos y el personal calificado para realizar dichos análisis. Estos fueron realizados para cuantificar e identificar los elementos y minerales en las muestras de sedimentos y rocas. En la presente investigación se utilizó: Fluorescencia de Rayos X (FRX), Difracción de Rayos X (DRX) y equipos para la realización e interpretación de láminas delgadas. Se hicieron análisis de FRX a muestras seleccionadas de rocas y sedimentos, en la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina (CNEA), se hicieron análisis de V y U para corroborar las anomalías.

La interpretación de resultados obtenidos indica que existen anomalías de uranio y vanadio especialmente, éste último con valores altos en comparación al Clarke de concentración en la corteza terrestre. Para una mejor estimación de estos recursos es necesario realizar otros métodos de prospección y exploración. Cabe destacar que estas anomalías se encuentran en un área cercana al Bosque Petrificado por lo cual se debe tener en cuenta el ámbito ambiental y social.

Se debe considerar que, al hablar de yacimientos de uranio, se refiere al uso pacífico del mismo, el cual puede usarse como fuente de energía no renovable. Lo importante es como se apliquen los métodos de extracción tecnificada del mineral sin dañar el medio ambiente, generando así nuevas fuentes de trabajo a las personas de la zona.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

El uranio es un elemento utilizado principalmente en la generación de núcleo electricidad, en técnicas de preservación de alimentos y en medicina. El precio de U_3O_8 por libra ha variado en los últimos años y ha llegado a tener un costo de 136 US\$ (Lenzen, 2008), actualmente el precio oscila en los 25,25 US\$/lb (Uranium Miner, 2016), por lo que como recurso mineral puede ser un producto valioso.

Cada país tiene la responsabilidad de hacer un inventario de sus recursos minerales. En Ecuador se han hecho estudios de prospección y exploración muy preliminares en los cuales se han determinado zonas con anomalías importantes. Estos estudios se realizaron en dos etapas: primera etapa de 1964 a 1976 y la segunda etapa de 1977 a 2008. Los estudios que estuvieron a cargo de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEAA) se finalizaron por el bajo precio del uranio en los años 90. Hoy en día solo existe la Subsecretaria de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), perteneciente al Ministerio de Electricidad y energía Renovable (MEER), como un ente regulatorio.

Los trabajos de investigación realizados por estos organismos han quedado inconclusos, sin tener una inversión por parte del sector privado y del gobierno, esto para que genere proyectos de investigación sobre el potencial que puede llegar a tener la explotación uranífera en Puyango y otros partes de nuestro país.

El trabajo se enmarca en estudios geoquímicos y mineralógicos de sedimentos pesados y roca en las redes hídricas de las microcuencas Guineo y Chirimoyo que fueron estudiadas por los organismos anteriormente nombrados. Estos estudios se centran en análisis específicamente para minerales radiactivos.

La investigación se llevó a efecto con participación directa del Departamento de Geología y Minas de la UTPL, y la colaboración de la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina (CNEA), para realizar los respectivos análisis de laboratorio; además de tener los permisos correspondientes del Ministerio del Medio Ambiente, ya que la zona de estudio abarca gran parte de la reserva del Bosque Petrificado.

1.2. Justificación

El área de Puyango fue establecida como favorable para albergar depósitos de uranio y otros minerales radiactivos, según informe de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, 1978) así como otras zonas de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe.

Mediante el estudio de caracterización geoquímica se planteó obtener los datos de concentraciones elementales y mineralogía, para poder identificar posibles depósitos de minerales radiactivos y otros tipos de depósitos metálicos, determinando una línea base que permitiera establecer mineralizaciones de uranio u otros elementos de interés económico. En la actualidad el crecimiento y la demanda de energía ha promovido la exploración e investigación de minerales radiactivos, por lo cual se llevó a cabo un estudio de prospección geoquímica para la búsqueda de anomalías de uranio y otros elementos asociados.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el estudio de prospección geoquímica en las microcuencas Chirimoyo y Guineo del sector Puyango, para identificar posibles depósitos minerales.

1.3.2. Objetivos específicos

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

CAPÍTULO II
CARACTERÍSTICAS FÍSICOGEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. Localización geográfica

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el cantón Puyango limitada al Norte con el cantón Las Lajas en la provincia de El Oro, al Sur con los cantones Pindal y Celica, al Este con el cantón Paltas y al Oeste con Zapotillo y Tumbes (Figura 1), este último perteneciente a la República de Perú.

La zona de estudio son las microcuencas Chirimoyo y Guineo (Figura 2) las cuales forman parte de las estructuras geomorfológicas conocidas como Cordillera de Tahuín, ubicadas en la Zona Transversal Puná Méndez.

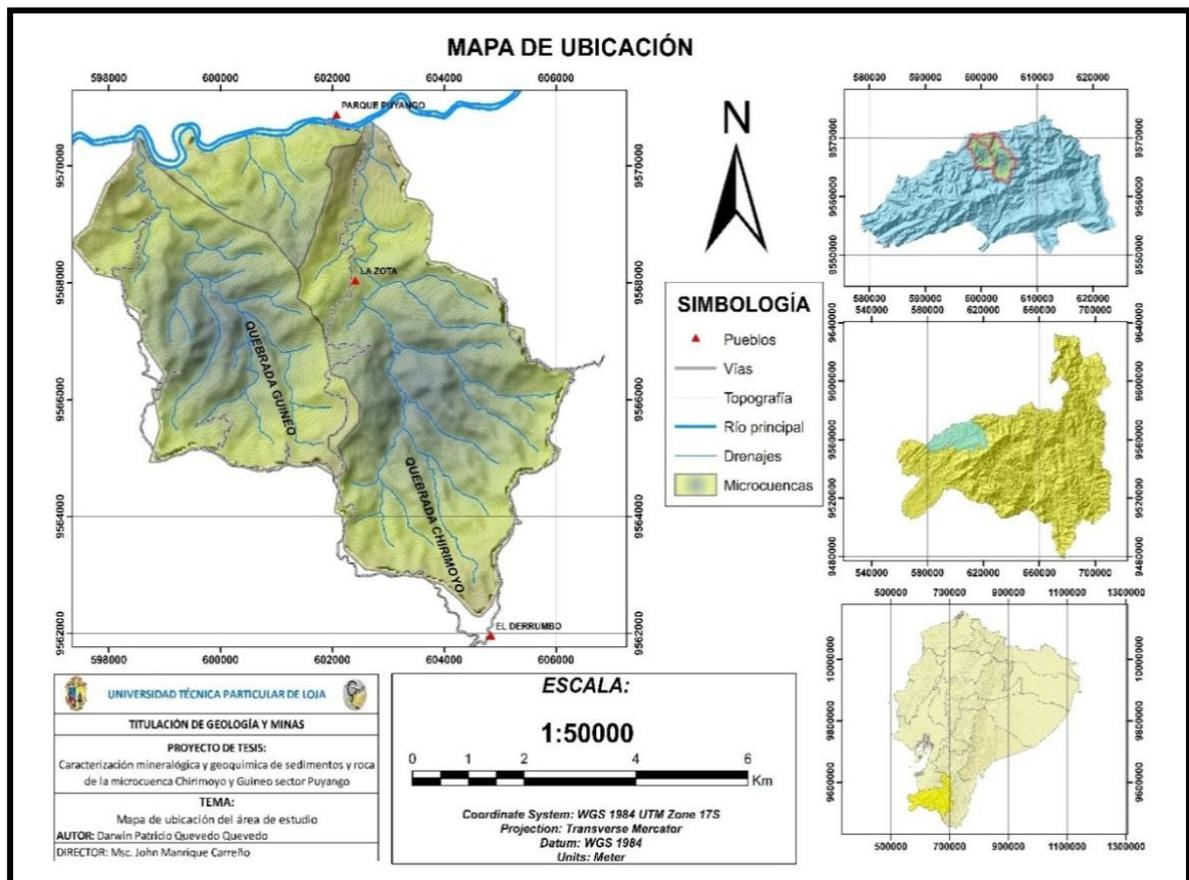


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Estas microcuencas se encuentran dentro del parque petrificado Puyango por lo cual se puede apreciar varios árboles petrificados y bivalvos.

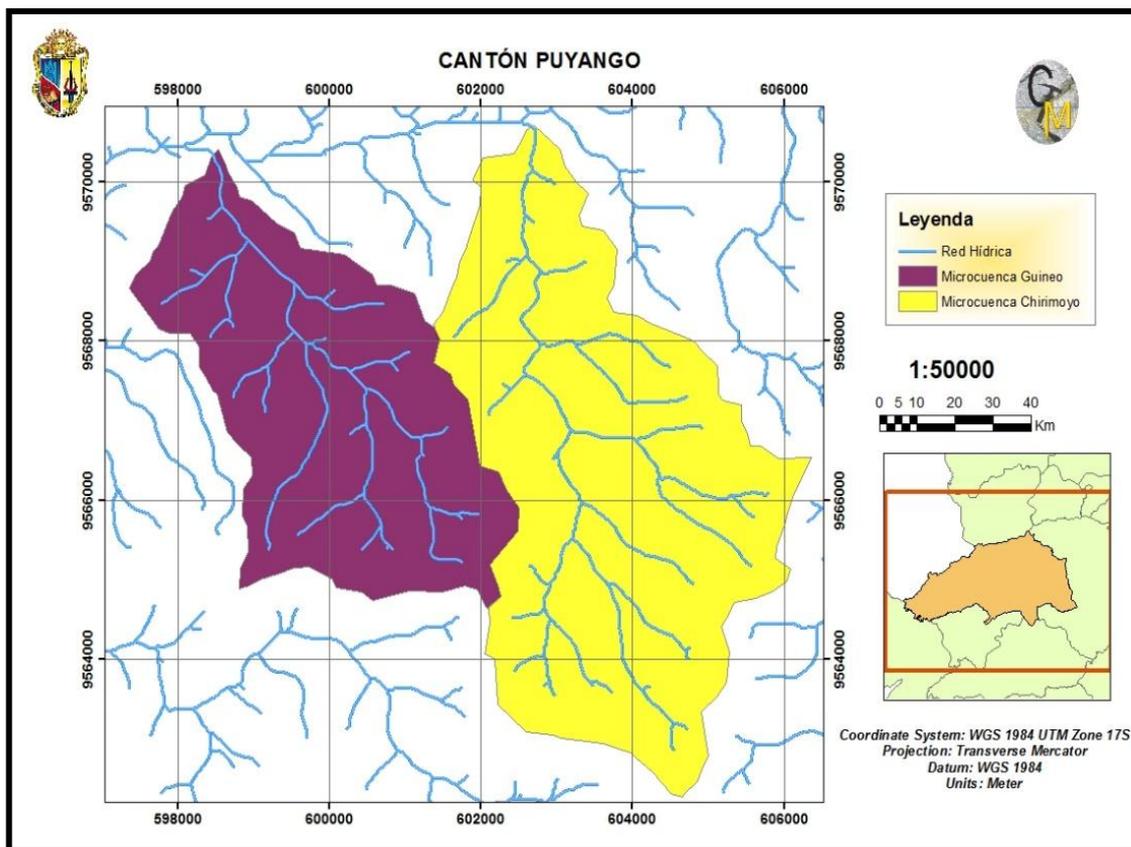


Figura 2. Ubicación de las microcuencas

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

2.2. Acceso

El acceso a la zona de Puyango se la realizó por vía de primer orden desde la ciudad de Loja hasta el campamento de Puyango. A las microcuencas se accede por carreteras de segundo orden, para después acceder a los respectivos drenajes y tomar las muestras de cada uno de ellos.

2.3. Clima

El cantón tiene dos tipos de clima; templado húmedo en la zona de altura y en las partes de cordillera y cálido en los valles bajos. Ésta es una razón por el cual el cantón Puyango consta de una flora y fauna únicas. Se diferencian dos épocas bien marcados en los cuales se destacan épocas de lluvia y época de verano. (Puyango, Noviembre 2014). El invierno empieza en el mes de enero hasta mayo y la época de verano empieza en el mes de junio hasta diciembre.

2.4. Vegetación

La vegetación en el Cantón Puyango es uno de los pocos remanentes de bosque seco tropical al suroeste del Ecuador donde las pendientes fuertes y las quebradas han conservado la vegetación natural propia y completa de este tipo de ecosistema y otras zonas de bosque secundario en recuperación. La pérdida de estos bosques se debe a que son trabajados para crear pastizales.

2.5. Fauna

La fauna en el cantón Puyango es muy extensa con más de 130 especies en la que se puede nombrar las tórtolas, pájaro bobo, carpintero, el chilalo, loro, gavián, etc. Los mamíferos que más sobresalen son: venados, tigrillos, ardillas, sahinós, zorros, armadillos. En los reptiles los que más sobresalen son lagartijas, iguanas y serpientes.

2.6. Geomorfología

La geomorfología del cantón Puyango se caracteriza por tener relieves montañosos con cimas agudas y redondeadas localizados en la parte centro oriental del cantón (Figura 3). Los coluviones antiguos se encuentran repartidos a lo largo de la superficie cantonal, con cimas redondeadas, litológicamente están ligados depósitos coluviales respectivamente; en cuanto a las terrazas medias, bajas y cauces actuales y valles fluviales, se ubican en las orillas del río Puyango.



Figura 3. Relieve de las microcuencas

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

El medio aluvial, consta de terrazas medias, terrazas bajas con pendientes que oscilan entre 2 a 5 %. Los relieves son colinados con pendientes fuertes, depósitos coluviales y aluviales localmente alterados y fuertemente meteorizados, las pendientes oscilan entre 25 y 40 %. El relieve de las cuencas y valles son originados por los movimientos tectónicos erosivos, denudativos.

2.7. Hidrología

El cantón Puyango se encuentra rodeado por varias quebradas (Figura 4.) que recorren el cantón en las que alimenta el río Alamor y el río Puyango formando microcuencas de gran extensión. Muchas de estas quebradas tienen muchas utilidades en la cuales se puede apreciar que sirven para el consumo humano y para el consumo de diferentes tipos de ganado.

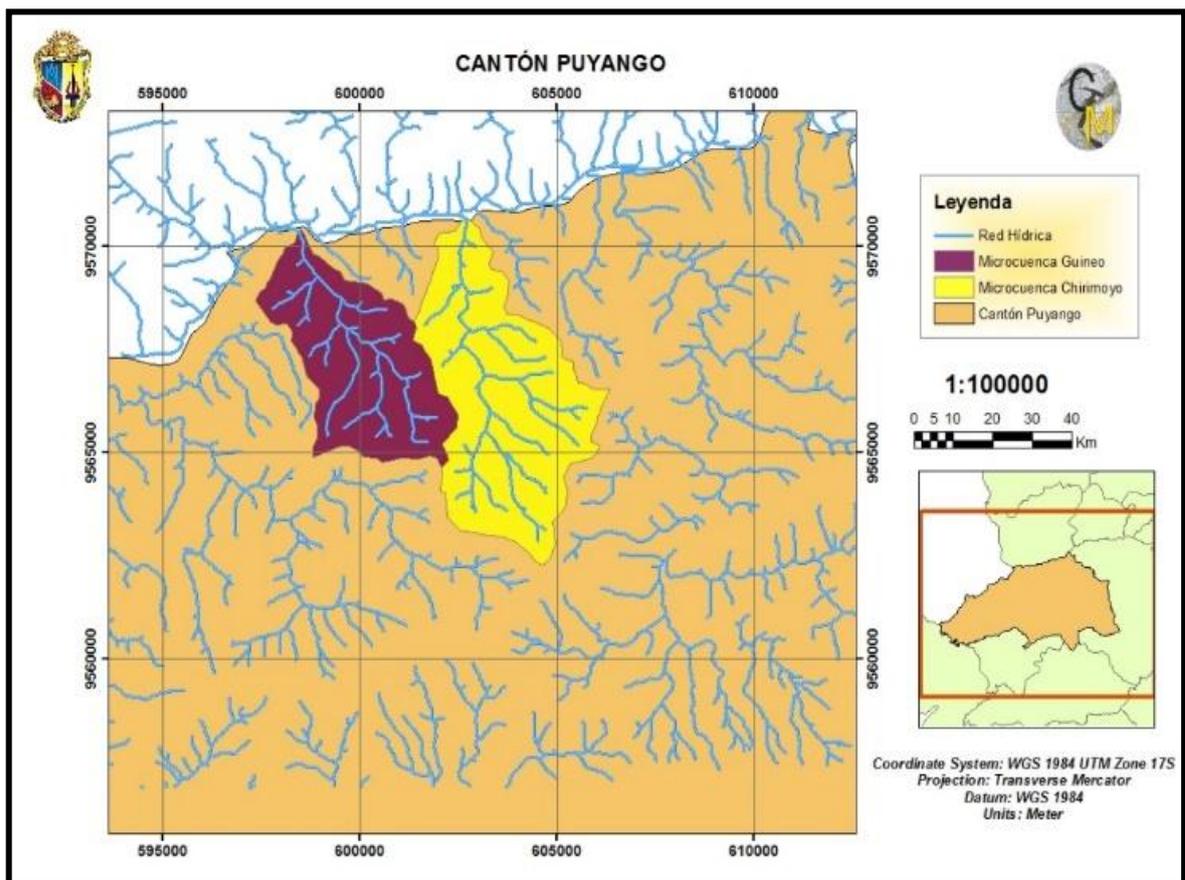


Figura 4. Hidrografía del Cantón Puyango

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

CAPÍTULO III
GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Geología regional

El área de estudio se encuentra influenciada por dos dominios lito-tectónicos como son el Bloque Amotape-Tahuín al Oeste y la cuenca Amor- Lancones al Este cada una con características petrográficas diferentes por su composición. El Bloque Amotape- Tahuín se encuentra conformado por rocas Paleozoicas tales como pizarras, cuarcitas, esquistos verdes, azules y eclogitas que forman parte del complejo metamórfico El Oro, todas estas rocas metamórficas son similares a las que se encuentran en la cordillera real. Estas rocas han sido interpretadas como parte de un complejo prisma acresionario que se extiende a lo largo de los Andes del Norte, secuencias volcánicas de rocas básicas y ultrabásicas jurásicas, lavas andesíticas y basálticas del terciario y cuaternario. (Aspden, 1995).

El Bloque Amotape Tahuín formaba parte de la Cordillera Real, pero ésta fue desmembrada producto de la colisión oblicua y posterior acreción del arco insular Alao en el Cretácico Inferior lo que provocó una rotación de 63° la cual es su posición actual (Mourier et al., 1988). La cuenca Amor-Lancones o también denominada como Lancones-Celica propuesta como Cuenca Oceánica Marginal de edad cretácica producto de la desmembración del Bloque Amotape Tahuín en los terrenos Loja-Olmos esta formada por rocas sedimentarias en la zona occidental y por rocas volcánicas en la zona oriental. (Eguez, 2001)

Unidad el Tigre (Paleozoicas)

Esta unidad se la puede observar en el trayecto Amor-Arenillas está dispuesta en una franja con dirección E-W, constituida por rocas sedimentarias como areniscas de grano medio intercaladas con lutitas de color marrón y secuencias metamórficas de bajo grado (Aspden, 1995).

Unidad Puyango (Cretácico inferior)

Esta Unidad se encuentra aflorando en el camino antiguo que conduce a Amor. Las rocas están conformadas por calizas negras y calizas bituminosas intercaladas con areniscas calcáreas. Esta Unidad sobreyace a la Unidad Quebrada Los Zabalos (Aspden, 1995).

Unidad Ciano (Cretácico superior)

Está constituida principalmente de rocas sedimentarias, pero hay un porcentaje grande de rocas volcánicas intercaladas, que son más comunes al sur. La formación está plegada a lo largo de ejes este-oeste, las rocas sedimentarias son principalmente limolitas laminadas, lutitas y en menor proporción areniscas, todas de colores grises oscuros, consolidadas e interestratificadas (Aspden, 1995).

Unidad Cazaderos (Cretácico superior)

Está conformada por estratos de areniscas de grano grueso y conglomeráticas en su parte basal, con estratificación fluvial, lo que parece indicar un ancho río o una antigua línea de playa. Esta formación descansa discordantemente sobre las rocas del Grupo Tahuin (Aspden, 1995).

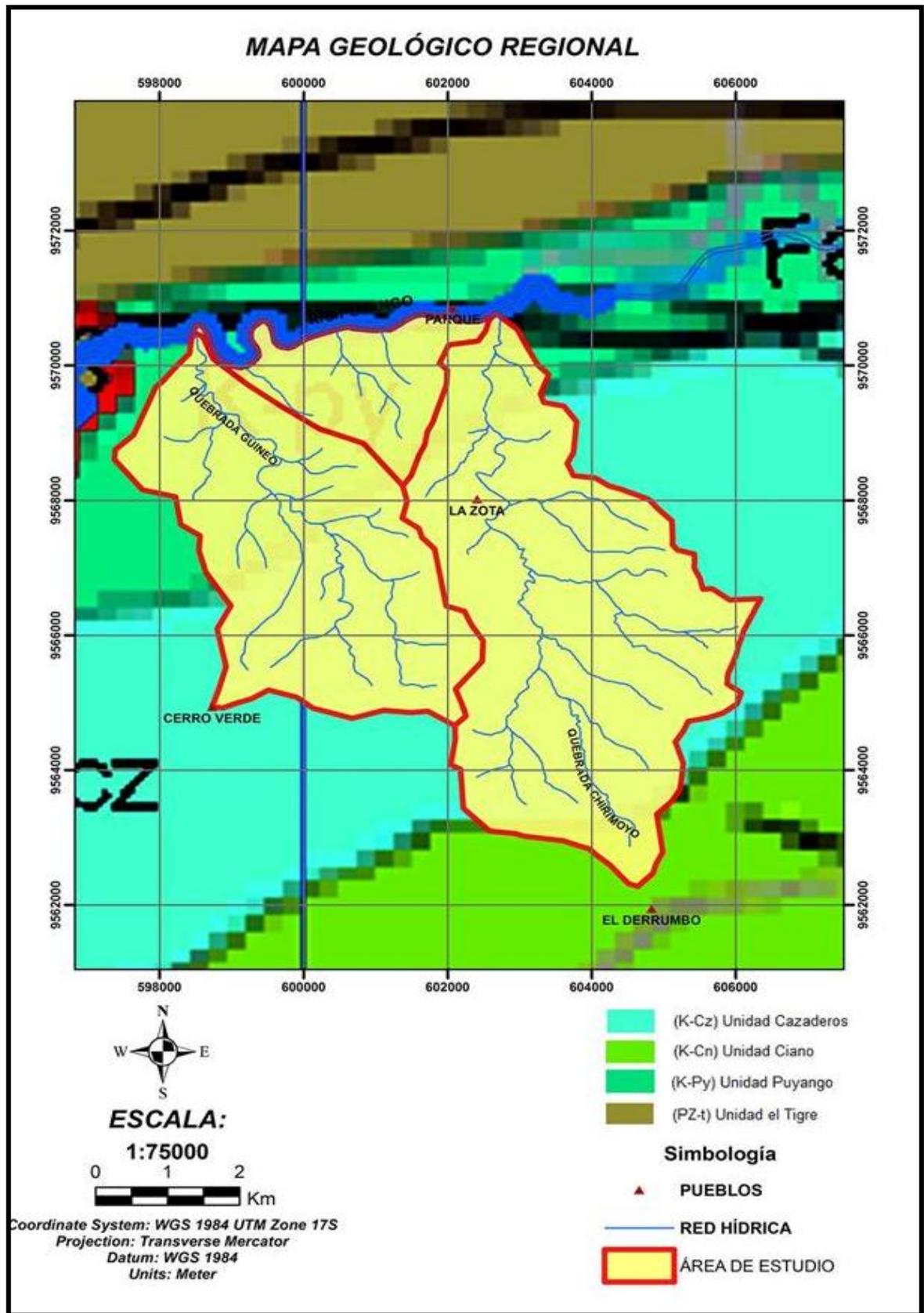


Figura 5. Mapa de la geología regional de la zona de estudio

Fuente: (INGEMMET; DINAGE, 2005)

Elaboración: (INGEMMET; DINAGE, 2005)

3.2. Geología local y estructural

Dentro del estudio de prospección en las microcuencas Chirimoyo y Guineo se observa que las rocas en su mayoría son sedimentarias y rocas volcánicas con presencia de pliegues anticlinales y sinclinales producto del tectonismo, además de árboles silicificados y la presencia de fósiles marinos producto de la transgresión y regresión marina que se produjo en la génesis de los Andes.

Microcuenca Chirimoyo

La Quebrada Chirimoyo es una de los principales afluentes al Sur del río Puyango, se puede acceder por varios senderos y caminos que están cerca de la vía antigua a Alamor. A lo largo de la microcuenca se pueden observar troncos fosilizados y una serie de pliegues anticlinales y sinclinales, además de las diferentes litologías que se describen a continuación:

Unidad Puyango: En la parte baja de la microcuenca en las muestras CH-M12 y CH-M13 se identificó calizas negras pertenecientes a la Unidad Puyango (Figura 6). Además de esto, se pudo observar que las rocas están en posición sub-horizontal y en capas plegadas debido al tectonismo.



Figura 6. Calizas negras

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Unidad Quebrada los Zabalos: En la muestra CH-M1, CH-M4, CH-M6, CH-M8 se identificó lutitas negras y lutitas negras carbonatadas (Figura 7) con datos estructurales equivalentes

a CH-M1 (105N-55NE), CH-M4 (65N-50NW), CH-M6 (35N-35SE), CH-M8 (60N-15NW). En las muestras CH-M2 y CH-M9 se identificó volcanosedimentos; también se puede apreciar a lo largo de las terrazas aluviales presencia de troncos petrificados (anexo I.b).



Figura 7. Lutitas de color negro

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

De acuerdo a los datos estructurales obtenidos se puede inferir que en esta Unidad existe un pliegue sinclinal con una dirección NE-SW (Figura 8)



Figura 8. Pliegue sinclinal.

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Unidad Cazaderos: En esta Unidad se identificó varios tipos de litologías, como areniscas en la muestra CH-M35, areniscas calcáreas en las muestras CH-M10, CH-M11, CH-M14, calizas en la muestra CH-M7 con un dato estructural de 95N-45SW y lutitas negras carbonatadas en las muestras CH-M24 y CH-M25 con datos estructurales en las muestras CH-M23 (120N-36SW) y CH-M28 (60N-65SE), además se observó la presencia de fósiles como conchas y concreciones subredondeadas (Anexo I.a) que se aprecian en la parte media y alta de la microcuenca,



Figura 9. Lutitas negras

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Unidad Ciano: En la parte más alta, por la vía antigua a Alamor en el sitio El Derrumbo se observó la presencia de lutitas negras carbonatadas en la muestra CH-M34 con un dato estructural equivalente a (100N-35SW), además existen concreciones subredondeadas (Figura 10)



Figura 10. Lutitas negras carbonatadas

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Microcuenca Guineo

En esta microcuenca se estudiaron dos Unidades como son la Unidad Puyango y la Unidad Cazaderos.

Unidad Puyango: Dentro de esta Unidad se estudiaron dos áreas, la microcuenca Guineo y el área que se encuentra frente al parque Puyango, en cuyas muestras se utilizó el código (PAP).

En el área de muestreo (PAP) se identificó calizas negras y lutitas negras (Figura 11). Interpretando los datos estructurales de las muestras PAP-M3 (145N-25SW), PAP-M6 (80N-40NW), PAP-M4 (165N-75SW) se definió un pliegue anticlinal inferido con una dirección E-W, así mismo con los datos estructurales de las muestras PAP-M2 (115N-20SW) y PAP-M7 (85N-8SE) se definió un pliegue sinclinal inferido con dirección E-W.



Figura 11. Calizas negras, muestra (PAP-M10)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

En la microcuenca Guineo se definieron tres litologías las cuales son: calizas negras, lutitas negras y areniscas. Analizando los datos estructurales de las muestras GUI-M9 (35N-20NW), GUI-M10 (70N-42SE), GUI-M7 (45N-50NW) y GUI-M8 (55N-20NE), se definió un pliegue sinclinal con dirección NE-SW, así mismo con los datos de las muestras GUI-M7 (45N-50NW) y GUI-M5 (95N-30SW) se definió un pliegue anticlinal inferido en dirección E-W.

Unidad Cazaderos: En la microcuenca Guineo esta Unidad está conformada por calizas negras (GUI-M1, GUI-M4, GUI-M12 y GUI-M15), areniscas (GUI-M13) (Figura 12), lutitas negras (GUI-M17) y brechas (GUI-M14 y GUI-M16). Se observó la existencia de ammonites fosilizados (Anexo II.a) e improntas de hojas.



Figura 12. Areniscas, muestra (GUI-M13)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Para la elaboración del mapa geológico local de las microcuencas Chirimoyo y Guineo (Figura 13) se interpretó la información obtenida en campo, conjuntamente con la información del proyecto: “Plan de Investigación, Conservación y Puesta en Valor del Patrimonio Geológico, Minero” (INIGEMM, 2014), lo cual permitió definir los contactos inferidos entre las formaciones geológicas.

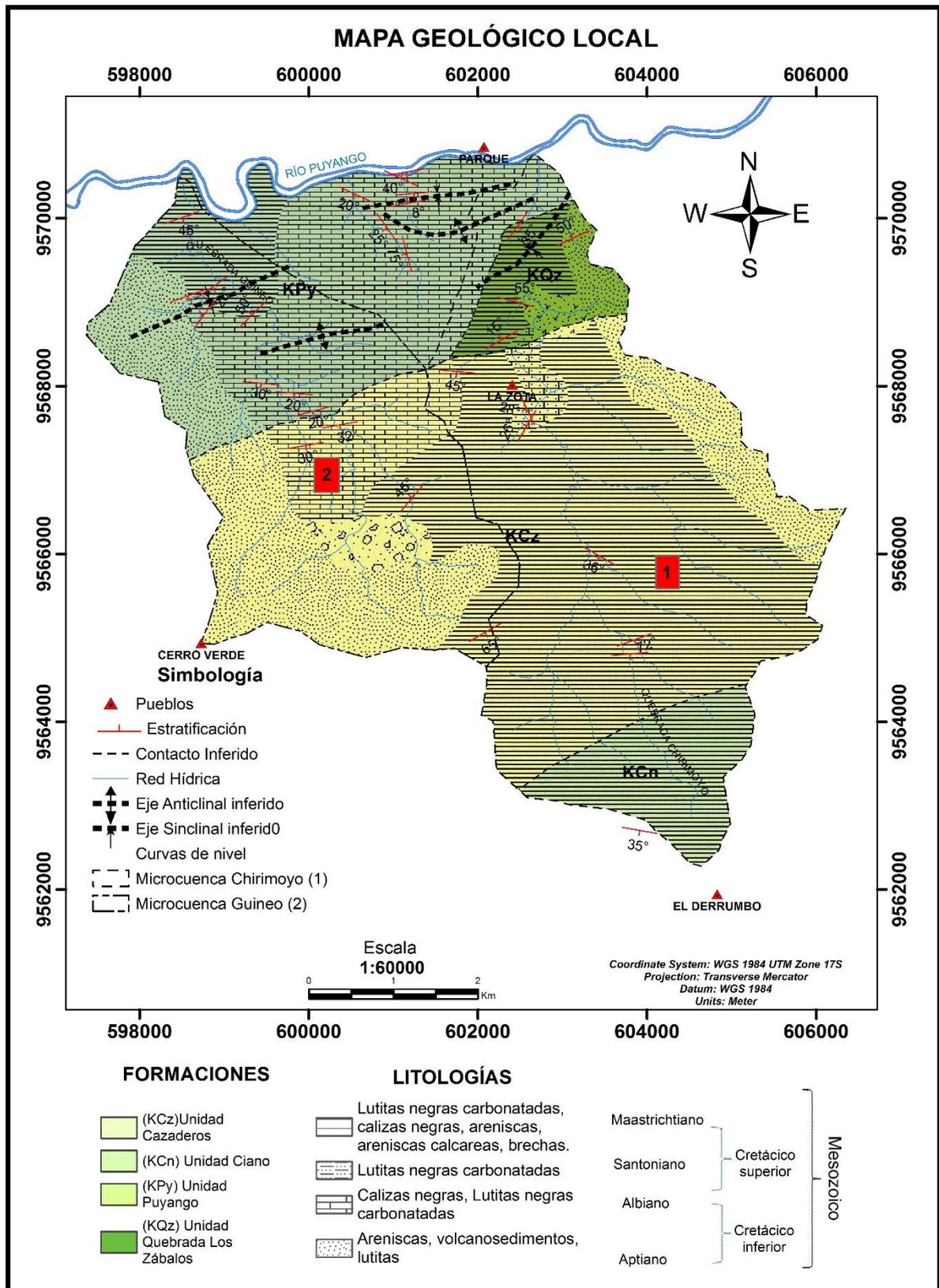


Figura 13. Mapa geológico de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

CAPÍTULO IV
GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS DE INTERÉS

4.1. Vanadio.

El carácter geoquímico del vanadio es litófilo con tendencias siderófilas y biófilas. En la naturaleza, el vanadio ocurre en tres estados de oxidación V^{+3} , V^{+4} y V^{+5} (Figura 12) y es uno de los elementos redox-sensibles. Su Clarke de concentración en la corteza es 136 ppm (Smith & Huyck, 1999). En las rocas magmáticas, el vanadio traza está preferentemente incluido en la magnetita, en los minerales de titanio y en la cromita. Por lo tanto, el contenido medio de vanadio disminuye abruptamente desde las rocas máficas (250 ppm) hasta los granitos (20 ppm). Como es de esperarse, las pegmatitas y las soluciones hidrotermales derivadas de granito contienen poco vanadio (Pohl, 2011).

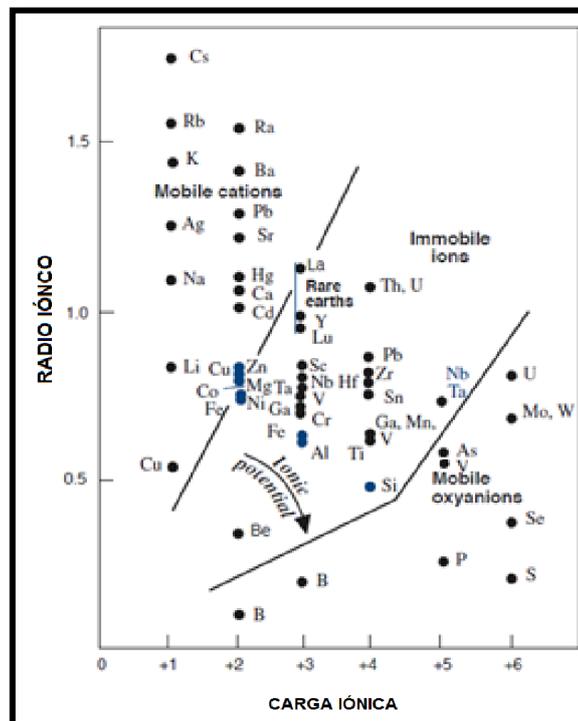


Figura 14. Diagrama Potencial Iónico

Fuente: (Smith & Huyck, 1999)

Elaboración: (Smith & Huyck, 1999)

La alteración de los minerales primarios libera vanadio, como V^{+5} . En un clima húmedo (donde el agua del suelo es moderadamente ácida), el vanadio es apenas soluble y se dispersa principalmente por procesos mecánicos. Las filtraciones ricas en oxígeno, alcalinas o fuertemente ácidas y las aguas subterráneas de climas semiáridos y áridos disuelven V^{+5} como el oxianión vanadato (VO_4^{3-}). En tales aguas el vanadio alcanza concentraciones de varios 100 ppm y puede ser transportado a distancias considerables. Similar al uranio, la precipitación es inducida por la reducción de V^{+5} a V^{+4} y V^{+3} (especialmente por sustancias

orgánicas), o por la combinación con los cationes tales como Pb^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} y UO_2^{+2} (que da lugar a la formación de carnotita, en el depósito de Yeelirrie, Australia) o por la inclusión/adsorción en oxi-hidróxidos de Fe y Al por ejemplo bauxita (Pohl, 2011).

La mayoría de las rocas sedimentarias contienen poco vanadio. Las excepciones notables son las rocas bituminosas (lutitas de cobre en Alemania y Polonia, lutita de alú en Suecia), yacimientos sedimentarios de hierro y manganeso, bauxita, fosforitas y nódulos de manganeso de aguas profundas. Las muestras de las piscinas de barro metalífero en el Mar Rojo contienen hasta un 1,3% de V_2O_3 (Pohl, 2011)

El enriquecimiento excepcional de vanadio es conocido por una serie de organismos marinos, incluyendo la ascidiácea y holothuroidea (pepinos de mar) que alcanzan el >1% de vanadio (en masa seca). Sin embargo, el contenido traza de vanadio sorprendentemente elevado en el petróleo, el alquitrán y el asfalto no se debe a la concentración de biomasa sino a la sustitución diagenética temprana del magnesio en la clorofila por el ion vanadilo. El vanadio (y el níquel) se complejan a las porfirinas en las rocas fuente del petróleo. Por lo tanto, la ceniza de petróleo puede alcanzar hasta 20% de vanadio y es una fuente importante del metal (Pohl, 2011).

Las grandes cantidades de vanadio se alojan en lutitas que son rocas madres de petróleo. Un ejemplo es el depósito del Cretáceo Medio Julia Creek (Australia), con recursos de 4000Mt de lutita in situ, que contienen un 1700Mbl recuperable de petróleo y, en partes oxidadas del depósito a ~20m de profundidad, los recursos medidos de 200Mt de vanadio a 0,4% V_2O_5 y 300 g/t MoO_3 (Pohl, 2011).

4.2. Uranio.

El carácter geoquímico del uranio es litófilo (Pohl, 2011). El uranio ocurre en sistemas naturales en dos estados de oxidación, U^{+4} y U^{+6} . Su Clarke de concentración en la corteza es de 2.3 ppm (Smith & Huyck, 1999). En los procesos primarios de la corteza el uranio se comporta como un elemento incompatible debido a su alta densidad (potencial iónico), de manera que el uranio se concentra en la parte superior de la corteza continental. En los magmas el ion U^{+4} tiene comportamiento incompatible, concentrándose en la etapa final de cristalización magmática en una variedad de minerales accesorios como son el circón, apatito, monacita, titanita, alanita y uraninita. Los granitos y pegmatitas producidos por magmas evolucionados son más ricos en uranio que las rocas ígneas máficas. El uranio es

progresivamente enriquecido en una masa fundida de silicato durante la diferenciación y es generalmente más alta en rocas félsicas. Una concentración secundaria de uranio puede ocurrir como resultado de una actividad hidrotermal asociada con el emplazamiento de rocas volcánicas félsicas y rocas intrusivas (Cuney & Kyser, 2008)

Las concentraciones de uranio en rocas sedimentarias están relacionadas a sus condiciones reductoras, con altas concentraciones encontradas en facies ricas en materia orgánica (6-1000ppm) asociados con ambientes anóxicos y sedimentos fosfáticos (50-300ppm). (Cuney & Kyser, 2008)

Geoquímica del uranio a baja temperatura

La uraninita y la mayoría de los otros minerales comunes de U son escasamente solubles en agua a pH neutro y bajas temperaturas, dependiendo del potencial de oxidación del agua. (Cuney & Kyser, 2008)

La geoquímica acuosa del uranio es inusual, debido a que generalmente es más soluble en aguas oxidantes, alcalinas y ricas en carbonatos que en ácidos, esto se debe principalmente a la tendencia del U^{+6} a formar complejos fuertes en fluidos oxidantes, independientemente de la temperatura. (Cuney & Kyser, 2008)

Geoquímica del uranio a alta temperatura.

A alta temperatura, los datos de solubilidad son extremadamente raros y los valores disponibles son de la extrapolación de datos termodinámicos de baja temperatura a alta temperatura. La solubilidad de UO_2 en fluidos parece ser independiente del pH en el rango de $4 < pH < 10$ y tiene una dependencia mínima de temperatura de 100 a 300°C. (Cuney & Kyser, 2008)

4.3. Molibdeno.

El carácter geoquímico del molibdeno es siderófilo. El valor estimado de Clarke de concentración en la corteza del molibdeno es 1,2 ppm (Smith & Huyck, 1999). En consecuencia, el molibdeno es menos abundante que el U, Th, Sc y la mayoría de los elementos de tierras raras. Generalmente, los sedimentos contienen muy poco molibdeno

(<1 ppm). Debido a que el metal es un micronutriente esencial, está enriquecido en la materia orgánica (carbón, petróleo, querógeno, grafito) (Pohl, 2011).

En ríos y en agua de mar, el molibdeno se disuelve como un anión estable el molibdato (MoO_4^{2-}), donde el Mo tiene estado de oxidación +6 por lo tanto, con una concentración de 11 ppm, el molibdeno es el elemento de transición más abundante en el agua del océano. En cuencas euxínicas con H_2S en aguas profundas, el molibdeno y el azufre se precipitan y se enriquecen en sedimentos orgánicos de fondo. Consecuentemente, las lutitas negras alcanzan contenidos de 150ppm de Mo, comúnmente hospedado por la pirita (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 del molibdeno (Pohl, 2011).

4.4. Selenio.

El carácter geoquímico del selenio es calcófilo (Pohl, 2011). El Clarke de concentración en la corteza del selenio es de 0.05ppm (Smith & Huyck, 1999). Durante la actividad volcánica, el Selenio se escapa como gases volcánicos de alta temperatura por lo que las concentraciones de selenio en las rocas volcánicas son generalmente bajas (Fordyce et al., 1998).

