



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

**Exploración de composición litológica, mineralógica y química de
suelos del sector Alamala – Catamayo, polígono 4**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Medina Toledo, Alexander Agustín

DIRECTOR: Guartán Medina, José Arturo, MSc.

LOJA - ECUADOR

2018



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

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc.

José Arturo Guartán Medina.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Exploración de composición litológica, mineralógica y química de suelos del sector Alamala – Catamayo, polígono 4 realizado por: Medina Toledo Alexander Agustín, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, marzo del 2018

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Medina Toledo Alexander Agustín declaro ser autor (a) del presente trabajo de titulación: Exploración de composición litológica, mineralógica y química de suelos del sector Alamala – Catamayo, polígono 4, de la Titulación de Geología y Minas siendo Ing. MCs., José Arturo Guartan Medina director (a) del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

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

f.

Autor: Alexander Agustín Medina Toledo

Cédula: 1900611037

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado primeramente a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida, a mis padres José y Luz por ser el pilar fundamental de mi vida y brindarme su amor y cariño, a mis amad@s herman@s: José, Jaccson, Yuliana, Loreley y Ahinoa, a mis querid@s sobrin@s Xavier, Zarahí y Valentina. Gracias a ustedes que han sido mi inspiración y mi fortaleza para poder lograr esta meta, la culminación de mi carrera universitaria.

Alexander Agustín

AGRADECIMIENTO

Expreso mis más sinceros agradecimientos:

A Dios por brindarme su amor, fortaleza, sabiduría y salud. Gracias mi Dios por ayudar a cumplir esta meta como es la terminación mi carrera universitaria, estoy seguro de que no va hacer la única que se vendrá nuevos objetivos y metas por cumplir.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, de manera especial a los docentes del Departamento de Geología y Minas por los conocimientos y enseñanzas impartidos en estos años de formación académica.

Al Ing. M.Sc José Arturo Guartan Medina, director de tesis, docente y amigo por su excelente dirección en la elaboración de la investigación, por el tiempo compartido, por su apoyo y confianza en mi trabajo.

A mis amados padres por el todo el sacrificio económico que me han brindado para lograr culminar esta etapa de mi vida. Gracias por todos los valores que me han inculcado, por ser un ejemplo de vida a seguir y sobre todo por su amor, cariño, apoyo y confianza.

A mis amados hermanos José y Jacsson por estar ahí brindándome su apoyo incondicional y demostrarme que la amistad verdadera se la encuentra en los hermanos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I	4
GENERALIDADES.....	4
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Justificación	6
1.3 Objetivos.	6
1.3.1 Generales.....	6
1.3.2 Específicos.	6
CAPÍTULO II	7
CARACTERÍSTICAS FÍSICOGEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	7
2.1 Ubicación geográfica.	8
2.2 Acceso.....	9
2.3 Clima.	9
2.4 Fauna y Flora.	10
2.5 Geomorfología.....	10
2.6 Hidrología.	11
CAPÍTULO III	12
MARCO TEÓRICO	12
3.1 Estadística.....	13

3.2	Geoestadística.....	13
3.3	Datos composicionales.....	13
3.4	Muestreo FOREGS.....	13
3.5	Fluorescencia de Rayos – X.	13
3.6	Difracción de Rayos – X.	14
3.7	Análisis estadístico.	14
3.7.1	Nubes de dispersión.	14
3.7.2	Diagrama de caja y bigotes.	14
3.7.3	Coeficiente de correlación.	14
3.8	Mapa geoquímico.	15
3.9	Background o fondo geoquímico.	15
3.10	Umbral.....	15
3.11	Anomalía geoquímica.	15
CAPITULO IV.....		16
GEOLOGÍA REGIONAL Y ESTRUCTURAS.....		16
4.1	Geología regional.	17
4.1.1	Unidad Chigüinda (Paleozoica).....	18
4.1.2	Unidad Chaguarpamba (Cretácico).	18
4.1.3	Unidad Changaimina. (Paleoceno - Mioceno).....	19
4.1.4	Unidad Guayabal (Oligoceno - Mioceno).	19
4.1.5	Volcánicos Tambo Blanco (Mioceno Inferior).....	19
4.1.6	Formación Catamayo (Mioceno Medio).	19
4.1.7	Roca Intrusiva Diorita.	20
4.2	Estructuras regionales.	20
4.2.1	Falla Frente de Baños - Las Aradas.....	20
4.2.2	Falla La Toma (N-S).	21
4.2.3	Falla Potrerillos.....	21
CAPÍTULO V.....		23
METODOLOGÍA.....		23
5.1	Revisión bibliográfica.....	24
5.2	Trabajo de campo.....	24
5.2.1	Trabajo de gabinete.....	24
5.2.2	Toma de muestras.....	24
5.3	Preparación de muestras.....	25
5.4	Trabajo de laboratorio.....	26

5.4.1	Secado.....	26
5.4.2	Trituración.....	27
5.4.3	Cuarteo.....	28
5.4.4	Pulverización.....	29
5.4.5	Fluorescencia de Rayos – X.....	29
5.4.6	Difracción Rayos – X.....	30
5.4.7	Análisis Petrológico.....	31
CAPÍTULO VI.....		32
RESULTADOS DE CAMPO.....		32
6.1	Geología local.....	33
6.1.1	Rocas ígneas.....	33
6.1.1.1	Unidad Guayabal.....	33
6.1.1.2	Unidad Changaimina.....	35
6.1.2	Rocas sedimentarias.....	36
6.1.2.1	Unidad Chaguarpamba.....	36
6.1.3	Rocas Intrusivas.....	36
6.2	Geología estructural.....	37
6.3	Mapa geológico local.....	38
6.4	Análisis mineralógico.....	39
6.4.1	Difracción de Rayos - X.....	40
6.4.1.1	Análisis difractograma Muestra 1.....	40
6.4.1.2	Análisis difractograma Muestra 2.....	41
6.4.1.3	Análisis difractograma Muestra 3.....	41
6.4.1.4	Análisis difractograma Muestra 4.....	41
6.5	Análisis químico y resultados estadísticos.....	41
6.5.1	Valores obtenidos por Fluorescencia de Rayos – X.....	41
6.5.2	Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios, muestras de suelo.	42
6.5.3	Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios, muestras de roca.	45
6.5.4	Diagrama de caja y bigotes.....	47
6.6	Mapas geoquímicos.....	48
6.6.1	Mapas Geoquímicos de los elementos mayoritarios analizados.....	49
6.6.1.1	Mapa geoquímico del SiO ₂	49
6.6.1.2	Mapa geoquímico del Al ₂ O ₃	49
6.6.1.3	Mapa geoquímico del S.....	51

6.6.1.4	Mapa geoquímico del K_2O	51
6.6.1.5	Mapa geoquímico del CaO	51
6.6.1.6	Mapa geoquímico del Ti_2O	51
6.6.1.7	Mapa geoquímico del MnO	52
6.6.1.8	Mapa geoquímico del Fe_2O_3	52
CONCLUSIONES		53
RECOMENDACIONES		55
BIBLIOGRAFÍA		56
ANEXOS		59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	8
Figura 2. Vía de acceso zona de estudio.	9
Figura 3. Geomorfología de la zona de estudio: formas de cimas semi - redondeada, terrazas bajas, terrazas media.	10
Figura 4. Red hidrográfica de la zona de estudio.	11
Figura 5. Mapa geológico regional del sector Alamala – Catamayo.	20
Figura 6. Principales fallas y rasgos morfológicos del Ecuador.	21
Figura 7. Toma de muestra de suelo de la zona de estudio: a) Colocación del tubo muestreador. b) Extracción del tubo muestreador con muestra de suelo. c) Enfundando y etiquetando la muestra de suelo obtenido. d) Pentágono del muestreo de suelo realizado.	25
Figura 8. Flujograma tratamiento de muestras.	26
Figura 9. Secado de muestras a 105° C.	27
Figura 10. Trituradora de Mandíbulas Restch: a) Colocación de muestra de suelo. b) Extracción de la muestra triturada.	28
Figura 11. Colocación de muestra en el cuarteador tipo Rifle.	28
Figura 12. Colocación de la muestra en el pulverizador rotatorio de anillo.	29
Figura 13. Equipo de Fluorescencia portátil de Rayos-X S1 TURBO ^{SD}	30
Figura 14. Equipo de Difractometría de Rayos – X D8 ADVANCE ECO.	31
Figura 15. Análisis petrológico.	31
Figura 16. Afloramiento de composición volcánica: a) Pórfido andesítico con fenocristales de plagioclasa y anfíboles.	33
Figura 17. Afloramiento de composición volcánica: a) Toba de composición riolítica.	34
Figura 18. Afloramiento de composición volcánica: a) Andesita.	34
Figura 19. Afloramiento presenta dos litologías: a) Aglomerado con clastos volcánicos. b) Pórfido andesítico con fenocristales de plagioclasa y anfíbol.	35
Figura 20. Contacto litológico entre la Unidad Changaimina y la Unidad Guayabal. a) Andesita basáltica masiva. b) Pórfido andesítico.	35
Figura 21. Afloramiento de composición sedimentaria. a) Lutitas.	36
Figura 22. Rocas intrusivas dioritas.	37
Figura 23. Mapa Geológico Local.	38
Figura 24. Mapa de puntos de muestreo.	39
Figura 25. Difractograma de la muestra 1.	40
Figura 26. Nube de dispersión entre Cao – S, correlación positiva.	44