En las rocas sedimentarias, el selenio se asocia con la fracción arcillosa y se encuentra en mayores concentraciones en lutitas que en calizas o areniscas. Se han reportado concentraciones relativamente altas de selenio en algunas rocas fosfáticas. Las concentraciones de selenio en carbón pueden ser altas en relación con otros tipos de roca y típicamente oscilan entre 1 y 20 ppm. El selenio es un elemento calcófilo y el Se^0 elemental se asocia ocasionalmente con la mineralización de sulfuros. Sin embargo, más

comúnmente, el selenio sustituye el azufre en los minerales de sulfuro debido a la similitud en la cristalografía de estos dos elementos (Fordyce et al., 1998).

Los principales factores que controlan la disponibilidad de selenio en los suelos son el pH y las condiciones redox, la especiación del selenio, la textura del suelo y la mineralogía, el contenido de materia orgánica y la presencia de iones competitivos. En los suelos ácidos y neutros, el selenio inorgánico Se^{+4} se presenta como complejos de óxidos y oxihidróxidos férricos muy insolubles. El Se^{+6} , el estado de oxidación predominante en suelos neutros y alcalinos, es generalmente soluble, móvil y fácilmente disponible para la absorción de plantas. El Se^{+4} se adsorbe sobre superficies de partículas del suelo con mayor afinidad que el Se^{+6} y este comportamiento unido a una menor solubilidad hace que el Se^{+4} sea menos biodisponible que Se^{+6} . (Fordyce et al., 1998).

4.5. Bismuto.

La abundancia media de la corteza es ~0.2 ppm. Su comportamiento geoquímico es calcófilo y como el Sb y As es uno de los metales volátiles. El bismuto trivalente (Bi^{+3}) está entre los elementos que están altamente enriquecidos en la corteza continental, en comparación con el manto primitivo. El bismuto se concentra por procesos magmáticos e hidrotermales. Bajo condiciones oxidantes, el bismuto (Bi^{+5}) es moderadamente móvil, pero inmóvil en todos los entornos reducidos (Bi^{+3}) (Pohl, 2011).

4.6. Estaño.

El carácter geoquímico del estaño es litófilo. Su Clarke de concentración en la corteza es 2.10 ppm (Smith & Huyck, 1999). El Sn puede extraerse de la masa fundida o de minerales accesorios (ilmenita, titanita, granate y micas) por medio de fluidos reducidos, ácidos, cloruros o ricos en flúor que se forman durante la cristalización de magmas félsicos. La solubilidad del estaño (y Fe) es más alta en soluciones calientes, reducidas, salinas y ácidas.

La precipitación de la casiterita (Sn^{4+}) es inducida por la desestabilización de los complejos después de caídas repentinas de T o P (ebullición), aumento de la fugacidad de oxígeno o pH debido a la alteración hidrotermal de las rocas huésped. Obviamente, SnO_2 no puede formarse en ausencia de oxígeno, pero esto puede derivarse del agua en los fluidos. La casiterita es muy resistente contra la alteración química superficial (Pohl, 2011)

CAPÍTULO V
METODOLOGÍA

La metodología a utilizar en el estudio geoquímico y mineralógico de la zona se basa en varias etapas en las que se lleva una secuencia ordenada. La investigación inició con la recopilación de información relacionada a Puyango en la que se revisaron estudios previos que se realizaron en algunas partes de este sector, basados en análisis químicos, geológicos, radiométricos y cartográficos.

5.1. Muestreo

En la exploración de las micro cuencas Chirimoyo y Guineo, se utilizará métodos de muestreo geoquímicos: litogeoquímicos y de sedimentos activos (concentrado de minerales pesados), además, en los sitios de muestreo se midió el pH del agua, el cual es un parámetro fisicoquímico que permite interpretar algunos resultados químicos (Figura 15).



Figura 15. Medición del pH del agua.

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Los puntos en los cuales se realizó el muestreo fueron, a lo largo de la quebrada, antes de intersecciones con afluentes, después de las intersecciones y en algunas de las nacientes de los afluentes.

5.1.1. Roca

Para el muestreo litogeoquímico (Figura 16), se tomará aproximadamente 2Kg. de roca fresca del afloramiento (Figura 17, derecha), que fue depositado en una funda debidamente etiquetada.

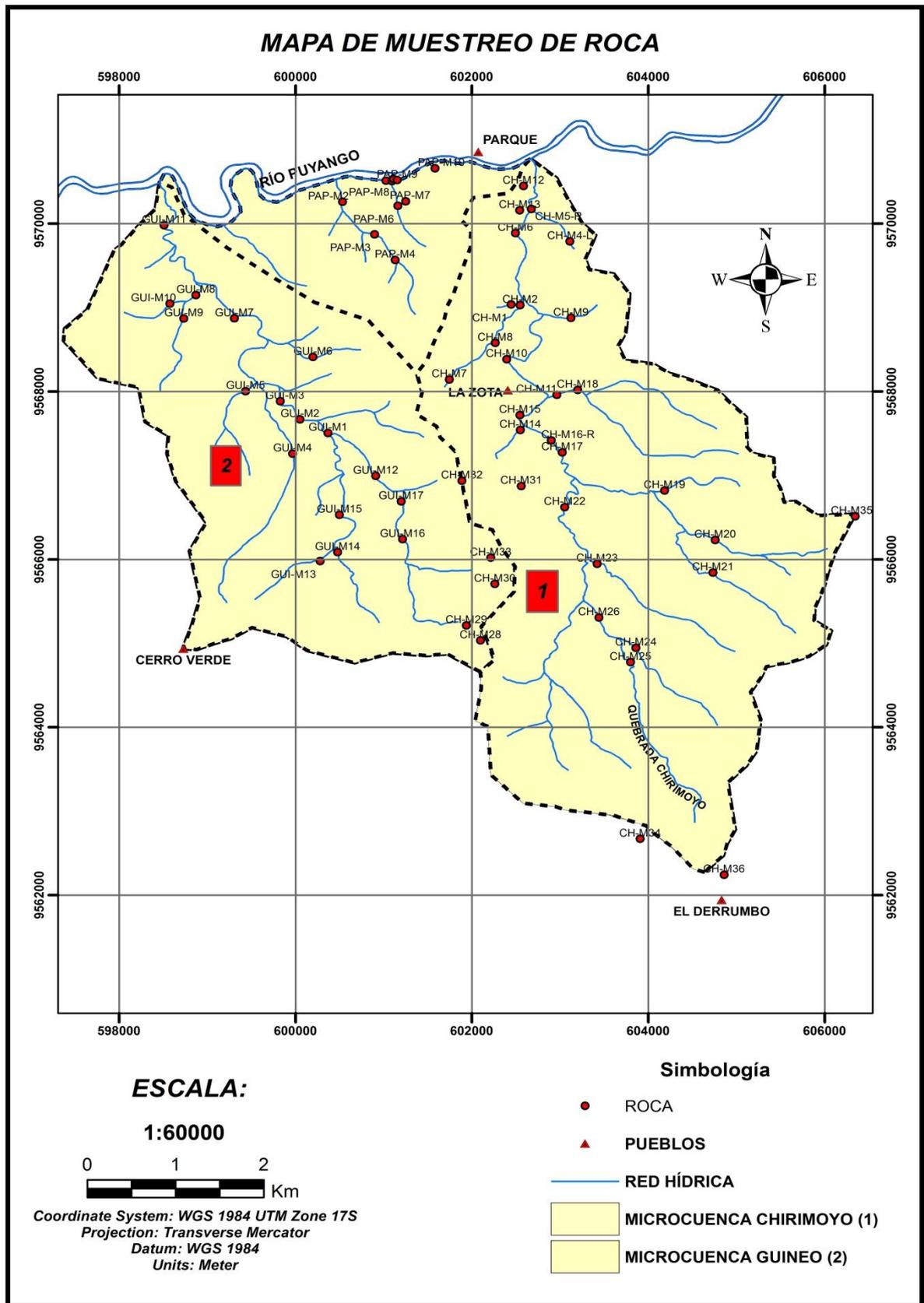


Figura 16. Mapa de muestreo de rocas del área de estudio

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

5.1.2. Sedimentos

Para muestrear los sedimentos activos (Figura 18), con una pala se cava unos centímetros en la orilla de la quebrada y el material extraído es colocado en un tamiz #10 y el platón en la parte inferior donde se concentran los minerales pesados (figura 17, izquierda), los cuales fueron colocados en una funda con su debida etiqueta. En cada punto se midió el pH del agua mediante un pHmetro portátil, se midieron coordenadas mediante un GPS y todos estos datos junto con una breve descripción de los afloramientos fueron anotados en una libreta.



Figura 17. Sedimentos (izquierda) y roca (derecha)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

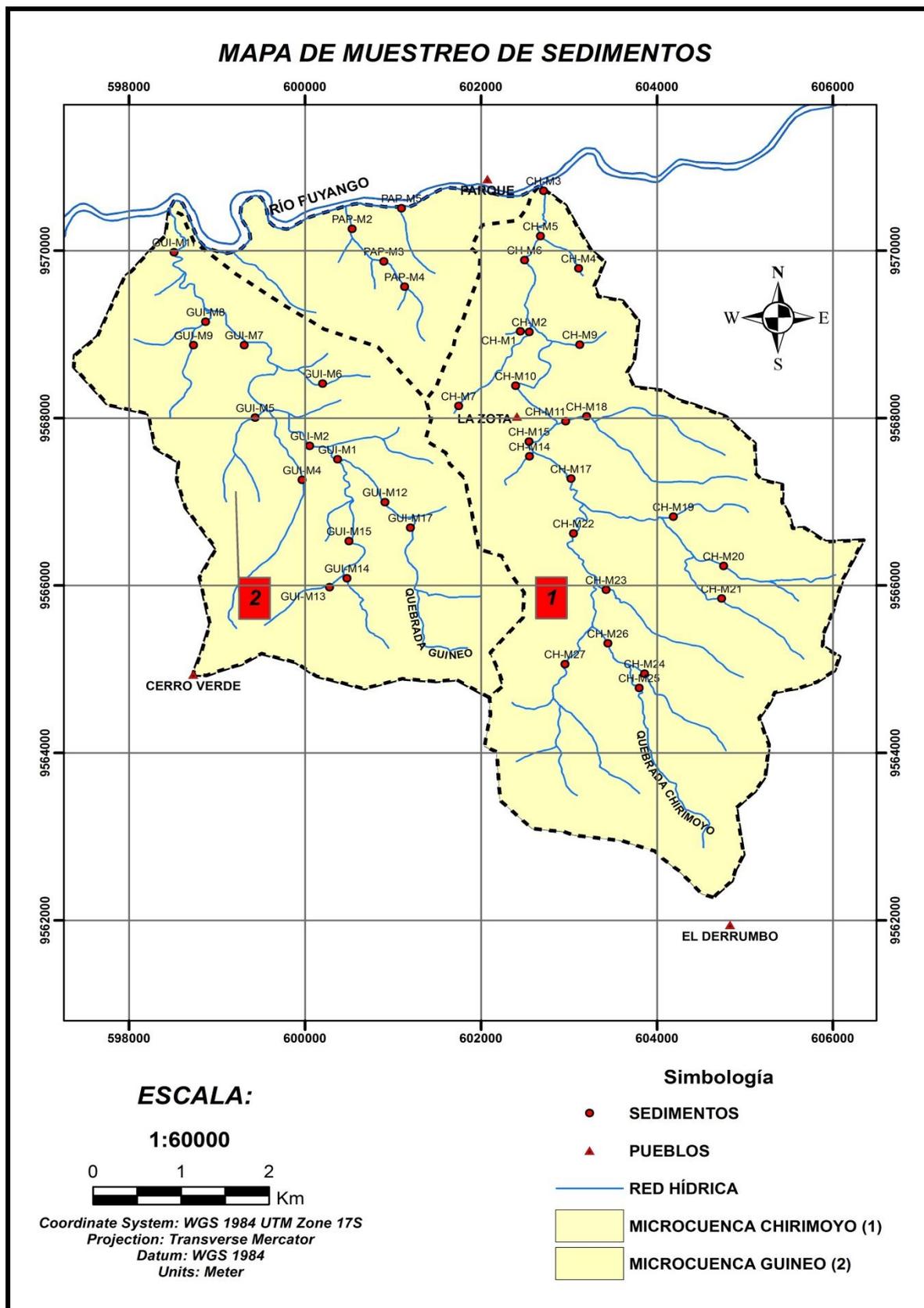


Figura 18. Mapa de muestreo de sedimentos del área de estudio

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

5.2. Tratamiento Físico de las muestras

El tratamiento en el laboratorio consistió en el secado de las muestras (rocas y sedimentos activos), en el horno a una temperatura de 105°C, durante 12 horas aproximadamente.

5.2.1. Roca

Una vez secas las muestras de rocas, pasaran por los procesos de trituración y pulverización. Es necesaria que toda la muestra sea triturada a un tamaño de más o menos 3mm de diámetro para poder pulverizarla. Para la pulverización, se pesó aproximadamente 120g de muestra triturada, para luego colocarla en la pulverizadora durante 3-6 min., obteniendo como resultado un polvo al cual se guardó en una funda debidamente etiquetada, lista para ser utilizada en los análisis posteriores.

5.2.2. Sedimentos

Las muestras de sedimentos activos luego de secarlas, se tamizaron utilizando una serie de tamices (malla # 10, 18, 35, 80). El material retenido en la malla #10 será desechada, mientras que el material retenido en la malla # 18, 35 y 80 serán colocados en una funda y el material que pasa la malla #80 fue colocado en otra funda debidamente etiquetada, para poder ser utilizada en los análisis.

5.3. Identificación de minerales

La identificación de minerales de sedimentos y roca fue realizada en dos partes, la macroscópica para sedimentos y la microscópica para rocas, así como el análisis de difracción de Rayos X (DRX) para ambos tipos de muestras.

5.3.1. Análisis macroscópico

Para la identificación de minerales de forma macroscópica, a los sedimentos se les realizó una limpieza, tanto a los que pasan de la malla #80, como a los que se quedan retenidos. Se utilizó materiales como: el estéreo zoom, ácido clorhídrico, imán, placa de porcelana y los lápices rayadores, para identificar los minerales según sus propiedades físicas.

5.3.2. Análisis microscópico

El análisis microscópico consistió en la elaboración de láminas delgadas a partir de rocas. Para ello, se tomaron muestras de mano y se procedió a cortarla quedando con una briqueta (Figura 19) y posteriormente se pasaron por los diferentes paños (200, 400, 600, 800). Una vez terminadas se procedió a pegar con las resinas adecuadas y seguir con los procedimientos de cortada pulidos finales en los equipos propios para este ensayo y analizar en el microscopio petrográfico y determinar las diferentes fases minerales y tipos de roca.



Figura 19. Briquetas de roca.

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

5.4. Análisis por Difracción de Rayos X (DRX)

La Difracción es un fenómeno que se produce cuando una onda al propagarse encuentra un obstáculo o una abertura de tamaño comparable a su longitud de onda. (Skoog, 2001)

Los rayos X son un poco como las ondas de luz, pero tienen longitudes de onda mucho más pequeñas, siendo estas comparables a la distancia entre los átomos en un sólido cristalino. Cuando un haz de rayos X cae sobre un cristal, se dispersa o difracta por las capas paralelas de átomos dentro del cristal, de la misma manera que las ondas de luz son difractadas por una rejilla óptica. (Skoog, 2001)

La Ley de Bragg (Figura 20) promovió la elucidación de las relaciones entre la estructura, composición y propiedades de los minerales y eventualmente, la interpretación efectiva de las estructuras nuevas y más complicadas.

El análisis del patrón de difracción, permite conociendo λ y el ángulo de incidencia θ , determinar el espaciado (d) entre los planos que forman el cristal, lo que corresponde a las distancias y geometría de la celda unitaria. (Skoog, 2001)

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

El ángulo determinado experimentalmente en el difractómetro = 2θ . Mediante un software y una base de datos con patrones de difracción de sustancias cristalinas puras (incluyendo minerales), se realiza el análisis de las principales fases minerales que contiene una muestra de roca, sedimento, suelo, entre otras. (Skoog, 2001)

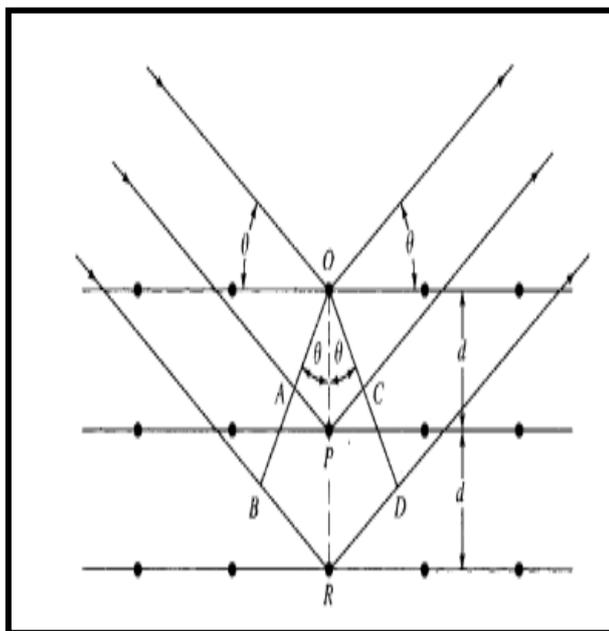


Figura 20. Ley de Bragg

Fuente: (Skoog, 2001)

Elaboración: (Skoog, 2001)

5.5. Análisis por Fluorescencia de Rayos X (FRX)

Es una técnica analítica que consiste en primer lugar en la absorción de rayos X en la muestra, lo cual produce iones excitados electrónicamente que vuelven a su estado fundamental, mediante transiciones que involucran a los electrones de mayor energía. Así, por ejemplo, cuando el plomo absorbe radiación de longitudes de onda más corta que $0,14 \text{ \AA}$ se produce un ion excitado con una capa K vacante; después de un breve periodo, el ion vuelve a su estado fundamental a través de una serie de transiciones electrónicas

caracterizadas por la emisión de radiación X (fluorescencia), características de cada elemento químico. (Skoog, 2001)

Las muestras pulverizadas y secadas fueron analizadas mediante un equipo de Fluorescencia de Rayos X portátil, marca Brucker modelo S1 (Figura 21). De esta forma, mediante el método de mining light elements, se obtuvo la concentración de los principales elementos mayoritarios y algunos elementos trazas.



Figura 21. Equipo de Fluorescencia de Rayos X

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

CAPÍTULO VI
RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1. Mineralogía

6.1.1. Sedimentos retenidos en la malla #80

En la microcuenca Chirimoyo, se utilizaron las muestras CH-M7, CH-M9, CH-M23 y CH-M27, en las cuales se identificaron los siguientes minerales: cuarzo 50%, calcita 10%, plagioclasas 10%, feldespatos 10%, con presencia de gran cantidad de fragmentos líticos en su mayoría de calizas y lutitas y en menor proporción (<5%) minerales como el circón, apatito, biotita y jaspe como se aprecia en la Figura 21.



Figura 22. Muestra CH-M27 minerales no magnéticos

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

En la microcuenca Guineo, se utilizaron las muestras GUI-M2 y PAP-M4, en las cuales se identificaron los siguientes minerales: cuarzo 55%, calcita 10%, plagioclasas 15%, feldespatos 20%, con presencia de gran cantidad de fragmentos líticos en su mayoría calizas y lutitas como se observa en la Figura 23.



Figura 23. Muestra GUI-M2 minerales no magnéticos

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

En la porción magnética de las muestras de las microcuencas Chirimoyo y Guineo, se identificaron los siguientes minerales: Hematita 90% y magnetita 10%. Figura 24.



Figura 24. Muestra CH-M27 porción magnética

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.1.2. Sedimentos pasantes de la malla #80

En las muestras CH-M7, CH-M9, CH-M23 y CH-M27 de la microcuenca Chirimoyo, se identificaron los siguientes minerales: cuarzo 60%, calcita 10%, plagioclasas (10%), feldespatos (10%), con poca presencia de fragmentos líticos de calizas y lutitas y en menor proporción minerales accesorios (<5%) como el circón, apatito, biotita y jaspe. En la parte magnética se identificó Hematita (80%) y magnetita (20%), tal como se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Muestra CH-M7, porción magnética (izquierda) y porción no magnética (derecha)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

En las muestras GUI-M2 y PAP-M4 de la microcuenca Guineo, se identificaron los siguientes minerales: cuarzo (10%), calcita (10%), plagioclasas(10%), feldespatos(10%), rutilo, hornblenda, con gran presencia de fragmentos líticos en su mayoría de calizas y lutitas (60%). En la parte magnética se identificaron Hematita (80%), magnetita (15%) y goethita (5%), como se observa en la Figura 26.



Figura 26. Muestra PAP-M4, porción magnética (izquierda) y porción no magnética (derecha)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.2. Resultados de los análisis por Microscopio Petrográfico de rocas

Mediante Luz Polarizada Analizada (LPA) de la muestra CH-M2 como se observa en la figura 27, se identificaron los siguientes minerales: plagioclasas, cuarzo, calcita y calcedonia. De acuerdo a los minerales identificados, se dedujo que la lámina de roca analizada, es una roca volcanosedimentaria.

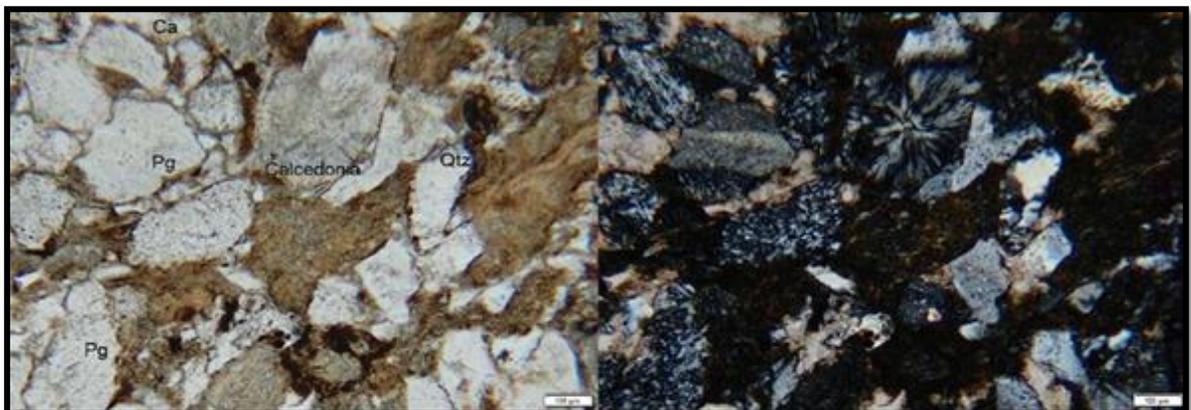


Figura 27. Muestra CH-M2, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 micras

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

En la Figura 28, además se observó minerales como: apatito (Ap) que muestran un relieve alto, que lo diferencia del cuarzo; circón (Zrn) que presenta colores de tercer orden y sus terminaciones piramidales.



Figura 28. Muestra CH-M2, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 10 micras

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Mediante Luz Polarizada Analizada (LPA) de la muestra CH-M9 como se observa en la figura 29 se identificaron los siguientes minerales: feldespatos (FPs) y circón (Zrn). De acuerdo a la lámina de roca analizada, los minerales identificados corresponden a rocas volcanosedimentarias bastante silicificadas.

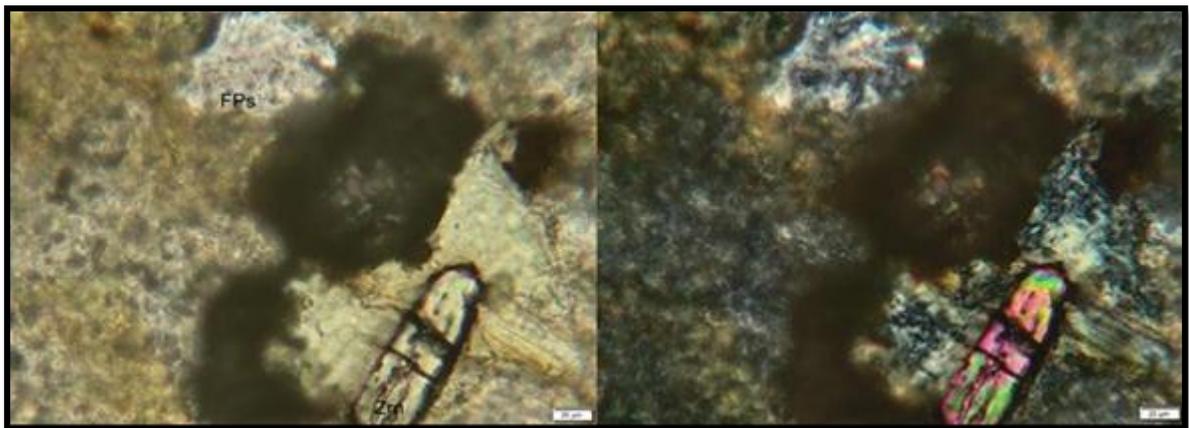


Figura 29. Muestra CH-M9, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 20 micras

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

En la muestra CH-M 13 (figura 30), se aprecia una textura microesparítica, esta muestra de roca es una caliza bituminosa compuesta por bioclastos.

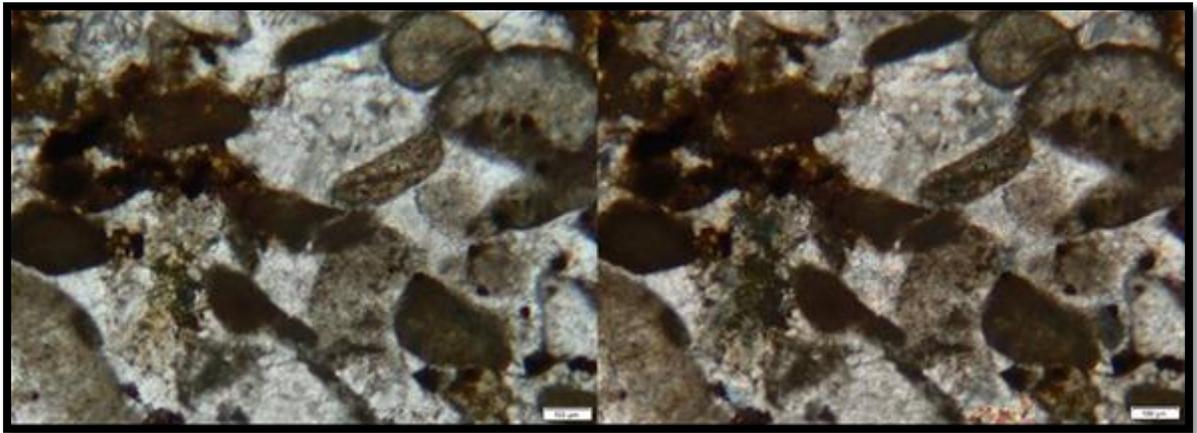


Figura 30. Muestra CH-M13, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 micras

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Mediante Luz Polarizada Analizada (LPA) de la muestra CH-M4 como se observa en la figura 31, se identificaron los siguientes minerales: cuarzo (Qtz), calcita (Cal) y biotitas (Bt) alteradas. De acuerdo a la lámina de roca analizada, los minerales identificados corresponden a una arenisca calcárea.

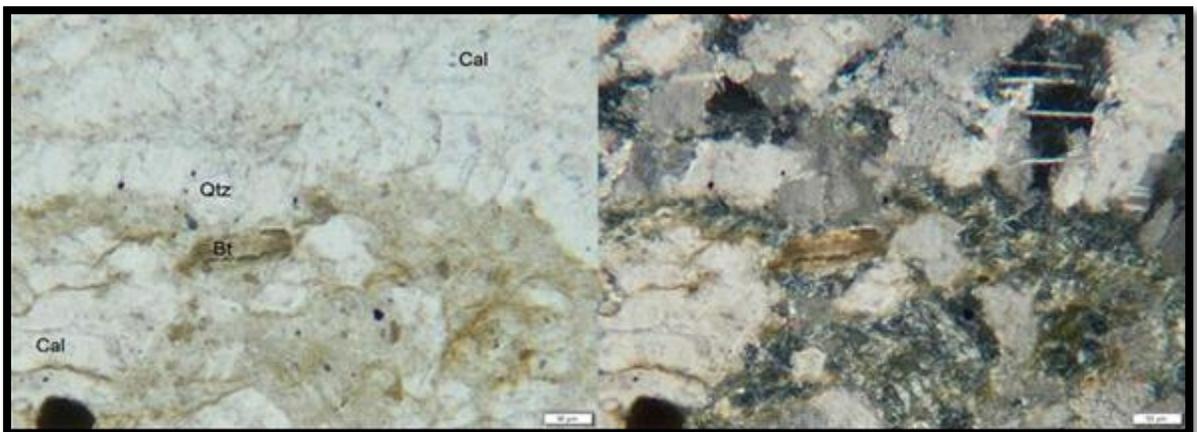


Figura 31. Muestra CH-M4, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 micras

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Mediante Luz Polarizada Analizada (LPA) de la muestra CH-M29 como se observa en la figura 32, se identificaron los siguientes minerales: plagioclasas y cuarzo en mayor porcentaje. De acuerdo a la lámina de roca analizada, los minerales identificados corresponden a una arenisca de grano fino.

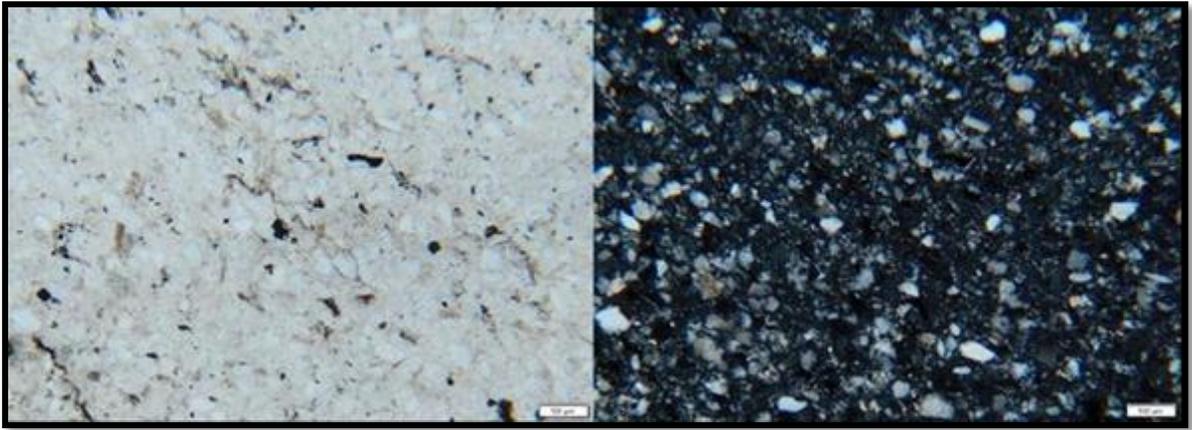


Figura 32. Muestra CH-M29, en LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 100 micras

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.3. Difracción de rayos X (DRX)

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que en las muestras de las microcuencas Chirimoyo y Guineo, el vanadio se encuentra asociado con materia orgánica y en los minerales carnotita (Figura 33) y tyuyamunita (Figura 34) los cuales también contiene uranio.

El uranio además de estar asociado con el vanadio en los minerales carnotita y tyuyamunita, se encuentra asociado con materia orgánica y con minerales accesorios como apatito, circón y monacita. Observados en los sedimentos como se indica en la Figura 35.

Todos los difractogramas analizados se encuentran en el Anexo III., de las muestras de la microcuenca Chirimoyo y en Anexo IV., se encuentran los difractogramas de las muestras de la microcuenca Guineo.

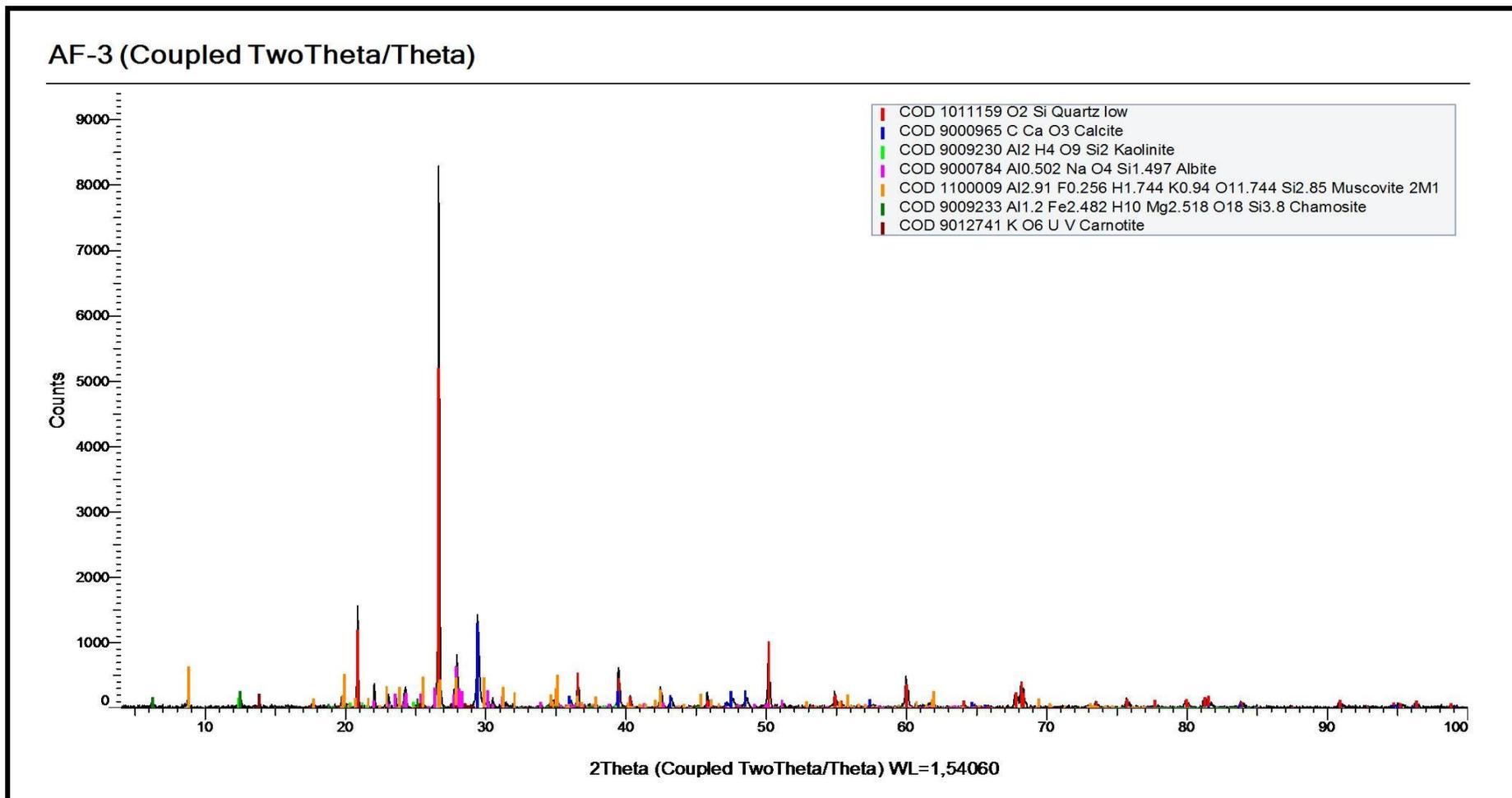


Figura 33. Difractograma de la muestra CH-M34

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

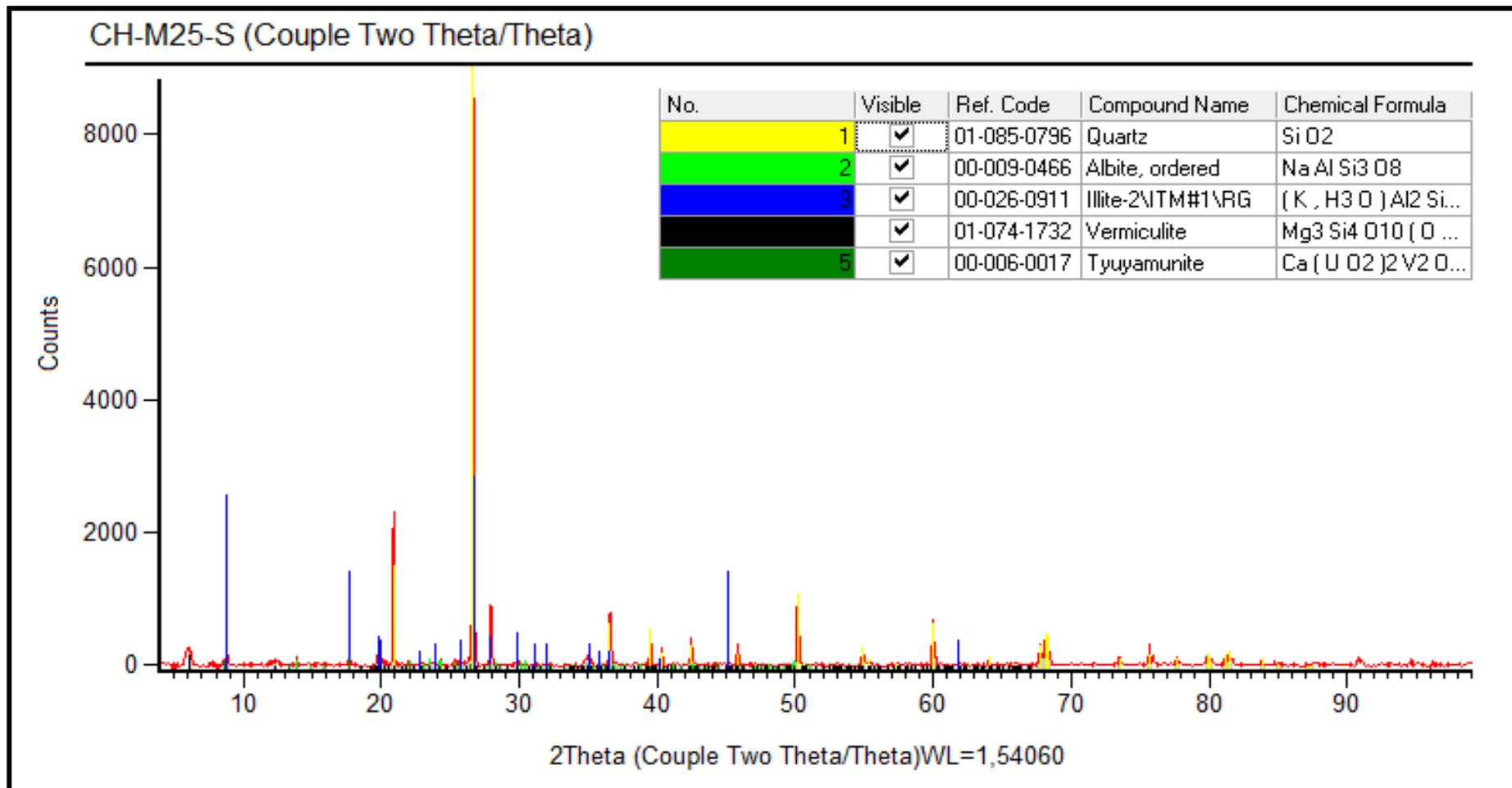


Figura 34. Difractograma de la muestra CH-M25-S

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

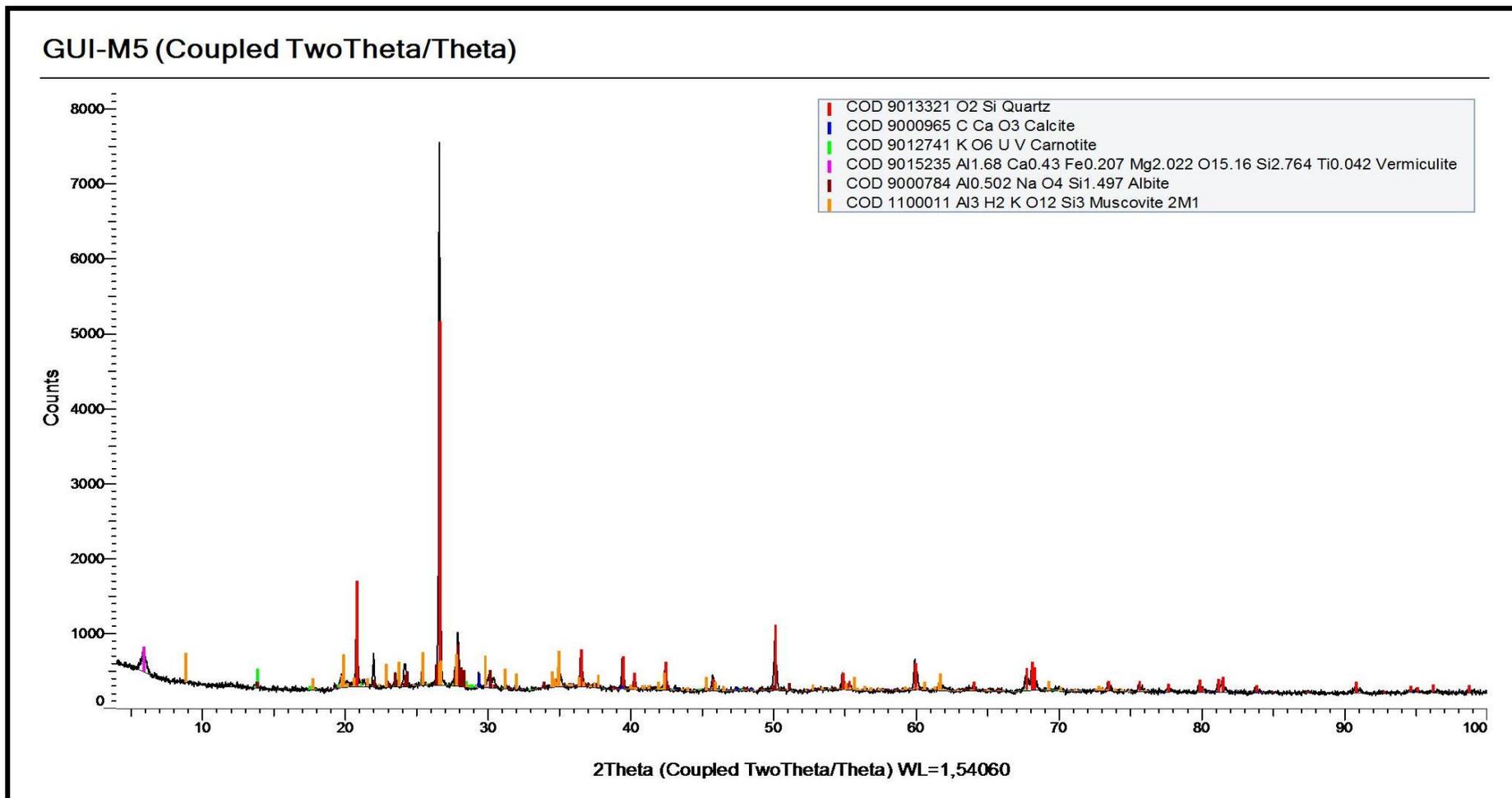


Figura 35. Difractograma de la muestra GUI-M5

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.3.1. Resultados del DRX de la microcuenca Chirimoyo.