Figura 27. Nube de dispersión entre SiO_2 - Fe_2O_3 , correlación negativa.	44
Figura 28. Nube de dispersión entre CaO (%) – MgO (%), correlación positiva.	46
Figura 29. Nube de dispersión entre CaO (%) - K_2O (%), correlación positiva.	46
Figura 30. Diagrama de caja y bigotes de los elementos mayoritarios obtenido de Fluorescencia de rayos - X.	48
Figura 31. Mapa geoquímico de Al_2O_3	50
Figura 32. Mapa geológico local con líneas de cortes A – A' y B – B'.	64
Figura 33. Cortes de secciones geológicas locales.	65
Figura 34. Difractograma de la muestra 2.	66
Figura 35. Difractograma de la muestra 3.	66
Figura 36. Difractograma de la muestra 4.	67
Figura 37. Mapa geoquímico de SiO_2	68
Figura 38. Mapa geoquímico de S.	69
Figura 39. Mapa geoquímico de K_2O	70
Figura 40. Mapa geoquímico de CaO	71
Figura 41. Mapa geoquímico de Ti_2O	72
Figura 42. Mapa geoquímico de MnO	73
Figura 43. Mapa geoquímico de Fe_2O_3	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de ubicación de la zona de estudio.	8
Tabla 2. Kit Geológico.....	24
Tabla 3. Concentración (%) de elementos mayoritarios de muestras de suelo obtenidos por análisis químico de Fluorescencia de Rayos - X.....	42
Tabla 4. Concentración (%) de elementos mayoritarios de muestras de rocas obtenidos por análisis químico de Fluorescencia de Rayos – X.....	42
Tabla 5. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios, muestras de suelo....	43
Tabla 6. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios, muestra de rocas.	45
Tabla 7. Estadística descriptiva de la concentración (%) de elementos mayoritarios de las muestras de suelo obtenidas mediante el análisis químico de Fluorescencia de Rayos-X.....	48
Tabla 8. Tendencia distribución espacial.	49
Tabla 9. Descripción Afloramiento 3.	60
Tabla 10. Descripción Afloramiento 33.....	61
Tabla 11. Descripción Afloramiento 40.....	62
Tabla 12. Descripción Afloramiento 53.....	63

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad conocer el origen de los elementos químicos del suelo y su relación con el medio que lo rodean, el origen natural de la roca y su composición mineralógica mediante análisis químicos y mineralógicos. La investigación abarca dos fases de estudio, la primera fase comprendió un estudio geológico, obteniendo como resultado un mapa geológico – estructural a escala 1:15000 de la zona de estudio. La segunda fase enmarca ensayos de Fluorescencia de Rayos – X (FRX), Difracción de Rayos – X (DRX) y mineralogía Macroscópica a los que fueron sometidas muestras de suelo y roca. Para la interpretación de los valores obtenidos en los análisis químicos tanto del suelo como de roca se empleó gráficas estadísticas como nubes de dispersión, diagrama de cajas y coeficiente de correlación. Con la determinación y cuantificación de las concentraciones elementales y mineralógicas se elaboró los mapas geoquímicos con el fin de correlacionarlos con la geología cartografiada en la zona de estudio.

PALABRAS CLAVES: Geología, Mineralogía, Geoquímica

ABSTRACT

The purpose of this research work is to know the origin of the chemical elements of the soil and its relation with the environment that surrounds it, the natural origin of the rock and its mineralogical composition through chemical and mineralogical analyses. The research comprises two phases of study, the first phase comprised a geological survey, resulting in a geological-structural map to scale 1:15000 of the study area. The second phase frames X-Ray Fluorescence (FRX), X-Ray Diffraction (XRD) and Macroscopic mineralogy to which soil and rock samples were subjected. For the interpretation of the values obtained in the chemical analyses of both soil and rock, statistical graphs were used as scatter clouds, box diagram and correlation coefficient. With the determination and quantification of the elementary and mineralogical concentrations, geochemical maps were developed in order to correlate them with the geology mapped in the study area..

Keywords: Geology, Mineralogy, Geochemistry.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación denominado “Exploración de composición litológica, mineralógica y química de suelos del sector Alamala – Catamayo, polígono 4” pretende analizar elementos mayoritarios, minerales de suelo y roca mediante análisis químicos y mineralógicos como: Fluorescencia de Rayos – X (FRX), Difractometría de rayos X (DRX) y mineralogía Macroscópica.

El presente escrito detalla las actividades realizadas, las cuales se resumen en un levantamiento geológico para la obtención de un mapa geológico – estructural a escala 1:15000, y en un estudio químico donde se realizó un muestro sistemático de suelo y roca basados en el método FOREGS para conseguir información de elementos químicos y minerales de la zona de estudio. Los valores obtenidos fueron aplicados a un análisis estadístico utilizando nubes de dispersión, diagrama de cajas y coeficiente de correlación. Con la cuantificación y determinación de los minerales y elementos mayoritarios que conforman el suelo y roca origen en la zona de estudio se elaboró los mapas geoquímicos.

El primero capítulo trata acerca de las antecedentes y describe los objetivos del trabajo de investigación. El segundo capítulo corresponde con las características geográficas de zona de estudio a saber su ubicación geográfica, acceso, clima, fauna y flora, geomorfología e hidrografía. El capítulo tres concierne a la metodología, se menciona la preparación física y química a los que fueron sometidas las muestras de estudio. El capítulo cuatro detalla los conceptos teóricos elementales para un mejor entendimiento de la investigación. El capítulo quinto se relaciona a la geología regional y estructuras de la zona de estudio. El capítulo sexto resume los resultados finales de campo y laboratorio e interpretación de estos. El capítulo final sintetiza las conclusiones de la investigación basados en los resultados de los análisis geológicos, geoquímicos, y mineralógicos.

La investigación tiene como objetivo correlacionar la geología de la zona con las concentraciones elementales de suelo y la composición mineralógicas de las rocas.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

La zona de estudio Alamala-Catamayo se localiza dentro de la cuenca Catamayo, conformado al Este por rocas metamórficas de la unidad Chiguinda (Devónicas), cuerpos intrusivos pertenecientes al Pórfido de Purunúma del Eoceno según (Kennerly, 1973), depósitos de rocas sedimentarias de la Formación Catamayo de edad Mioceno Medio y al Oeste por secuencias volcánicas y volcanosedimentarias de composición intermedia a ácida de la Unidad Guayabal de edad Oligoceno Superior - Mioceno Inferior y por los Volcánicos Tambo Blanco de edad Mioceno Inferior.

En el sector Alamala – Catamayo en cuanto a estudios geológicos existen aportes de estudios geológicos regionales realizados por (Hungerbühler, 1997) donde plasma las características (edad, litología, ubicación, génesis) de las diferentes Formaciones geológicas existentes en la cuenca de Catamayo. Seguidamente (Hungerbühler et al., 2002) publican un estudio de la estratigrafía Neógena y geodinámica andina del Sur de Ecuador, donde redacta la correlación estratigráfica de la cuenca Catamayo – Gonzanamá y por último el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico pública la Hoja Geológica de Loja 2017 a escala 1: 100 000. Referente a estudios geoquímicos tanto de suelo y roca en la zona de estudio localmente no se registran aportes.

Con la presente investigación se pretende ayudar a futuros proyectos de investigación relacionados a la geoquímica, con el aporte de la determinación y cuantificación de una línea base de elementos mayoritarios como el SiO_2 , Al_2O_3 , S, K_2O , CaO , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 , así como el origen y tipo de litología que existe en el sector Alamala – Catamayo.

1.2 Justificación

El sector Alamala – Catamayo presenta una gran diversidad de suelos, debido a la influencia de aspectos geológicos, fisiográficos, y climáticos, según el informe Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia San Pedro de la Bendita 2014 – 2019.

Mediante el estudio geoquímico de suelo y roca se planteó obtener concentraciones elementales y mineralógicas con objetivo de determinar una línea base de los elementos mayoritarios, su distribución y dispersión. La investigación exploratoria/geoquímica pretende ayudar a otros grupos de investigación como el caso del Área de Biología de la UTPL que necesita el tipo de geología/mineralogía/geoquímica de la zona para corroborar y tener más argumentos de cómo está conformado un suelo en zona de matorrales secos.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Generales.

Determinar los minerales y elementos químicos que conforma un suelo y roca mediante exploración geológica geoquímica.

1.3.2 Específicos.

- ✓ Investigación geoquímica a escala local para determinar el background y línea base de los elementos individuales mediante un análisis estadístico para analizar su comportamiento geoquímico.
- ✓ Entender y conocer el origen de los elementos químicos y su relación con el medio que lo rodean, el origen natural de la roca, su composición mineralógica.

CAPÍTULO II
CARACTERÍSTICAS FÍSICOGEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación geográfica.

La zona de estudio se ubica en la cordillera Andina al Sur del Ecuador, en la provincia de Loja, cantón Catamayo, parroquia San Pedro de la Bendita (Ver figura 1), a 50 km de la ciudad de Loja. Se encuentra limitada al Norte por la parroquia San Pedro de la Bendita, al Sur por el sector Chambellán, al Este por el barrio La Vega y al Oeste con el sector Las Chinchas.

La zona de estudio tiene una extensión aproximada de 1,065.93 has y está limitada por las siguientes coordenadas UTM (Ver Tabla 1), las mismas que fueron adquiridas con el Datum WGS 84, zona 17S.

Tabla 1. Puntos de ubicación de la zona de estudio.

Puntos	Coordenadas UTM (Datum: WGS 84 Zona 17s)	
	X	Y
1	673467.86	9557707.58
2	671154.39	9557711.96
3	671163.00	9562319.26
4	673476.58	9562314.93

Fuente y elaboración: El autor.

Ubicación Geográfica De La Zona De Estudio

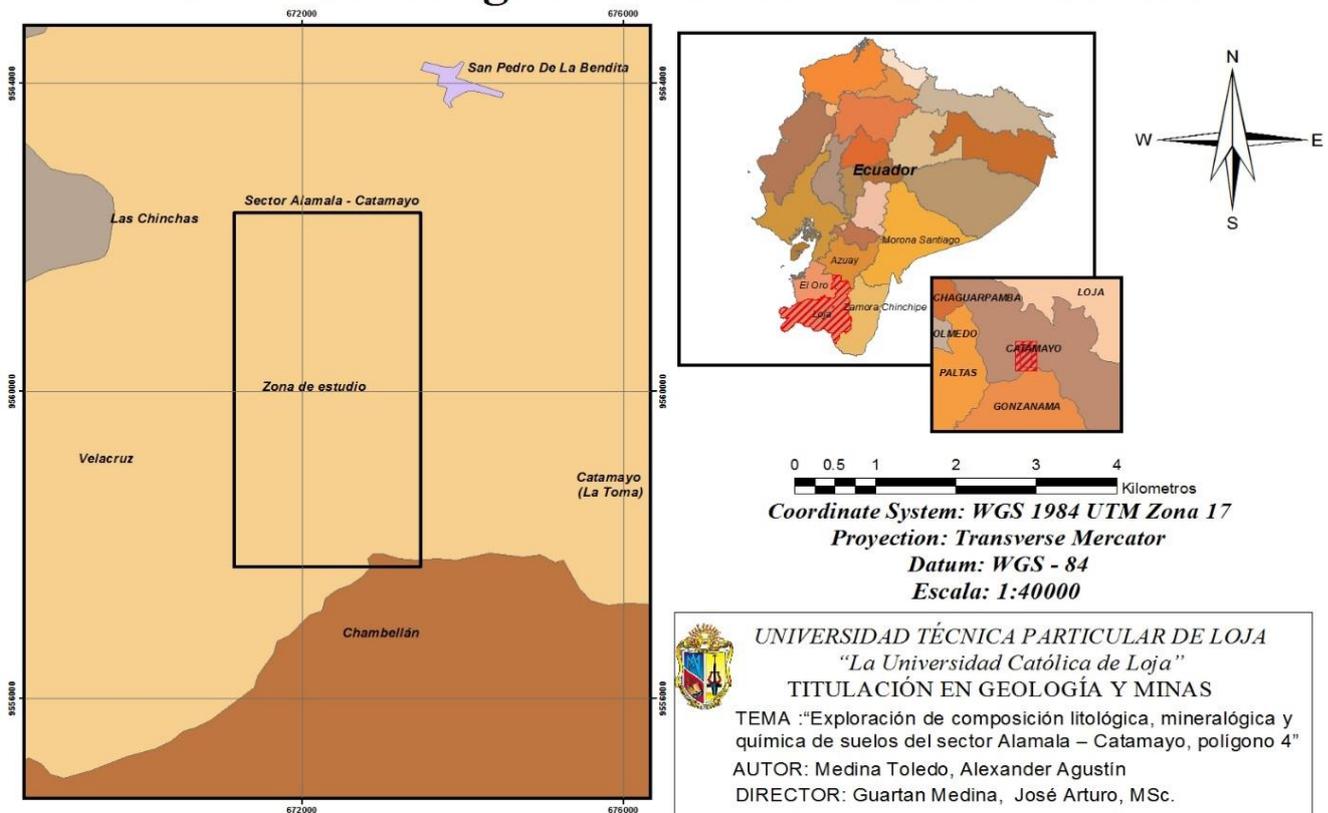


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.
 Fuente y elaboración: El autor.

2.2 Acceso.

El acceso a la zona de estudio se puede realizar por dos vías de primer orden: Loja – Catamayo – San Pedro de la Bendita realizando un recorrido de 50 kilómetros con un tiempo estimado de 60 minutos o tomando la vía antigua Loja – Catamayo – San Pedro de la Bendita que atraviesa las instalaciones del parque Eólico Villonaco, haciendo un recorrido de 45 kilómetros, debido a las malas condiciones de la vía se lo realiza con un tiempo estimado de 80 minutos aproximadamente (Ver Figura 2).

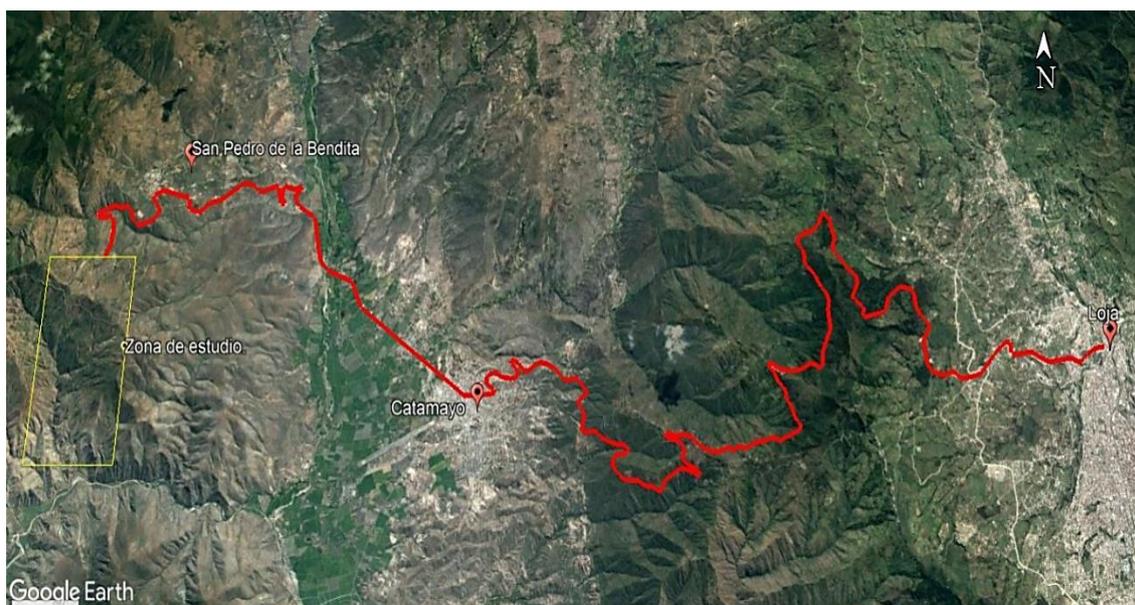


Figura 2. Vía de acceso zona de estudio.
Fuente: Google Earth
Elaboración: El autor

2.3 Clima.

Según el informe Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia San Pedro de la Bendita 2014 – 2019 cuenta con dos tipos de clima: Ecuatorial Mesotérmico Seco en los sectores de la Concha, el Sauce, el Limo, San Sebastián, las Chinchas, en los barrios Togueros y la Cabecera Parroquial. Ecuatorial Mesotérmico Semi - Húmedo en los sectores de Santiago, Cabra Corral, el Breo y el barrio el Tingo (Córdova et al, 2014).

La zona de estudio se encuentra en el clima Ecuatorial Mesotérmico Seco, se caracteriza porque se presenta en el fondo de los valles interandinos. Las temperaturas fluctúan en un rango de 18 –20° C y las lluvias anuales son menores a los 500 mm.