A continuación, en la tabla 1., se muestran los minerales identificados mediante DRX.

Tabla 1. Minerales identificados en las muestras de rocas de la microcuenca Chirimoyo.

ROCAS		
Muestra	Minerales	Formula química
CH-M1	Cuarzo Moscovita Monacita Chamosita	SiO ₂ KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ (Ce,La,Th)(PO ₄) (Fe,Mg) ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈
CH-M2	Cuarzo Circón Moscovita Andesina Casiterita Chamosita	SiO ₂ ZrSiO ₄ KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ (Na,Ca)Al ₁₋₂ Si ₃₋₂ O ₈ SnO ₂ (Fe,Mg) ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈
CH-M12	Cuarzo Calcita Carnotita Moscovita	SiO ₂ CaCO ₃ K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ · 3H ₂ O KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
CH-M30	Cuarzo Moscovita	SiO ₂ KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
CH-M34	Cuarzo Calcita Caolinita Albita Moscovita Chamosita Carnotita	SiO ₂ CaCO ₃ Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ NaAlSi ₃ O ₈ KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ (Fe,Mg) ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈ K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ · 3H ₂ O

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Mediante la Difracción de Rayos X (DRX) en las muestras de rocas de la microcuenca Chirimoyo que se observan en la Tabla 1, se determinó que en las muestras CH-M12 y CH-M34 el vanadio se encuentra en el mineral carnotita (K₂(UO₂)₂(VO₄)₂ · 3H₂O) el cual contiene uranio, además puede estar asociado a materia orgánica.

El uranio puede estar asociados con materia orgánica y con minerales accesorios como monacita en la muestra CH-M1 y circón en la muestra CH-M2.

A continuación, en la tabla 2., se muestran los minerales identificados mediante DRX.

Tabla 2. Minerales identificados en las muestras de sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.

SEDIMENTOS		
Muestra	Minerales	Formula química
CH-M1	Cuarzo Caolinita Goethita Circón	SiO ₂ Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ FeO(OH) ZrSiO ₄
CH-M21	Cuarzo Moscovita Chamosita	SiO ₂ KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ (Fe,Mg) ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈
CH-M25	Cuarzo Albita Illita Vermiculita Tyuyamunita	SiO ₂ NaAlSi ₃ O ₈ K _{0.65} Al _{2.0} [Al _{0.65} Si _{3.35} O ₁₀](OH) ₂ Mg _{0.7} (Mg,Fe ³⁺ ,Al) ₆ (Si,Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₄ Ca(UO ₂) ₂ V ₂ O ₈ · 8H ₂ O

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Mediante la Difracción de Rayos X (DRX) en las muestras de sedimentos de la microcuenca Chirimoyo que se observan en la Tabla 2., se identificó en la muestra CH-M25-S el mineral tyuyamunita (Ca (UO₂)₂ V₂O₈ · 8H₂O) el cual contiene vanadio y uranio, además tanto el vanadio como el uranio pueden estar asociados con materia orgánica.

El uranio también puede estar asociado con minerales accesorios como circón identificado en la muestra CH-M1.

6.3.2. Resultados del DRX de la microcuenca Guineo.

A continuación, en la tabla 3., se muestran los minerales identificados mediante DRX.

Tabla 3. Minerales identificados en las muestras de rocas de la microcuenca Guineo.

ROCAS		
Muestra	Minerales	Formula química
GUI-M2	Cuarzo Calcita Carnotita Moscovita	SiO ₂ CaCO ₃ K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ · 3H ₂ O KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
GUI-M3	Cuarzo Calcita Carnotita	SiO ₂ CaCO ₃ K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ · 3H ₂ O

	Moscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$
GUI-M10	Cuarzo Calcita Vermiculita Albita Laumontita Antigorita	SiO_2 $CaCO_3$ $Mg_{0.7}(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4 \cdot 8H_2O$ $NaAlSi_3O_8$ $CaAl_2Si_4O_{12} \cdot 4H_2O$ $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$
GUI-M12	Cuarzo Calcita Carnotita Apatito Tyuyamunita	SiO_2 $CaCO_3$ $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$ $Ca(UO_2)_2V_2O_8 \cdot 8H_2O$
GUI-M16	Cuarzo Albita Caolinita Vermiculita	SiO_2 $NaAlSi_3O_8$ $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ $Mg_{0.7}(Mg,Fe,Al)_6(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4 \cdot 8H_2O$
GUI-M17	Cuarzo Moscovita Chamosita Carnotita Albita	SiO_2 $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ $(Fe,Mg)_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$ $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ $NaAlSi_3O_8$
PAP-M1	Cuarzo Calcita Apatito Biotita	SiO_2 $CaCO_3$ $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$ $K(Mg,Fe_3)(Al,Fe^{3+})Si_3O_{10}(OH,F)_2$
PAP-M4	Cuarzo Calcita Albita	SiO_2 $CaCO_3$ $NaAlSi_3O_8$
PAP-M7	Cuarzo Calcita Apatito	SiO_2 $CaCO_3$ $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$
PAP-M8	Cuarzo Calcita Moscovita Carnotita	SiO_2 $CaCO_3$ $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Mediante la Difracción de Rayos X (DRX) en las muestras de rocas de la microcuenca Guineo que se observan en la Tabla 3, se determinó que en las muestras GUI-M2, GUI-M3, GUI-M12, GUI-M17 y PAP-M8 el vanadio se encuentra en el mineral de la carnotita, y en la muestra GUI-M12 en el mineral tyuyamunita el cual también contiene uranio, además el vanadio puede estar asociado a la materia orgánica.

El uranio puede que se encuentre asociado con materia orgánica y con minerales accesorios como apatito en las muestras GUI-M12, PAP-M1 y PAP-M7.

A continuación, en la tabla 4., se muestran los minerales identificados mediante DRX.

Tabla 4. Minerales identificados en las muestras de sedimentos de la microcuenca Guineo.

SEDIMENTOS		
Muestra	Minerales	Formula química
GUI-M5	Cuarzo	SiO ₂
	Calcita	CaCO ₃
	Carnotita	K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ · 3H ₂ O
	Vermiculita	Mg _{0.7} (Mg,Fe,Al) ₆ (Si,Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₄ · 8H ₂ O
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈
	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
GUI-M6	Cuarzo	SiO ₂
	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈
	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
	Calcita	CaCO ₃
GUI-M9	Cuarzo	SiO ₂
	Vermiculita	Mg _{0.7} (Mg,Fe ³⁺ ,Al) ₆ (Si,Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₄ · 8H ₂ O
	Albita	NaAlSi ₃ O ₈
	Hematita	Fe ₂ O ₃
	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
GUI-M13	Cuarzo	SiO ₂
	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
	Rutilo	TiO ₂
	Vermiculita	Mg _{0.7} (Mg,Fe,Al) ₆ (Si,Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₄ · 8H ₂ O
	Montmorillonita	(Na,Ca) _{0.3} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ · nH ₂ O
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
GUI-M16	Cuarzo	SiO ₂
	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
PAP-M5	Cuarzo	SiO ₂
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
	Apatito	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F,Cl)
	Goethita	FeO(OH)
	Calcita	CaCO ₃

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Mediante la Difracción de Rayos X (DRX) en las muestras de sedimentos de la microcuenca Guineo que se observan en la Tabla 4, se determinó que en la muestra GUI-M5 el vanadio se encuentra en el mineral de la carnotita (K₂(UO₂)₂(VO₄)₂ · 3H₂O) el cual también contiene uranio, además puede estar asociado a materia orgánica.

El uranio puede estar asociado con materia orgánica y con minerales accesorios como apatito identificado en la muestra PAP-M5.

6.4. Resultados del análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) de las muestras de roca de la microcuenca Chirimoyo

La concentración (%) de elementos mayoritarios analizada por FRX, permitió identificar el tipo de roca existente: calizas (concentración de CaO de 42.57%), lutitas (concentración de Al₂O₃ de 15.40%) y areniscas (concentración de SiO₂ de 58.10%), según (Mason & Moore, 1982). Esto permite junto con el análisis petrológico de la muestra de mano clasificar de mejor manera las rocas.

6.4.1. Concentración (%) de elementos mayoritarios de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.

Tabla 5. Concentración de elementos mayoritarios de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.

CÓDIGO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO
CH-M1	23.40	56.95	0.30	2.06	9.91	3.86	1.15	0.18
CH-M2	13.40	74.00	ND	2.60	4.14	0.73	0.85	0.11
CH-M4-L	20.70	63.70	1.58	0.58	7.40	2.85	0.93	0.09
CH-M4-T	20.50	62.00	ND	6.19	3.94	1.18	0.31	0.29
CH-M5-RODADO	3.14	1.44	1.64	69.40	0.95	0.46	ND	0.03
CH-M6	20.00	50.90	0.73	12.10	9.29	2.79	0.97	0.26
CH-M7	6.69	20.65	2.12	55.95	3.14	1.14	0.40	0.05
CH-M8	22.00	70.05	0.13	0.20	2.95	2.14	0.55	0.07
CH-M9	18.15	65.20	ND	2.34	7.76	2.21	0.66	0.22
CH-M10	17.60	71.60	ND	1.81	4.49	1.36	0.58	0.09
CH-M11	12.55	80.05	ND	3.17	2.41	0.45	0.38	0.14
CH-M12	6.00	25.30	1.89	52.75	2.71	0.84	0.32	0.14
CH-M13	5.51	11.55	1.90	59.00	5.32	0.75	0.20	0.10
CH-M14	19.15	65.20	ND	1.83	8.07	2.33	0.60	0.16
CH-M15	17.55	71.85	0.24	1.53	4.90	1.85	0.49	0.09
CH-M16-RODADO	16.00	68.15	ND	0.36	13.10	0.60	0.89	0.16
CH-M17	16.60	76.35	ND	0.13	1.91	2.74	0.79	0.04
CH-M18	22.45	60.20	0.21	1.12	7.45	3.56	1.26	0.12
CH-M19	16.40	76.10	ND	0.10	3.19	2.77	0.93	0.09
CH-M20	21.50	63.45	0.30	0.16	8.01	4.77	0.94	0.17
CH-M21	24.70	56.65	0.24	0.30	7.98	4.87	1.00	0.09
CH-M22	21.70	68.35	ND	0.24	1.89	4.73	1.01	0.06

CÓDIGO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO
CH-M23	23.50	61.45	ND	0.41	6.55	4.54	0.94	0.12
CH-M24	15.00	75.95	0.24	0.61	4.70	2.31	0.54	0.09
CH-M25	14.05	77.70	ND	0.30	4.73	2.07	0.54	0.08
CH-M26	17.00	70.40	0.26	1.22	6.53	2.64	0.71	0.21
CH-M28	26.40	62.50	0.22	ND	2.71	6.34	1.14	0.06
CH-M29	12.20	84.15	ND	0.02	0.54	2.18	0.41	0.04
CH-M30	16.45	76.95	0.13	0.04	0.92	3.52	0.69	0.03
CH-M31	1.03	96.85	0.20	0.05	0.65	0.04	ND	0.04
CH-M32	30.90	59.65	ND	0.06	1.75	4.40	1.23	0.04
CH-M33	19.90	63.50	0.15	0.08	9.33	2.25	1.23	0.12
CH-M34-CLZ	14.35	62.60	ND	12.30	6.53	1.34	0.52	0.21
CH-M34-A	14.55	72.45	0.23	0.46	4.54	1.55	0.67	0.11
CH-M35	12.95	79.15	0.16	0.08	4.38	2.10	0.70	0.18
CH-M36	15.35	76.20	0.64	0.16	1.50	3.45	0.79	0.04

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

ND: no se detectó.

De acuerdo a los porcentajes observados en la tabla 5., en las muestras de roca CH-M5-RODADO, CH-M7, CH-M12 y CH-M13, acorde a la cantidad de CaO presente se las considera calizas. Mientras que por la cantidad presente de SiO₂ en las muestras de roca CH-M4T, CH-M11, CH-M29, CH-M31, CH-M34 y CH-M35 se las considera areniscas. Esto se corroboró con la descripción de la muestra de mano.

El resto de muestras de rocas de la microcuenca Chirimoyo son consideradas como lutitas debido al porcentaje de Al₂O₃.

6.4.2. Concentración (ppm) de elementos traza de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.

El criterio seguido en la representación gráfica ha sido el de determinar el Fondo (mediana); Umbral (fondo + desviación estándar); Subanomalía (fondo+2 veces la desviación estándar) y Anomalía (fondo + 3 veces la desviación estándar).

Tabla 6. Concentración (ppm) de elementos traza de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.

CÓDIGO	S	V2O5	Cr2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Rb	Sr	ZrO2	SnO2	CeO2	HfO2	Ta2O5	WO3	Nb	Pd	Cd	Hg	PbO	Bi	Se	Mo	U
CH-M1	900	200	700	1000	100	200	200		300	200	400	2500	1400				31	58	67		45	62	9	4	64
CH-M2	400		500	500			100			600	400	800				88	28	106	69	151	36	30	9	13	24
CH-M4-L		300	600	300		100	200		200	200	300	2600	1300				24	108	76		44	58	9		57
CH-M4-A			400	200			100			200	200	700	300		300	21	30	123	91		41	41	9	17	31
CH-M5-RODADO	2600				4300	300	2700			500						75	16	264	91				9	11	19
CH-M6	6400	100	600		300	100	200		200	300	400	2100				19	29	120	85		37	58	9		50
CH-M7	3800	1700	300	400	2600	300	300			1800	300	6200					19	248	92		49	46	9	93	34
CH-M8			500	300			100	100		200	500	1300	700					96	49				9		6
CH-M9		200	600	700			100	100	100	700	400	1600			500		23	77	74			32	9	12	20
CH-M10	200		400	400			100			600	400	1200				42	27	101	90				9	10	30
CH-M11			400	200			100			500	300	900	300	300		154	30	67	67	244	34	26	9	23	18
CH-M12	2800	1700	300	300	2500	200	1000			1400	300	2500				33	13	166	78		43	35	9	34	32
CH-M13	2600	1000	300	300	3000	300	700			750						16	11	197	52				9	8	25
CH-M14		200	600	400		100	100		100	300	400	1900	1200				23	121	92	1	47	43	9	10	31
CH-M15			500	400			100		100	300	300	1300	800		300		29	133	82		39	40	9	17	23
CH-M16-RODADO	1500	500	600	1100		200	200			100	200	1000	1800	300		166	15	74	79	102			9	8	9
CH-M17			400	200					200		500	2000	300			295		71	18	384			9		7
CH-M18		200	600	600	200	200	100		300	200	500	2400		300			21	111	91		41	47	9	4	69
CH-M19	200	200	500	300	100	100	100		200		700	1900				148	31	101	65	219	36	58	9	17	60
CH-M20	300	200	700	600	300	200	300		300		400	2700	1400				15	67	59		72	73	9		89
CH-M21		400	700	500	200	200	200	100	300	100	300	3400	1400	300			9	143	122		62	80	9		100
CH-M22		100	500	100	200		300		400	100	600	3600	300		500		7	149	104		40	67	9	1	97
CH-M23		300	600	400	100	100			300	100	400	3500					22	136	78			71	10		83
CH-M24		200	500	200		100	200	100	100	200	500	1800		300		120	24	148	87		39	36	9	18	35
CH-M25		200	500	300		100	100	100	100	100	500	1900	800	300	300	300	25	133	87	242	36	47	9	17	41
CH-M26	300	200	500			100	100		100	100	400	2200	800			162	18	98	75	183	40	47	9	11	53
CH-M28		300	500			100			400	100	500	5400	500			23	15	85	68		56	84	9		110
CH-M29			400						200		400	2800		300			68	15	124	52	163		9	9	21
CH-M30			400					100	250	100	600	2700					78		82	40	124		10		51
CH-M31	700		400	200				100				1000				748	18	147	72	807			12	16	
CH-M32			500	100	100		100		300	200	300	2800	500		100		3	100	37		44	53	9		57
CH-M33		200	500	1000	100	200	300	100	200		500	1400	1600				23	92	87			35	9	11	45
CH-M34-CLZ	2100	1200	500	700	300	100	400	100	100	400	100	2300				11	21	68	61		46	45	9	35	36
CH-M34-A	2000		500	500		100	100			300		500	1300			42	27	74	51		41	37	9	25	28
CH-M35		100	400	400					200		500	1100	600		300	250	31	59	43	247		44	9	24	45
CH-M36	4300	5300	600	100	200		200		300		300	1600				22		5	18		88	42	9	73	59
MEDIA	1944	652	500	423	913	165	307	100	223	377	400	2165	911	300	329	131	21	113	71	239	46	50	9	20	45
MEDIANA	1750	200	500	400	200	150	100	200	200	200	400	1950	800	300	300	77	23	104	75	201	41	46	9	15	36
MAX	6400	5300	700	1100	4300	300	2700	100	400	1800	700	6200	1800	300	500	748	31	264	122	807	88	84	12	93	110
MIN	200	100	300	100	100	100	100	100	100	100	100	500	300	300	100	11	3	5	18	1	34	26	9	1	6
DESVECIÓN ESTÁNDAR	1773	1121	108	264	1358	75	511	0	93	401	127	1234	493	0	138	164	8	51	23	202	13	15	1	21	27

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Nota: espacios en blanco no se detectó valores.

En la tabla 6., se puede observar la concentración de elementos traza, medida en las muestras de rocas de la microcuenca Chirimoyo. Para la presente investigación los elementos de interés que se analizó son los siguientes: V, U, Se, Mo, Bi y Sn, este último por sus elevadas concentraciones.

Tabla 7. Valores estadísticos de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.

	V₂O₅	U	Se	Mo	Bi	SnO₂
FONDO	200	36	9	15	46	1950
UMBRAL	1321	63	10	35	61	3184
SUBANOMALÍA	2442	90	10	56	77	4418
ANOMALÍA	3562	117	11	76	92	5652

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

El análisis de estos resultados se obtuvo mediante métodos geoestadísticos aplicados a la prospección geológica-minera. En la tabla 7., se observa que en las rocas de la microcuenca Chirimoyo existen anomalías en los elementos de V₂O₅, Se, Mo y SnO₂, debido a que hay muestras en las que se registró valores superiores a sus anomalías. Mientras que los valores de U solo llegan a ser subanomálicos.

VANADIO (V₂O₅)

El Clarke de concentración del vanadio en la corteza es 136 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de V₂O₅ de las rocas de la microcuenca Chirimoyo que es de 200 ppm (tabla 7) y valores anómalos de 5300 ppm en la muestra CH-M36 que corresponde a una lutita negra de la Unidad Ciano, se puede decir que el valor de fondo de la microcuenca Chirimoyo es mayor al Clarke de concentración; además este elemento va en rangos de 40 – 100 ppm en calizas de ambiente marino deposicional, como es el caso de las calizas de Garudamangalam (la India) (Babu et al., 2014). En la figura 36., se observa que de acuerdo al análisis de frecuencias, existen 18 clases con valores ~967ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo, además se observa un valor anómalo de 5300ppm el cual se lo corrobora en la figura 37.

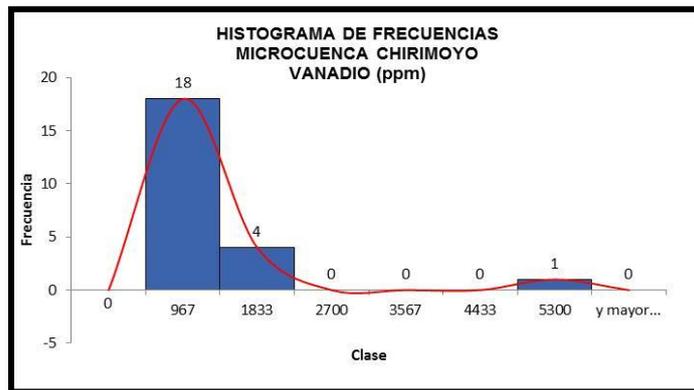


Figura 36. Histograma de frecuencias de V_2O_5 (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

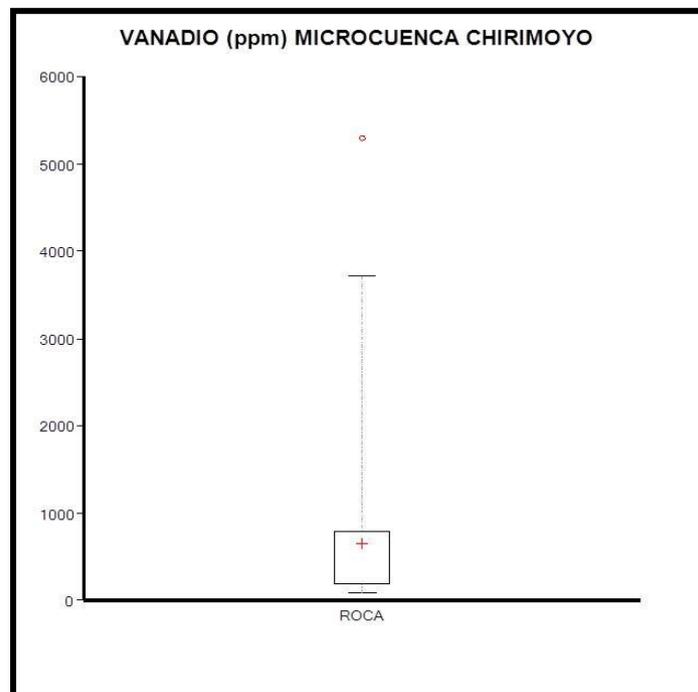


Figura 37. Diagrama de caja y bigotes de V_2O_5 (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

URANIO (U)

El Clarke de concentración del uranio en la corteza es 2.3 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de U de las rocas de la microcuenca Chirimoyo que es de 36 ppm (tabla 7) y valores subanomálicos de 110 ppm, se puede decir que el valor de fondo de la microcuenca Chirimoyo es mayor al Clarke de concentración. Los valores anómalos corresponden a las muestras CH-M21, CH-M22 identificadas como lutitas calcáreas

perteneciente a la Unidad Cazaderos y CH-M2 identificada como volcanosedimento perteneciente a la Unidad Quebrada los Zabalos. En la figura 38., se observa que de acuerdo al análisis de frecuencias, existen 11 clases con valores ~40ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo, además se observa tres valores subanomálicos de ~110ppm el cual se lo corrobora en la figura 39.

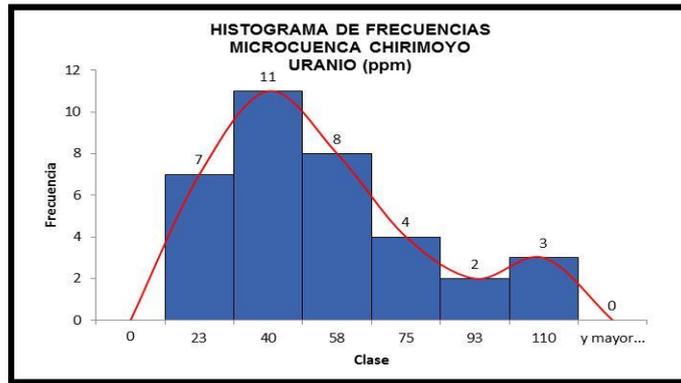


Figura 38. Histograma de frecuencias de U (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

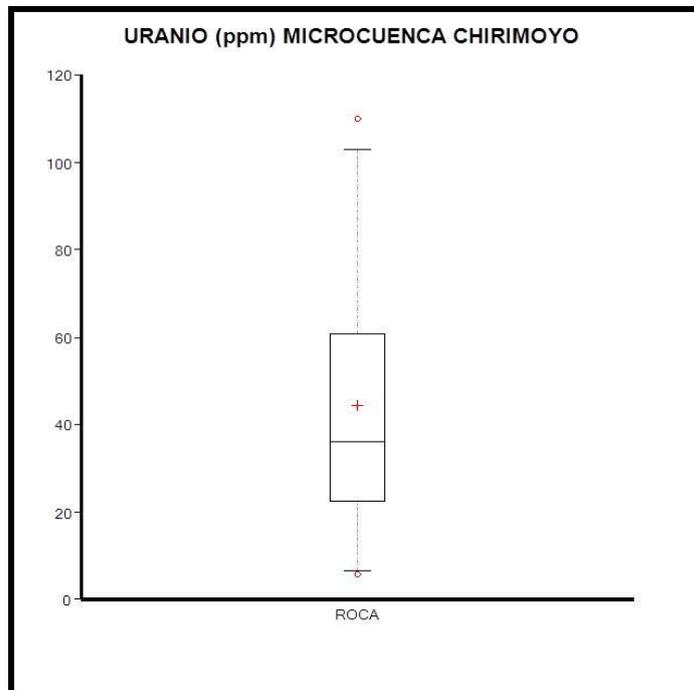


Figura 39. Diagrama de caja y bigotes de U (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

MOLIBDENO (Mo)

El Clarke de concentración del molibdeno en la corteza es 1.2 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de Mo de las rocas de la microcuenca Chirimoyo que es de 15 ppm (tabla 7.) y valores anómalos de 93 ppm en la muestra CH-M7 que corresponde a una caliza negra de la Unidad Cazaderos, el cual se lo corrobora en la figura 41, de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 40) existen 14 clases con valores ~16ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre.

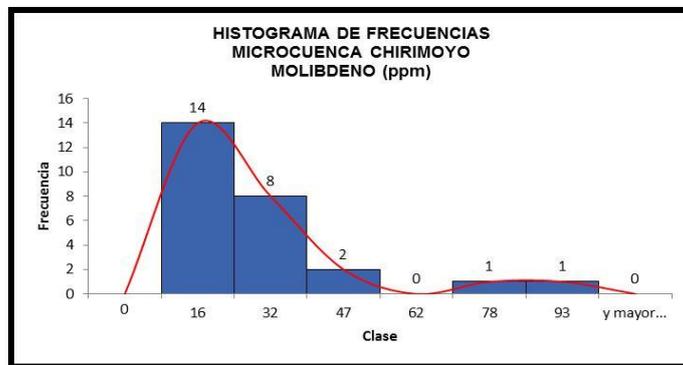


Figura 40. Histograma de frecuencias de Mo (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

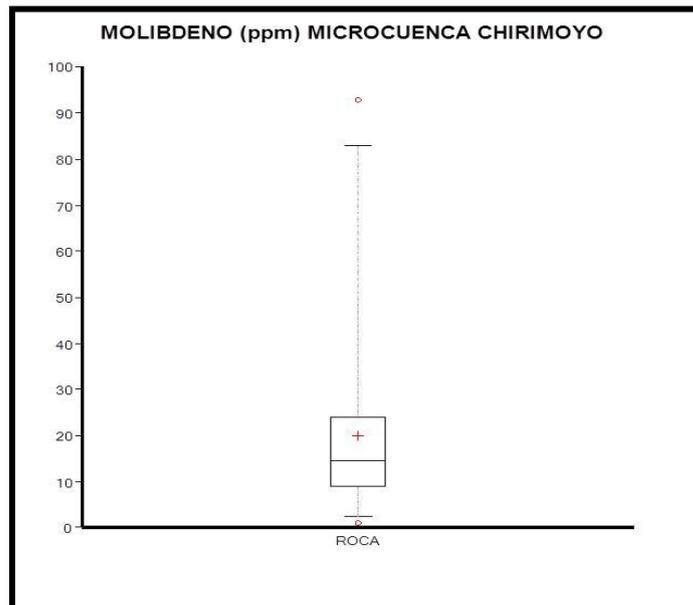


Figura 41. Diagrama de caja y bigotes de Mo (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

SELENIO (Se)

El Clarke de concentración del selenio en la corteza es 0.05 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de Se de las rocas de la microcuenca Chirimoyo que es de 9 ppm (tabla 7), de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 42) existen 33 clases con valores ~10ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo, siendo mayores al Clarke de concentración. Además se detectó un valor anómalo de 12 ppm en la muestra CH-M31 que corresponde a una arenisca de la Unidad Cazaderos.

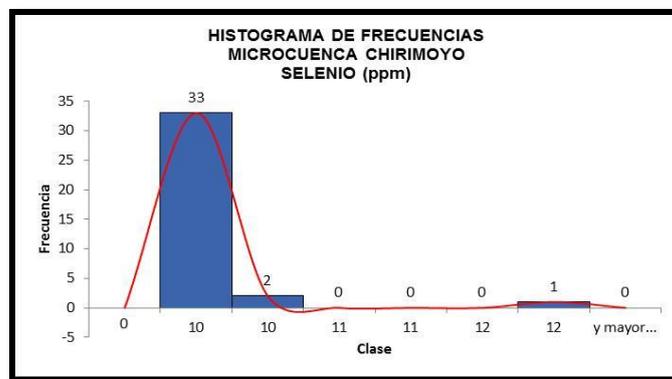


Figura 42. Histograma de frecuencias de Se (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

BISMUTO (Bi)

El Clarke de concentración del bismuto en la corteza es 0.2 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de Bi de las rocas de la microcuenca Chirimoyo que es de 46 ppm (tabla 7) y valores subanomálicos de 84 ppm en las muestras CH-M21 y CH-M28 correspondientes a lutitas negras de la Unidad Cazaderos, el cual se corrobora en la Figura 44., de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 43) existen 8 clases con valores ~45ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre.

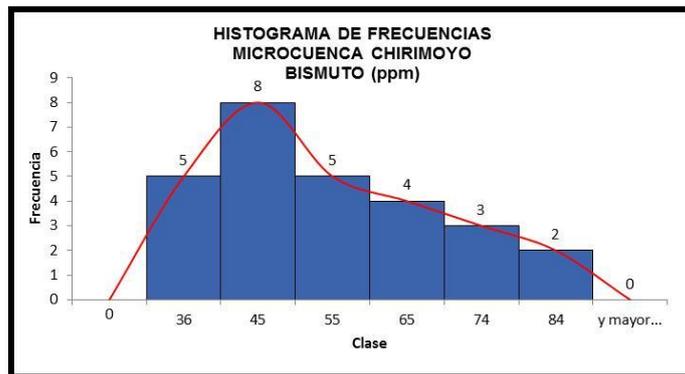


Figura 43. Caja de bigotes de Bi (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

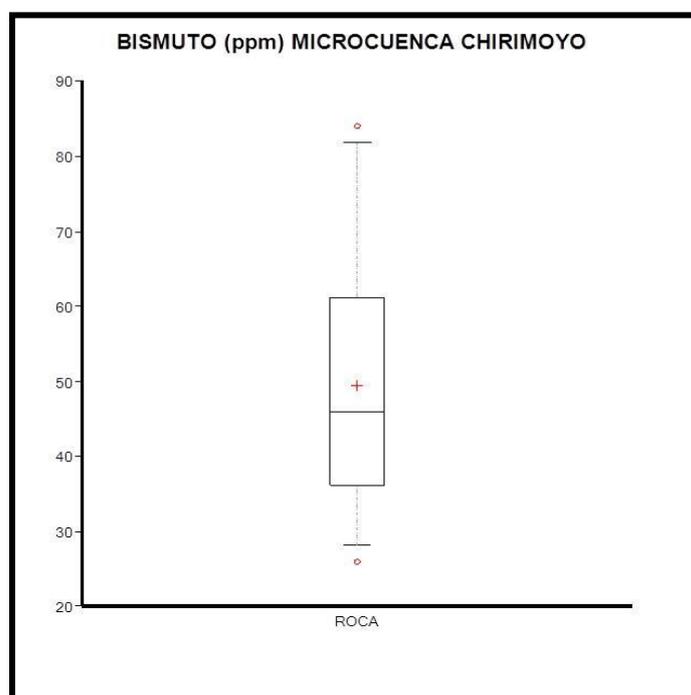


Figura 44. Diagrama de caja y bigotes de Bi (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

ESTAÑO (SnO₂)

El Clarke de concentración del estaño en la corteza es 2.10 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de SnO₂ de las rocas de la microcuenca Chirimoyo que es de 1950 ppm (tabla 7) y valores anómalos de 6200 ppm en las muestras CH-M7 que corresponde a una caliza negra y CH-M28 a una lutita negra, los cuales se corrobora en la Figura 46, ambas pertenecen a la Unidad Cazaderos, de acuerdo al análisis de

frecuencias (Figura 45) existen 11 clases con valores ~2400ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre

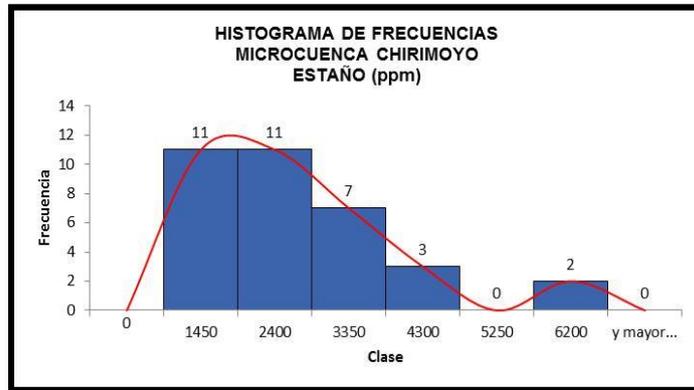


Figura 45. Diagrama de caja y bigotes de SnO₂ (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

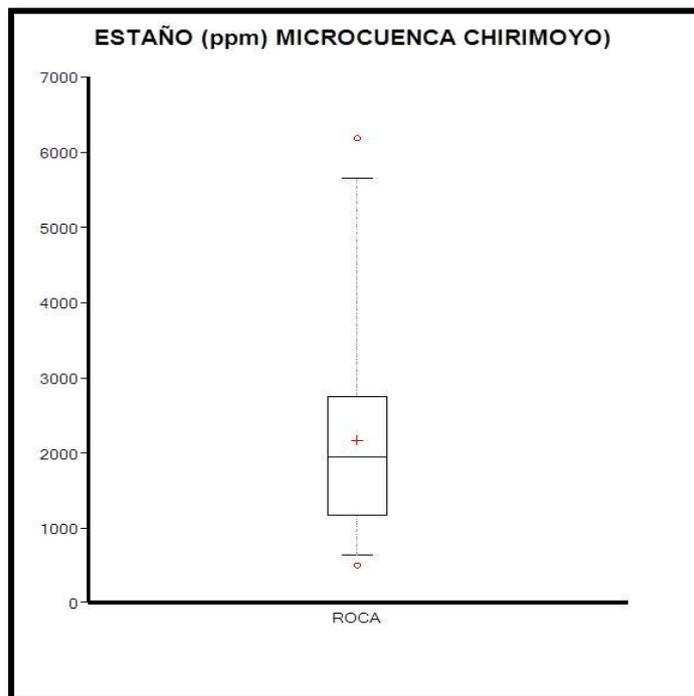


Figura 46. Diagrama de caja y bigotes de SnO₂ (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.4.3. Correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios de las rocas de la microcuenca Chirimoyo.

Tabla 8. Coeficiente de correlación elemental para las muestras rocas de la microcuenca Chirimoyo

	S	V2O5	Cr2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Rb	Sr	ZrO2	SnO2	CeO2	HfO2	Ta2O5	WO3	Nb	Pd	Cd	Hg	PbO	Bi	Se	Mo	U	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	P2O5 (%)	CaO (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	TiO2 (%)	MnO (%)			
S	1.00																																			
V2O5	0.56	1.00																																		
Cr2O3	-0.19	0.04	1.00																																	
Co3O4	-0.11	-0.04	0.44	1.00																																
NiO	0.50	0.22	-0.71	-0.15	1.00																															
CuO	0.38	0.13	-0.14	0.34	0.68	1.00																														
ZnO	0.37	0.09	-0.65	-0.12	0.86	0.55	1.00																													
As2O3	-0.21	-0.09	0.11	0.16	-0.20	-0.08	-0.14	1.00																												
Rb	-0.20	0.08	0.52	-0.10	-0.35	-0.09	-0.27	-0.04	1.00																											
Sr	0.44	0.22	-0.43	0.05	0.64	0.41	0.32	-0.16	-0.52	1.00																										
ZrO2	-0.40	-0.16	0.34	-0.07	-0.46	-0.35	-0.44	0.07	0.55	-0.28	1.00																									
SnO2	0.00	0.13	0.23	-0.12	-0.04	0.16	-0.25	-0.05	0.55	0.20	0.39	1.00																								
CeO2	-0.25	-0.19	0.49	0.55	-0.29	0.26	-0.14	0.02	0.11	-0.32	-0.03	-0.03	1.00																							
HfO2	-0.21	-0.11	0.16	0.11	-0.17	0.11	-0.16	0.20	0.03	-0.18	0.09	-0.01	0.11	1.00																						
Ta2O5	-0.26	-0.15	0.03	-0.01	-0.16	-0.36	-0.11	0.10	0.09	-0.04	0.18	-0.05	-0.05	-0.07	1.00																					
WO3	-0.12	-0.16	-0.22	-0.16	-0.14	-0.26	-0.11	0.24	-0.25	-0.25	-0.15	-0.26	-0.12	0.12	-0.02	1.00																				
Nb	-0.04	-0.33	0.09	0.31	-0.15	0.01	-0.14	-0.17	-0.26	0.09	-0.04	-0.22	0.08	0.06	0.14	0.03	1.00																			
Pd	0.22	-0.15	-0.61	-0.26	0.76	0.52	0.58	-0.03	-0.32	0.54	-0.30	0.12	-0.29	0.02	-0.01	0.00	0.01	1.00																		
Cd	-0.07	-0.29	0.07	0.19	0.14	0.37	0.17	0.12	-0.08	0.22	-0.01	0.17	0.15	0.28	0.18	-0.15	0.41	0.53	1.00																	
Hg	-0.19	-0.19	-0.19	-0.18	-0.20	-0.36	-0.20	0.18	-0.20	-0.26	-0.06	-0.21	-0.16	0.09	-0.05	0.96	0.00	-0.07	-0.24	1.00																
PbO	0.22	0.46	0.43	-0.07	-0.10	0.11	-0.13	-0.21	0.35	0.05	0.03	0.38	0.17	0.02	-0.07	-0.33	0.03	-0.18	0.11	-0.34	1.00															
Bi	-0.03	0.08	0.57	0.07	-0.23	0.12	-0.25	-0.15	0.63	-0.12	0.29	0.57	0.25	-0.07	0.16	-0.37	0.24	-0.13	0.31	-0.36	0.71	1.00														
Se	-0.08	-0.10	-0.09	-0.14	-0.10	-0.19	-0.14	0.33	-0.08	-0.17	-0.23	-0.04	-0.22	-0.13	-0.12	0.71	-0.09	0.10	-0.05	0.70	-0.31	-0.24	1.00													
Mo	0.51	0.72	-0.26	0.00	0.32	0.14	0.07	-0.07	-0.30	0.56	-0.23	0.18	-0.27	-0.08	-0.04	0.00	0.05	0.13	-0.10	-0.03	0.33	-0.01	-0.07	1.00												
U	-0.11	0.09	0.47	-0.06	-0.16	0.15	-0.16	-0.13	0.83	-0.26	0.40	0.62	0.17	-0.03	0.05	-0.40	-0.09	-0.13	0.23	-0.38	0.54	0.84	-0.16	-0.20	1.00											
Al2O3 (%)	-0.38	-0.20	0.70	0.14	-0.60	-0.22	-0.46	-0.04	0.66	-0.45	0.49	0.35	0.39	0.01	0.13	-0.50	-0.08	-0.47	0.05	-0.45	0.31	0.58	-0.33	-0.48	0.61	1.00										
SiO2 (%)	-0.50	-0.17	0.46	0.00	-0.91	-0.78	-0.76	0.25	0.21	-0.65	0.39	-0.09	0.13	0.22	0.14	0.43	0.10	-0.68	-0.25	0.49	-0.02	-0.01	0.30	-0.19	-0.04	0.27	1.00									
P2O5 (%)	0.59	0.37	-0.47	-0.16	0.83	0.65	0.59	-0.24	-0.27	0.68	-0.40	0.12	-0.16	-0.22	-0.24	-0.18	-0.10	0.62	0.10	-0.23	0.10	-0.07	-0.10	0.41	-0.07	-0.50	-0.81	1.00								
CaO (%)	0.55	0.23	-0.71	-0.14	0.98	0.66	0.78	-0.20	-0.43	0.74	-0.48	-0.02	-0.33	-0.19	-0.16	-0.14	-0.09	0.76	0.14	-0.20	-0.10	-0.34	-0.11	0.38	-0.23	-0.63	-0.91	0.86	1.00							
Fe2O3 (%)	0.05	-0.12	0.63	0.75	-0.21	0.42	-0.16	0.03	0.06	-0.09	0.00	-0.04	0.62	0.16	-0.06	-0.29	0.37	-0.21	0.38	-0.34	0.08	0.30	-0.26	-0.24	0.16	0.35	-0.07	-0.09	-0.19	1.00						
K2O (%)	-0.25	0.01	0.56	-0.12	-0.35	-0.06	-0.30	-0.05	0.93	-0.43	0.53	0.62	0.20	-0.05	0.06	-0.37	-0.31	-0.30	-0.03	-0.32	0.40	0.69	-0.14	-0.35	0.88	0.78	0.14	-0.27	-0.43	0.09	1.00					
TiO2 (%)	-0.20	-0.05	0.70	0.32	-0.50	-0.02	-0.40	-0.12	0.74	-0.39	0.56	0.39	0.40	0.02	-0.03	-0.39	-0.05	-0.49	-0.01	-0.33	0.30	0.60	-0.30	-0.34	0.67	0.82	0.22	-0.36	-0.54	0.45	0.75	1.00				
MnO (%)	0.12	-0.13	0.33	0.35	-0.19	0.05	-0.15	-0.08	-0.17	0.03	-0.07	-0.21	0.18	-0.08	0.22	-0.20	0.54	-0.26	0.23	-0.21	0.12	0.27	-0.24	-0.08	0.00	0.17	-0.02	-0.15	-0.10	0.62	-0.13	0.07	1.00			
	Máximo		Medio			Mínimo																														

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

En la tabla 8., se presentan las correlaciones elementales para las muestras de rocas de la microcuenca Chirimoyo, donde se indican las correlaciones positivas más significativas en rojo. Para la presente investigación los elementos de interés que se correlaciono son los siguientes: V₂O₅-Mo, U- V₂O₅, U-Bi y U-SnO₂.