2.4 Fauna y Flora.

Los bajos valores de la precipitación no favorecen al crecimiento de la vegetación, la zona de estudio consta de cactus melocactus, faique, árbol palo santo. Respecto a la fauna según el informe Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia San Pedro de la Bendita 2014 – 2019 existen animales como: tinamú andino, colibrí de tumbes, pava barbada, zorrillo de sechura, chonto, ardillas, tordos, torcazas, gavilanes, ardillas, chucurillos, conejos, pacasos, y sus pastizales crían ganado vacuno, caballar, asnal, mular (Córdova et al, 2014).

2.5 Geomorfología.

La zona de estudio se encuentra en la cuenca Catamayo, presenta un relieve montañoso, abrupto que va con un rango de pendiente $>70\%$, así como por terrazas aluviales generadas en el margen del río Catamayo (*Ver figura 3*). El ambiente de depósitos volcánicos nos presenta relieves de altitudes comprendidas desde los 1100 a 2400 m.s.n.m., dando así un paisaje muy diferente a lo largo de toda de la zona de estudio.

El relieve montañoso ha sido determinado por el proceso de volcanismo y dentro de los relieves colinados se encuentran geofomas de cimas agudas, semi – redondeadas y redondeadas. En cuanto las terrazas medias en el cual se observan zonas de cultivos y terrazas bajas con cauce del río Catamayo son producto por el proceso deposicional.



Figura 3. Geomorfología de la zona de estudio: formas de cimas semi - redondeada, terrazas bajas, terrazas medias.

Fuente y elaboración: El autor.

2.6 Hidrología.

La parroquia San Pedro de la Bendita hidrográficamente está atravesada por el cauce de los ríos Catamayo y Guayabal, en la parte sur de la zona de estudio recorre el río Catamayo el cual se alimenta de la quebradas Guacacochoa, San Sebastián, así como del río Guayabal (Ver Figura 4), este desboca en la represa de Poechos (Perú) y sirve como fuente de suministro para el sistema de riego de las tierras.

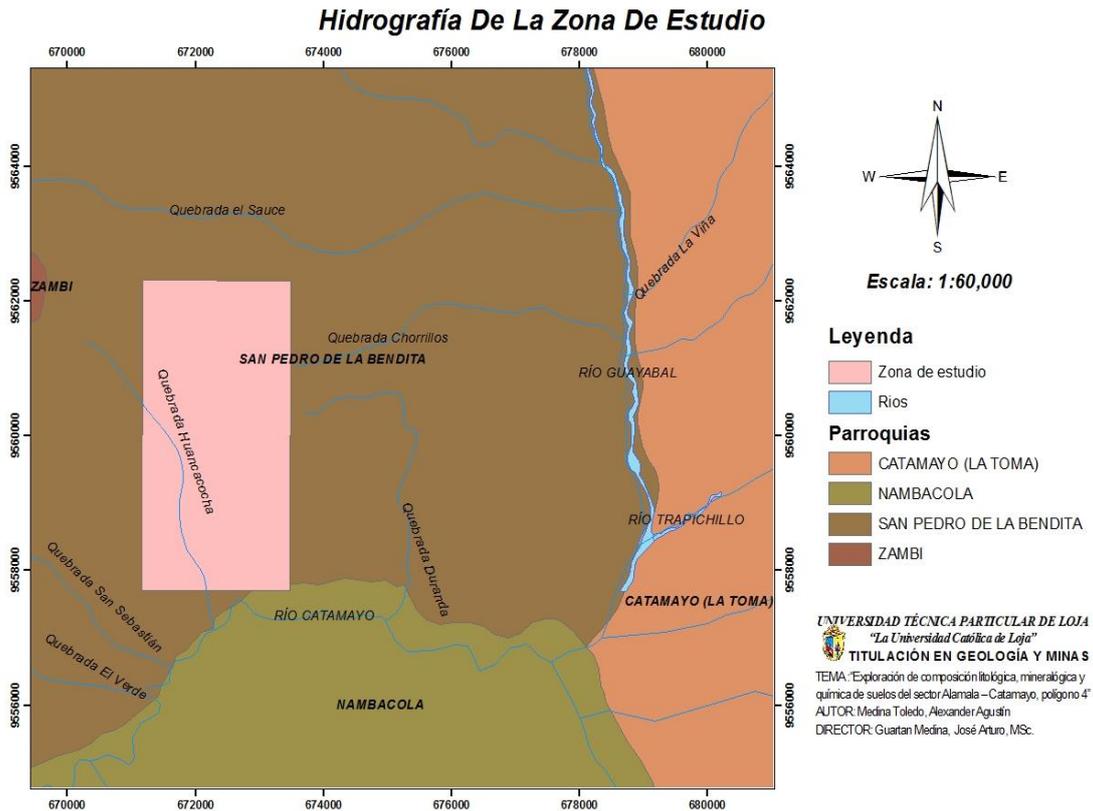


Figura 4. Red hidrográfica de la zona de estudio.
Fuente y elaboración: El autor

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO

Marco teórico.

Para obtener un mejor entendimiento de la investigación exploratoria – geoquímica realizada en el sector Alamala – Catamayo, en este capítulo se resume algunos conceptos teóricos.

3.1 Estadística.

Es la ciencia de la sistematización, recogida, ordenación, y presentación de los datos referentes a un fenómeno que presenta variabilidad o incertidumbre para su estudio metódico con objeto de deducir las leyes que rigen esos fenómenos y poder hacer previsiones sobre los mismos, tomar decisiones u obtener conclusiones (Salinas, 2010).

3.2 Geoestadística.

La geoestadística es una rama de la Geografía matemática, comprende un conjunto de herramientas estadísticas y probabilidades que sirven para analizar y estimar fenómenos espaciales o temporales, es decir, que se extienden en el espacio y presenta una continuidad (Journel & Huijbregts, 1978).

3.3 Datos composicionales.

Los datos composicionales describen las partes de un todo que deben ser igual o menor a un total (1, 100%, etc.), se presentan en forma de vectores, proporciones, porcentajes, concentraciones químicas etc. En geología trabajar con base de datos composicionales es algo muy común, representan componentes de modelos geológicos como composición mineralógica, facies, elementos químicos de suelos y rocas, entre otros análisis geoquímicos (Aitchison, 2010).

3.4 Muestreo FOREGS.

Consiste en la extracción de muestra superficiales de suelo y roca de forma sistemática, se establece un mallado de muestreo de 1 km² y se toma la muestra en cada vértice de un pentágono, el mallado de muestro dependerá del área a muestrear y de la exactitud y representatividad que se quiere conseguir. Las posiciones de las tomas de muestras deben localizarse previamente en un mapa (Salminen, et al., 1998).

3.5 Fluorescencia de Rayos – X.

La Fluorescencia de rayos X es un método de análisis elemental no destructivo de alta precisión que permite estudiar cualquier compuesto químico a través de la radiación X generada por una muestra al ser excitada con rayos X emitidos por una fuente de rayos (Meléndez & Camacho, 2009).

3.6 Difracción de Rayos – X.

La difracción de rayos X es un análisis mineralógico cuantitativo y cualitativo de alta tecnología no destructivo, que consiste en la dispersión de las ondas cuando se interaccionan con una fase cristalina de cualquier tipo de material. Este tipo de análisis se aplica en: fluidos, metales, minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, productos farmacéuticos, recubrimientos de capa fina, cerámicas y semiconductores (Skoog, Holler, & Nieman, 2001).

3.7 Análisis estadístico.

3.7.1 Nubes de dispersión.

Nube de dispersión o diagrama de dispersión, consiste en una representación gráfica para analizar la relación que existe entre valores de dos variables para un conjunto de datos, se emplea coordenadas cartesianas donde; X_i es la variable independiente que va en el eje de las abscisas, la otra Y_j es la variable dependiente, se coloca en el eje de las ordenadas y los pares (X_i, Y_j) se representa como una nube de puntos (Departamento de Sociología de la Universidad Complutense de Madrid, 2001).

3.7.2 Diagrama de caja y bigotes.

Diagrama de caja o gráfica de la caja es un gráfico cuya función es determinar simultáneamente varias características importantes de un conjunto de datos, como el centro, la dispersión, la desviación de la simetría, y la identificación de puntos atípicos. En esta gráfica representan los tres cuartiles, los datos mínimos y máximos en una caja rectangular alineada en un sentido horizontal o vertical y el bigote o línea se desarrolla en cada extremo de la caja (Montgomery & Runger, 2008).

3.7.3 Coeficiente de correlación.

La correlación es una técnica estadística que permite determinar la relación entre dos o más variables. Dada dos variables X e Y, existe una correlación positiva cada vez que aumenta el valor X y aumenta proporcionalmente el valor de Y o una correlación negativa cada vez que aumenta el valor de X disminuye en igual proporción el valor de Y. El grado de correlación se mide con el coeficiente de correlación que puede variar desde -1.00 hasta 1.00 , se dice que para la correlación de proporcionalidad directa o positiva se establece con los valores 1.00 y de proporcionalidad inversa o negativa, con -1.00 . No existe relación entre las variables cuando el coeficiente es de 0.00 (Ramón, 1977).