Otras correlaciones positivas altas son V_2O_5 -S, V_2O_5 -NiO, V_2O_5 -ZnO, V_2O_5 - P_2O_5 , que pueden estar asociados en materia orgánica (coloides) y sulfuros.

La correlación V_2O_5 -CaO estaría relacionada con el mineral tyuyamunita o asociada a fragmentos líticos.

La correlación K_2O -U es relacionada con la carnotita. La correlación U - Al_2O_3 es relacionada debido a la moscovita encontrada en las lutitas negras

V_2O_5 – Mo

En la figura 47, se observa la correlación positiva entre los elementos V_2O_5 – Mo, la cual se la puede comprobar con los valores en la tabla 8. Estos elementos están relacionados debido a que a ambos se los encuentra en las lutitas y en la materia orgánica de las mismas.

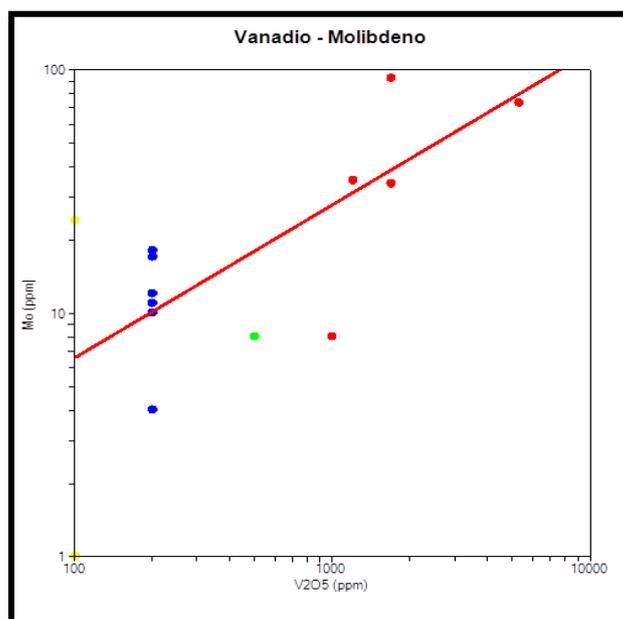


Figura 47. Diagrama de dispersión V_2O_5 (log)-Mo (log) (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U - V_2O_5

En la figura 48, se observa que debido a los valores bajos (tabla 8) la correlación es negativa entre los elementos U- V_2O_5 , también se deduce que el U se encuentra asociado a minerales accesorios y el V se encuentra asociado a otros minerales.

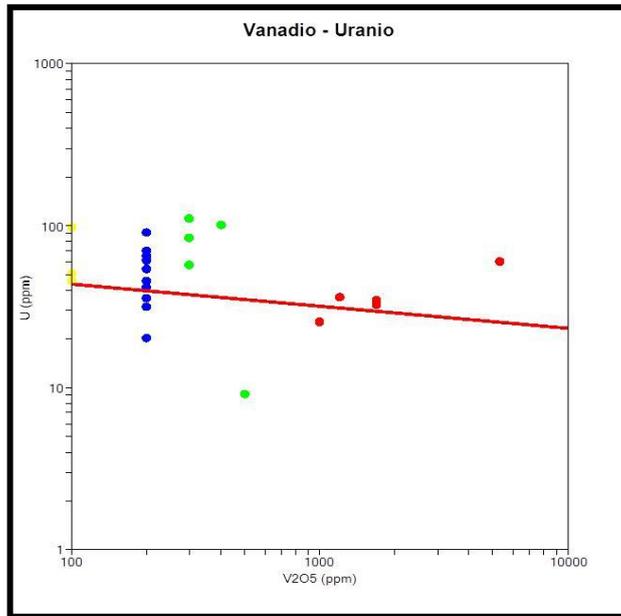


Figura 48. Diagrama de dispersión **U** (log)-**V₂O₅** (log) (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U – Bi

En la figura 49, se observa la correlación positiva entre los elementos U-Bi, esto se debe a que el Bi se puede formar por desintegración radioactiva del uranio.

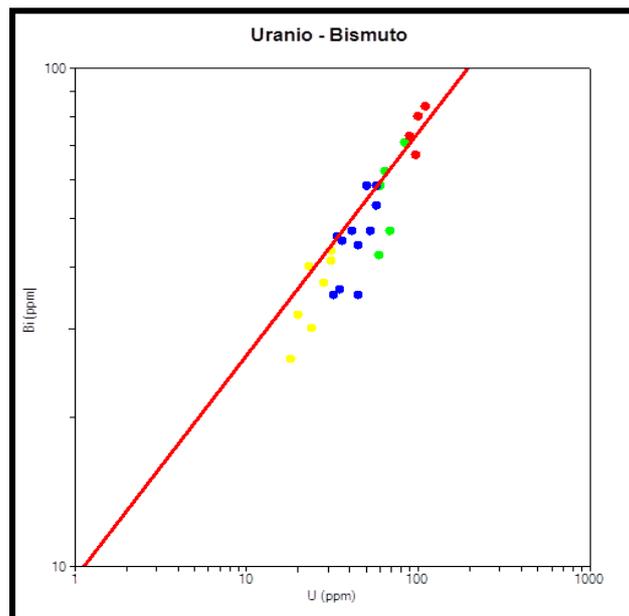


Figura 49. Diagrama de dispersión **U** (log)-**Bi** (log) (ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U – SnO₂

En la figura 50, se observa la correlación positiva entre los elementos U–SnO₂ (tabla 8), esto se debe a la presencia de minerales pesados como la casiterita identificada en la muestra CH-M2 correspondiente a un volcanosedimento de la Unidad Quebrada los Zabalos.

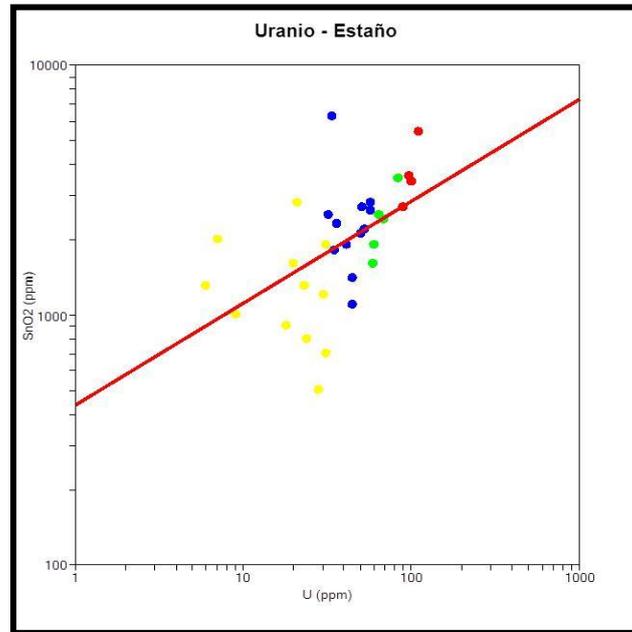


Figura 50. Diagrama de dispersión U (log)-SnO₂ (log)(ROCA CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.5. Resultados del análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) de las muestras de sedimentos de la microcuenca Chirimoyo

6.5.1. Concentración (%) de elementos mayoritarios de sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.

Tabla 9. Concentración de elementos mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.

CÓDIGO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO
CH-M1	18.75	57.85	0.21	1.21	7.84	1.94	1.09	0.22
CH-M2	16.45	59.95	0.75	4.70	7.82	1.56	0.96	0.20
CH-M3	20.05	20.05	10.05	1.33	6.52	2.45	0.94	0.15
CH-M4	25.70	60.30	0.18	0.63	6.14	2.21	0.77	0.12
CH-M5	22.55	63.15	0.31	0.90	6.49	2.02	0.80	0.14

CÓDIGO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO
CH-M6	21.10	64.85	0.37	0.97	6.39	2.36	0.89	0.15
CH-M7	14.35	62.60	0.65	2.40	7.93	1.26	0.91	0.27
CH-M9	19.80	65.20	0.16	0.69	6.18	2.14	0.97	0.14
CH-M10	18.95	67.80	0.25	0.44	5.89	2.36	1.01	0.15
CH-M11	18.10	66.10	0.16	0.48	4.46	2.03	1.06	0.14
CH-M14	21.05	63.60	0.27	0.72	6.39	2.51	1.08	0.14
CH-M15	19.50	67.70	0.24	0.49	5.91	2.36	0.92	0.17
CH-M17	17.95	67.95	0.30	0.29	5.55	2.41	0.95	0.15
CH-M18	16.80	66.30	0.21	0.36	5.94	2.31	0.79	0.14
CH-M19	14.20	75.70	0.16	0.24	3.23	1.63	0.74	0.19
CH-M20	19.90	70.90	0.18	0.11	4.29	3.17	0.83	0.13
CH-M21	22.15	65.70	0.26	0.19	6.36	3.70	0.91	0.14
CH-M22	18.60	68.40	0.19	0.16	4.79	2.94	0.77	0.14
CH-M23	21.95	63.75	0.23	0.20	6.12	3.95	0.97	0.19
CH-M24	20.10	69.55	0.27	0.29	2.70	2.49	1.00	0.16
CH-M25	18.90	65.30	0.29	0.78	8.36	1.76	0.92	0.21
CH-M26	18.40	66.45	0.26	0.50	7.07	1.87	0.89	0.19
CH-M27	17.65	69.30	0.27	0.33	5.08	2.30	0.90	0.14

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

De acuerdo a la tabla 9., se puede inferir que los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo están compuestos principalmente de silicatos o fragmentos líticos, debido a la concentración de SiO₂ y Al₂O₃, también se puede inferir la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro (identificados mediante microscopio y DRX) como la magnetita, hematita y goethita por la concentración de Fe₂O₃.

6.5.2. Concentración (ppm) de los elementos traza de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.

El criterio seguido en la representación gráfica ha sido el de determinar el Fondo (mediana); Umbral (fondo + desviación estándar); Subanomalía (fondo+2 veces la desviación estándar) y Anomalía (fondo + 3 veces la desviación estándar) (INIGEMM, 2012).

Tabla 10. Concentración de elementos traza de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.

CÓDIGO	S	V2O5	Cr2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Rb	Sr	ZrO2	SnO2	CeO2	HfO2	Ta2O5	WO3	Nb	Pd	Cd	Hg	PbO	Bi	Se	Mo	U
CH-M1	300	600	600	300	100	100	300	100	100	200	200	2500	1100	300			25	95	71		46	36	9	28	41
CH-M2	400	1000	600	800	300	100	700	100		200	300	1200					22	142	87		58	40	9	39	42
CH-M3		400	600	500	100	100	300	100	100	200	600	1350	600				22	167	77		48	37	9	10	49
CH-M4			600	500		100	100		100	200	400	1400	700		300		30	154	89		47	55	9	16	48
CH-M5		300	500	500		100	200		100	150	550	1700	750		300		27	156	76		38	34	9	20	34
CH-M6		400	550	600		100	250	100	150	200	550	1800	500				21	166	91		39	42	9	16	44
CH-M7	700	1400	600	700	300	100	1050	100	100	150	300	750	1000		300		21	137	85		36		9	53	24
CH-M9		100	600	450			100		100	300	750	1550	800		600	100	36	162	74		50	32	9	14	33
CH-M10		200	600				150	100	100	100	800	1750	500		300		33	206	87		41	39	9	30	36
CH-M11			500	300			100		100	200	400	1200	300				25	181	76	1		39	10	19	37
CH-M14		200	550	500		100	150	100	100	200	650	1750	500	300			36	171	91		34	38	9	21	25
CH-M15		300	500	400		100	200	100	100	100	500	1700	650				21	169	89		49	50	10	18	42
CH-M17		400	500			100	200		100	100	500	2450	700	300			34	206	102		47	46	9	27	34
CH-M18		400	500				200		100	100	350	2100	700				26	214	106		52	54	9	19	44
CH-M19		100	450	200			100	100	100		700	1850	350	400	250		35	221	84	1		27	10	24	38
CH-M20		100	500	150		100	100	100	200	100	600	3500	800				28	179	87	1	43	35	9	12	51
CH-M21		200	600	700		100	100	100	200	100	550	2450	1000	300			25	133	75	1		61	9	5	64
CH-M22		100	500	450		100	100	100	200	100	600	1650	800	300			22	185	85		51	48	9	5	58
CH-M23		200	600	600	100	100	150	100	200	100	450	2050	1050	300			18	164	96		51	49	9	8	74
CH-M24		100	500	400		100	100		100	100	750	1700	700		300		32	198	68	1	50	41	9	18	44
CH-M25		600	650	700		200	500		100	200	400	1150	1600				22	169	84		45	38	9	15	41
CH-M26		400	500	550		100	350		100	150	350	1100					22	198	113			46	9	20	32
CH-M27		300	550	400		100	200	100	100		550	1450	700	300			30	174	77			40	9	16	32
MEDIA	467	371	550	485	180	106	248	100	120	155	513	1743	752	313	336	100	27	172	86	1	46	42	9	20	42
MEDIANA	400	300	550	500	100	100	200	100	100	150	550	1700	700	300	300	100	25	169	85	1	47	40	9	18	41
MAX	700	1400	650	800	300	200	1050	100	200	300	800	3500	1600	400	600	100	36	221	113	1	58	61	10	53	74
MIN	300	100	450	150	100	100	100	100	100	100	200	750	300	300	250	100	18	95	68	1	34	27	9	5	24
DESVECIÓN ESTÁNDAR	208	321	54	171	110	24	228	0	40	57	160	590	288	35	118	N/D	6	29	11	0	6	8	0.3	11	12

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Nota: espacios en blanco no se detectó valores.

En la tabla 10., se puede observar la concentración de elementos traza, medida en las muestras de sedimentos de la microcuenca Chirimoyo. Para la presente investigación los elementos de interés que se analizó son los siguientes: V₂O₅, U, Bi, Se, Mo y SnO₂, este último por sus elevadas concentraciones.

Tabla 11. Valores estadísticos de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo

	V₂O₅	U	Se	Mo	Bi	SnO₂
FONDO	300	41	9	18	40	1700
UMBRAL	621	53	9	19	48	2290
SUBANOMALÍA	942	65	10	40	56	2879
ANOMALÍA	1263	76	10	50	65	3469

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Los análisis de estos resultados se obtuvieron mediante métodos geoestadísticos aplicados a la prospección geológica-minera. En la tabla 11., se observa que en los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo existen anomalías en los elementos de V₂O₅, Se, Mo y SnO₂, debido a que hay muestras en las que se registró valores máximos superiores a sus anomalías. Mientras que los valores máximos de U y Bi solo llegan a ser subanomálicos.

VANADIO (V₂O₅)

El Clarke de concentración del vanadio en la corteza es 136 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de V₂O₅ de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo que es de 300 ppm (tabla 11), de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 51) existen 12 clases con valores ~360ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre. Además se identificó un valor anómalo de 1400ppm en la muestra CH-M7 el cual se puede corroborar en la Figura 52.

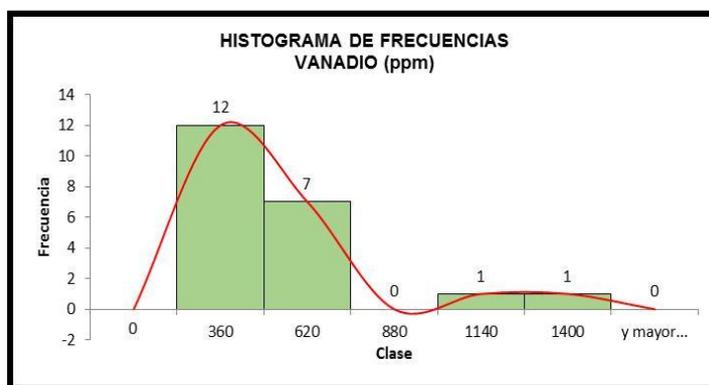


Figura 51. Histograma de frecuencias de V₂O₅ (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

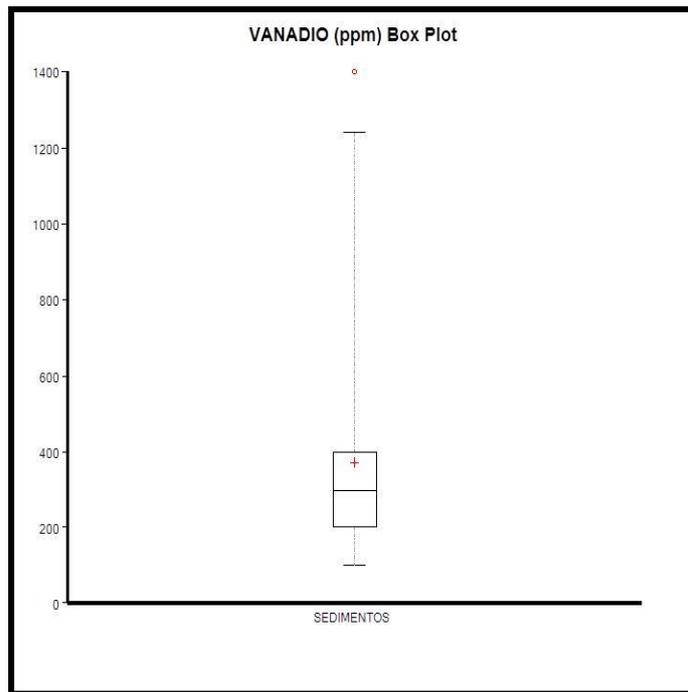


Figura 52. Diagrama de caja y bigotes de V_2O_5 (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

URANIO (U)

El Clarke de concentración del uranio en la corteza es 2.3 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de U de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo que es de 41 ppm (tabla 11), de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 53) existen 9 clases con valores ~49ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo son mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre. Además se identificó un valor subanomálico de 74ppm en las muestras CH-M21, CH-M22 y CH-M23 el cual se puede corroborar en la Figura 54.

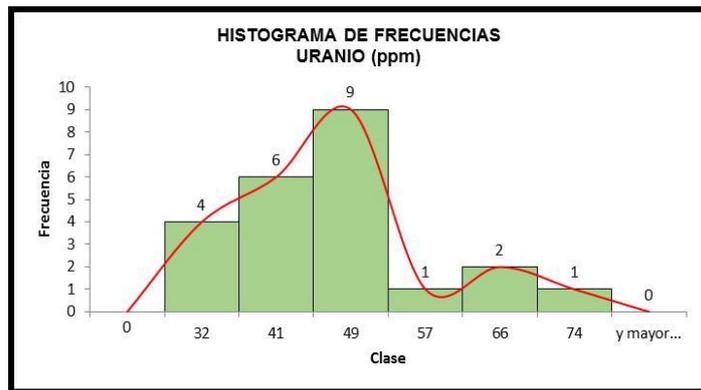


Figura 53. Histograma de frecuencias de U (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

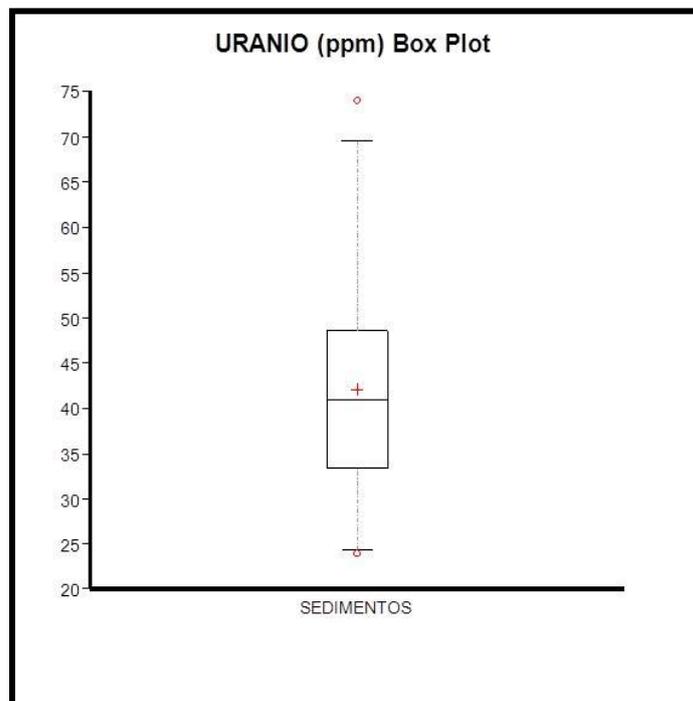


Figura 54. Diagrama de caja y bigotes de U (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

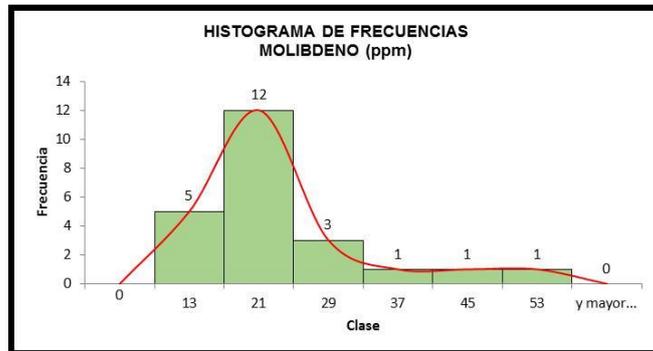
Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

MOLIBDENO (Mo)

El Clarke de concentración del molibdeno en la corteza es 1.2 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de Mo de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo que es de 18 ppm (tabla 11) de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 55) existen 5 clases con valores ~13ppm los cuales son mayores al Clarke de concentración de la corteza

terrestre. Además se identificó un valor anómalo de 53ppm en las muestras CH-M7, el cual se puede corroborar en la Figura 56.



F3igura 55. Histograma de frecuencias de Mo (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

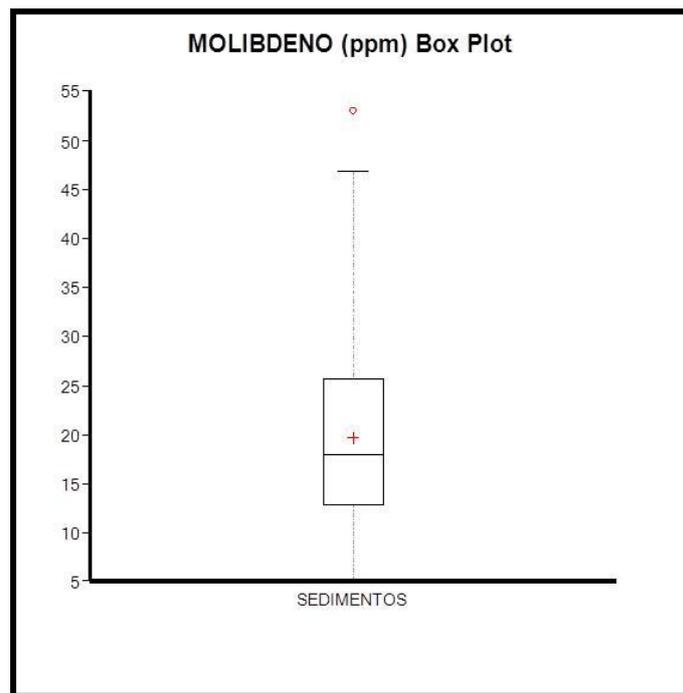


Figura 56. Diagrama de caja y bigotes de Mo (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

SELENIO (Se)

El Clarke de concentración del selenio en la corteza es 0.05 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo que es de 9 ppm

(tabla 11), de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 57) existen 20 clases con valores ~9.2ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo, siendo mayores al Clarke de concentración. Además se detectó valores anómalos de 10 ppm en las muestras CH-M15 y CH-M19.

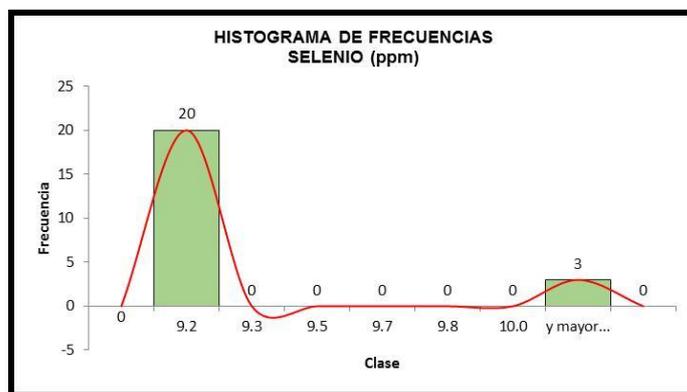


Figura 57. Histograma de frecuencias de Se (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

BISMUTO (Bi)

El Clarke de concentración del bismuto en la corteza es 0.2 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo que es de 40 ppm (tabla 11) de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 58) existen 10 clases con valores ~41ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre. Además se identificó un valor subanómico de 61 ppm en la muestra CH-M21, el cual se puede corroborar en la Figura 59.

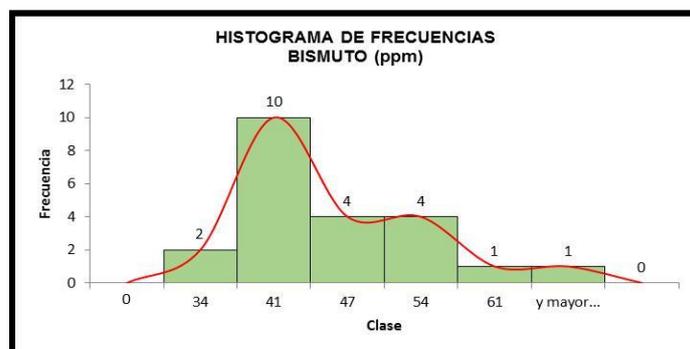


Figura 58. Histograma de frecuencias de Bi (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

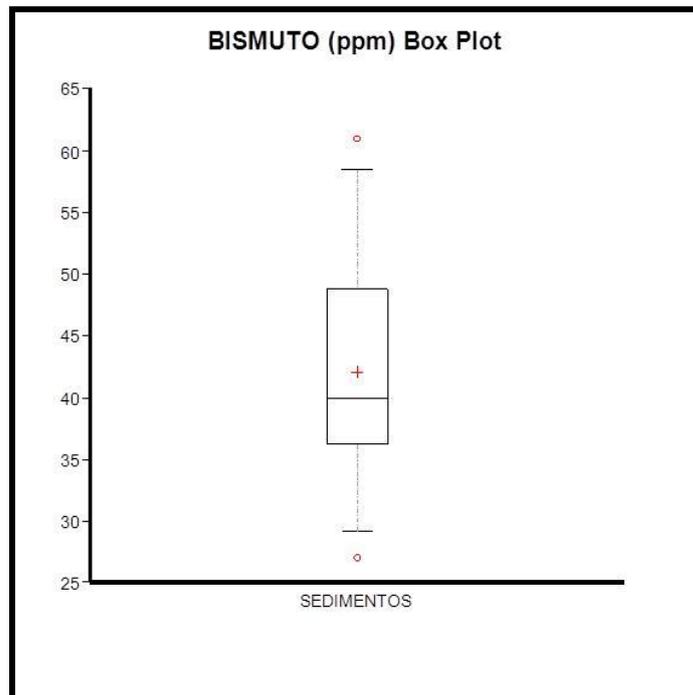


Figura 59. Diagrama de caja y bigotes de Bi (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)
 Fuente: Los autores
 Elaboración: Los autores

ESTAÑO (SnO₂)

El Clarke de concentración del estaño en la corteza es 2.10 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de SnO₂ de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo que es de 1700 ppm (tabla 11) de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 60) existen 9 clases con valores ~2125ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre. Además se identificó un valor anómalo de 3500ppm en la muestra CH-M20, el cual se puede corroborar en la Figura 61.

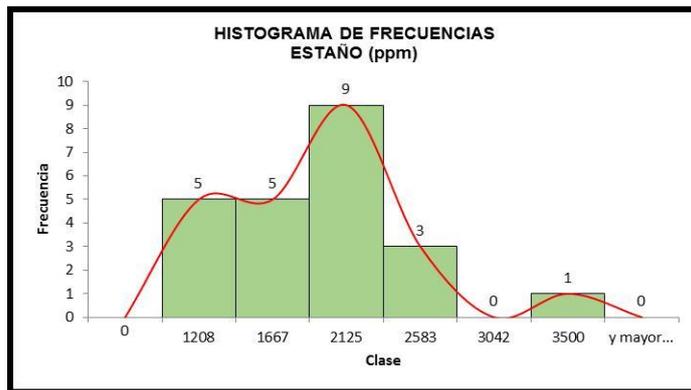


Figura 60. Diagrama de caja y bigotes de Sn (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

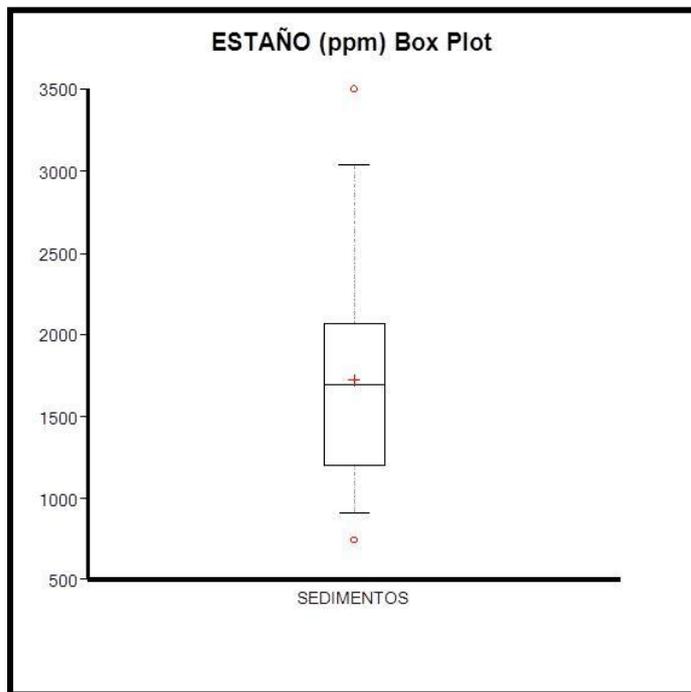


Figura 61. Diagrama de caja y bigotes de Bi (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.5.3. Correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo.

Tabla 12. Coeficiente de correlación elemental para los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo

	S(ppm)	V2O5(ppm)	Cr2O3(ppm)	Co3O4(ppm)	NiO(ppm)	CuO(ppm)	ZnO(ppm)	As2O3(ppm)	RbI(ppm)	Sr(ppm)	ZrO2(ppm)	SnO2(ppm)	CeO2(ppm)	HfO2(ppm)	Ta2O5(ppm)	WO3(ppm)	Nb(ppm)	Pd(ppm)	Cd(ppm)	Hg(ppm)	PbO(ppm)	Bi(ppm)	Se(ppm)	Mo(ppm)	U(ppm)	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	P2O5 (%)	CaO (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	TiO2 (%)	MnO (%)				
S(ppm)	1.00																																				
V2O5(ppm)	0.88	1.00																																			
Cr2O3(ppm)	0.34	0.39	1.00																																		
Co3O4(ppm)	0.35	0.40	0.51	1.00																																	
NiO(ppm)	0.90	0.84	0.42	0.47	1.00																																
CuO(ppm)	0.13	0.33	0.34	0.58	0.16	1.00																															
ZnO(ppm)	0.88	0.97	0.40	0.49	0.84	0.34	1.00																														
As2O3(ppm)	0.29	0.21	0.17	0.16	0.36	0.08	0.15	1.00																													
RbI(ppm)	-0.35	-0.42	-0.09	-0.03	-0.37	0.12	-0.43	0.27	1.00																												
Sr(ppm)	0.18	0.17	0.51	0.38	0.20	0.09	0.21	-0.30	-0.27	1.00																											
ZrO2(ppm)	-0.54	-0.59	-0.22	-0.29	-0.50	-0.32	-0.56	0.10	0.23	-0.21	1.00																										
SnO2(ppm)	-0.31	-0.37	-0.25	-0.50	-0.34	-0.05	-0.51	0.21	0.54	-0.29	0.18	1.00																									
CeO2(ppm)	0.05	0.10	0.46	0.12	-0.06	0.45	0.07	-0.02	0.42	0.04	-0.09	0.21	1.00																								
HfO2(ppm)	-0.11	-0.19	-0.14	-0.11	-0.13	0.02	-0.29	0.40	0.33	-0.48	0.09	0.34	0.15	1.00																							
Ta2O5(ppm)	0.10	-0.09	0.10	-0.05	-0.01	-0.40	-0.02	-0.31	-0.21	0.22	0.44	-0.23	0.04	-0.27	1.00																						
WO3(ppm)	-0.08	-0.16	0.20	0.03	-0.10	-0.37	-0.14	-0.27	-0.07	0.49	0.32	-0.07	0.07	-0.15	0.64	1.00																					
Nb(ppm)	-0.30	-0.43	-0.23	-0.53	-0.42	-0.44	-0.45	-0.23	-0.21	-0.10	0.60	0.22	-0.15	0.23	0.51	0.37	1.00																				
Pd(ppm)	-0.54	-0.42	-0.62	-0.59	-0.49	-0.41	-0.38	-0.29	0.00	-0.47	0.49	0.02	-0.36	-0.02	0.04	-0.07	0.37	1.00																			
Cd(ppm)	-0.10	0.11	-0.23	-0.19	-0.05	0.00	0.10	-0.14	0.02	-0.14	-0.28	0.02	-0.30	-0.04	-0.35	-0.23	-0.17	0.45	1.00																		
Hg(ppm)	-0.19	-0.40	-0.40	-0.17	-0.24	-0.25	-0.35	-0.01	0.29	-0.32	0.29	0.36	-0.09	0.11	0.02	-0.11	0.23	0.20	-0.37	1.00																	
PbO(ppm)	0.16	0.20	0.28	-0.02	0.26	0.21	0.14	-0.03	-0.09	0.37	-0.03	0.12	0.28	-0.31	0.12	0.15	-0.12	-0.15	0.04	-0.46	1.00																
Bi(ppm)	-0.66	-0.55	-0.08	-0.10	-0.52	0.06	-0.62	-0.17	0.27	-0.11	0.01	0.31	-0.06	0.14	-0.41	-0.15	-0.08	0.14	0.26	0.01	0.03	1.00															
Se(ppm)	-0.14	-0.25	-0.49	-0.21	-0.17	-0.40	-0.20	0.05	-0.13	-0.23	0.05	-0.11	-0.29	0.06	-0.04	-0.08	0.02	0.26	-0.09	0.42	-0.38	-0.05	1.00														
Mo(ppm)	0.82	0.76	0.10	0.00	0.68	-0.10	0.75	0.08	-0.64	0.07	-0.36	-0.34	-0.21	-0.18	0.23	-0.12	0.05	-0.15	0.09	-0.30	0.08	-0.67	0.02	1.00													
U(ppm)	-0.29	-0.33	0.15	0.16	-0.07	0.17	-0.35	0.24	0.67	-0.17	0.00	0.40	0.29	0.21	-0.31	-0.17	-0.44	-0.12	-0.03	0.22	0.19	0.58	-0.10	-0.64	1.00												
Al2O3 (%)	0.11	0.17	-0.09	0.26	0.00	0.34	0.15	-0.13	-0.01	-0.08	-0.16	-0.29	0.12	-0.10	0.00	-0.42	-0.31	-0.18	-0.09	-0.20	0.08	0.07	-0.06	0.13	-0.02	1.00											
SiO2 (%)	-0.04	0.09	-0.24	-0.19	-0.06	-0.05	0.02	0.25	0.31	-0.31	0.17	0.34	0.14	0.24	-0.35	-0.02	-0.09	0.26	0.02	0.28	-0.22	-0.18	0.09	-0.06	0.01	-0.18	1.00										
P2O5 (%)	-0.06	-0.21	0.23	0.08	-0.08	0.07	-0.13	-0.27	-0.09	0.23	-0.19	-0.14	0.02	-0.17	0.27	-0.01	0.12	-0.20	0.04	-0.14	0.14	0.25	-0.09	-0.07	0.10	0.04	-0.94	1.00									
CaO (%)	0.07	0.13	0.36	0.16	0.25	-0.06	0.15	0.05	-0.29	0.50	0.10	-0.31	-0.15	-0.34	0.20	0.35	-0.05	-0.23	-0.21	-0.30	0.23	-0.18	-0.13	-0.02	-0.09	-0.32	-0.31	0.18	1.00								
Fe2O3 (%)	0.19	0.15	-0.08	0.09	0.26	-0.31	0.16	-0.06	-0.49	0.18	-0.03	-0.52	-0.64	-0.22	0.29	0.30	-0.01	0.01	0.03	-0.35	-0.03	-0.10	0.02	0.25	-0.30	0.03	-0.35	0.11	0.54	1.00							
K2O (%)	-0.06	-0.16	-0.16	0.07	-0.11	0.20	-0.17	-0.03	0.36	-0.37	0.05	0.05	0.31	0.29	-0.10	-0.37	-0.17	0.07	-0.18	0.30	0.10	0.31	0.04	-0.21	0.48	0.54	0.02	0.01	-0.52	-0.29	1.00						
TiO2 (%)	0.14	0.19	0.18	0.08	0.17	0.04	0.22	-0.13	-0.65	0.33	-0.18	-0.49	-0.25	-0.27	-0.13	-0.02	0.03	0.00	0.03	-0.27	0.22	0.11	0.17	0.27	-0.34	-0.01	-0.18	0.06	0.18	0.22	0.00	1.00					
MnO (%)	0.09	0.10	0.17	0.09	0.19	-0.08	0.12	-0.22	-0.35	0.39	0.07	-0.13	-0.24	-0.29	0.26	0.65	0.18	-0.03	-0.09	-0.08	0.13	-0.15	-0.24	0.04	-0.21	-0.58	0.00	-0.05	0.49	0.48	-0.48	0.19	1.00				
	Máximo		Medio			Mínimo																															

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

En la tabla 12., se presentan las correlaciones elementales para las muestras de los sedimentos de la microcuenca Chirimoyo, donde se indican las correlaciones positivas más significativas en rojo. Para la presente investigación los elementos de interés que se correlacionan son los siguientes: V₂O₅-Mo, U-V₂O₅, U-Bi y U-SnO₂.

Otras correlaciones positivas altas son V_2O_5 -S, V_2O_5 -NiO, V_2O_5 -ZnO, V_2O_5 - Fe_2O_3 que pueden estar asociados en materia orgánica (coloides) y sulfuros.

La correlación V_2O_5 -CaO estaría relacionada con el mineral tyuyamunita o asociada a fragmentos líticos.

La correlación K_2O -U es relacionada con la carnotita. La correlación K_2O - Al_2O_3 es relacionada con las arcillas y micas

V_2O_5 – Mo

En la figura 62, se observa la correlación positiva entre los elementos V_2O_5 - Mo, la cual se la puede comprobar con los valores en la tabla 12. Estos elementos están relacionados debido a que a ambos se los encuentra en la materia orgánica.

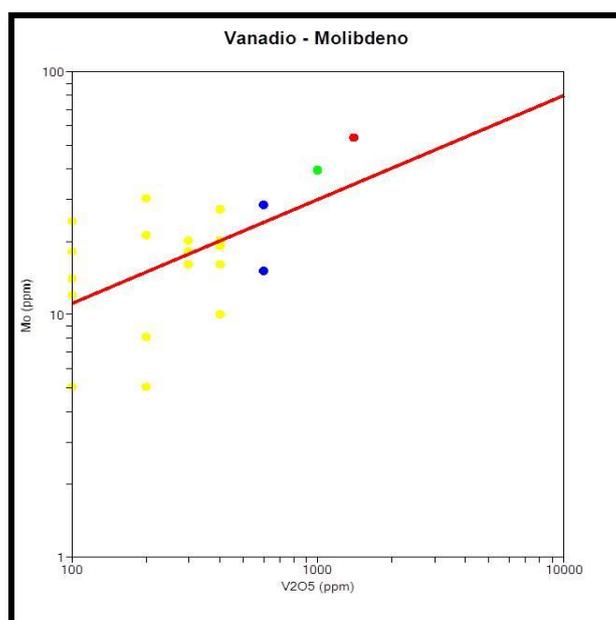


Figura 62. Diagrama de dispersión V_2O_5 (log)-Mo (log) (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U – V_2O_5

En la figura 63, se observa la correlación negativa entre los elementos U- V_2O_5 . Esto se debe a que el U se encuentra asociado a minerales accesorios y el V se encuentra asociado a otros minerales.