3.8 Mapa geoquímico.

El mapa geoquímico es una representación de la distribución espacial de elementos químicos incluidos en las rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas), suelo, sedimentos y agua. Generalmente, los resultados obtenidos para cada elemento están graficados separadamente, pero puede ser posible que incluya los resultados para algunos elementos en el mismo plano con símbolos apropiados, siendo en algunas ocasiones muy conveniente ya que facilita a los geoquímicos en la interpretación de los datos (Sol, Navarro, & Guerrero, 1996).

3.9 Background o fondo geoquímico.

El background o fondo es definido como el rango normal de concentración de un elemento o elementos en un área, excluyendo las muestras mineralizadas. Los valores del background pueden ser determinados para cada elemento, para cada área y para cada tipo de muestra (roca, suelo, sedimento y agua). Para determinar los valores del background en un área, se requiere de relativamente un gran número de muestras de materiales que son analizadas geoquímicamente (Caranqui, 2013).

3.10 Umbral.

Geológicamente se considera que es el límite superior de las fluctuaciones de background o fondo dependiente de los coeficientes de desviación, y del nivel medio de concentración. Los valores iguales o más altos que el umbral se consideran anómicos y se define como la abundancia por encima de lo normal de un elemento en un ambiente que no le corresponde o dentro de una asociación o provincia geológica (Caranqui, 2013).

3.11 Anomalía geoquímica.

Una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico. Una anomalía se expresa por medio de números, que se puede separar de un grupo más amplio de números constituyendo el fondo geoquímico. Para ser detectada una anomalía tiene que desviarse claramente de este fondo (Bates & Jackson, 1984).

CAPITULO IV
GEOLOGÍA REGIONAL Y ESTRUCTURAS

4.1 Geología regional.

Dentro de la geología regional tenemos que los Andes Ecuatorianos forman parte del segmento de los Andes Septentrionales y se encuentran ubicado al Norte de la Deflexión de Huancabamba (Gansser, 1973) generados por la acreción de terrenos alóctonos contra el margen Pacífico Ecuatoriano, durante el Cretácico Tardío al Paleógeno (Feininger, T. & Bristow, 1980).

Los Andes Ecuatorianos constan de dos cadenas paralelas N-S, destacadas por el Valle Interandino. La Cordillera Real al Este consta de rocas metamórficas Paleozoicas y Mesozoicas y la Cordillera Occidental en el Oeste de los volcanes del Cretácico a Neógeno. Hacia el Sur de los Andes en el Zona Interandina son características varias Cuencas sedimentarias Intramontañosas se desarrollaron durante el Neógeno: Cuenca, Cañar, Girón-Santa Isabel, Nabón, Loja, Vilcabamba- Malacatos, Catamayo-Gonzanamá, Quingeo, Playas y Zumba, en los límites de la región tectónica austral.

El desarrollo de las Cuencas empezó alrededor del Tortonense (9.5 Ma), con un fenómeno de inversión de Cuenca debido a procesos compresivos en sentido E-W que deformaron a las series iniciales del relleno de Cuencas. Los depósitos más jóvenes sobreyacen discordantemente a los anteriores, pero todavía muestran ligera deformación. Estos depósitos fueron formados en pequeños y distintos ambientes continentales (sedimentos fluviales, aluviales y lacustres), teniendo como fuente de aporte la creciente Cordillera Occidental.

La zona de estudio se encuentra ubicado dentro de la Cuenca Catamayo, conformado al Este por rocas metamórficas de edad Devónica a Pérmica, correspondientes a la Unidad Chiguinda, cuerpos intrusivos pertenecientes al Pórfido de Purunúma del Eoceno (?) según (Kennerley J. B., 1973) depósitos de rocas sedimentarias de las formaciones Catamayo de edad Mioceno Medio y al Oeste por secuencias volcánicas y volcanosedimentarias de composición intermedia a ácida de la Unidad Guayabal de edad Oligoceno Superior - Mioceno Inferior, y por Volcánicos Tambo Blanco de edad Mioceno Inferior.

La cuenca de Catamayo, a diferencia de las otras cuencas se formó a partir del Oligoceno, separada de las otras por la acción de la falla regional Las Aradas-Frente Baños que se extiende con dirección N-S (Aspden et al., 1992), y que desarrolla depresión tipo graben que se extiende hacia el S con el Perú . Se encuentra rellena por depósitos volcánicos que se extienden hacia el Sur y Oeste, seguidamente fueron

cubiertos por depósitos continentales y volcánico – detríticos probablemente lacustres y parcialmente marinos, datados entre 20 y 25 Ma (Tamay et al., 2015).

Es importante mencionar que las rocas que predominan en la zona de estudio son secuencias volcánicas y volcánico – sedimentarias correspondientes a la Unidad Guayabal.

Litoestratigrafía:

- U. Chigüinda
- Fm. Chaguarpamba
- Unidad Changaimina.
- U. Guayabal
- Volcánicos Tambo Blanco
- Fm. Catamayo
- Rocas intrusivas Dioritas

4.1.1 Unidad Chigüinda (Paleozoica).

Esta Unidad domina la parte Sur de Cordillera Real, antiguamente la denominaban serie Zamora, se encuentra flanqueada hacia el Oeste por meta granitos de Tres Lagunas y hacia el Este por migmatitas de Sabanilla y esquistos del Upano. La Unidad forma parte de un cinturón de varios kilómetros de ancho ubicado al Sur de la Cordillera, se asume que se deriva de una cuenca intercratónica, además se la considera similar a las rocas Carboníferas y Devónicas de la Depresión Perú – Bolivia (Litherland, et al., 1994). La Unidad Chiguinda está constituida por rocas de metamorfismo bajo como filitas, esquistos sericíticos - cuarcíticos, cuarcitas, y por grado de metamorfismo alto por rocas como metagranitos, gneises, gneises graníticos y migmatitas (Hungerbühler, 1997). La potencia de esta unidad no es conocida, pero se presume que es de centenares de kilómetros de profundidad (Litherland, et al., 1994).

4.1.2 Unidad Chaguarpamba (Cretácico).

Según el INIGEMM (2013a), los principales afloramientos se encuentran en la carretera San Pedro de la Bendita - Las Chinchas – Zambí y en la margen derecha del río El Arí (UTM: 677088 E; 9579317 N). Consiste de una secuencia de sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas. En el sector de Zambí aflora una secuencia rítmica formada por lutitas verdes, limolitas café verdosas y areniscas de grano fino color gris. Está considerada como las facies distales de la Unidad Bramaderos y se le atribuye al Cenomaniense (INIGEMM, 2017).

4.1.3 Unidad Changaimina. (Paleoceno - Mioceno).

Según el INIGEMM (2013b) se encuentra aflorando en los márgenes en los márgenes del río Catamayo (UTM: 672072 E; 9557055 N). Está conformado por lavas andesíticas básicas de color gris verdoso, con textura afanítica a subporfírica. La edad atribuida para esta unidad se basa en dataciones realizadas por Hungerbühler (1997) en una muestra de lava, datada de 66,9 Ma \pm 5,8 Ma (INIGEMM, 2017).

4.1.4 Unidad Guayabal (Oligoceno - Mioceno).

La Unidad Guayabal se la define como una secuencia volcanoclástica de composición intermedia a ácida. Los principales afloramientos se localizan en la carretera Catamayo - San Pedro de la Bendita - Las Chinchas. Está conformada principalmente por lavas andesíticas afaníticas y tobas de colores grises intercaladas con tobas riolíticas de color blanquecino (INIGEMM, 2017).

4.1.5 Volcánicos Tambo Blanco (Mioceno Inferior).

Exhiben rocas volcánicas y subvolcánicas atribuido a uno de los eventos del Grupo Saraguro. En estudios anteriores fueron considerados como parte de la Formación Tarqui (Kennerley & Almeida, 1975). Están expuestos al noreste del área, en el corte del sector Oñacapa al cerro Tambo Blanco (700964 E; 9589495 N) y en la parte baja del contrafuerte Sordomoras (709239 E; 9588937 N). Están constituidos por depósitos piroclásticos que incluyen tobas, tobas de cristales y brechas clasto soportadas y matriz soportadas. Se destacan morfológicamente remanentes de calderas, cuellos volcánicos y domos de composición dacítica a riodacítica (INIGEMM, 2017).

4.1.6 Formación Catamayo (Mioceno Medio).

Según (Jaillard et al., 1996) al Sur del pueblo Catamayo, la Formación Catamayo sobreyace discordantemente a la Unidad Gonzabal y subyace discordantemente a los flujos laharíticos de la Unidad Infiernillo. La Formación está comprendida en la parte inferior por pizarras, areniscas y calizas de menor importancia, con abundantes venas de yeso, la parte central es rica en areniscas gruesas y conglomerados, y la parte superior es nuevamente dominada por pizarras, areniscas más finas e intercalaciones de caliza. Los clastos volcánicos prevalecen en las secuencias inferiores y medias mientras que en la parte superior se encuentra extendidos fragmentos de rocas metamórficas. Las interpretaciones de facies de (Jaillard et al., 1996) sugirió que las llanuras sabkha (en la parte inferior), fluviales (en la parte media) y llanuras costeras con incursiones marinas (en la parte superior). El espesor de la formación es de aproximadamente de 400 m de espesor.

4.1.7 Roca Intrusiva Diorita.

Según el INIGEMM son intrusiones jóvenes que afloran localmente en la zona noroccidental del sector Alamala – Catamayo. Presentan textura fanerítica de grano fino a medio, con plagioclasa, hornblenda y a veces piroxeno (INIGEMM, 2017).

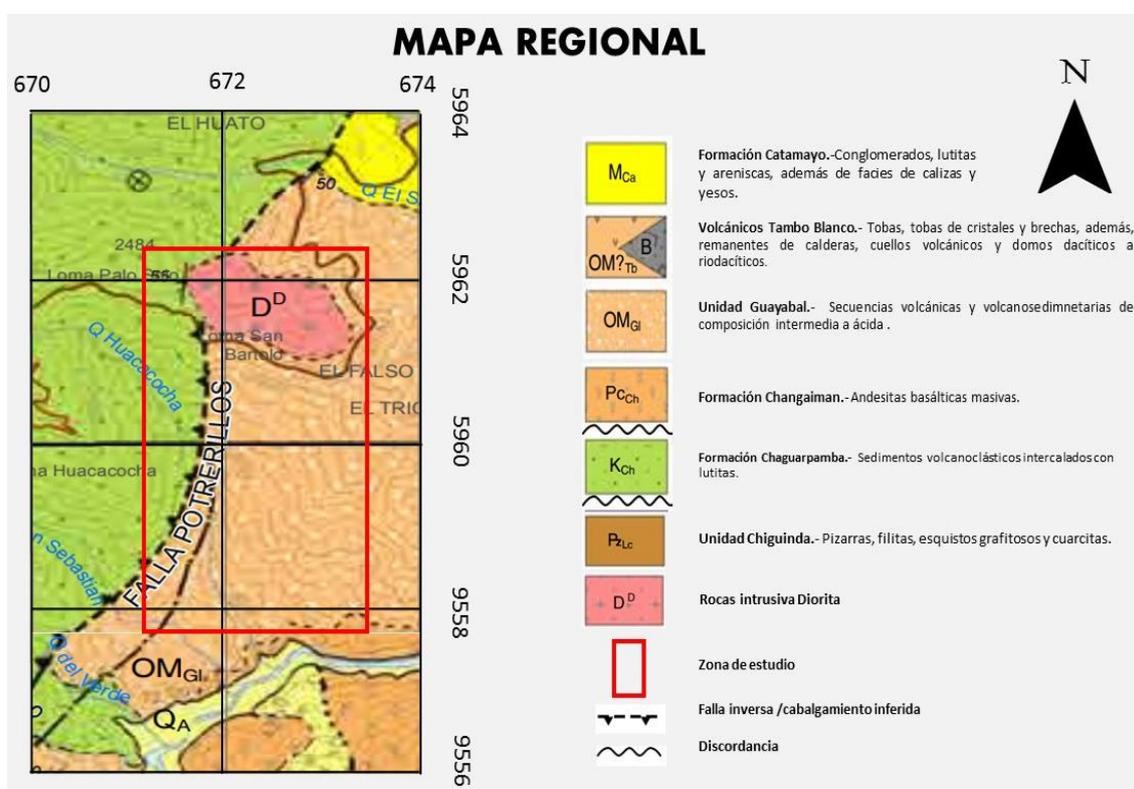


Figura 5. Mapa geológico regional del sector Alamala – Catamayo.

Fuente: INIGEMM 2017

Elaboración: El autor.

4.2 Estructuras regionales.

La cuenca Catamayo se encuentra en los dominios litotectónicos Olmos – Loja correspondientes a terrenos de naturaleza autóctona y alóctonos de la Cordillera Real, consiste en rocas metamórficas con sentido de orientación NNE–SSW, desarrollados en diferentes ambientes y separados por grandes sistemas de fallas regionales (Litherland, Aspden, Jemielita, & Survey, 1994). La cuenca de Catamayo se separó de las otras cuencas por la falla regional Las Aradas a partir del Oligoceno que se extiende con dirección N-S (Aspden, et al., 1992).

4.2.1 Falla Frente de Baños - Las Aradas.

La acción de la falla regional Frente de Baños - Las Aradas de separar a Catamayo de las otras Cuencas genero el desarrollando de esta en una cuenca tipo Pull apart con dirección NW-SE (Aspden, et al., 1992), limitado al Oeste de la cuenca por la falla oculta

del Río Guayabal que se encuentra cubierta por sedimentos y depósitos fluviales cuaternarios, al Este de la cuenca por la falla Algarrobera.

La falla Frente de baños separa los terrenos Alao y Loja, es manifestada en el campo como la mayor zona de cizallamiento NNE-SSW dentro de las rocas metamórficas. La estructura se observó por primera vez cerca de Baños al Norte del país y al sur seguidamente en el sector las Aradas donde formaría el graben Oriental de la zona (Eguez, Alvarado, Yepes, Machette, & Dart, 2003).

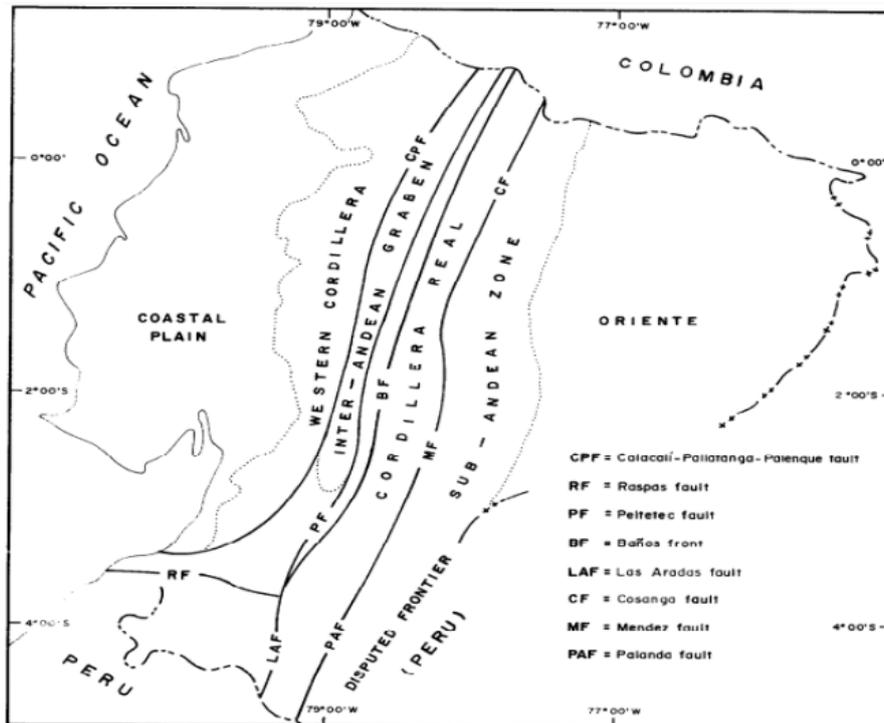


Figura 6. Principales fallas y rasgos morfológicos del Ecuador.
Fuente: (Aspden, 1992)
Elaboración: El autor.

4.2.2 Falla La Toma (N-S).

Se relaciona con la formación de la cuenca del Catamayo y forma su límite occidental. Es una estructura tipo inversa con un buzamiento hacia el Oeste se encuentra asociada algunas ramificaciones, probablemente esta falla se asocia al sistema de falla Las Aradas que se extiende hacia el Sur. Las rocas volcánicas Neógenas parecen estar elevadas en el lado Oeste. Geomorfológicamente la falla forma escarpes y drenajes irregulares su extremo sur. La falla posee una longitud de 21.7 km y el tiempo más reciente de movimiento es aproximadamente hace 1.6 Ma (Eguez et al., 2003).

4.2.3 Falla Potrerillos.

Es una estructura tipo Falla inversa de cabalgamiento inferida con una dirección NE-SO, pone en contacto los sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas de la Unidad

Guayabal de edad Oligoceno – Mioceno con las secuencias volcánicas y volcano - sedimentarias de la formación Chaguarpamba de edad Cretácica. La falla Potrerillos ha sido parte del control y desarrollo de la cuenca Oligocénica de Catamayo.