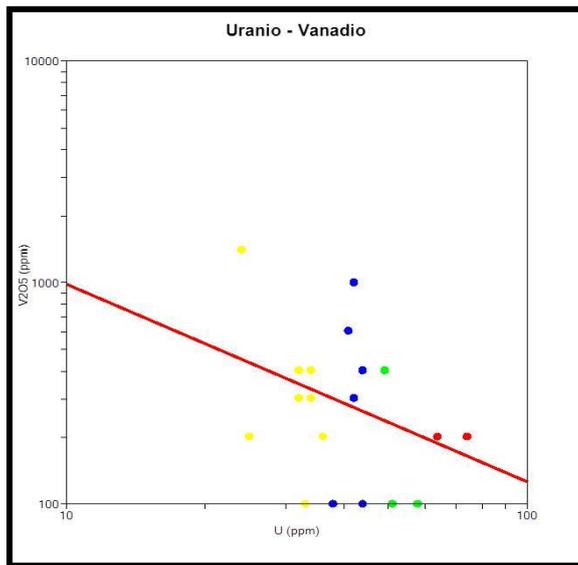


Figura 63. Diagrama de dispersión **U** (log)-**V₂O₅** (log) (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U – Bi

En la figura 64, se observa la correlación positiva entre los elementos U – Bi. Esto se debe a que el Bi se puede formar por desintegración radioactiva del uranio, los valores se los puede comprobar en la tabla 12.

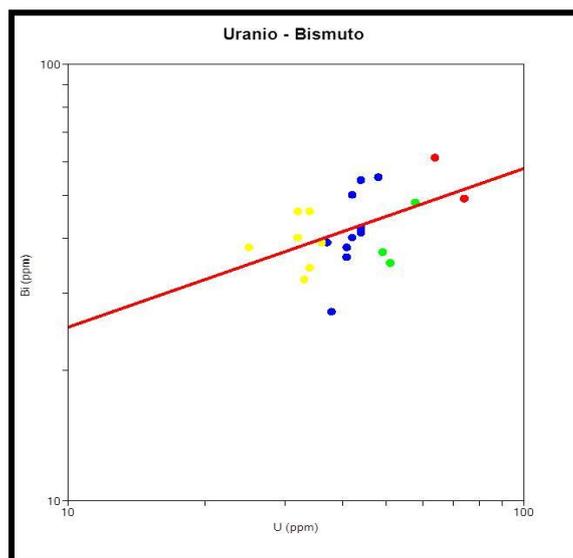


Figura 64. Diagrama de dispersión **U** (log)-**Bi** (log) (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U – SnO₂

En la figura 65, se observa la correlación positiva entre los elementos U-SnO₂. Esto se debe a que el Sn se encuentra asociados a minerales pesados como la casiterita, encontrada en la muestra de sedimentos CH-M2 y el U en minerales pesados como apatito y circón.

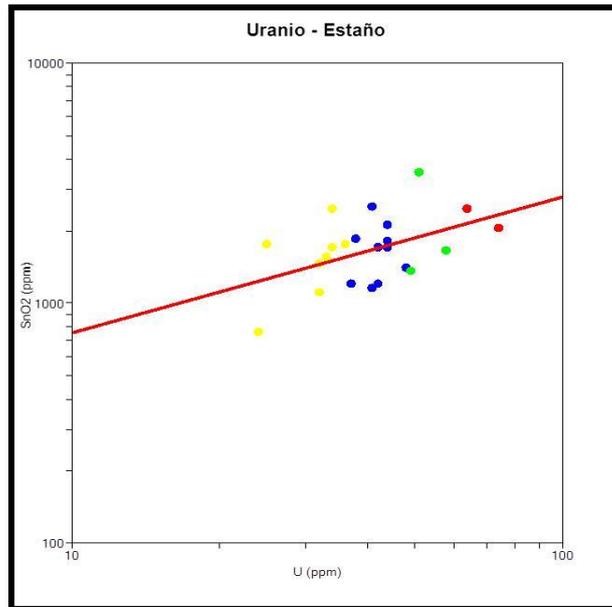


Figura 65. Diagrama de dispersión U (log)-SnO₂ (log) (SEDIMENTOS CHIRIMOYO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.6. Resultados del análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) de las muestras de roca de la microcuenca Guineo.

La concentración (%) de elementos mayoritarios analizada por FRX, permitió identificar el tipo de roca existente: calizas (concentración de CaO de 42.57%), lutitas (concentración de Al₂O₃ de 15.40%) y areniscas (concentración de SiO₂ de 58.10%), según (Mason & Moore, 1982). Esto permite junto con el análisis petrológico de la muestra de mano clasificar de mejor manera las rocas.

6.6.1. Concentración (%) de elementos mayoritarios de las rocas de la microcuenca Guineo.

Tabla 13. Concentración de elementos mayoritarios de las rocas de la microcuenca Guineo.

CÓDIGO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO
GUI-M1	4.46	13.55	1.82	61.80	2.12	0.64	0.20	0.08
GUI-M2	4.71	17.20	2.08	59.95	1.63	0.96	0.22	0.04
GUI-M3	5.49	21.15	2.02	56.50	2.13	1.00	0.29	0.05
GUI-M4	4.84	17.15	2.01	60.30	2.81	0.62	0.17	0.09
GUI-M5	3.15	18.40	1.98	61.40	1.10	0.40	0.04	0.08
GUI-M6	4.84	36.90	2.04	47.90	172.00	0.69	0.17	0.08
GUI-M7	14.45	70.30	ND	4.00	5.75	1.73	0.60	0.16
GUI-M8	16.30	64.55	ND	3.28	6.46	2.62	0.77	0.12
GUI-M9	17.00	65.35	ND	4.18	7.41	1.85	0.96	0.15
GUI-M10	19.90	53.50	0.52	4.50	11.70	0.50	1.10	0.22
GUI-M11	18.15	62.75	0.35	1.43	9.23	2.53	0.98	0.15
GUI-M12	4.61	16.80	1.93	57.40	1.97	0.96	0.25	0.04
GUI-M13-L	18.45	68.85	ND	0.72	7.22	2.17	0.81	0.11
GUI-M13-T	19.65	75.55	ND	0.60	1.57	0.57	0.45	0.06
GUI-M14	16.45	74.85	0.19	0.96	3.88	1.80	0.48	0.10
GUI-M15	4.56	18.55	1.74	57.05	1.63	1.00	0.24	0.05
GUI-M16	17.20	76.25	0.19	0.62	3.74	0.12	0.65	0.06
GUI-M17	21.50	61.90	0.21	1.57	8.10	4.42	0.81	0.14
PAP-M1	8.92	28.85	2.24	43.25	3.27	1.94	0.53	0.04
PAP-M2	4.68	20.25	2.10	62.50	2.16	0.65	0.20	0.18
PAP-M3	3.81	10.47	2.04	70.25	1.16	0.66	0.22	0.03
PAP-M4	3.17	5.87	1.83	23.05	1.02	0.42	0.02	0.04
PAP-M5	3.41	6.92	1.81	71.95	0.71	0.55	ND	0.04
PAP-M6	2.64	2.67	1.47	70.75	1.10	0.57	ND	0.03
PAP-M7	3.22	15.30	1.87	63.35	0.79	0.53	0.07	0.03
PAP-M8	5.48	20.05	2.10	60.40	2.08	1.37	0.30	0.04
PAP-M9	3.45	8.04	1.84	68.15	0.87	0.68	0.14	0.03
PAP-M10	4.15	12.50	1.94	61.25	1.19	0.80	0.13	0.03

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

De acuerdo a los porcentajes observados en la tabla 13., en las muestras de roca GUI-M7, GUI-M8, GUI-M9, GUI-M10, GUI-M11 y GUI-M13-L acorde a la cantidad de Al₂O₃ presente se las considera como lutitas. Mientras que por la cantidad presente de SiO₂ en las muestras de roca GUI-M13-T, GUI-M14, GUI-M16 y GUI-M17 se las considera areniscas. Esto se corrobora con la descripción de la muestra de mano.

El resto de muestras de rocas de la microcuenca Guineo son consideradas como calizas debido al alto porcentaje de CaO.

6.6.2. Concentración (ppm) de los elementos traza de las rocas de la microcuenca Guineo.

El criterio seguido en la representación gráfica ha sido el de determinar el Fondo (mediana); Umbral (fondo + desviación estándar); Subanomalía (fondo+2 veces la desviación estándar) y Anomalía (fondo + 3 veces la desviación estándar).

Tabla 14. Concentración de elementos traza de las rocas de la microcuenca Guineo.

CÓDIGO	S	V2O5	Cr2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Rb	Sr	ZrO2	SnO2	CeO2	HfO2	Ta2O5	WO3	Nb	Pd	Cd	Hg	PbO	Bi	Se	Mo	U	
GUI-M1	10600	800	200	400	3100	400		100		2500		6300					12	340	79	1		58	10	21	37	
GUI-M2	4600	3700	300	300	3100	400	400			2600		5400					9	166	89		48	45	9	77	68	
GUI-M3	14600	7100	500	400	3200	400	1700	100		2600	400	4500				87	15	130	67		65	37	9	143	59	
GUI-M4	16000	1300	300	400	2600	200	200			1500		5100		400			10	181	75			33	10	49	40	
GUI-M5	4000	800	300	300	2400	300	300			1200		4500					26	167	87			52	35	9	14	23
GUI-M6	4000	3100	400	300	1700	300	1000	100		1200	100	3500		300			47	14	161	78		42	33	9	26	38
GUI-M7		200	500	400		100	200			500	200	1700	1000	300		58	23	78	58				9	19	25	
GUI-M8		200	600	500	100	100	100			600	200	1700	1000	300	300		13	91	65	1	56	51	9	1	47	
GUI-M9	2000		700		100	200	200		100	500		700	1600				23	49	80		48	38	10	8	39	
GUI-M10		400	600			100	100			500	100	1300					12	19	69			31	10	5	24	
GUI-M11	600	100	700	700	100	200	200			400	200	2200	1900				12	38	57		47	38	9	5	45	
GUI-M12	4600	3400	300	300	3400	400	400	200		1800		2500					11	166	74			41	9	97	50	
GUI-M13-L			500	500	200	100	200		100	300	700	2100	1700	400			37	89	93		36	36	9	25	29	
GUI-M13-T		200	400	200				100		700	300	700	200		200	112		29	29	202			9		7	
GUI-M14			450	350				100	100	200	200	1000		300		144	144	11	65		202	45	9	22	30	
GUI-M15	4800	9100	400	250	2800	500	3100	100		2700	200	2100				57	10	142	119			35	9	73	39	
GUI-M16	1700	200	500								400	500	400			152	152	62	46		141		9	13		
GUI-M17	4000	100	600	600	100	100	100		200	200	400	3100	1000				25	51	96		43	56	9	11	54	
PAP-M1	31500	10000	1200	600	5500	400	16900	400	42	1100	300	3700				65	65	137	65			48	9	260		
PAP-M2	3800	1500	300	500	2800	300	200		27	1300	200	10000		400			9	201	85			38	9	44	49	
PAP-M3	5400	800	200	400	3600	400	200		27	4000	300	9700		400		23	9	267	62			47	10	42	43	
PAP-M4	6200	300		300	4000	400	100		15	1800	200	6500		300					62				9	12	37	
PAP-M5	6300	4700	200	300	4100	400	11000		29	3100	300	9500				33	6	250	80		46	57	9	68	46	
PAP-M6	4500	3700			5200	500	600		28	2500						25	10	240	78			25	9	60	50	
PAP-M7	5700	2000	200	300	3200	300			26	2600		7500				28	12	247	73				9	35	37	
PAP-M8	8100	10600	400	400	2600	300	11000		50	2400	300	7500				32	2	256	59		44	48	12	185	77	
PAP-M9	5500	4800	200	200	3800	400	900		34	2700	300	8000				31	4	230	71		52	48	9	69	53	
PAP-M10	11000	8300	400	300	4900	400	2800	300	36	2400	300	6800				42	2	226	75		58	33	34	288	59	
MEDIA	7250	3096	437	383	2722	304	2084	186	58	1626	280	4374	1100	344	250	62	26	149	73	68	65	42	10	62	42	
MEDIANA	5100	1500	400	375	3100	300	200	100	35	1500	300	3700	1000	300	250	47	12	161	74	1	48	38	9	35	42	
MAX	31500	10600	1200	700	5500	500	16900	400	200	4000	700	10000	1900	400	300	152	152	340	119	202	202	58	34	288	77	
MIN	600	100	200	200	100	100	100	100	15	200	100	500	200	300	200	23	2	11	29	1	36	25	9	1	7	
DESVECCIÓN ESTÁNDAR	6652	3408	219	128	1656	131	4293	121	51	1066	132	2995	607	53	71	43	38	90	17	116	45	9	5	75	15	

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Nota: espacios en blanco no se detectó valores.

En la tabla 14, se puede observar la concentración de elementos traza, medida en las muestras de rocas de la microcuenca Guineo. Para la presente investigación los elementos de interés que se analizaron son los siguientes: V_2O_5 , U, Bi, Se, Mo y SnO_2 , este último por sus elevadas concentraciones.

Tabla 15. Valores estadísticos de las rocas de la microcuenca Guineo

	V₂O₅	U	Se	Mo	Bi	SnO₂
FONDO	1500	42	9	35	38	3700
UMBRAL	4908	56	14	110	47	6695
SUBANOMALÍA	8317	71	18	185	56	9691
ANOMALÍA	11725	86	23	260	65	12686

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

El análisis de estos resultados se obtuvo mediante métodos geoestadísticos aplicados a la prospección geológica-minera. En la tabla 15., se observa que en las rocas de la microcuenca Guineo existen anomalías en los elementos de Se y Mo debido a que existen muestras en las que su valor máximo es superior al de sus anomalías. Mientras que los valores de V₂O₅, U, Bi y SnO₂ solo llegan a ser valores subanomálicos.

VANADIO (V₂O₅)

El Clarke de concentración del vanadio en la corteza es 136 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de V₂O₅ de las rocas de la microcuenca Guineo que es de 1500 ppm (tabla 15) y valores subanomálicos de 10600 ppm en la muestra PAP-M8 (caliza negra de la Unidad Puyango), además este elemento va en rangos de 40-100 ppm en calizas de ambiente marino deposicional, como es el caso de las calizas de Garudamangalam (La India) (Babu et al., 2014). En la figura 66., se observa que de acuerdo al análisis de frecuencias, existen 13 clases con valores de ~1850ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre. Además se observa 3 clases con valores subanomálicos de ~10600ppm el cual se puede corroborar en la Figura 67. Este valor subanomálico se debe a que las muestras fueron tomadas cerca al bosque petrificado de Puyango y debido a que en el área existen fósiles con un alto grado de materia orgánica, que se formó en ambientes anóxicos,

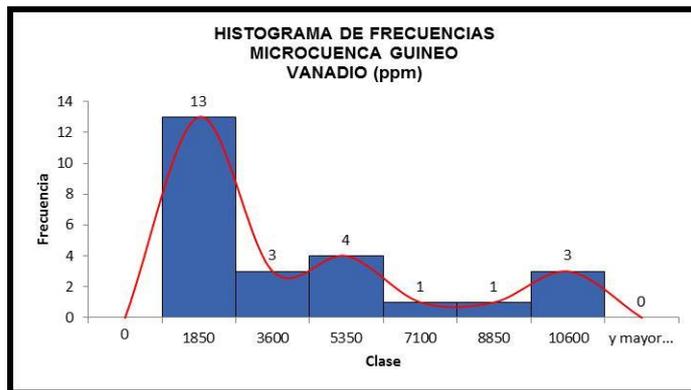


Figura 66. Histograma de frecuencias de V_2O_5 (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

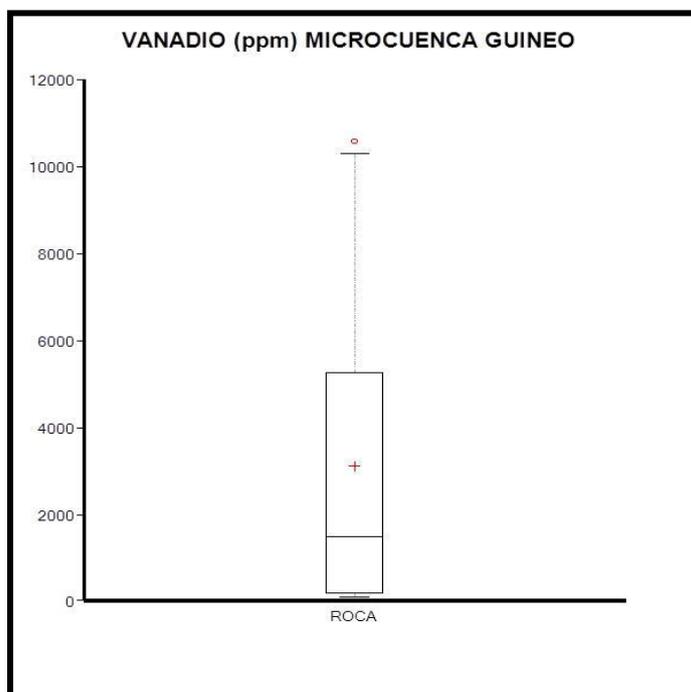


Figura 67. Diagrama de caja y bigote de V_2O_5 (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

URANIO (U)

El Clarke de concentración del uranio en la corteza es 2.3 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de U de las rocas de la microcuenca Guineo que es de 42 ppm (tabla 15) y valores subanomálicos de 77 ppm en la muestra PAP-M8 (caliza de la Unidad Puyango), de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 68) existen 8 clases con valores ~54ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo,

siendo mayores al Clarke de concentración. Además se detectó dos valores subanomálicos de 77 ppm el cual se lo corroboro en la figura 69.

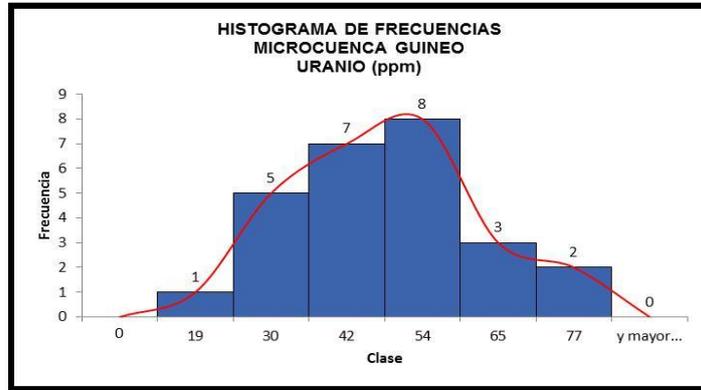


Figura 68. Histograma de frecuencias de U (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

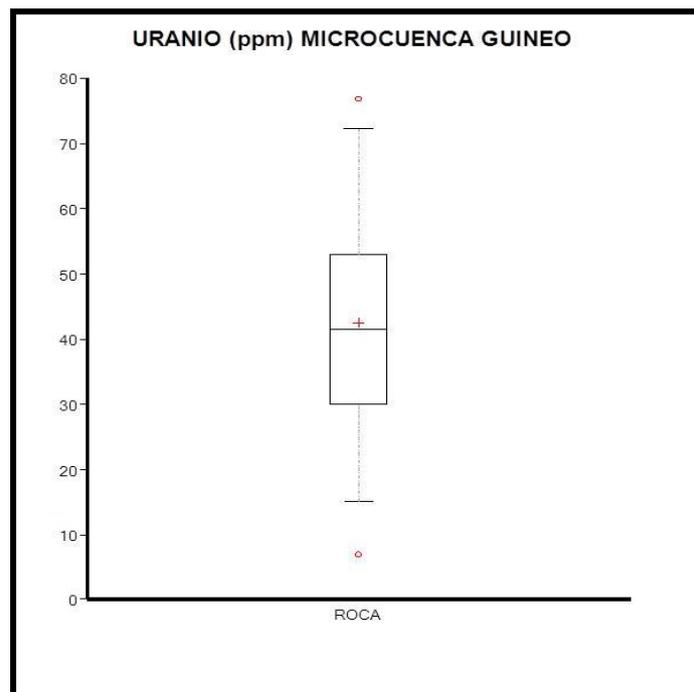


Figura 69. Diagrama de caja y bigote de U (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

MOLIBDENO (Mo)

El Clarke de concentración del molibdeno en la corteza es 1.2 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de Mo de las rocas de la microcuenca Guineo que es de 35 ppm

(tabla 15) y valores anómalos de 260 ppm en la muestra PAP-M1 y 288 ppm en la muestra PAP-M8, ambas muestras son calizas pertenecientes a la Unidad Puyango el cual se corroboró en la Figura 71, de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 70) existen 16 clases con valores ~49ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre.

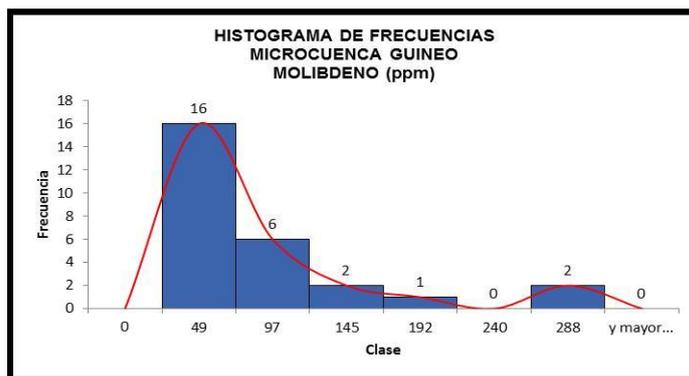


Figura 70. Histograma de frecuencias de Mo (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

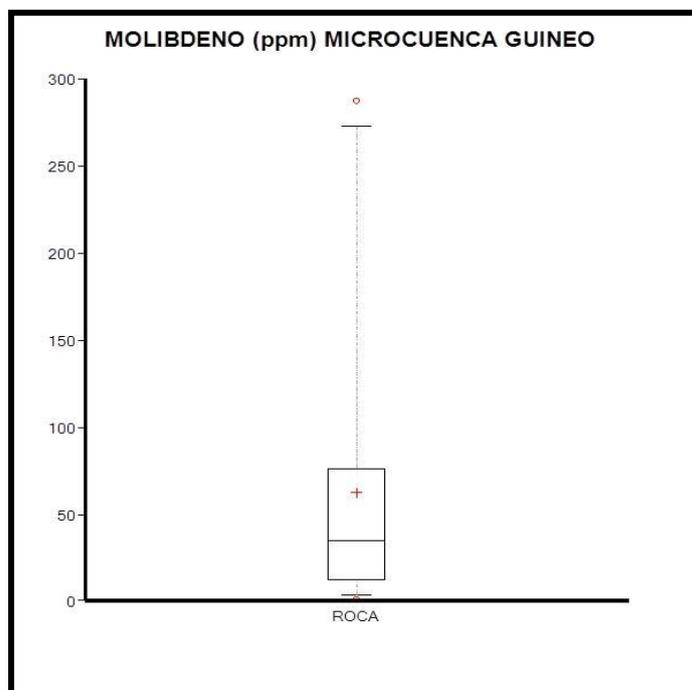


Figura 71. Diagrama de caja y bigote de Mo (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

SELENIO (Se)

El Clarke de concentración del selenio en la corteza es 0.05 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de Se de las rocas de la microcuenca Guineo que es de 9 ppm (tabla 15) de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 72) existen 27 clases con valores ~13ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo, siendo mayores al Clarke de concentración. Además se detectó un valor anómalo de 34 ppm en la muestra PAP-M10 que corresponde a una caliza de la Unidad Puyango.

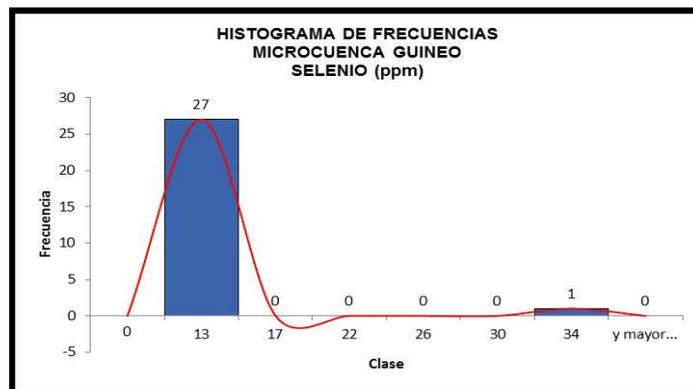


Figura 72. Histograma de frecuencias de Se (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

BISMUTO (Bi)

El Clarke de concentración del bismuto en la corteza es 0.2 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de Bi de las rocas de la microcuenca Guineo que es de 38 ppm (tabla 15) y un valor subanomálico de 58 ppm en la muestra GUI-M1 (caliza de la Unidad Puyango) el cual se corrobora en la Figura 74., de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 73) existen 5 clases con valores ~42ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre.

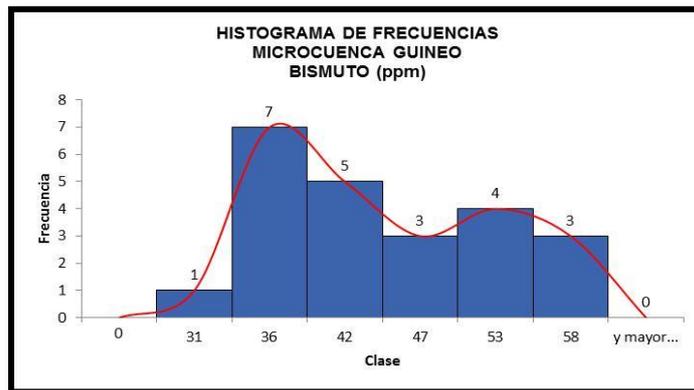


Figura 73. Histograma de frecuencias de Bi (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

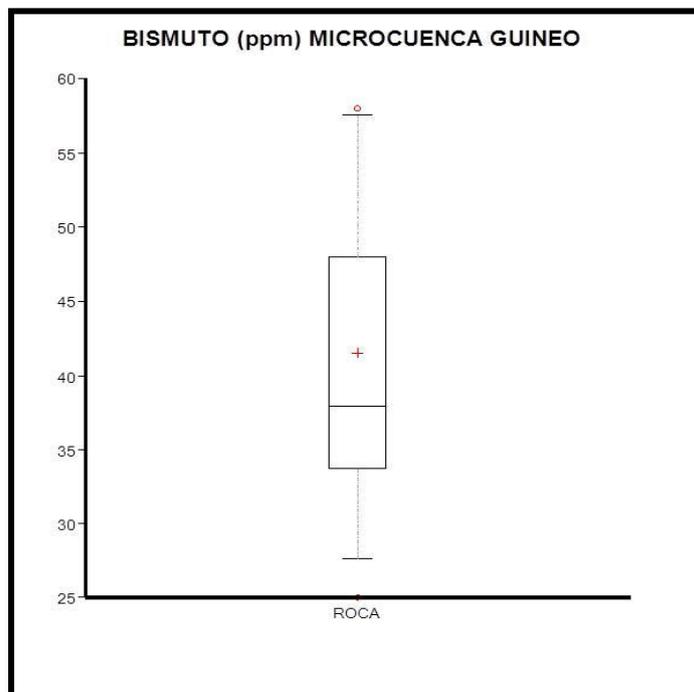


Figura 74. Diagrama de caja y bigote de Bi (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

ESTAÑO (SnO₂)

El Clarke de concentración del estaño en la corteza es 2.10 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de SnO₂ de las rocas de la microcuenca Guineo que es de 3700 ppm (tabla 15) y valores subanmálicos de 10000 ppm en las muestras PAP-M2 y PAP-M3 (calizas de la Unidad Puyango) los cuales se corrobora en la Figura 76., de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 75) existen 4 clases con valores ~6833ppm los cuales

están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre.



Figura 75. Histograma de frecuencias de SnO₂ (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

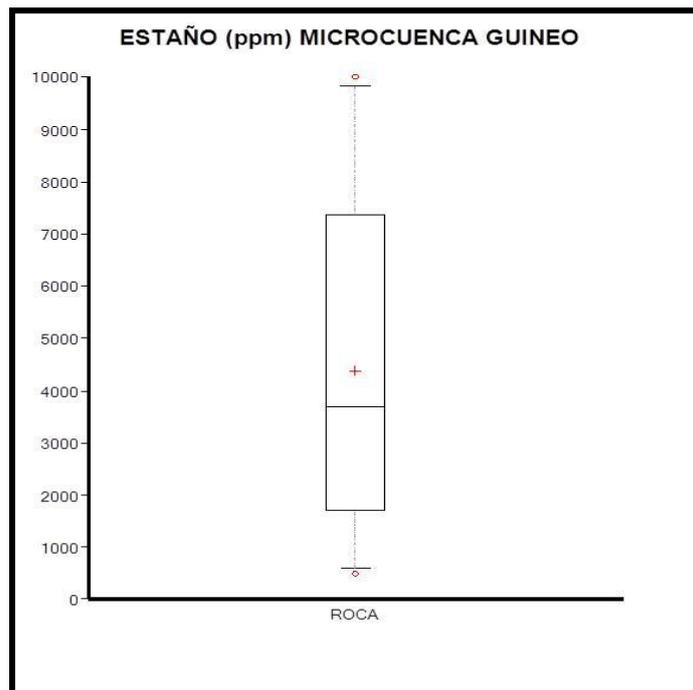


Figura 76. Diagrama de caja y bigote de SnO₂ (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.6.3. Correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios de las rocas de la microcuenca Guineo

Tabla 16. Coeficiente de correlación elemental para las muestras rocas de la microcuenca Guineo

	S	V2O5	Cr2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Rb	Sr	ZrO2	SnO2	CeO2	HfO2	Ta2O5	WO3	Nb	Pd	Cd	Hg	PbO	Bi	Se	Mo	U	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	P2O5 (%)	CaO (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	TiO2 (%)	MnO (%)			
S	1.00																																			
V2O5	0.62	1.00																																		
Cr2O3	0.31	0.15	1.00																																	
Co3O4	0.29	0.06	0.33	1.00																																
NiO	0.66	0.64	-0.35	-0.01	1.00																															
CuO	0.48	0.62	-0.38	-0.02	0.89	1.00																														
ZnO	0.67	0.73	0.41	0.23	0.45	0.31	1.00																													
As2O3	0.72	0.62	0.44	0.20	0.51	0.40	0.53	1.00																												
Rb	-0.06	-0.11	0.24	0.20	-0.23	-0.27	0.06	-0.08	1.00																											
Sr	0.32	0.51	-0.57	-0.08	0.78	0.83	0.22	0.13	-0.29	1.00																										
ZrO2	0.00	0.13	0.28	0.31	-0.19	-0.28	0.22	0.04	0.38	-0.17	1.00																									
SnO2	0.30	0.28	-0.42	0.28	0.58	0.52	0.25	0.02	-0.08	0.69	0.03	1.00																								
CeO2	-0.39	-0.44	0.45	0.29	-0.64	-0.49	-0.23	-0.26	0.37	-0.59	0.30	-0.44	1.00																							
HfO2	-0.15	-0.40	-0.14	0.32	-0.18	-0.24	-0.27	-0.25	0.03	-0.15	0.17	0.15	0.11	1.00																						
Ta2O5	-0.24	-0.21	0.13	0.08	-0.33	-0.37	-0.12	-0.13	-0.17	-0.24	0.07	-0.26	0.17	0.12	1.00																					
WO3	0.03	0.14	0.18	-0.23	-0.17	-0.34	0.13	0.12	-0.05	-0.18	0.33	-0.31	-0.22	-0.10	0.07	1.00																				
Nb	-0.04	-0.18	0.33	-0.12	-0.34	-0.50	0.02	0.03	0.22	-0.49	0.24	-0.40	0.06	-0.12	0.69	1.00																				
Pd	0.35	0.43	-0.45	0.03	0.68	0.67	0.25	0.19	-0.21	0.78	-0.23	0.66	-0.48	-0.12	-0.23	-0.25	-0.37	1.00																		
Cd	0.04	0.20	-0.11	0.08	0.21	0.43	-0.03	0.07	0.28	0.22	-0.12	0.13	-0.01	-0.01	-0.36	-0.46	-0.22	0.25	1.00																	
Hg	-0.17	-0.15	0.00	-0.14	-0.24	-0.34	-0.09	-0.09	-0.13	-0.16	0.11	-0.23	-0.04	-0.13	0.54	0.35	-0.13	-0.24	-0.51	1.00																
PbO	-0.23	-0.10	0.16	-0.08	-0.36	-0.43	-0.07	-0.14	0.28	0.34	0.25	-0.24	0.10	-0.02	-0.01	0.59	0.77	-0.31	-0.15	-0.15	1.00															
Bi	0.25	0.27	0.19	0.38	0.18	0.28	0.32	0.19	0.32	0.23	0.04	0.28	0.00	-0.07	-0.05	-0.35	-0.12	0.36	0.44	-0.37	0.12	1.00														
Se	0.17	0.35	-0.01	-0.04	0.28	0.16	0.08	0.48	0.04	0.18	0.10	0.20	-0.12	-0.13	-0.07	0.01	-0.14	0.21	0.01	-0.05	0.08	0.02	1.00													
Mo	0.72	0.87	0.26	0.17	0.65	0.49	0.68	0.79	-0.01	0.38	0.18	0.29	-0.36	-0.29	-0.22	0.12	-0.08	0.38	0.04	-0.16	-0.04	0.24	0.62	1.00												
U	-0.05	0.33	-0.37	0.18	0.30	0.46	-0.04	-0.13	0.13	0.51	-0.11	0.44	-0.08	-0.06	-0.13	-0.46	-0.53	0.42	0.35	-0.35	-0.05	0.47	0.25	0.25	1.00											
Al2O3 (%)	-0.43	-0.50	0.59	0.05	-0.87	-0.87	-0.21	-0.24	0.39	-0.83	0.37	-0.67	0.69	0.03	0.35	0.22	0.39	-0.76	-0.30	0.30	0.31	-0.12	-0.16	-0.40	-0.41	1.00										
SiO2 (%)	-0.46	-0.51	0.57	0.05	-0.91	-0.91	-0.25	-0.24	0.30	-0.87	0.33	-0.70	0.67	0.14	0.36	0.37	0.51	-0.75	-0.34	0.31	0.42	-0.22	-0.18	-0.43	-0.48	-0.55	1.00									
P2O5 (%)	0.61	0.61	-0.37	0.08	0.86	0.84	0.36	0.39	-0.35	0.77	-0.30	0.70	-0.73	-0.08	-0.40	-0.23	-0.37	0.71	0.28	-0.29	-0.34	0.23	0.16	0.54	0.38	-0.93	-0.92	1.00								
CaO (%)	0.46	0.56	-0.51	-0.04	0.85	0.85	0.27	0.25	-0.32	0.87	-0.33	0.69	-0.69	-0.14	-0.35	-0.24	-0.43	0.88	0.34	-0.26	-0.33	0.28	0.17	0.46	0.46	-0.94	-0.93	0.92	1.00							
Fe2O3 (%)	-0.08	-0.02	0.05	-0.02	-0.12	-0.02	-0.06	0.09	-0.09	-0.13	-0.10	-0.10	-0.04	0.23	-0.04	0.04	-0.04	-0.02	0.06	-0.05	0.04	0.00	-0.06	-0.12	-0.03	-0.05	0.08	0.10	-0.01	1.00						
K2O (%)	-0.07	-0.13	0.57	0.59	-0.44	-0.36	0.05	0.01	0.70	-0.48	0.33	-0.31	0.67	0.04	0.19	-0.17	0.08	-0.39	0.18	-0.12	0.16	0.38	-0.09	-0.06	0.14	0.59	0.51	-0.51	-0.53	-0.04	1.00					
TiO2 (%)	-0.04	-0.36	0.53	0.14	-0.61	-0.63	-0.16	-0.17	0.19	-0.62	0.08	-0.45	0.54	0.22	0.14	-0.10	0.18	-0.50	-0.12	0.01	0.05	0.03	-0.12	-0.25	-0.23	0.67	0.60	-0.55	-0.59	-0.06	0.43	1.00				
MnO (%)	-0.41	-0.54	0.39	0.12	-0.70	-0.59	-0.32	-0.32	0.19	-0.68	-0.02	-0.33	0.53	0.26	0.08	-0.25	0.05	-0.50	0.05	-0.08	0.00	0.03	-0.18	-0.48	-0.16	0.65	0.60	-0.58	-0.61	0.07	0.40	0.62	1.00			
	Máximo	1.00	Medio			Mínimo																														

Fuente: Los autores
 Elaboración: Los autores

En la tabla 16., se presentan las correlaciones elementales para las muestras de rocas de la microcuenca Guineo, donde se indican las correlaciones positivas más significativas en rojo. Para la presente investigación los elementos de interés que se correlacionaron son los siguientes: V₂O₅-Mo, V2O5-Bi, U-V₂O₅, U-Bi, U-Mo.

Otras correlaciones positivas altas son V_2O_5 -S, V_2O_5 -NiO, V_2O_5 -ZnO que pueden estar asociados en materia orgánica (coloides).

La correlación V_2O_5 -CaO pese a obtener un valor de correlación bajo, estaría relacionada con el mineral tyuyamunita o asociada a fragmentos líticos.

La correlación K_2O -U es relacionada con la carnotita. La correlación K_2O - Al_2O_3 está relacionada con las arcillas y micas

V_2O_5 – Mo

En la figura 77, se observa la correlación positiva entre los elementos V_2O_5 – Mo. Estos elementos están relacionados debido a que a ambos se los encuentra en las calizas, lutitas y en la materia orgánica diseminada en ellas.

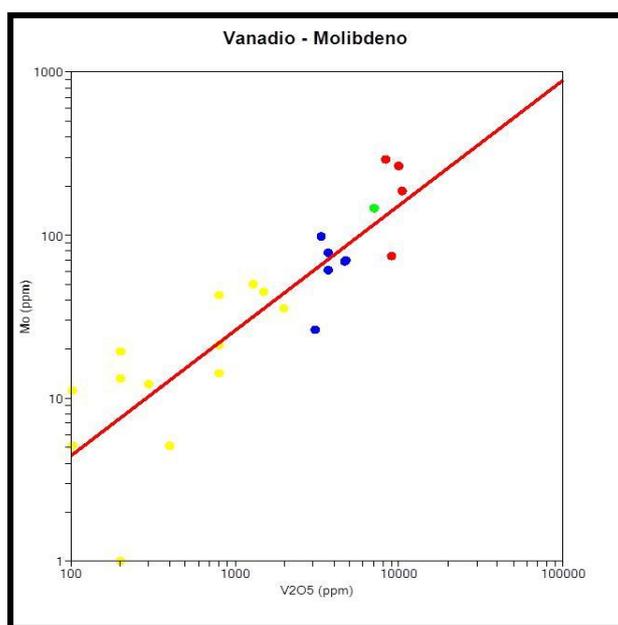


Figura 77. Diagrama de dispersión V_2O_5 (log)-Mo (log) (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U – V_2O_5

En la figura 78, se observa la correlación entre los elementos U- V_2O_5 , debido a que ambos se encuentran en los minerales de carnotita (muestras GUI-M2, GUI-M3, GUI-M12, GUI-M17 y PAP-M8), en la materia orgánica de las calizas y lutitas negras.

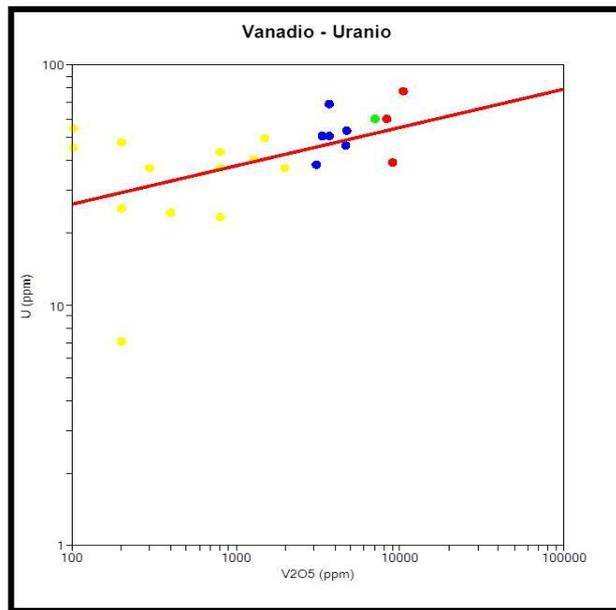


Figura 78. Diagrama de dispersión **U** (log)-**V₂O₅** (log) (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U - Mo

En la figura 79, se observa la correlación positiva entre los elementos U-Mo. Estos elementos están relacionados debido a que a ambos se los encuentra en las calizas negras, lutitas y en la materia orgánica diseminada en ellas.