CAPÍTULO V
METODOLOGÍA

5.1 Revisión bibliográfica.

La investigación inicia con la recopilación de información disponible en trabajos realizados en la zona de estudio (libros, documentos web, artículos, tesis, fotos áreas, mapas, etc.) con la finalidad de obtener conocimientos necesarios para comprender y crear una base guía sobre la geología y su relación con la composición geoquímica. La información recopilada se relaciona con la geología, geomorfología, estructuras, de tipos de muestreos, exploración geoquímica, entre otros.

5.2 Trabajo de campo.

Se realizó el levantamiento geológico a detalle donde se identificó las unidades geológicas existentes en la zona de estudio, con ayuda de un mapa topográfico y un kit geológico, se procedió a la ubicación y descripción de afloramientos en una libreta de campo detallando el tipo de litología, estructuras, texturas, contexto geomorfológico, dimensiones, orientación, estado de alteración. En el levantamiento geológico se utilizó los siguientes materiales (*Ver Tabla 2*):

Tabla 2. Kit Geológico

Brújula	Equipo navegador GPS (Datum WGS – 84).
Carta topográfica escala 1:15000,	Martillo geológico
Libreta de campo	Cámara fotográfica
Lupa	Lápiz
Graduador	Escalímetro
Pinturas	

Fuente y elaboración: El autor

5.2.1 Trabajo de gabinete.

Con el trabajo de gabinete interpretamos la información geológica obtenida de campo y se procedió a elaborar el mapa geológico – estructural a escala 1: 15000, utilizando el software Arcgis 10.2. El levantamiento geológico obtenido puede ayudar en proyectos de ordenamiento territorial de las entidades públicas o privadas de la parroquia San Pedro de la Bendita.

5.2.2 Toma de muestras.

La toma de muestras en el sector Alamala – Catamayo se ejecutó mediante el método FOREGS (Salminen et al., 1998) de muestreo, con ayuda de un mapa topográfico de la zona y un equipo navegador GPS se recolectó las muestras, georreferenciando los puntos de muestreo mediante el Datum WGS – 84.

Se diseñó un mallado de muestro para la toma del suelo superficial, con el objetivo de disminuir la variabilidad de suelo, se las recoleto cada 1 km² aproximadamente, se obtuvo una muestra compuesta de 2 kg a partir de cinco núcleos de suelo recogidos en forma de pentágono con un espaciado de 10 cm aproximadamente, se quitó unos centímetros la capa superior de suelo para evitar cualquier alteración producto de las actividades antrópicas. Las muestras se tomaron a profundidades de entre 20 a 40 cm utilizando un tubo muestreador (*Ver figura 7*). En cuanto a las muestras de rocas esta se recoleto de acuerdo con el tipo de litología que se encontró en la zona de estudio. Cada muestra fue georreferenciada, enfundada y etiquetada para el posterior análisis químico en el laboratorio. Se tomó fotografías como evidencia del trabajo realizado en campo.



Figura 7. Toma de muestra de suelo de la zona de estudio: a) Colocación del tubo muestreador. b) Extracción del tubo muestreador con muestra de suelo. c) Enfundando y etiquetando la muestra de suelo obtenido. d) Pentágono del muestreo de suelo realizado.

Fuente y elaboración: El autor.

5.3 Preparación de muestras.

La preparación de las muestras tanto físicas y químicas se las ejecutó de acuerdo con el siguiente flujograma (*Ver Figura 8*) donde se indica el procedimiento a las que fueron sometidas las 15 muestras de suelo como las muestras de roca de la zona de estudio.

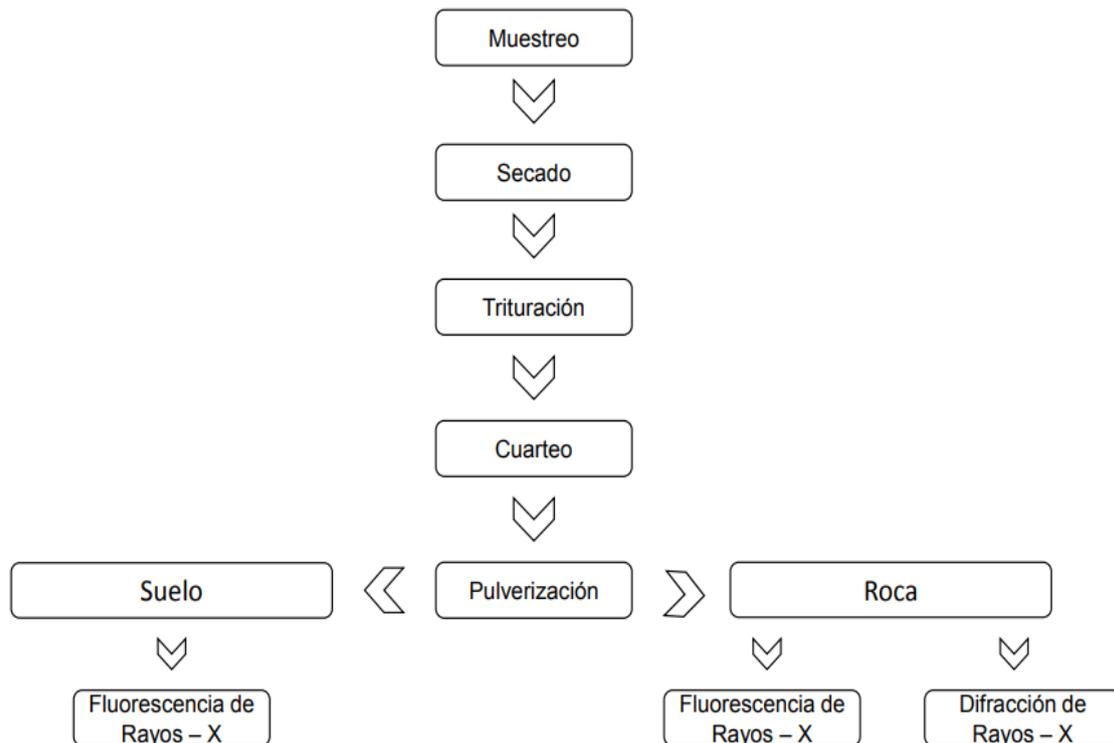


Figura 8. Flujograma tratamiento de muestras.
Fuente y elaboración: El autor.

5.4 Trabajo de laboratorio.

En los laboratorios del Departamento de Geología y Minas y el Departamento de Química, se realizó los análisis químicos de las muestras empleando ensayos de Fluorescencia de Rayos – X (FRX) y análisis mineralógicos como Difracción de Rayos – X (DRX), mineralogía Macroscópica, con el objetivo de determinar los minerales y elementos químicos que conforma las muestras de suelo y roca de la zona de estudio.

5.4.1 Secado.

Las muestras que se obtienen en campo son previamente ubicadas en un recipiente de vidrio para posteriormente ser llevadas al horno y colocarlas en el interior de la estufa, con el propósito de secarlas a temperaturas 105° C en un tiempo de un día (24 horas).



Figura 9. Secado de muestras a 105° C.
Fuente y elaboración: El autor.

5.4.2 Trituración.

La trituración consiste en la fragmentación de muestras sólidas con la finalidad de disminuir el tamaño de las partículas de dichas muestras. Seleccionada la muestra seca para los análisis químicos se procede a colocarla en la trituradora de mandíbulas, es importante evitar la contaminación con las muestras trituradas anteriormente.

Pasos para la trituración de muestras solidas:

- Limpieza total de la trituradora de mandíbulas para evitar riesgos de contaminación.
- Fragmentar los bloques o muestras de solidos con tamaño < 10 cm, para facilitar la introducción del material en la máquina trituradora.
- El resultado de la muestra triturada se la recepta en la bandeja que se ubica bajo la máquina trituradora, posteriormente es recogida para su respectivo cuarteo y homogenización.



Figura 10. Trituradora de Mandíbulas Restch: a) Colocación de muestra de suelo. b) Extracción de la muestra triturada.
Fuente y elaboración: El autor.

5.4.3 Cuarteo.

El cuarteo de una muestra tiene como propósito obtener alícuotas o micro-muestras representativas de una muestra. Para el proceso de cuarteo utilizamos el cuarteador tipo Rifle consta de una tolva dividida en comportamientos en forma de caída y consiste en colocar la muestra triturada en el cuarteador, esta desemboca en dos cajones laterales, la muestra del primer cajón desechamos mientras que la muestra del segundo vertimos en la parte superior, repetimos el procedimiento alternado los cajones hasta obtener una micro-muestra representativa para la pulverización.



Figura 11. Colocación de muestra en el cuarteador tipo Rifle.
Fuente y elaboración: El autor.

5.4.4 Pulverización.

La pulverización consiste en moler o disgregar muestras minerales hasta lograr un tamaño de partículas inferiores a $75\ \mu$, el tamaño será de acuerdo a los fines en que se someterá dicha muestra.