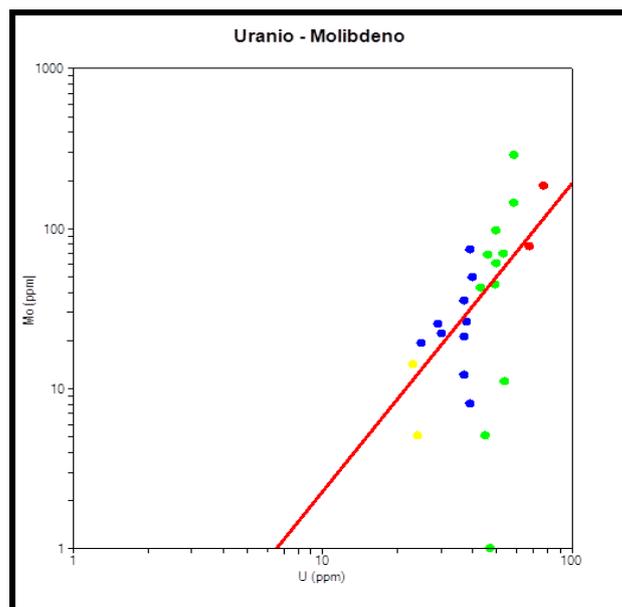


Figura 79. Diagrama de dispersión **U** (log)-**Mo** (log) (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U – Bi

Debido a que el Bi se puede formar por desintegración radioactiva del uranio, En la figura 80, se observa una la correlación positiva entre estos elementos, la cual se la puede comprobar con los valores en la tabla 16.

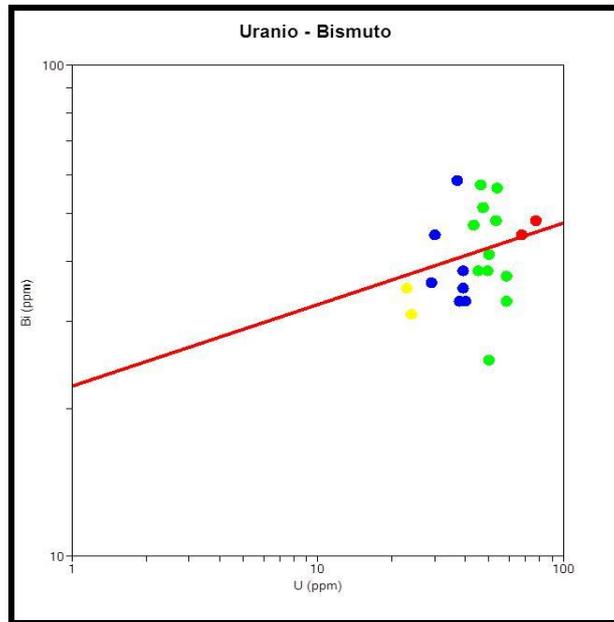


Figura 80. Diagrama de dispersión U (log)-Bi (log) (ROCA GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.7. Resultados del análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) de las muestras de sedimentos de la microcuenca Guineo.

6.7.1. Concentración (%) de elementos mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Guineo.

Tabla 17. Concentración de elementos mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Guineo.

CÓDIGO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO
GUI-M1	18.50	63.65	0.36	1.76	5.90	2.10	0.86	0.16
GUI-M2	18.50	64.15	0.56	2.38	6.58	2.09	0.93	0.16
GUI-M4	16.00	65.35	0.57	1.96	8.02	1.42	0.94	0.25
GUI-M5	15.90	62.90	0.57	3.19	8.18	1.36	0.87	0.25
GUI-M6	13.80	64.75	0.76	4.57	9.20	1.26	0.96	0.30
GUI-M7	17.00	64.35	0.67	3.87	7.36	1.65	0.90	0.17
GUI-M8	17.50	61.10	ND	1.35	8.57	1.51	0.88	0.31

CÓDIGO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MnO
GUI-M9	16.85	59.85	0.23	1.04	9.15	1.29	0.79	0.46
GUI-M11	16.70	65.75	0.42	2.57	8.06	1.74	0.80	0.22
GUI-M12	19.05	68.45	0.43	1.00	5.49	2.31	0.93	0.11
GUI-M13	22.60	63.75	0.38	1.37	5.90	2.58	1.14	0.13
GUI-M14	18.55	67.40	0.23	0.53	5.19	2.19	0.88	0.14
GUI-M15	20.10	60.75	0.35	1.15	6.66	2.58	0.99	0.14
GUI-M17	17.15	74.25	0.16	0.30	3.97	2.36	0.72	0.11
PAP-M2	15.65	62.05	0.51	3.72	7.66	1.08	0.80	0.25
PAP-M3	12.30	60.20	0.92	8.92	8.54	1.15	0.88	0.23
PAP-M4	13.80	64.15	0.72	3.85	8.20	1.16	0.80	0.22
PAP-M5	14.65	58.80	1.07	8.20	8.39	1.34	0.92	0.21

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

De acuerdo a la tabla 17., se puede inferir que los sedimentos de la microcuenca Guineo están compuestos principalmente de silicatos o fragmentos líticos, debido a la concentración de SiO₂ y Al₂O₃, también se puede inferir la presencia de óxidos de hierro (identificados mediante microscopio y DRX) como la magnetita, hematita y goethita por la concentración de Fe₂O₃.

6.7.2. Concentración (ppm) de elementos traza de los sedimentos de la microcuenca Guineo.

El criterio seguido en la representación gráfica ha sido el de determinar el Fondo (mediana); Umbral (fondo + desviación estándar); Subanomalía (fondo+2 veces la desviación estándar) y Anomalía (fondo + 3 veces la desviación estándar).

Tabla 18. Concentración de elementos traza de los sedimentos de la microcuenca Guineo

CÓDIGO	S	V2O5	Cr2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	As2O3	Rb	Sr	ZrO2	SnO2	CeO2	HfO2	Ta2O5	WO3	Nb	Pd	Cd	PbO	Bi	Se	Mo	U
GUI-M1		600	500	500		100	500	100		100	300	1000					26	171	133	54	36	9	26	44
GUI-M2		1000	500	600		100	500	100	100	200	400	1000	900			5	34	100	91	47	53	9	35	37
GUI-M4	700	1200	700	800	100	200	1000	100		200	300	1100	1200			13	24	59	54	47	37	9	42	17
GUI-M5		700	600	800		100	700			200	200	1300	900			22	22	108	75	36		9	30	14
GUI-M6	500	3400	700	900	600	200	1200	100		200	300	1200		300		42	24	128	81		35	9	88	32
GUI-M7	700	1100	600	600	100	100	700	100	100	200	500	1300	900				22	128	56	34		9	30	31
GUI-M8		200	700			200	200		100	200		1000	1200	300			6	114	89	57	49	9	10	40
GUI-M9		300	700			100	200		100	200	200	1200	1300		300		16	99	69	52	33	9	6	17
GUI-M11	300	1000	700	600	100	200	600		100	200	200	1200				4	23	141	88	38	34	9	28	23
GUI-M12		500	500		100	100	300		100	200	700	1300	300				27	148	103	57	49	9	24	39
GUI-M13	800	800	500			100	400		100	200	500	1500					29	115	76	51	39	9	27	41
GUI-M14			500			100	100		100	200	600	1500	500				31	127	85	43	36	9	27	26
GUI-M15		600	600	400		100	500	100	200	200	500	2000				9	29	126	65	47	49	9	28	40
GUI-M17			500				100	100			800	1200	500		300		30	140	90	49	42	9	23	30
PAP-M2	500	1800	600	300	100	100	800	100	100	200	300	800				4	22	177	108		34	9	48	26
PAP-M3	700	2800	700	900	400	200	1800	100		200	200	1700				38	15	201	89	63	48	9	52	42
PAP-M4	600	2400	700	900	200	200	1600	100	100	200	200	900		300		5	18	155	73	48	34	9	54	33
PAP-M5	800	4400	700	800	800	200	1500	100	100			1200		300		17	13	167	103	46	50	9	74	57
MEDIA	622	1425	611	675	278	141	706	100	108	194	388	1244	856	300	300	16	23	134	85	48	41	9	36	33
MEDIANA	700	1000	600	700	100	100	550	100	100	200	300	1200	900	300	300	11	24	128	87	48	38	9	29	33
MAX	800	4400	700	900	800	200	1800	100	200	200	800	2000	1300	300	300	42	34	201	133	63	53	9	88	57
MIN	300	200	500	300	100	100	100	100	100	100	200	800	300	300	300	4	6	59	54	34	33	9	6	14
DESVECCIÓN ESTÁNDAR	164	1215	90	205	264	51	521	0	29	25	193	291	354	0	0	14	7	34	19	8	7	0	21	11

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Nota: espacios en blanco no se detectó valores.

En la tabla 18., se puede observar la concentración de elementos traza, medida en las muestras de sedimentos de la microcuenca Guineo. Para la presente investigación los elementos de interés que se analizó son los siguientes: V₂O₅, U, Bi, Se, Mo y SnO₂, este último por sus elevadas concentraciones.

Tabla 19. Valores estadísticos de los sedimentos de la microcuenca Guineo

	V₂O₅	U	Se	Mo	Bi	SnO₂
FONDO	1000	33	9	29	38	1200
UMBRAL	2215	44	9	50	45	1491
SUBANOMALÍA	3430	55	9	70	52	1783
ANOMALÍA	4646	66	9	91	60	2074

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

Los análisis de estos resultados se obtuvieron mediante métodos geoestadísticos aplicados a la prospección geológica-minera. En la tabla 19., se observa que en los sedimentos de la microcuenca Guineo los valores medidos no alcanzan valores anomalicos, debido a que en las muestras no se registró valores máximos superiores a sus subanomalías.

VANADIO (V₂O₅)

El Clarke de concentración del vanadio en la corteza es 136 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de V₂O₅ de los sedimentos de la microcuenca Guineo que es de 1000 ppm (tabla 19), de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 81) existen 9 clases con valores ~1040ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre. Además se identificó un valor subanomálico de 4400 ppm en la muestra PAP-M5el cual se puede corroborar en la Figura 82.

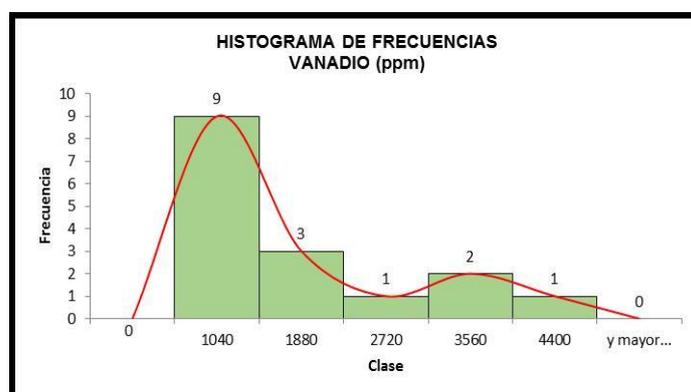


Figura 81. Histograma de frecuencias de V₂O₅ (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

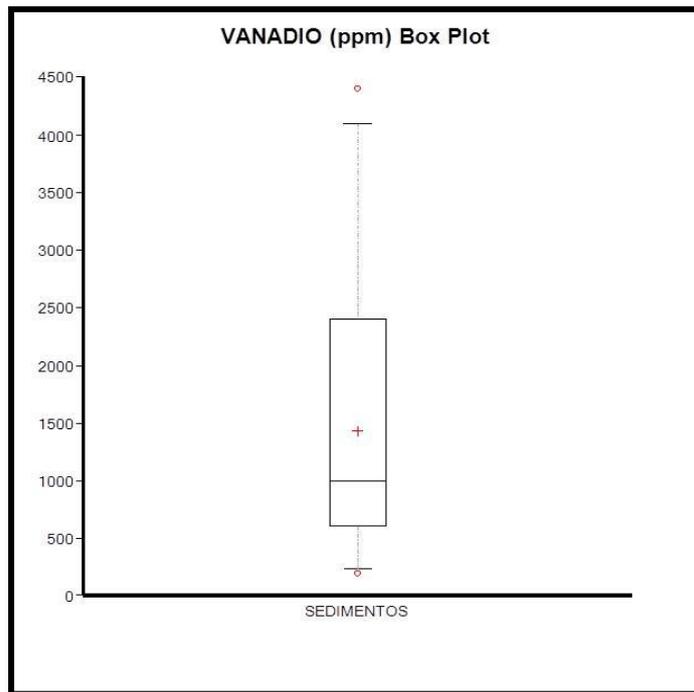


Figura 82. Diagrama de caja y bigotes de V_2O_5 (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

URANIO (U)

El Clarke de concentración del uranio en la corteza es 2.3 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de U de los sedimentos de la microcuenca Guineo que es de 33 ppm (tabla 19) de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 83) existen 5 clases con valores ~48ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo son mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre. Además se identificó un valor subanomálico de 57ppm en en la muestra PAP-M5 el cual se puede corroborar en la Figura 84.

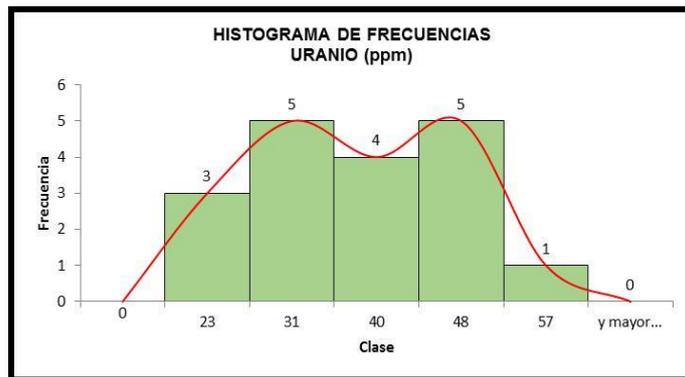


Figura 83. Histograma de frecuencias de U (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

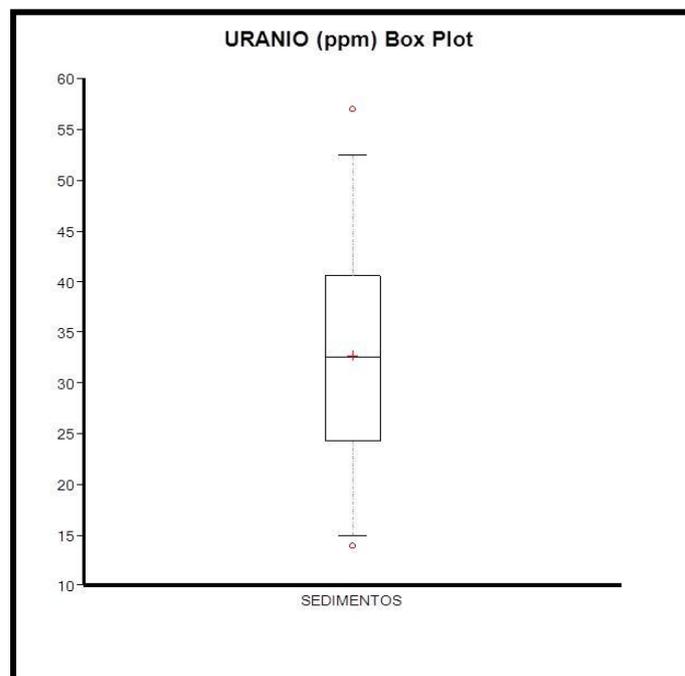


Figura 84. Diagrama de caja y bigotes de U (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

MOLIBDENO (Mo)

El Clarke de concentración del molibdeno en la corteza es 1.2 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de Mo de los sedimentos de la microcuenca Guinea que es de 29 ppm (tabla 19) de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 85) existen 10 clases con valores ~39ppm los cuales son mayores al Clarke de concentración de la corteza

terrestre. Además se identificó valores subanómicos de 88 ppm en las muestras GUI-M6 y PAP-M5, el cual se puede corroborar en la Figura 86.

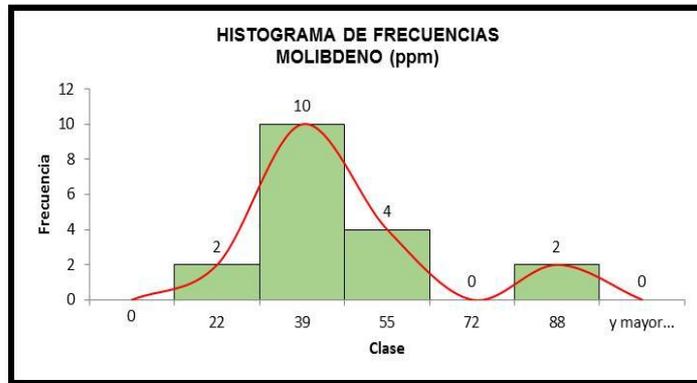


Figura 85. Histograma de frecuencias de Mo (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

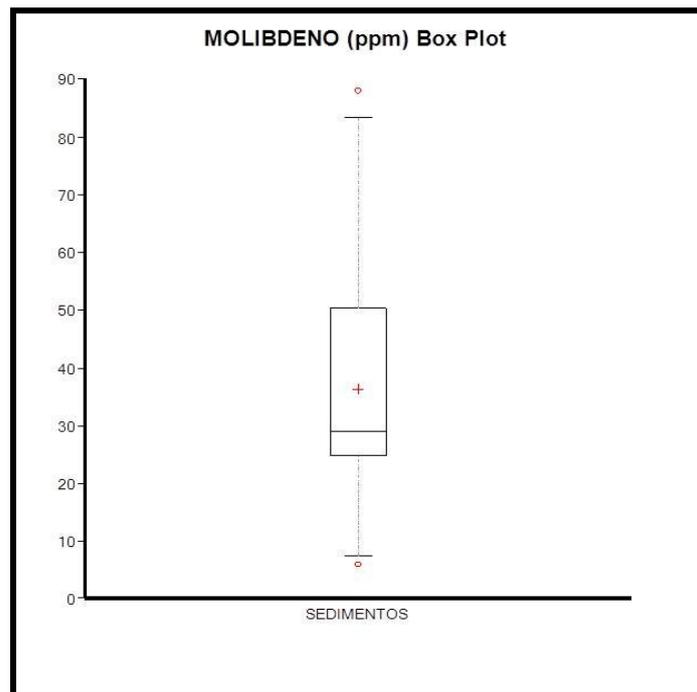


Figura 86. Diagrama de caja y bigotes de Mo (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

SELENIO (Se)

El Clarke de concentración del selenio en la corteza es 0.05 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de los sedimentos de la microcuenca Guineo que es de 9 ppm (tabla

19), de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 87) existen 18 clases con valores ~9ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo, siendo mayores al Clarke de concentración.

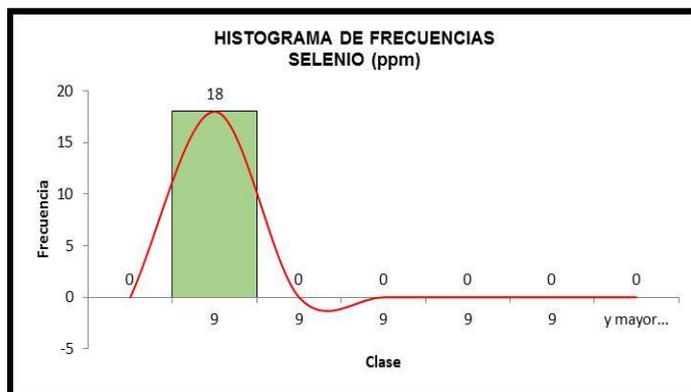


Figura 87. Histograma de frecuencias de Se (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

BISMUTO (Bi)

El Clarke de concentración del bismuto en la corteza es 0.2 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de los sedimentos de la microcuenca Guineo que es de 38 ppm (tabla 19) de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 88) existen 8 clases con valores ~37ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre. Además se identificó un valores subanomálicos de 53 ppm en las muestras GUI-M2 y PAP-M5, el cual se puede corroborar en la Figura 89.

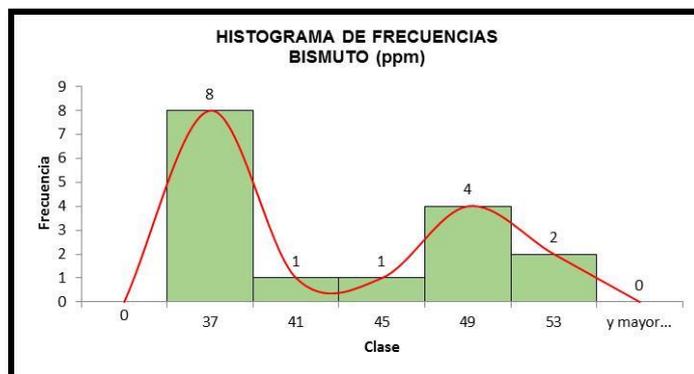


Figura 88. Histograma de frecuencias de Bi (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

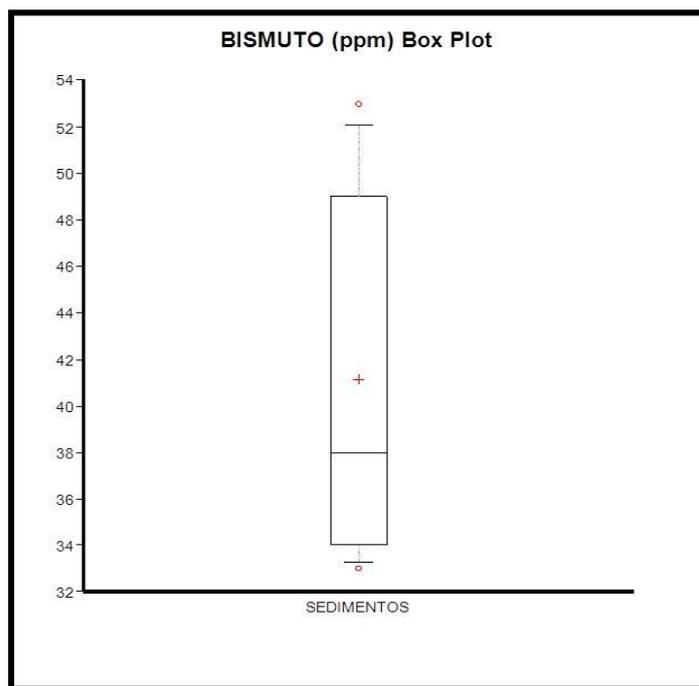


Figura 89. Diagrama de caja y bigotes de Bi (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

ESTAÑO (SnO₂)

El Clarke de concentración del estaño en la corteza es 2.10 ppm, comparándola con la mediana (fondo) de SnO₂ de los sedimentos de la microcuenca Guineo que es de 1200 ppm (tabla 19) de acuerdo al análisis de frecuencias (Figura 90) existen 6 clases con valores ~1280ppm los cuales están dentro del rango que corresponde al valor de fondo siendo mayores al Clarke de concentración de la corteza terrestre. Además se identificó un valor subanomálico de 2000 ppm en la muestra GUI-M15, el cual se puede corroborar en la Figura 91.

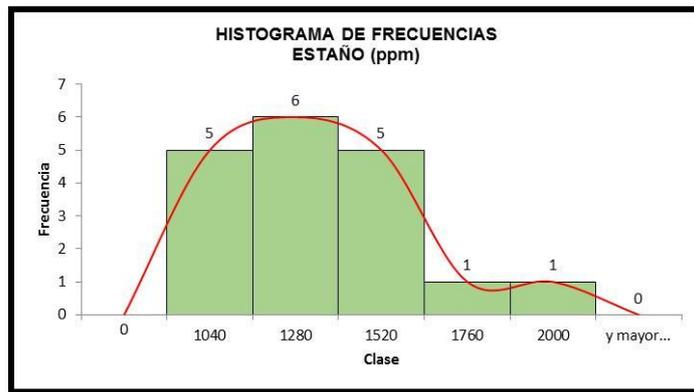


Figura 90. Histograma de frecuencias de Sn (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

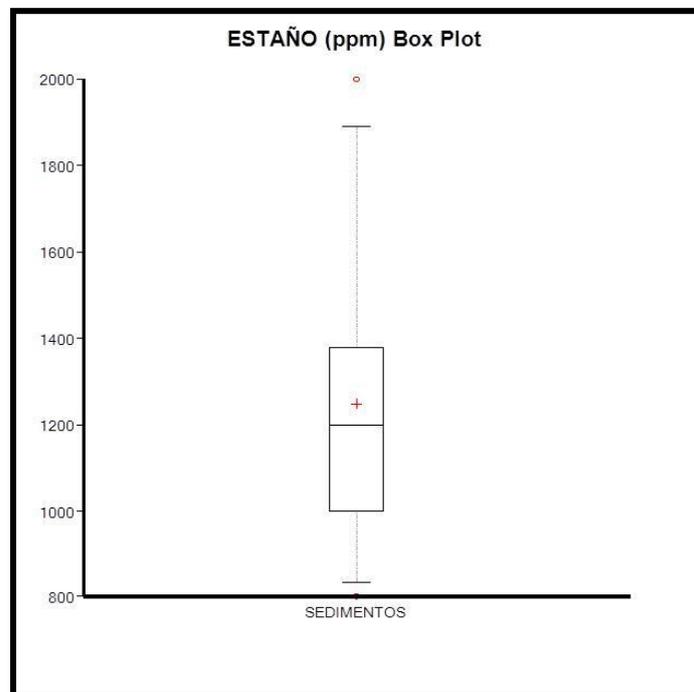


Figura 91. Diagrama de caja y bigotes de Sn (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.7.3. Correlación de las concentraciones de elementos traza y mayoritarios de los sedimentos de la microcuenca Guineo.

Tabla 20. Coeficiente de correlación elemental para sedimentos de la microcuenca Guineo

	S	V2O5	Cr2O3	Co3O4	NiO	CuO	ZnO	As2O3(ppm)	Rb	Sr	ZrO2	SnO2	CeO2	HfO2	Ta2O5	WO3	Nb	Pd	Cd	PbO	Bi	Se	Mo	U	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	P2O5 (%)	CaO (%)	Fe2O3 (%)	K2O (%)	TiO2 (%)	MnO (%)		
S	1.00																																	
V2O5	0.70	1.00																																
Cr2O3	0.42	0.54	1.00																															
Co3O4	0.50	0.71	0.52	1.00																														
NiO	0.59	0.94	0.52	0.57	1.00																													
CuO	0.51	0.63	0.81	0.59	0.59	1.00																												
ZnO	0.72	0.88	0.60	0.85	0.75	0.68	1.00																											
As2O3(ppm)	0.37	0.51	0.10	0.56	0.39	0.07	0.55	1.00																										
Rb	-0.10	-0.15	-0.05	-0.35	-0.18	-0.06	-0.25	-0.19	1.00																									
Sr	-0.01	-0.22	0.15	0.04	-0.35	0.25	-0.03	-0.34	0.25	1.00																								
ZrO2	-0.27	-0.50	-0.77	-0.48	-0.42	-0.75	-0.51	0.01	0.06	-0.07	1.00																							
SnO2	-0.02	-0.10	-0.11	-0.08	0.00	-0.12	-0.03	-0.12	0.25	0.13	0.32	1.00																						
CeO2	-0.32	-0.48	0.08	-0.23	-0.42	-0.13	-0.41	-0.28	-0.09	0.20	-0.07	-0.21	1.00																					
HfO2	0.27	0.60	0.54	0.30	0.62	0.62	0.44	0.15	0.03	-0.18	-0.55	-0.32	-0.14	1.00																				
Ta2O5	-0.33	-0.33	-0.04	-0.45	-0.22	-0.51	-0.39	-0.08	-0.14	-0.39	0.26	-0.06	0.34	-0.19	1.00																			
WO3	0.36	0.68	0.48	0.70	0.68	0.50	0.70	0.32	-0.48	0.07	-0.34	0.25	-0.25	0.30	-0.25	1.00																		
Nb	-0.26	-0.38	-0.77	-0.18	-0.39	-0.61	-0.40	0.10	0.03	0.03	0.79	0.22	-0.17	-0.59	0.01	-0.21	1.00																	
Pd	0.19	0.43	-0.01	0.15	0.40	0.07	0.43	0.29	-0.04	-0.31	-0.08	0.03	-0.74	0.12	-0.15	0.19	-0.21	1.00																
Cd	-0.25	0.10	-0.34	-0.14	0.13	-0.11	-0.06	0.06	-0.17	-0.43	-0.06	-0.34	-0.45	0.05	-0.10	-0.10	0.01	0.64	1.00															
PbO	-0.21	-0.33	-0.13	-0.24	-0.26	-0.04	-0.14	-0.24	0.07	-0.16	0.04	0.29	0.22	-0.16	0.16	-0.30	-0.12	-0.04	0.01	1.00														
Bi	-0.10	0.13	-0.04	-0.23	0.19	0.17	0.01	0.12	0.23	-0.22	0.01	0.08	-0.27	0.20	0.02	-0.01	0.01	0.18	0.37	0.35	1.00													
Se	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	1.00												
Mo	0.62	0.92	0.38	0.72	0.87	0.52	0.80	0.58	-0.26	-0.17	-0.28	-0.10	-0.52	0.54	-0.38	0.74	-0.10	0.33	0.07	-0.52	0.08	N/D	1.00											
U	0.22	0.42	-0.13	0.03	0.46	0.16	0.26	0.31	0.23	-0.43	-0.09	0.17	-0.51	0.39	-0.30	0.06	-0.15	0.53	0.48	0.30	0.57	N/D	0.29	1.00										
Al2O3 (%)	-0.37	-0.68	-0.71	-0.69	-0.63	-0.56	-0.77	-0.42	0.46	0.09	0.53	0.27	0.07	-0.44	0.01	-0.66	0.54	-0.35	0.02	0.28	0.13	N/D	-0.62	0.11	1.00									
SiO2 (%)	-0.28	-0.43	-0.54	-0.33	-0.32	-0.49	-0.42	-0.06	-0.28	-0.23	0.78	-0.10	0.01	-0.27	0.30	-0.29	0.59	-0.12	0.05	0.00	-0.03	N/D	-0.18	-0.24	0.23	1.00								
P2O5 (%)	0.71	0.90	0.39	0.83	0.80	0.49	0.90	0.53	-0.20	-0.11	-0.35	0.02	-0.38	0.29	-0.40	0.66	-0.18	0.36	-0.03	-0.22	-0.09	N/D	0.83	0.29	-0.62	-0.36	1.00							
CaO (%)	0.65	0.88	0.52	0.71	0.82	0.57	0.89	0.44	-0.22	-0.16	-0.54	0.04	-0.37	0.37	-0.33	0.70	-0.48	0.56	0.11	-0.13	0.01	N/D	0.72	0.39	-0.73	-0.52	0.89	1.00						
Fe2O3 (%)	0.37	0.55	0.90	0.56	0.47	0.75	0.57	0.03	-0.05	0.34	-0.85	-0.18	0.15	0.48	-0.18	0.53	-0.72	-0.05	-0.28	-0.26	-0.17	N/D	0.38	-0.16	-0.64	-0.72	0.45	0.55	1.00					
K2O (%)	-0.41	-0.58	-0.78	-0.56	-0.49	-0.60	-0.65	-0.19	0.31	-0.14	0.73	0.45	-0.13	-0.44	0.07	-0.49	0.70	-0.16	0.09	0.36	0.27	N/D	-0.46	0.25	0.87	0.47	-0.51	-0.63	-0.84	1.00				
TiO2 (%)	0.30	0.10	-0.21	-0.02	0.10	0.12	0.02	-0.12	0.23	0.29	0.13	0.45	-0.15	0.00	-0.52	0.15	0.25	-0.26	-0.19	0.08	0.17	N/D	0.14	0.38	0.51	-0.21	0.15	0.00	-0.07	0.41	1.00			
MnO (%)	0.02	0.17	0.73	0.12	0.16	0.41	0.15	-0.18	-0.12	0.26	-0.67	-0.29	0.42	0.30	0.30	0.26	-0.65	-0.23	-0.22	-0.19	-0.15	N/D	0.02	-0.40	-0.47	-0.54	0.01	0.16	0.82	-0.73	-0.30	1.00		
	Máximo		Medio			Mínimo																												

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

En la tabla 20., se presentan las correlaciones elementales para las muestras de los sedimentos de la microcuenca Guineo, donde se indican las correlaciones positivas más significativas en rojo. Para la presente investigación los elementos de interés que se correlaciono son los siguientes: V₂O₅-Mo, U-V₂O₅, U-Bi, U-Mo.

Otras correlaciones positivas altas son V_2O_5 -S, V_2O_5 -NiO, V_2O_5 -ZnO, V- Fe_2O_3 que pueden estar asociados en materia orgánica (coloides) y sulfuros.

La correlación V_2O_5 -CaO estaría asociada a los fragmentos líticos que existen en los sedimentos debido a la erosión de las calizas.

La correlación K_2O -U es relacionada con la carnotita. La correlación K_2O - Al_2O_3 es relacionada con las arcillas y micas

V_2O_5 - Mo

En la figura 92, se observa la correlación positiva entre los elementos V_2O_5 -Mo. Estos elementos están relacionados debido a que a ambos se los encuentra en la materia orgánica

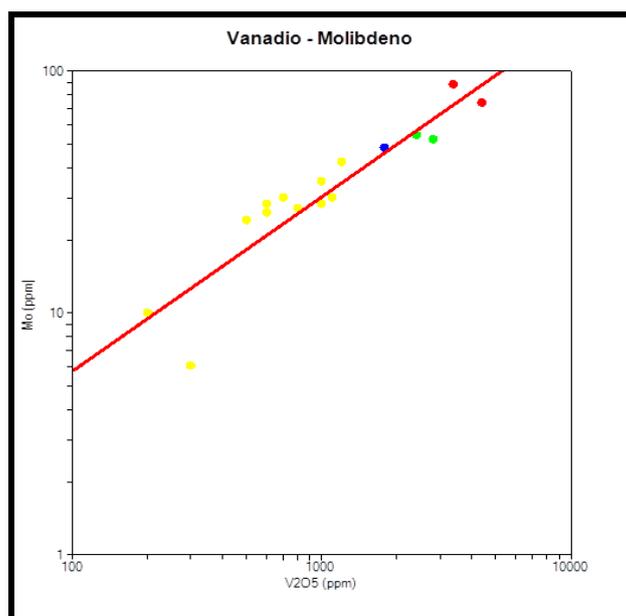


Figura 92. Diagrama de dispersión V_2O_5 (log)-Mo (log) (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U - V_2O_5

En la figura 93, se observa la correlación positiva entre los elementos U- V_2O_5 , la cual se la puede comprobar con los valores en la tabla 20. Ambos elementos son encontrados en las calizas negras.

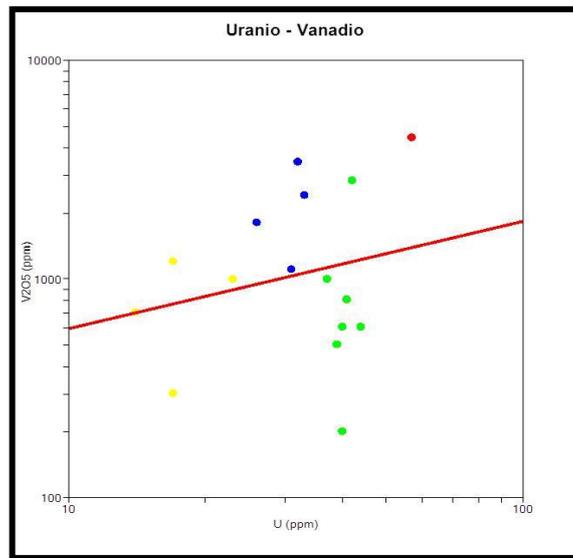


Figura 93. Diagrama de dispersión **U** (log)-**V** (log) (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U - Mo

En la figura 94, se observa la correlación positiva entre los elementos U – Mo. Estos elementos están relacionados debido a que a ambos se los encuentra en las calizas negras, lutitas y en la materia orgánica diseminada en ellas.

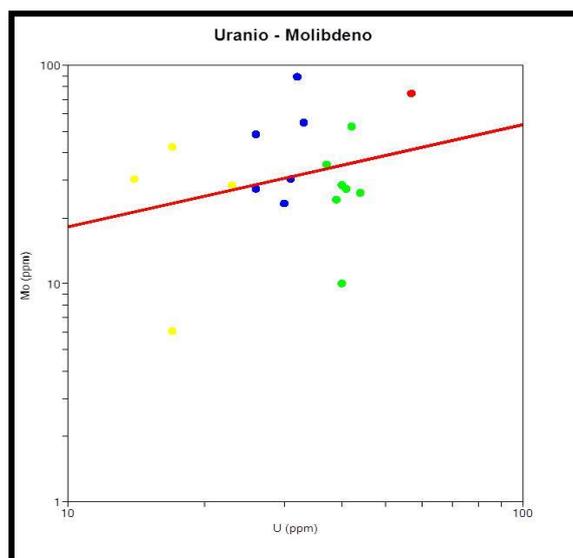


Figura 94. Diagrama de dispersión **U** (log)-**Mo** (log) (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

U – Bi

En la figura 95, se observa la correlación positiva entre los elementos U – Bi. Esto se debe a que el Bi se puede formar por desintegración radioactiva del uranio.

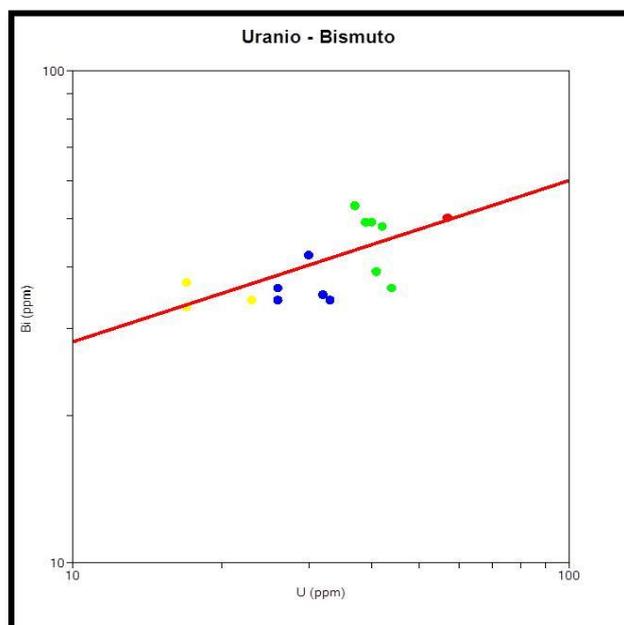


Figura 95. Diagrama de dispersión **U (log)-Bi (log)** (SEDIMENTOS GUINEO)

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.8. Mapas de anomalías en las rocas de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

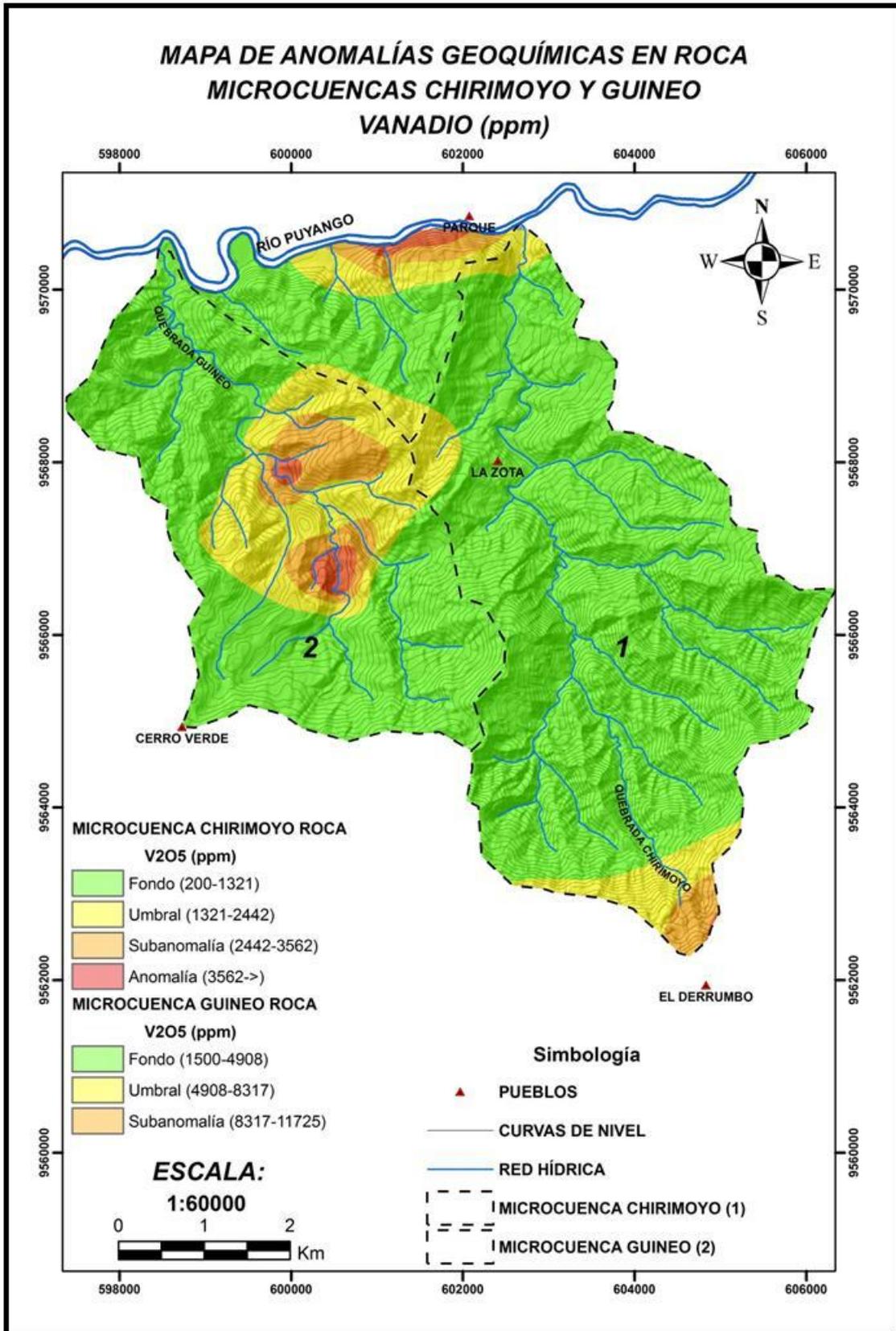


Figura 96. Mapa de anomalías de Vanadio en rocas de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

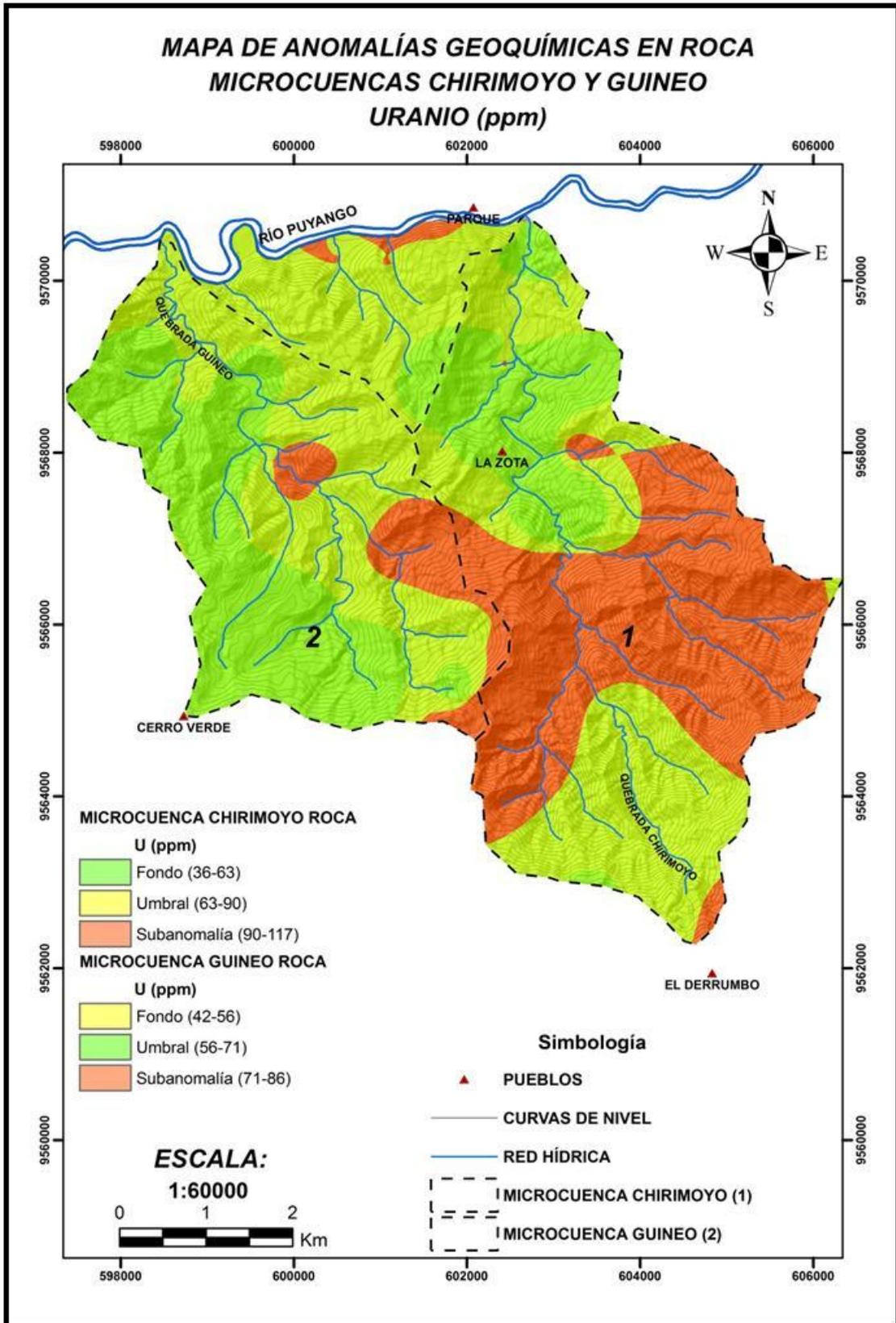


Figura 97. Mapa de anomalías de Uranio en rocas de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

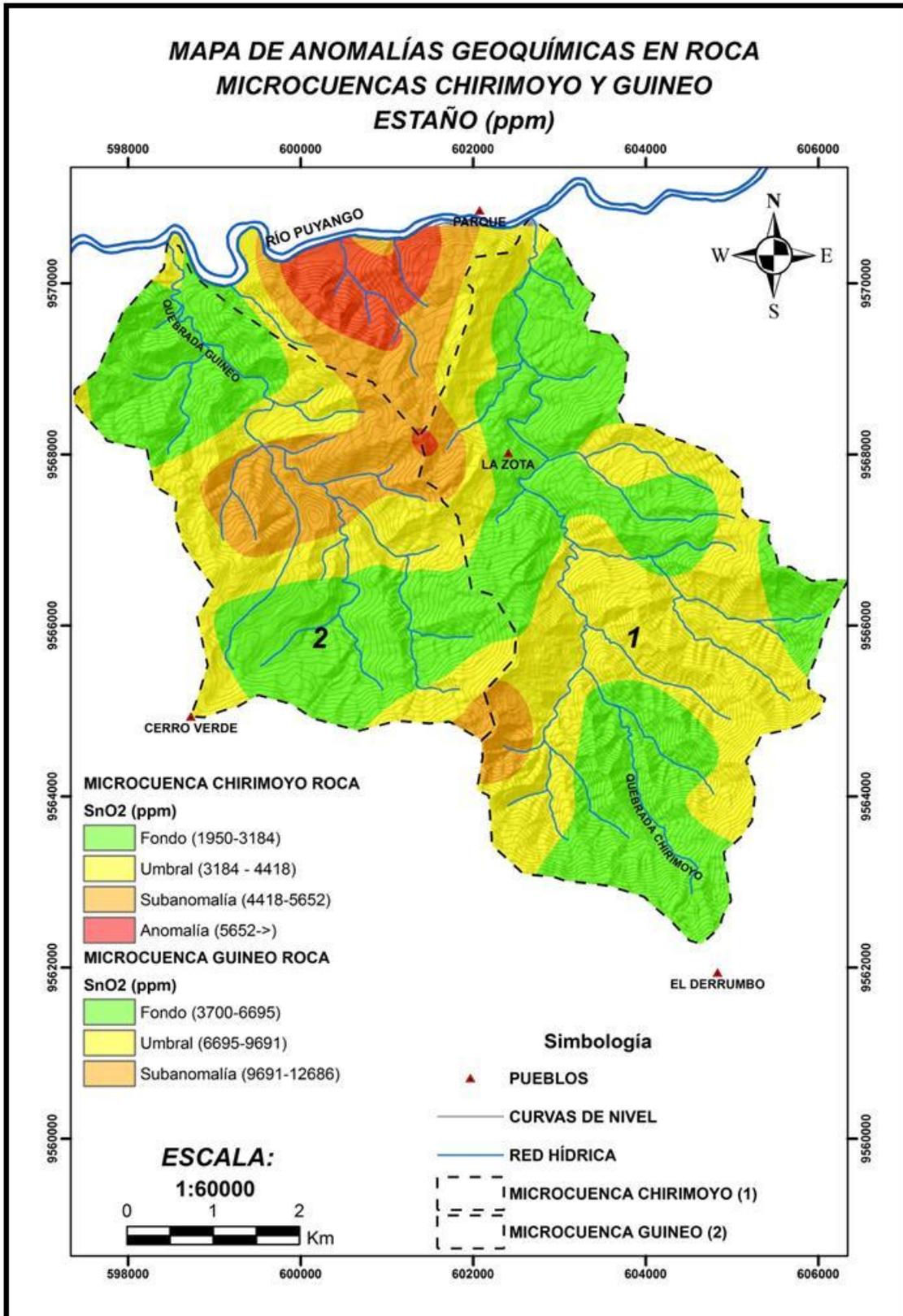


Figura 98. Mapa de anomalías de Estaño en rocas de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.9. Mapas de anomalías en sedimentos de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

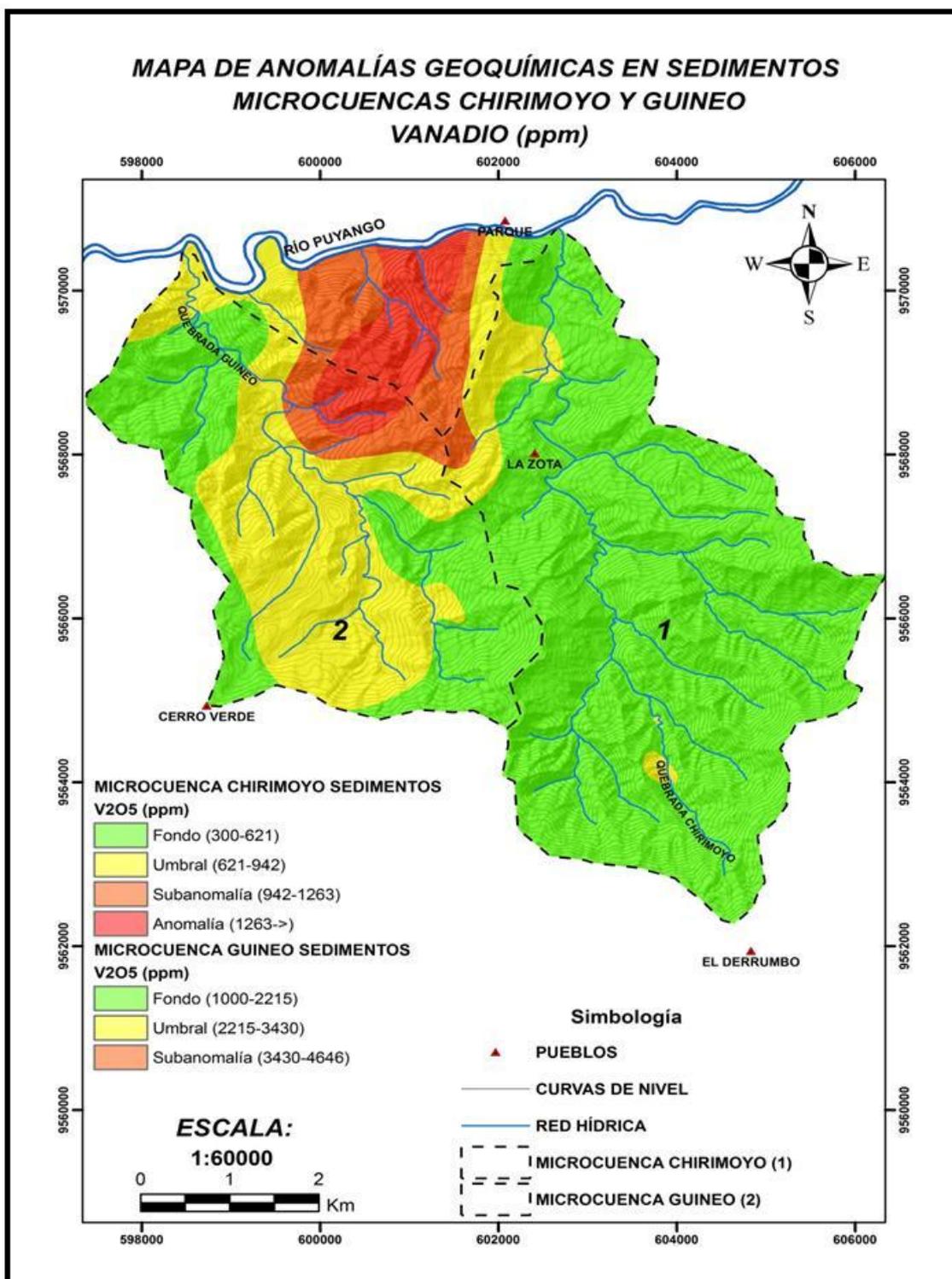


Figura 99. Mapa de anomalías de Vanadio en sedimentos de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

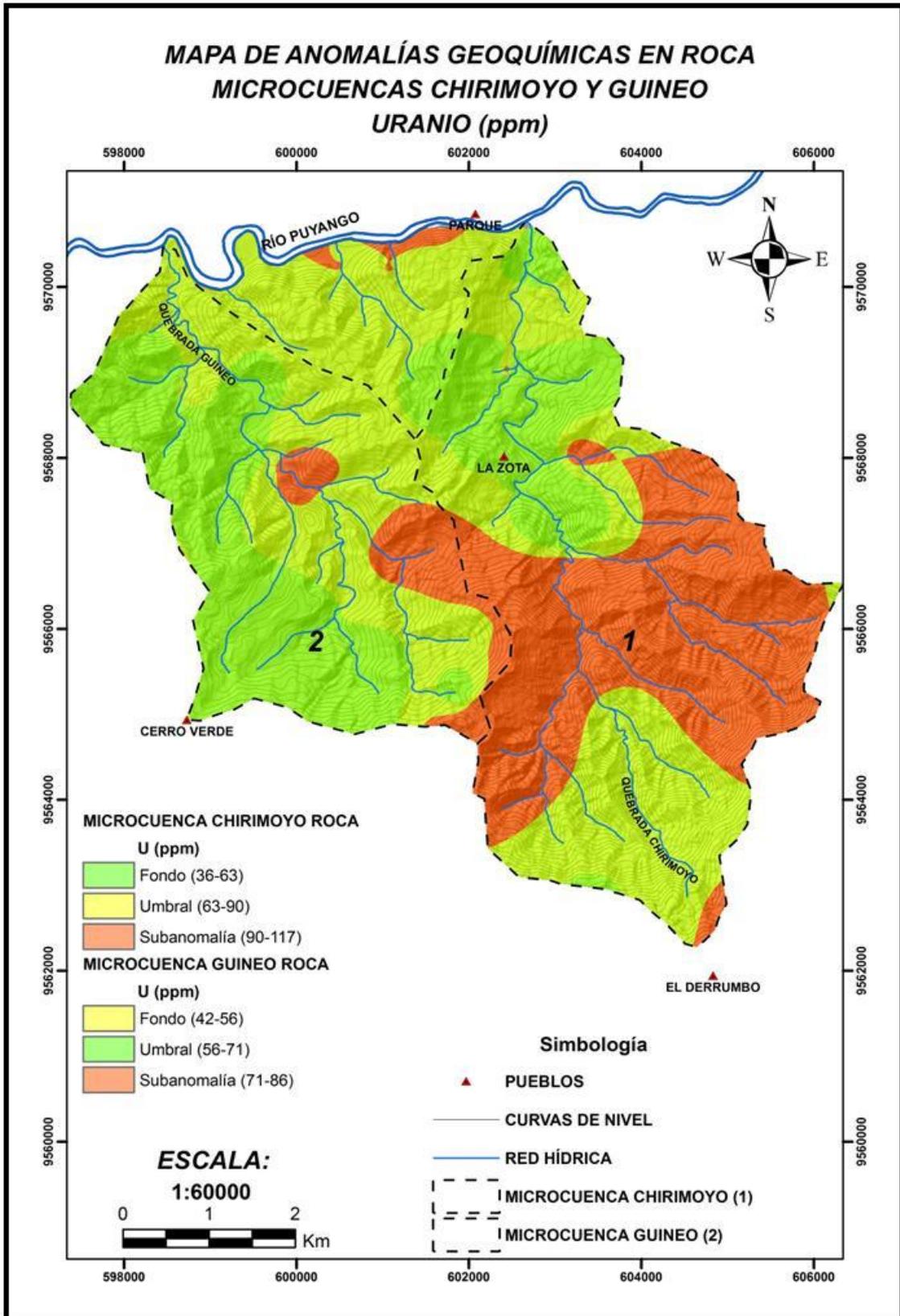


Figura 100. Mapa de anomalías de Uranio en sedimentos de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

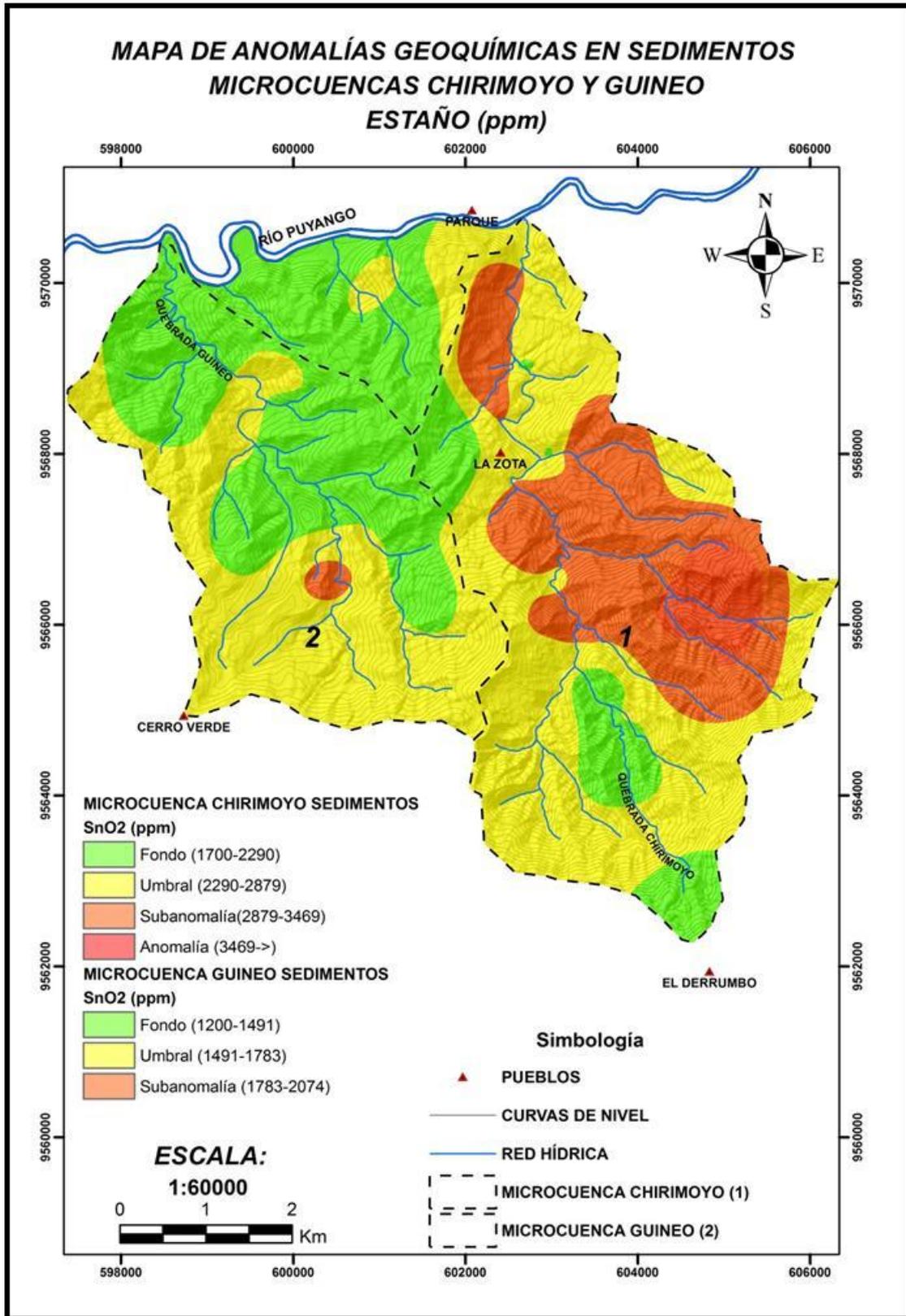


Figura 101. Mapa de anomalías de Uranio en sedimentos de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

6.10. Resultados de análisis del pH del área total de estudio.

El agua de las microcuencas Chirimoyo y Guineo reporta valores de pH comprendidos entre 3.5 (ácido) y 9 (alcalino) ver figura 98.

En la quebrada Chirimoyo se midió valores de pH menores a 7 en las muestras CH-M3, CH-M4, CH-M5, CH-M7, CH-M9, CH-M11, CH-M14, CH-M19, CH-M20, CH-M21, CH-M22, CH-M25 y CH-M27, las cuales se las considera como aguas con pH ácidas. También se midió valores del pH igual a 7 en las muestras CH-M24 y CH-M26, las cuales se las considera como aguas con pH neutras y aguas con pH alcalino se considera a las muestras CH-M1, CH-M2, CH-M6, CH-M10, CH-M15, CH-M17 y CH-M23 en las que se registró valores de pH mayores a 7.

En la quebrada Guineo las muestras PAP-M2 y PAP-M3 que tienen valores de pH mayores a 7 se las considera como aguas con pH alcalino; Mientras que en el resto de muestras al obtener valores de pH menores a 7 se las considera como aguas con pH ácido.

Por lo tanto, las rocas de las zonas anómalas corresponden en su mayoría a lutitas negras calcáreas. Al poseer gran cantidad de materia orgánica, más que de calcita, se producen ácidos orgánicos (ácidos fúlvicos y ácidos húmicos) debido a la meteorización química de estas rocas, los cuales controlan el pH de las aguas de estos afluentes, produciendo un pH ácido de 3.

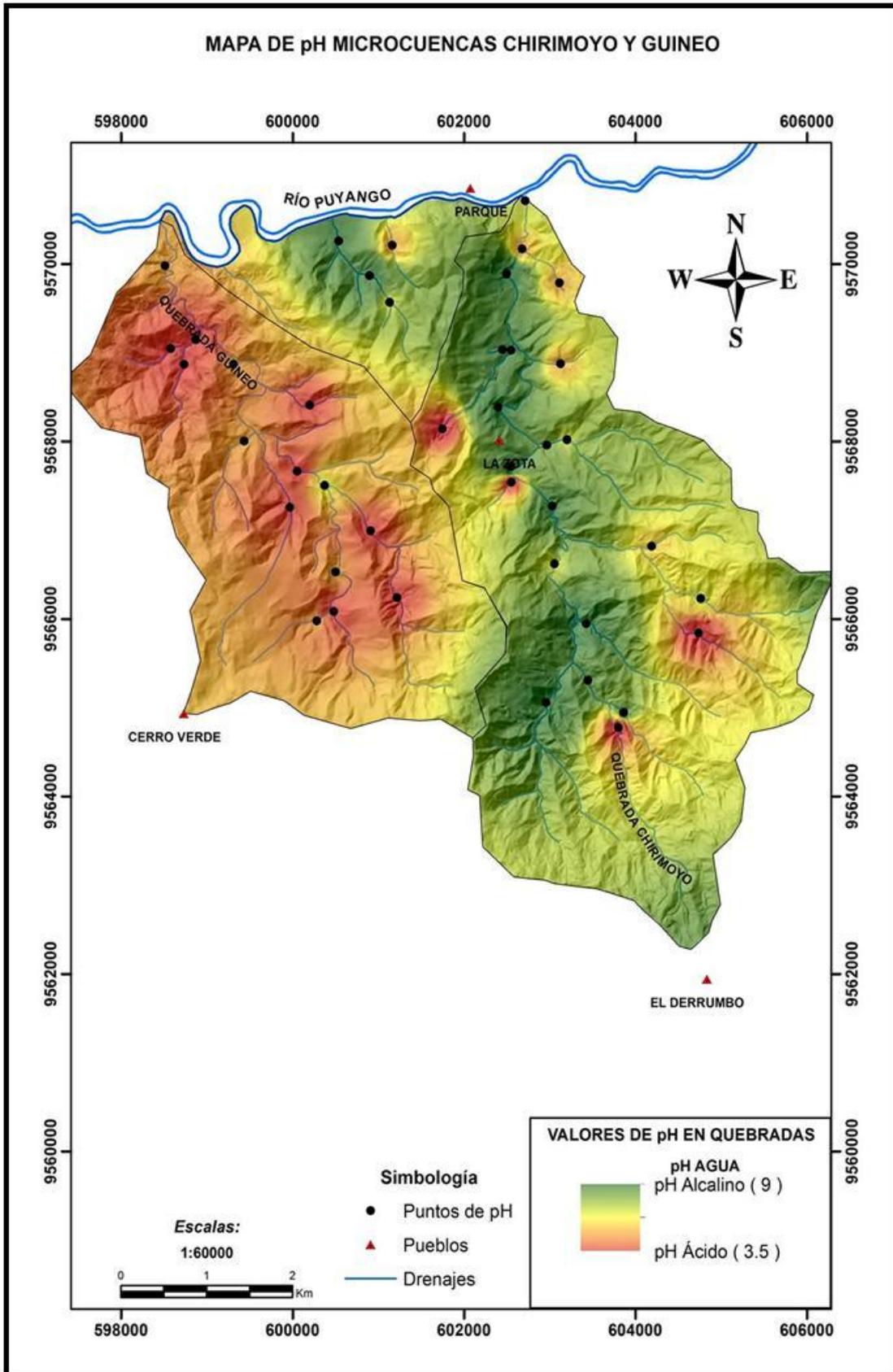


Figura 102. Mapa de pH de las microcuencas Chirimoyo y Guineo

Fuente: Los autores

Elaboración: Los autores

CONCLUSIONES

- ✓ En el estudio de prospección y exploración geoquímica de rocas y sedimentos que se realizó en las microcuencas Chirimoyo y Guineo, se detectaron anomalías de (V) y (U) asociados a (Ca), dichas anomalías tienen su mayor concentración en la microcuenca Guineo en la parte norte de la misma, y en la microcuenca Chirimoyo se concentran en la parte noroeste y sur de la misma.
- ✓ Los minerales que se identificaron mediante un análisis macroscópico fueron cuarzo, calcita, moscovita, ortoclasa, circón, apatito, plagioclasa, ilmenita, magnetita, hematita, biotita.
- ✓ En el análisis microscópico de láminas delgadas se identificó minerales como cuarzo, circón, calcedonia, plagioclasas, calcita, apatito; además de bioclastos en calizas negras, por lo cual se pudo determinar con este análisis petrográfico se pudo determinar el tipo de roca.
- ✓ Las principales fases que se identificaron en el análisis por Difracción de Rayos X (DRX) en roca y sedimentos son minerales que se encuentran asociados a (V) y (U), como es el caso de la carnotita ($K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$), tyuyamunita ($Ca(UO_2)_2 \cdot V_2O_8 \cdot 8H_2O$) como minerales de interés; además de minerales accesorios como apatito $Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$, circón ($ZrSiO_4$), monacita (Ce, La, Th) (PO_4).
- ✓ Mediante el análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX), se detectó (U) y (V) en cantidades que superan el Clarke de concentración; además se detectó elementos trazadores de (U) como (Mo), (Se), (Bi).
- ✓ El valor anómalo de (U) detectado por el análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX) en las calizas negras es 110 ppm para roca y 74 ppm para sedimentos en ambas microcuencas.
- ✓ El valor anómalo de (V) detectado por análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX) en calizas negras es de 38800 ppm para roca y 4400 en sedimentos para las dos microcuencas.
- ✓ Los valores de pH que se tomaron en los drenajes de las microcuencas dieron valores de 3.5 (ácido) y 9 (alcalino), por lo cual se puede decir que en las áreas donde existen anomalías de (U) y (V) es debido a la meteorización química de las rocas presentes, los cuales controlan el pH de las aguas.

RECOMENDACIONES

- ✓ Es necesario continuar con la caracterización geoquímica de la distribución y dispersión de los elementos trazas en las áreas adyacentes a la zona de estudio, para determinar la continuidad de posibles mineralizaciones de (U) y (V) u otro mineral de interés.
- ✓ El muestreo se debe realizar mediante procesos estandarizados y utilizando equipos adecuados para campo y posteriormente el tratamiento físico de las muestras de rocas y sedimentos en el laboratorio, esto para evitar alteraciones de las muestras como en los resultados de los análisis.
- ✓ Ejecutar nuevos proyectos, utilizando métodos de prospección distintos a la geoquímica, con el fin de identificar y cuantificar la continuidad o no de depósitos de U y V y poder hacer un cálculo de reservas aproximado.
- ✓ Realizar un levantamiento geológico detallado alrededor de la zona de estudio para correlacionar las estructuras geológicas o litológicas, para saber sobre cuál fue la génesis o el ambiente de formación de estos minerales.
- ✓ Se recomienda la utilización en campo del equipo portátil de Fluorescencia de Rayos (FRX) y el Espectrómetro Gamma para medir (U) y (Th) específicamente, debido a la obtención inmediata de valores.
- ✓ Antes de realizar cualquier interpretación con los resultados analíticos se recomienda comprobar la veracidad de los mismos, analizando duplicados de muestras en otros laboratorios; además de tener estándares de las muestras con el elemento de interés que se desea trabajar.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Aspden, J. A. (1995). The El Oro metamorphic complex, Ecuador: geology and economic mineral deposits. *British Geological Survey*, 67, 48-49-50.
- ✓ Babu, k., Prabhakaran, R., Subramanian, p., & Selvaraj, B. (2014). Geochemical Characterization of Garudamangalam Limestone Cretaceous of Ariyalur Tamilnadu, India. *International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences*, 2, 19.
- ✓ Cuney, M., & Kyser, K. (2008). Recent and not so recent developments in uranium deposits and implications for exploration. *Society for Geology Applied to Mineral Deposits*, 39, 23-27.
- ✓ Eguez, A. (2001). La cuenca Alamor-Lancones en el contexto Geodinámico de los Andes de Huancabamba, SW Ecuador. *Departamento de Recursos Minerales y Geoquímica*, 1-5.
- ✓ Falconí, E. (1985). Exploración de Uranio en el Ecuador. *Red de Centros de Documentación en Energía en América Latina y el Caribe (REALC)*, 2-34.
- ✓ Fordyce, F. M., Johnson, C. C., Navaratne, U. R., Appleton, J. D., & Dissanayake, C. B. (1998). Studies of Selenium Geochemistry and Distribution in Relation to Iodine Deficiency Disorders in Sri Lanka. *British Geology Survey*, 4-5.
- ✓ Greenpeace. (Agosto de 2012). Uranio. *Greenpeace*, 6-7.
- ✓ Hungerbuhler, D. (2002). Neogene Stratigraphy and Andean Geodynamics Of Southern Ecuador. *Earth Science*, 57, 75-124.
- ✓ IAEA. (1978). Iurep Orientation Phase Mission Report. *International Uranium Resources Evaluation Project*, 3-37.
- ✓ INGEMMET; DINAGE;. (2005). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas Ecuador-Perú-Canadá.
- ✓ INIGEMM. (2012). Modelo piloto para la determinación del potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma y Cariamanga a escala 1 :100.000. Quito.
- ✓ INIGEMM. (2014). Plan de Investigación, Conservación y Puesta en Valor del Patrimonio Geológico, Minero. Quito.
- ✓ Lenzen, M. (2008). Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. *Energy Conversion and Management*, 49, 2178-2199.
- ✓ Mason, B., & Moore, C. (1982). *Principios de Geoquímica*. New York: Wiley & Sons.

- ✓ Mourier, T., Laj, C., Mégard, F., Roperch, P., Mitouard, P., & Farfan Medrano, A. (1988). An accreted continental terrane in northwestern Peru. *Earth and Planetary Science Letters*, 189-190.
- ✓ Pilatasig, L., Gordón, D., Palacios, O., & Sánchez, J. (Abril 2005). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias Para Las Comunidades Andinas Ecuador-Perú-Canadá. Ecuador.
- ✓ Pohl, W. L. (2011). *Economic Geology* . John Wiley & Sons Ltd.
- ✓ Puyango, G. A. (Noviembre 2014). Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial Del Cantón Puyango 2012-2014. Puyango.
- ✓ Skoog, D. (2001). *Principios De Análisis Instrumental*. Madrid: Concepción Fernández Madrid.
- ✓ Smith, K. S., & Huyck, H. L. (1999). The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. *Reviews in Economic Geology*, 6A, 40-41.
- ✓ Uranium Miner. (02 de Agosto de 2016). Uranium Miner. Obtenido de <http://www.uraniumminer.net/>
- ✓ W. N. (Febrero de 2016). Asociación Nuclear Mundial. Obtenido de Asociación Nuclear Mundial: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx>

ANEXOS

ANEXO I. FOTOGRAFÍAS DE LA MICROCUENCA CHIRIMOYO

Anexo I.a CONCHAS FOSILIZADAS



Anexo I.b TRONCO FOSILIZADAS



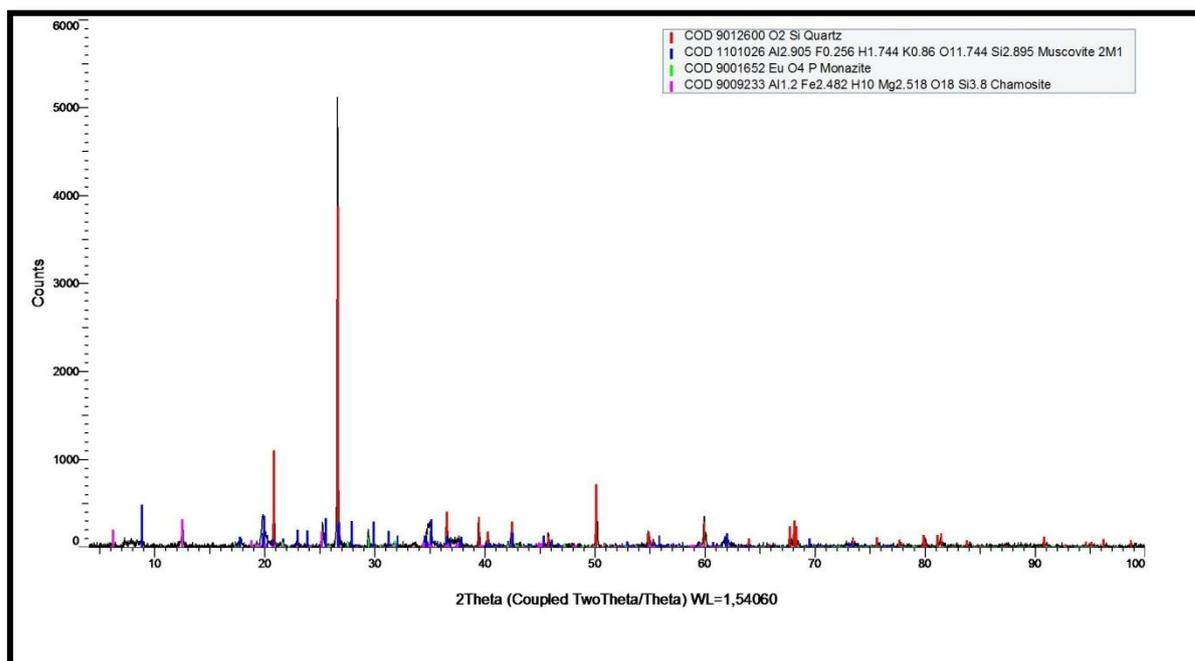
ANEXO II. FOTOGRAFÍAS DE LA MICROCUENCA GUINEO

Anexo II.a AMMONITE.

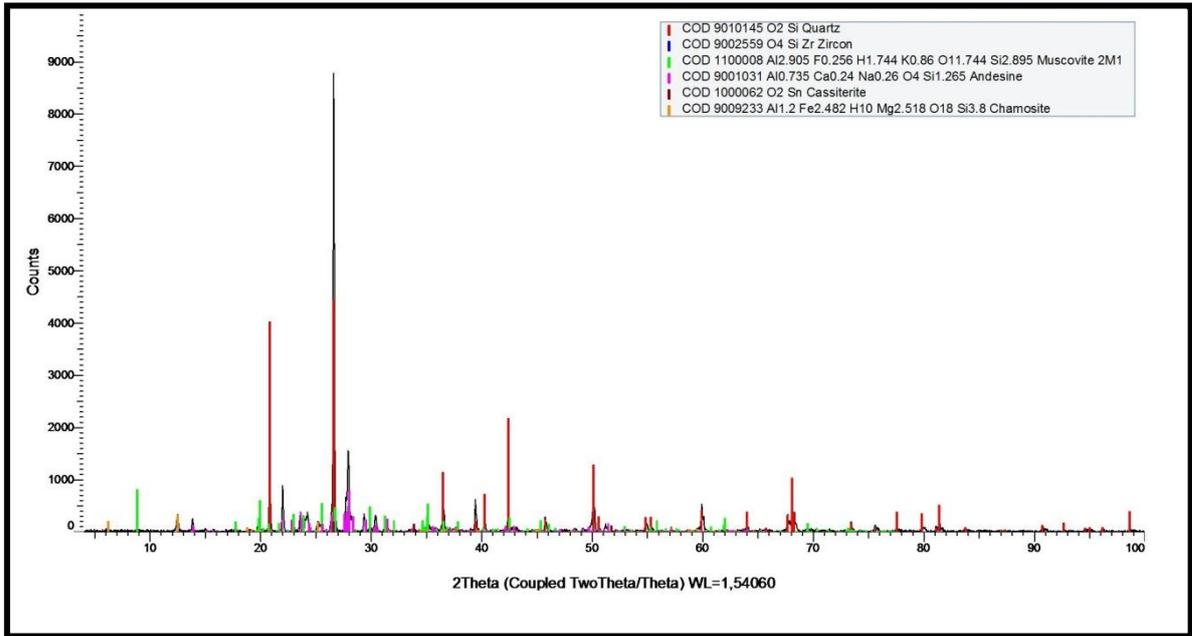


ANEXO III. DIFRACTOGRAMAS MICROCUENCA CHIRIMOYO

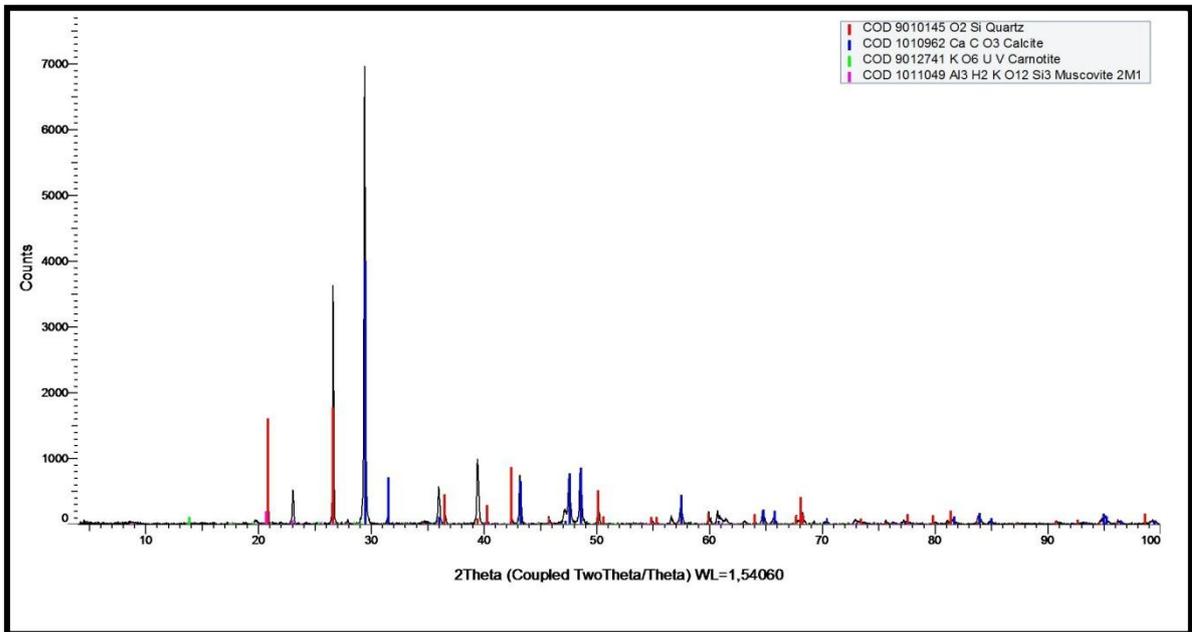
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA CH-M1



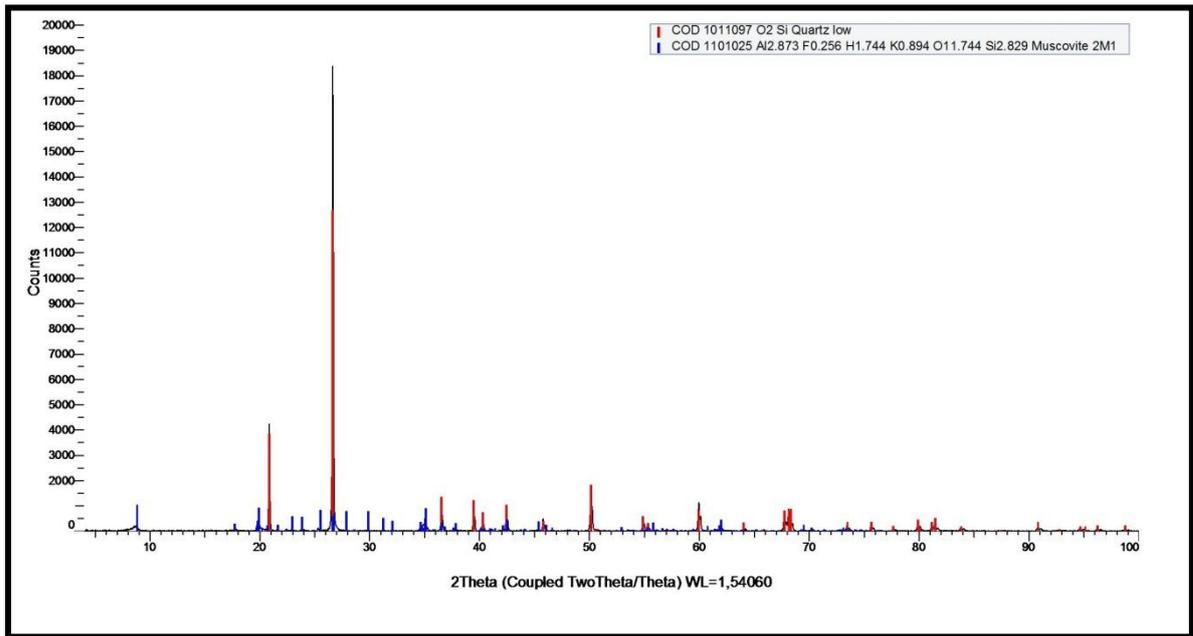
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA CH-M2



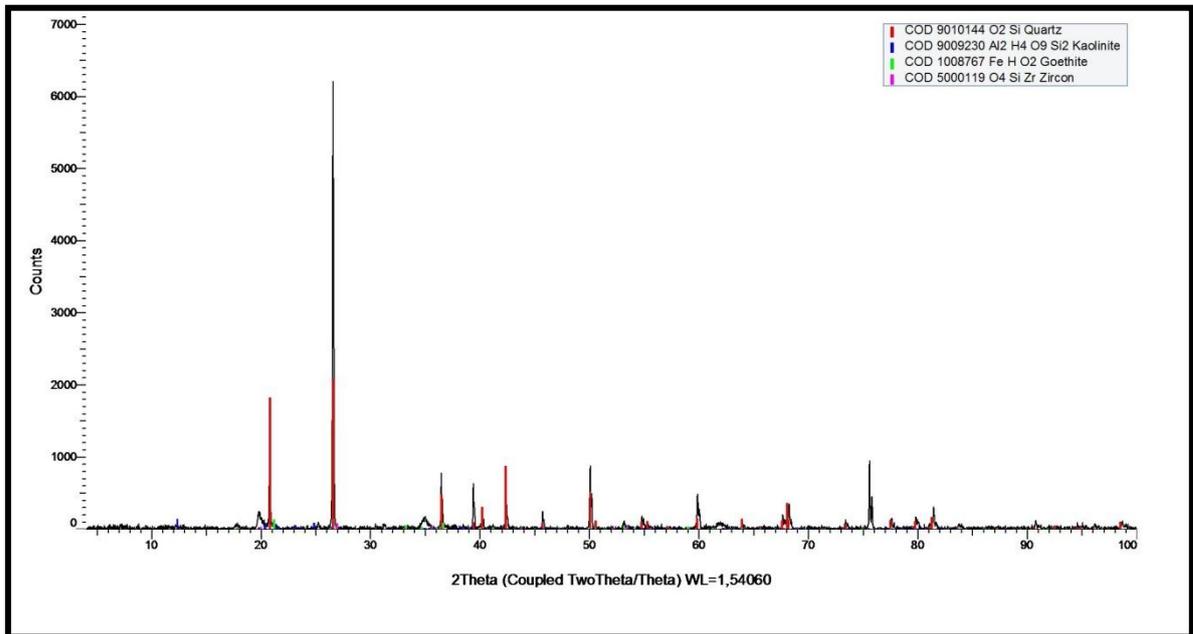
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA CH-M12



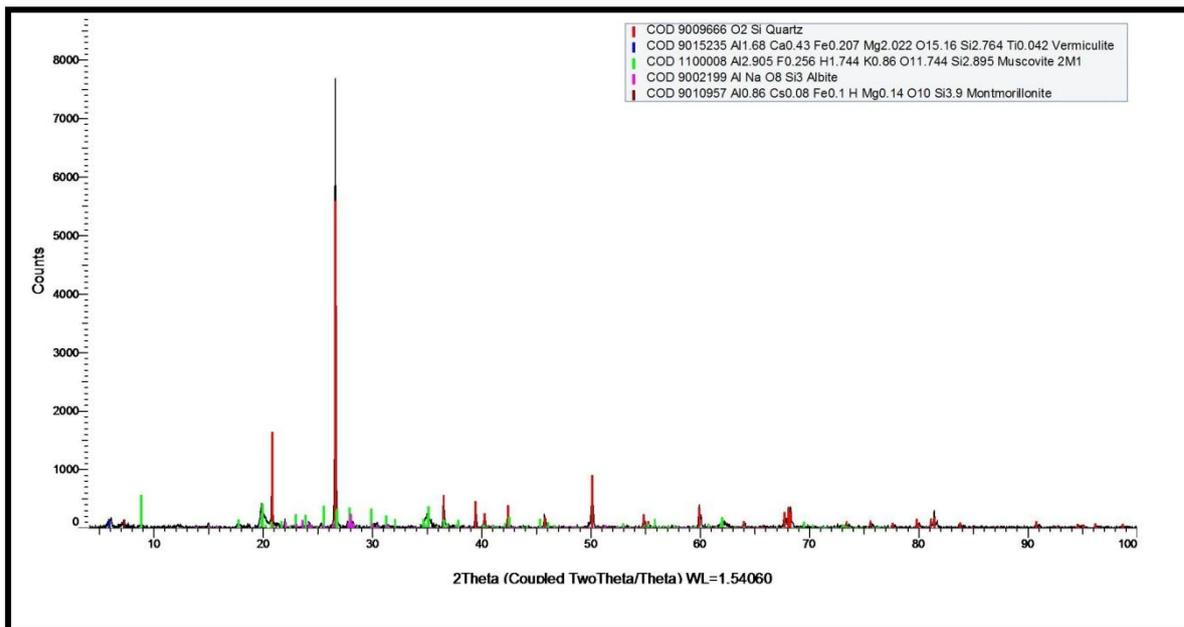
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA CH-M30



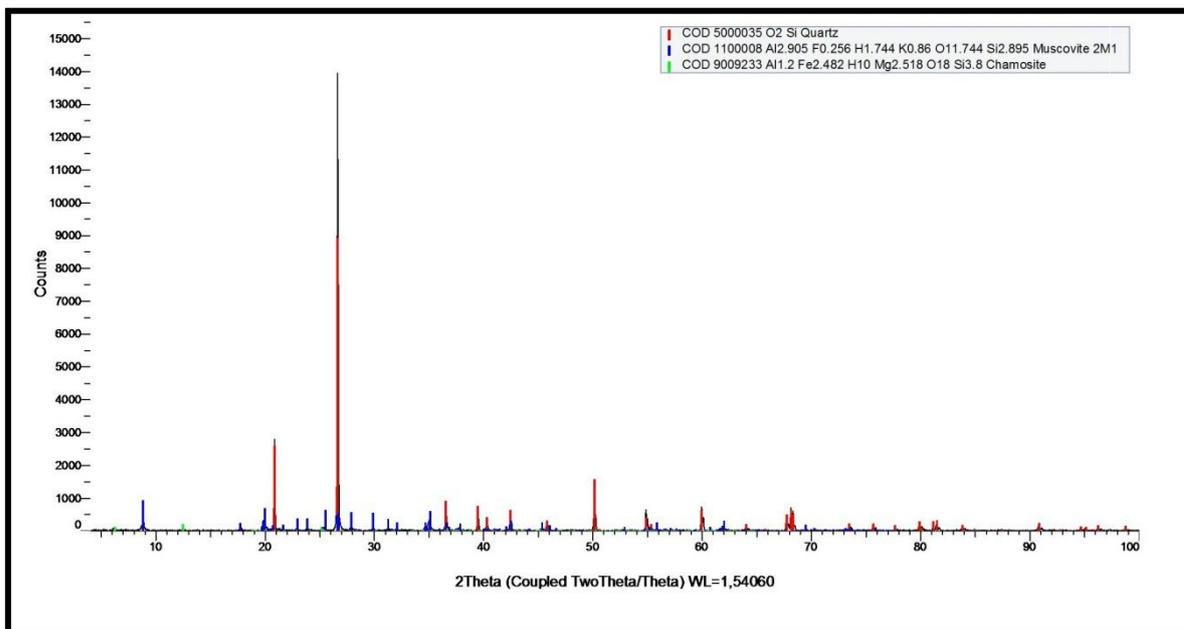
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA CH-M1 SEDIMENTOS



DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA CH-M4 SEDIMENTOS

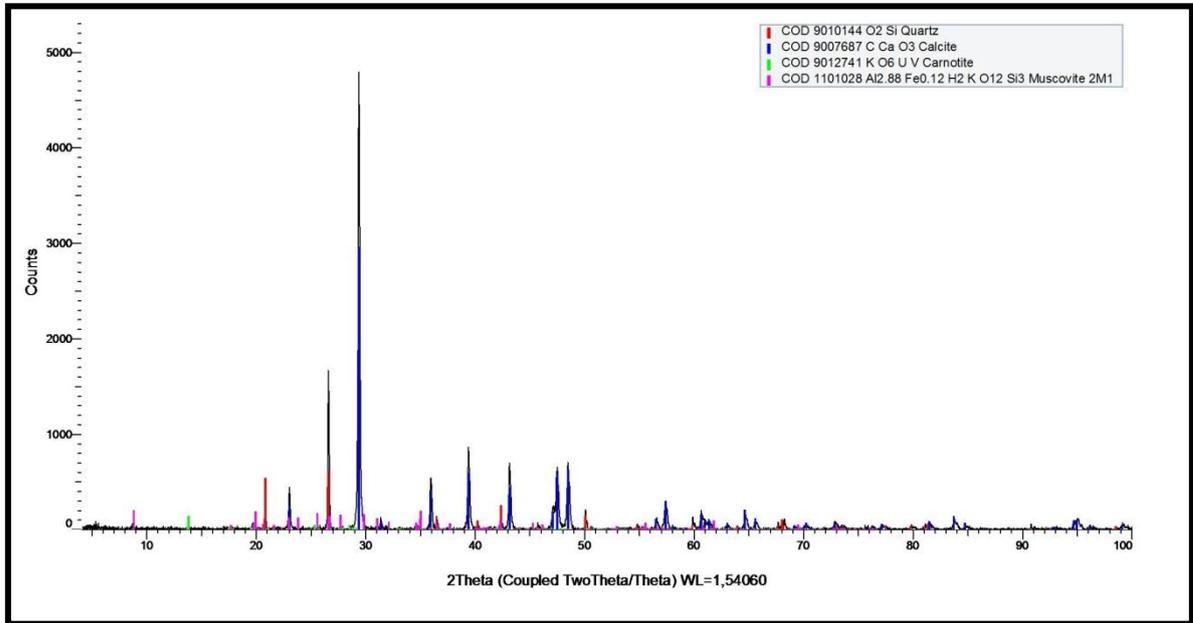


DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA CH-M21 SEDIMENTOS

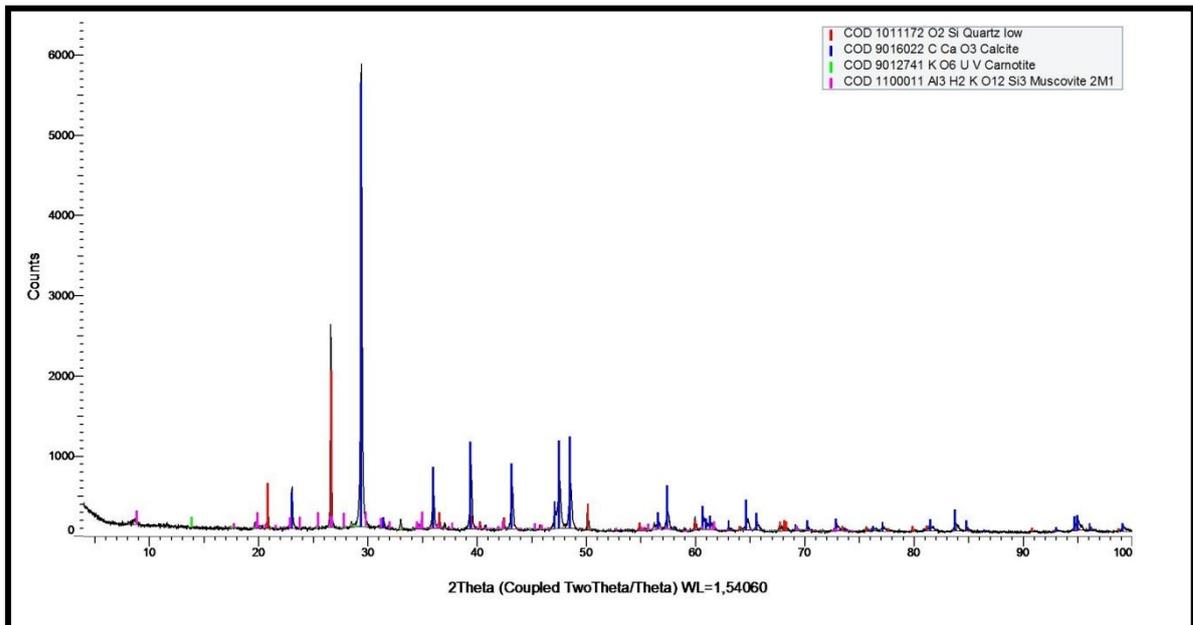


ANEXO IV. DIFRACTOGRAMAS MICROCUENCA GUINEO

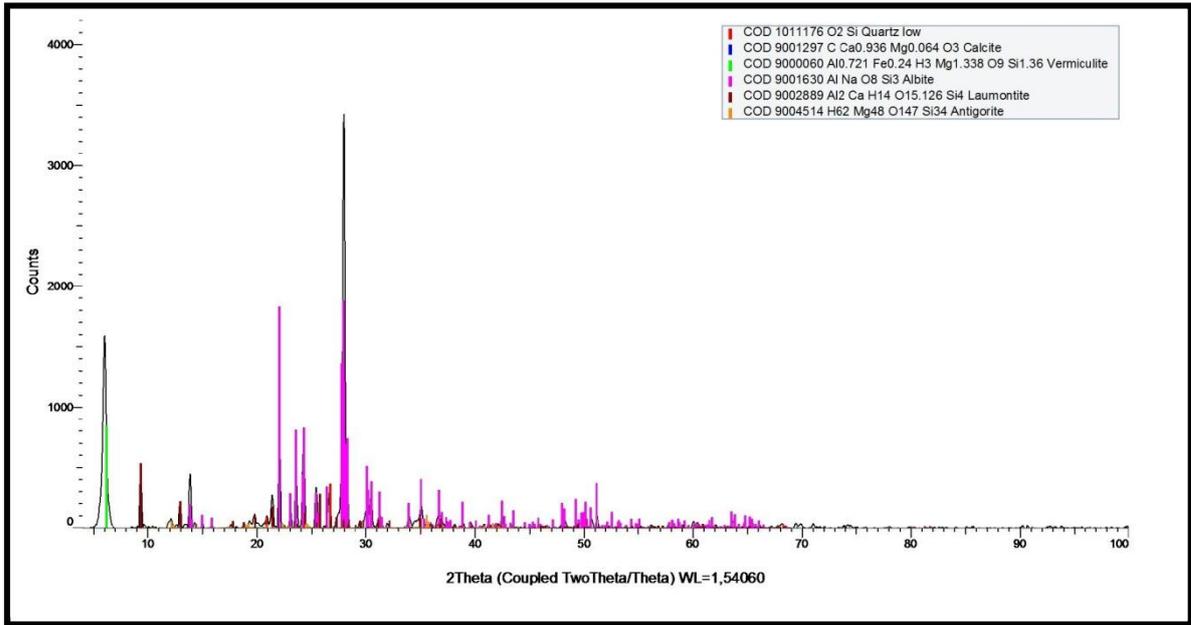
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M2



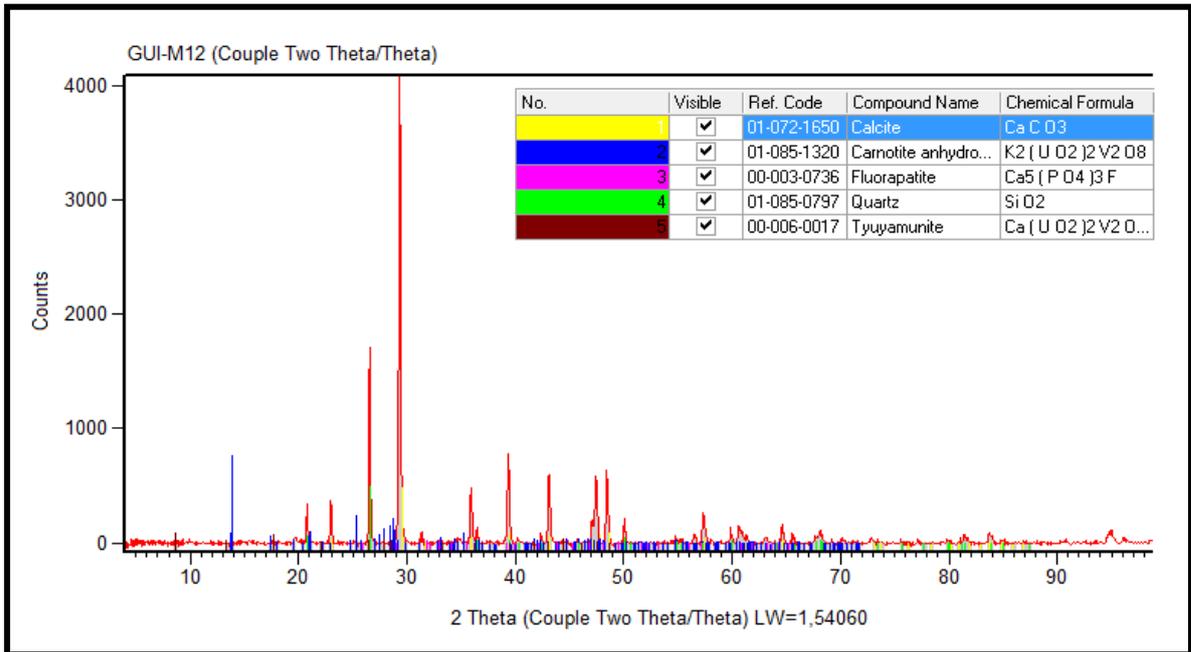
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M3



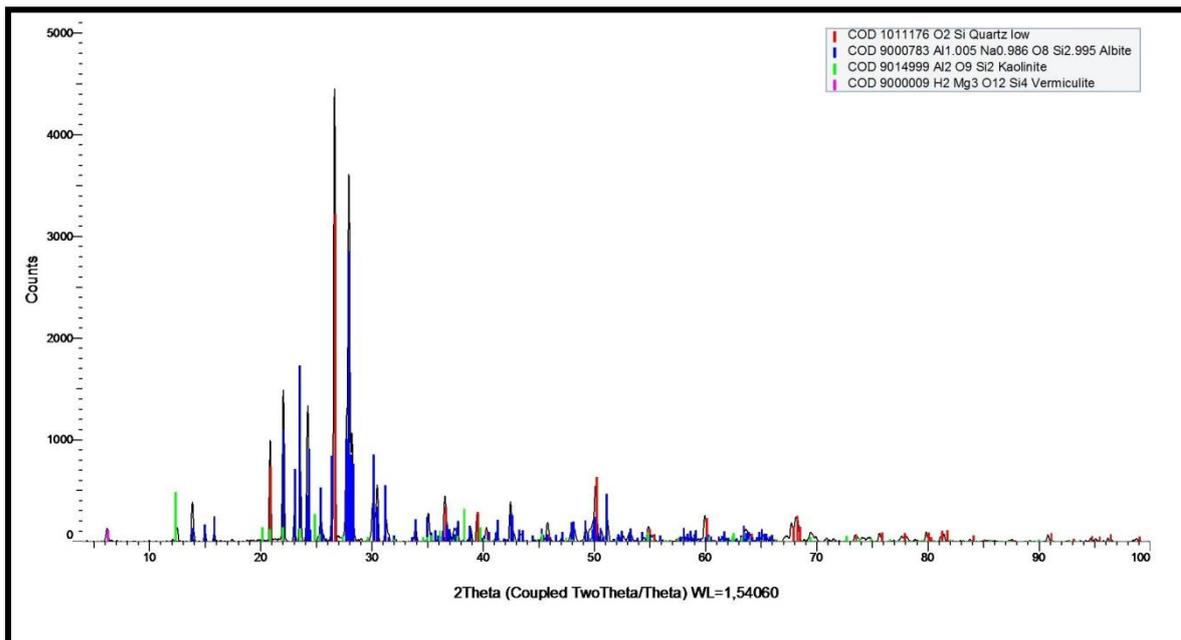
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M10



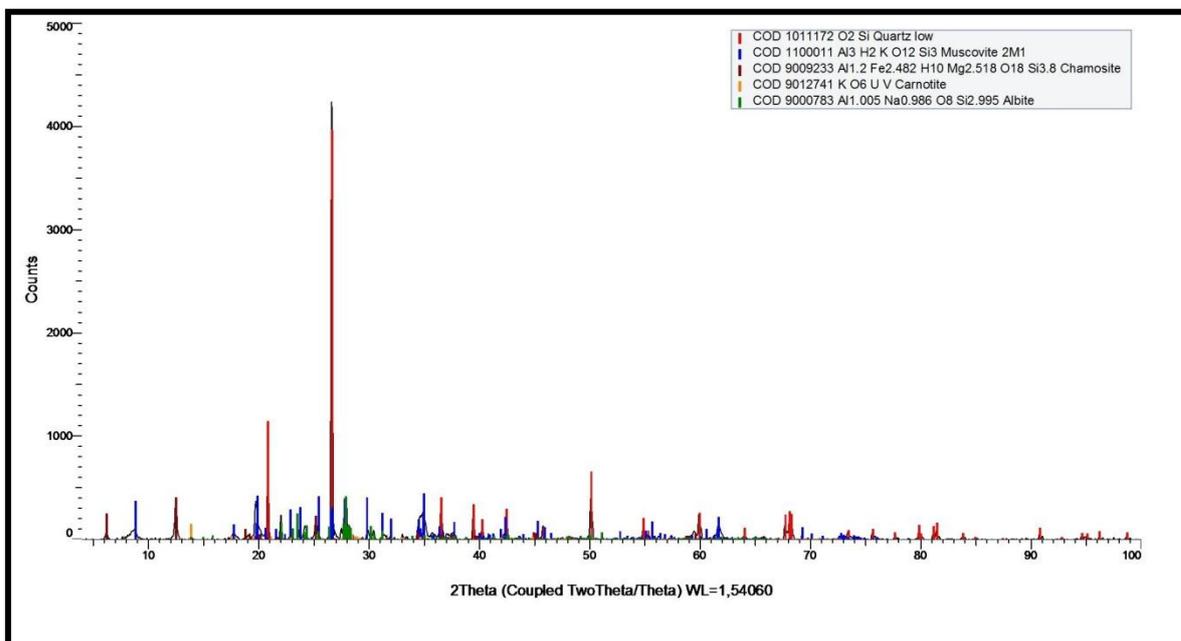
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M12



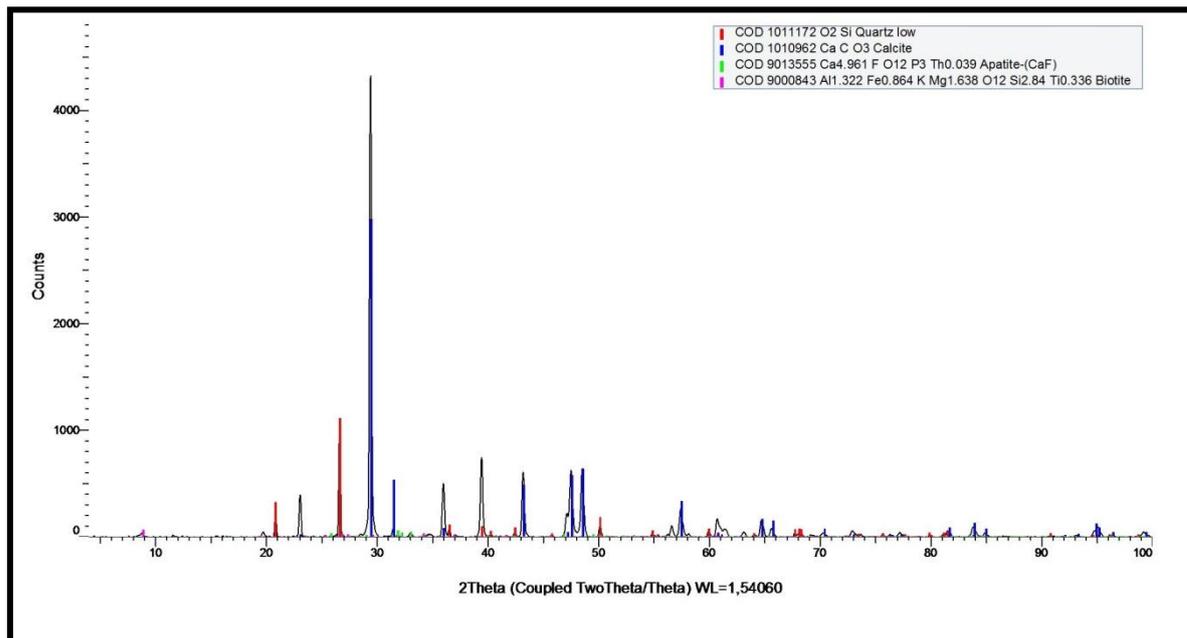
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M16



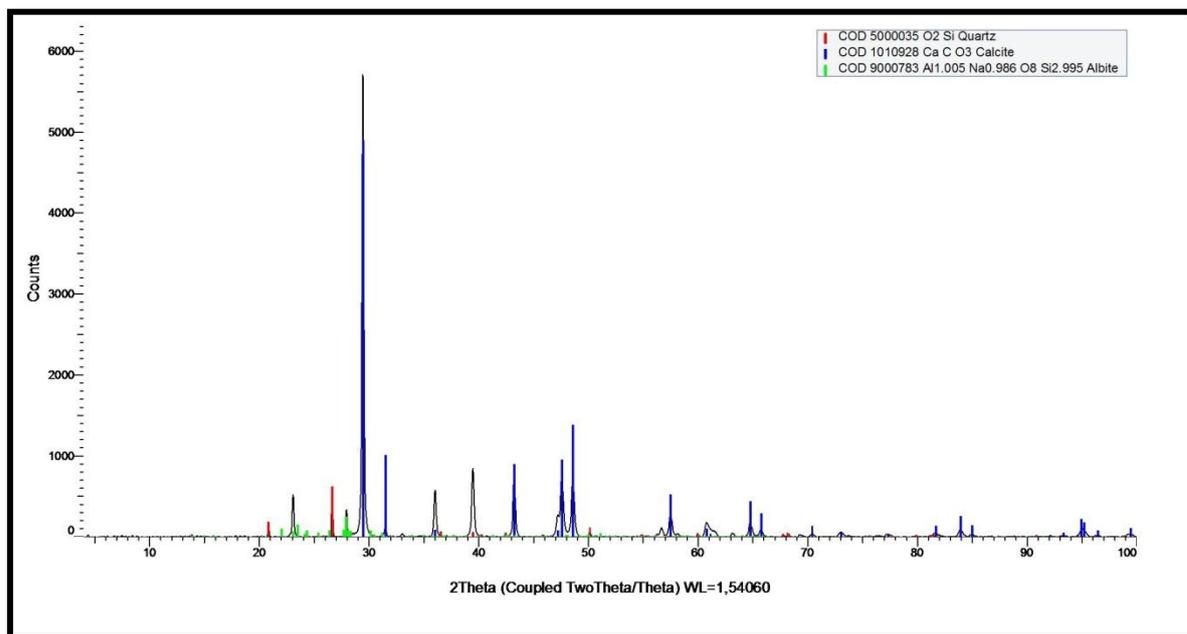
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M17



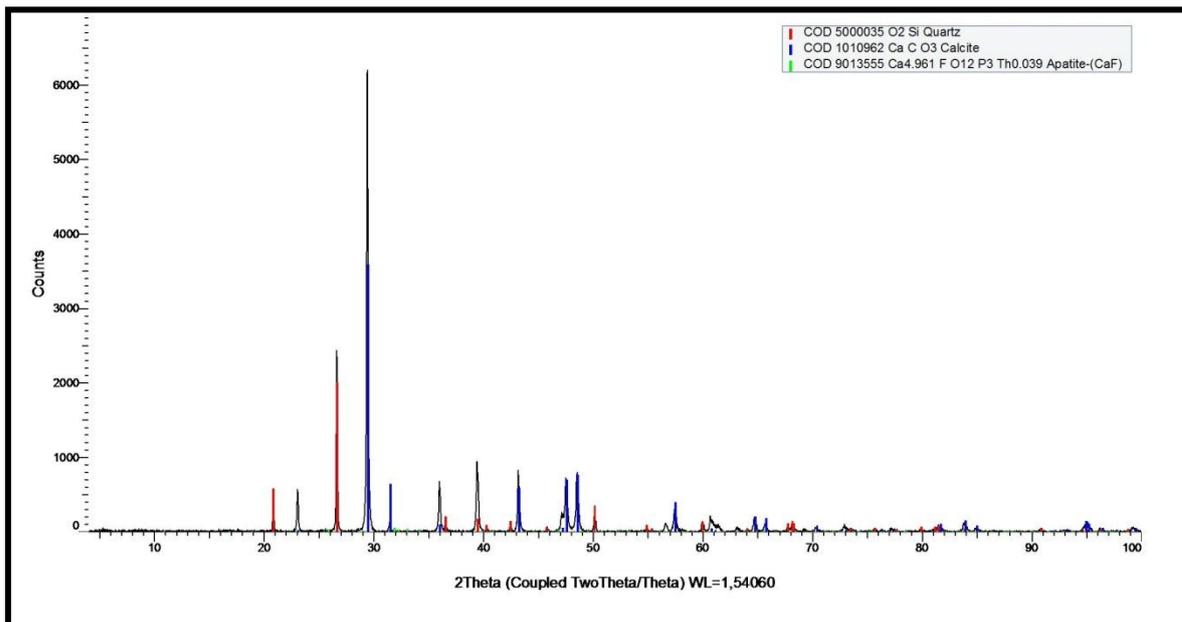
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA PAP-M1



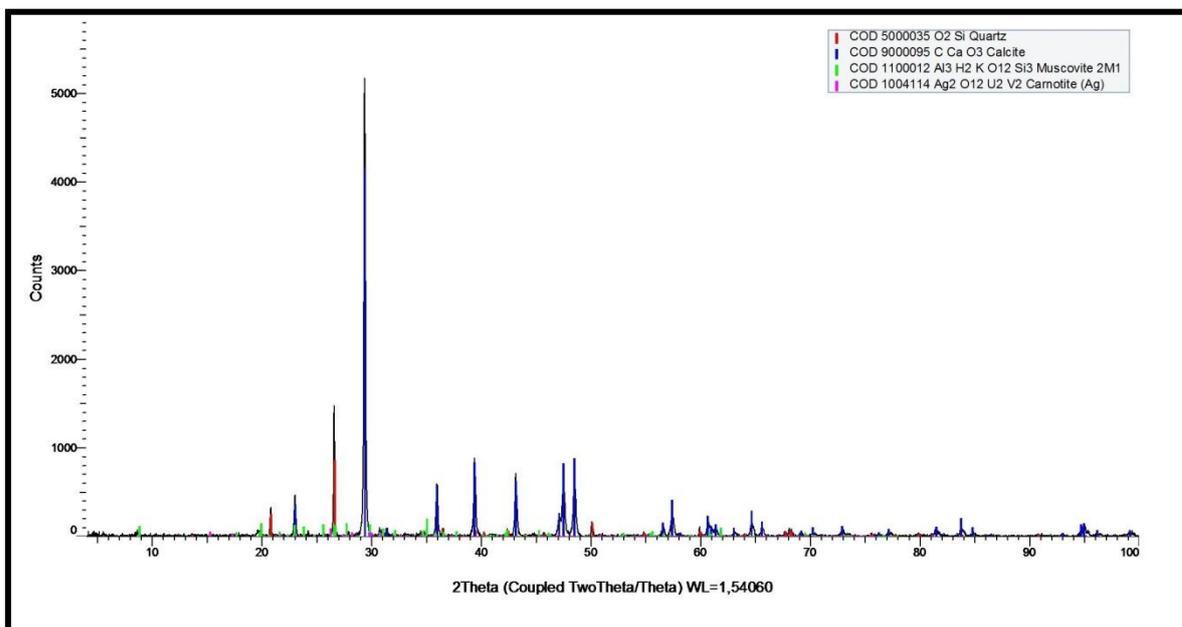
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA PAP-M4



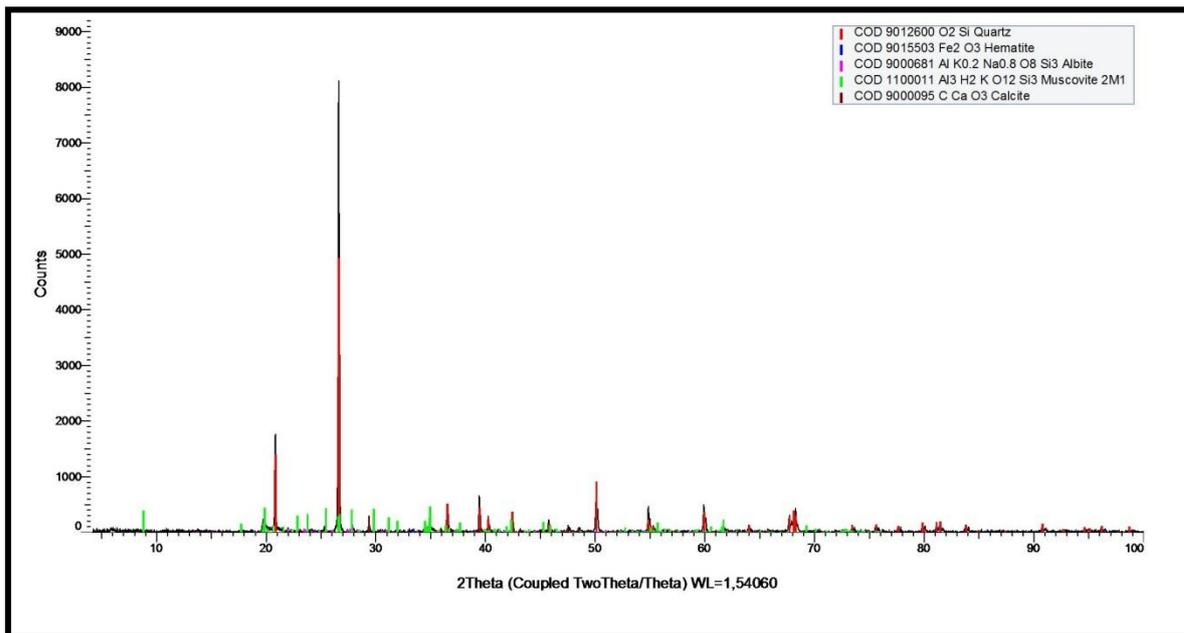
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA PAP-M7



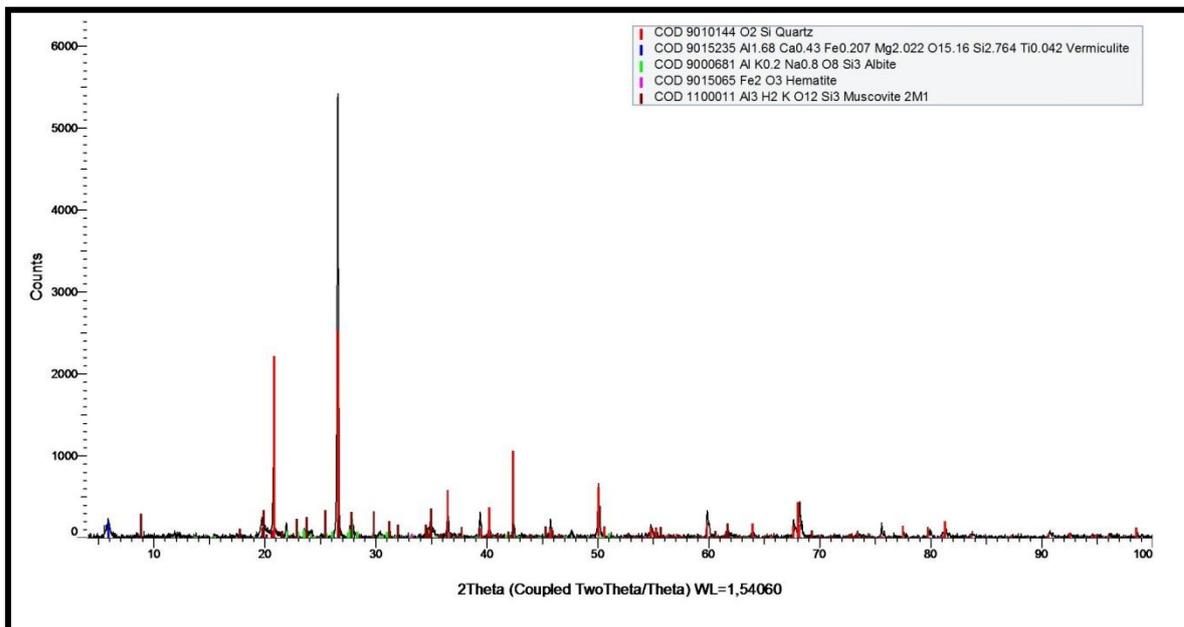
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA PAP-M8



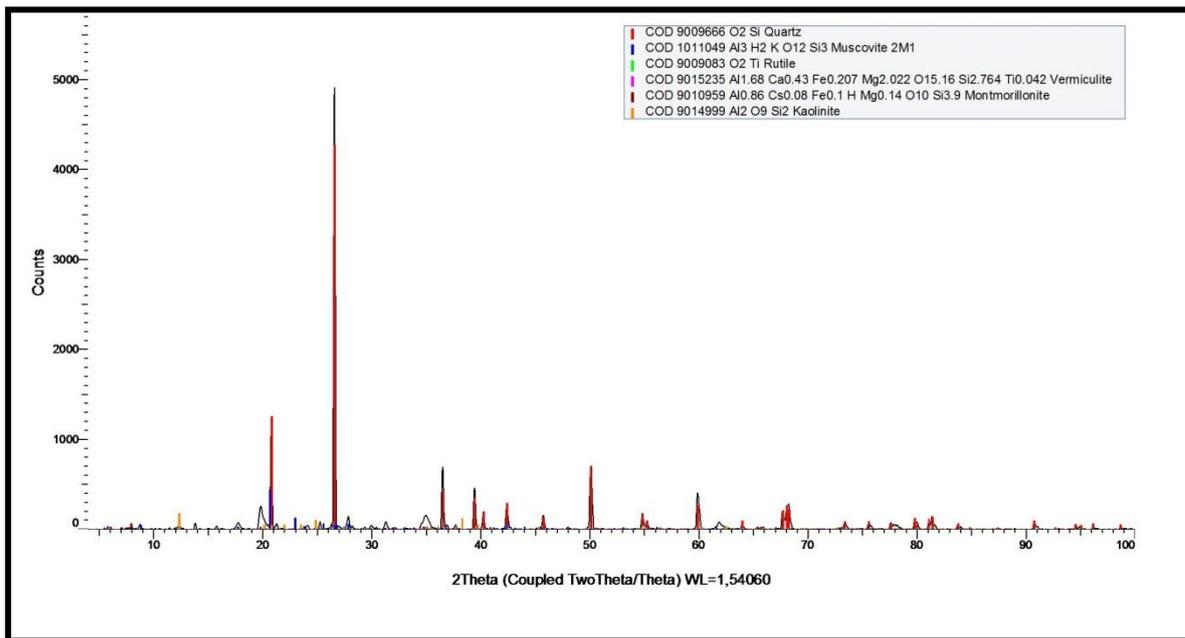
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M6 SEDIMENTOS



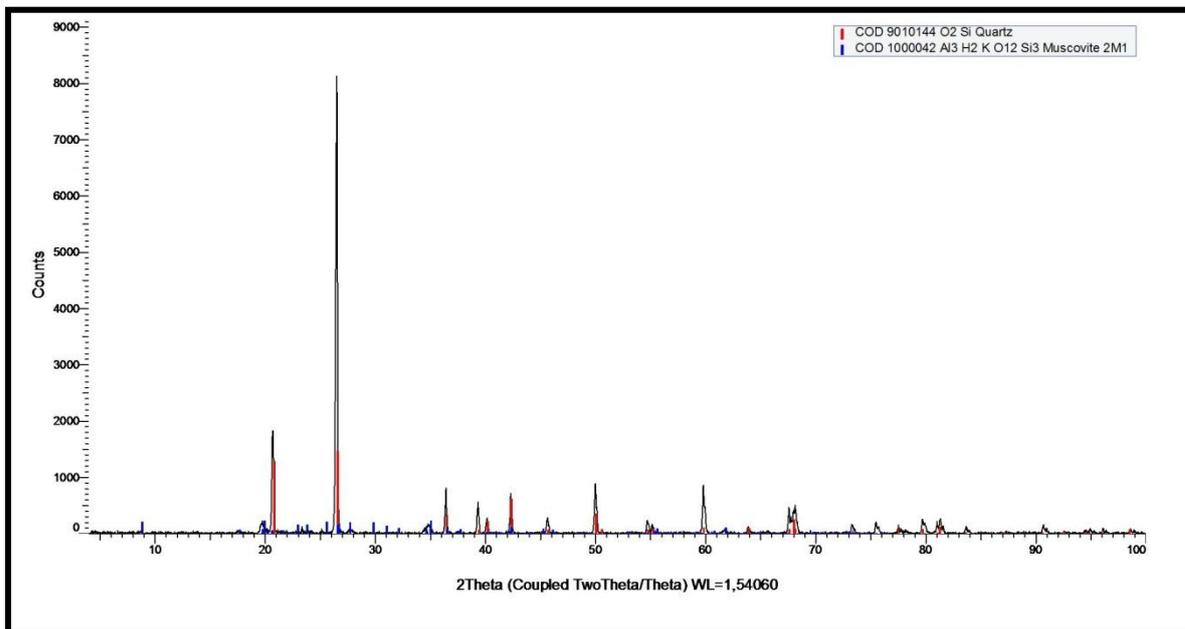
DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M9 SEDIMENTOS



DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M13 SEDIMENTOS



DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA GUI-M16 SEDIMENTOS



DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA PAP-M5 SEDIMENTOS