El equipo empleado para pulverización de las muestras es rotatorio de anillo, consta de dos anillos ubicados dentro de una olla de acero aleado, el tamaño máximo del material a moler es de unos 250 ml, es importante evitar la contaminación de las muestras para ello se limpia los anillos y la olla con aire de presión y en excepciones se usa arena sílicea para eliminar la muestra que se pega en las paredes de los anillos y olla, de esa manera se queda descontaminados totalmente (TECSUP, s.f.).



Figura 12. Colocación de la muestra en el pulverizador rotatorio de anillo.
Fuente y elaboración: El autor.

5.4.5 Fluorescencia de Rayos – X.

La Fluorescencia de Rayos – X es un análisis químico de espectrometría atómica, no es destructiva que permite la identificación cualitativa y cuantitativa de los analitos o compuesto químicos (Meléndez & Camacho, 2009).

Las muestras fueron analizadas mediante el equipo portátil de Rayos-X S1 TURBO ^{SD} marca Bruker modelo S1, utilizando el método de medición *Mining Light Elements*.

Procedimiento:

- Se homogenizaron las muestras.
- Se encendió el equipo portátil y seleccionamos el método a utilizar.
- Se colocó la muestra en un recipiente propio del equipo portátil y se lo ubicó en el espectrómetro de Fluorescencia de Rayos - X.

- Se realizó el análisis químico y se espera algunos minutos, luego se observa los resultados en la pantalla.
- Los resultados obtenidos se almacenan en la memoria del equipo y se los extrae a través de un USB.



Figura 13. Equipo de Fluorescencia portátil de Rayos-X S1 TURBO^{SD}.
Fuente y elaboración: El autor.

5.4.6 Difracción Rayos – X.

Difracción de Rayos – X es un análisis mineralógico no destructivo, permite la caracterización cualitativa como cuantitativa de estructuras cristalinas de cualquier tipo de material. Se basa en interferencias ópticas que se genera cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación (Skoog et al., 2001).

Para corroborar la petrología y mineralogía de la zona de estudio se utilizó el equipo de Difractometría de Rayos X D8 ADVANCE ECO marca Bruker, para este proceso las muestras deben estar pulverizadas y la interpretación de los valores se realiza con el software Eva Difracplus y Topas. El procedimiento del análisis mineralógico lo realiza personal capacitado y calificado del Departamento de Química.



Figura 14. Equipo de Difractometría de Rayos – X D8 ADVANCE ECO.
Fuente y elaboración: El autor.

5.4.7 Análisis Petrológico.

A través de las propiedades físicas y químicas se pudo identificar los minerales de las muestras de rocas, se lo realizó utilizando: stereo zoom microscope, ácido clorhídrico, rayador, placa de porcelana, imán.



Figura 15. Análisis petrológico.
Fuente y elaboración: El autor

CAPÍTULO VI
RESULTADOS DE CAMPO

6.1 Geología local.

Dentro del levantamiento geológico desarrollado en el sector Alamala – Catamayo mencionamos la descripción detallada de los afloramientos y la toma de datos estructurales que son elementos fundamentales para la correlación e interpretación de los contactos litológicos de las diferentes Unidades geológicas.

La zona de estudio está conformada principalmente por secuencias volcánicas correspondientes a: andesitas, pórfidos andesíticos, tobas riolíticas, aglomerados y por secuencias volcanosedimentarias intercalados con lutitas.

6.1.1 Rocas ígneas.

6.1.1.1 Unidad Guayabal.

Afloran secuencias volcánicas que se deposita en gran parte de la zona de estudio, se encuentra compuesto por relieves altos de cimas redondeadas o subredondeados. Se observan afloramientos de andesitas, pórfidos andesíticos, tobas de composición riolítica y aglomerados.

Al margen Noreste y parte del Sur en las coordenadas UTM X= 673293, Y= 9561690; y X=671963, Y=9557891 respectivamente de la zona de estudio afloran pórfidos andesíticos como producto de efusiones de lava consolidadas, muy diaclasados por intemperismo mecánico. Se caracterizan por ser de composición intermedia, presenta una tonalidad verde a gris verdoso, muestran impregnaciones de pirolusita, textura porfídica y matriz afanítica con muchos fenocristales de plagioclasa y de anfíboles. Se visualiza en algunos afloramientos vetillas de calcita.



Figura 16. Afloramiento de composición volcánica: a) Pórfido andesítico con fenocristales de plagioclasa y anfíboles.
Fuente y elaboración: El autor

En la cima de la loma San Bartolo en las coordenadas UTM X= 672795, Y= 9561150 afloran tobas de composición riolítica con textura piroclástica, presenta una tonalidad de color crema a rosado.



Figura 17. Afloramiento de composición volcánica: a) Toba de composición riolítica.

Fuente y elaboración: El autor.

En la parte céntrica de la zona de estudio en las coordenadas UTM X= 672459, Y= 9560185 se encuentran aflorando rocas andesíticas de textura afanítica mantienen una composición intermedia, su tonalidad en superficie fresca es crema y en superficie alterada es de color verdoso - rojizo, muestra impregnaciones de pirolusita, superficialmente presenta vetillas de calcita.

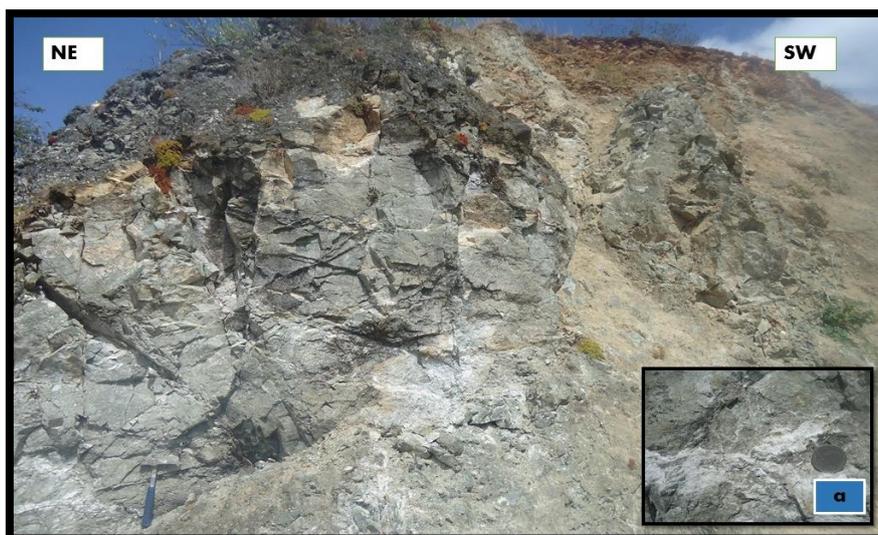


Figura 18. Afloramiento de composición volcánica: a) Andesita
Fuente y elaboración: El autor

En el margen Sureste en las coordenadas UTM X= 673009, Y=9559361 se puede observar aglomerados volcánicos de tonalidad anaranjado – rojizo a consecuencia de la oxidación, presenta una matriz arenosa con clastos redondeados y angulosos de tamaño variado que oscila entre 5 a 10 cm de diámetro, los clastos volcánicos son de, andesitas, pórfido andesítico y tobas.



Figura 19. Afloramiento presenta dos litologías: a) Aglomerado con clastos volcánicos. b) Pórfido andesítico con fenocristales de plagioclasa y anfíbol.
Fuente y elaboración: El autor

6.1.1.2 Unidad Changaimina.

En el margen del Río Guayabal en las coordenadas UTM X= 672358, Y=9557887 afloran Andesitas basálticas masivas de tonalidad crema a verde grisáceo, es de textura afanítica y presenta impregnaciones de pirolusita.



Figura 20. Contacto litológico entre la Unidad Changaimina y la Unidad Guayabal.
a) Andesita basáltica masiva. b) Pórfido andesítico.
Fuente y elaboración: El autor

6.1.2 Rocas sedimentarias.

6.1.2.1 Unidad Chaguarpamba.

En el margen Noroccidental vía a las Chinchas en las coordenadas UTM X= 671562, Y= 9561585 se exhiben sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas. Las lutitas presentan una orientación N20°W e inclinadas N25°E, es una roca detrítica presenta tonalidad amarillenta debido a la presencia de un ambiente de oxidación y algunos afloramientos afloran rocas de tonalidad negra debido a la presencia de materia orgánica, son de grano fino con una textura clástica.



Figura 21. Afloramiento de composición sedimentaria. a) Lutitas.
Fuente y elaboración: El autor.

6.1.3 Rocas Intrusivas.

Dioritas son intrusiones jóvenes, afloran al Norte de la zona de estudio en las coordenadas UTM X= 672010, Y= 9562050 presenta una textura fanerítica de grano fino a medio, característico por presentar minerales como plagioclasas, hornblenda y piroxeno.



Figura 22. Rocas intrusivas dioritas.
Fuente y elaboración: El autor.

6.2 Geología estructural.

En base al mapa geológico local (*Ver Figura 23, pag.38*) y fotografías aéreas del sector Alamala – Catamayo se identificó una falla de tipo inversa de cabalgamiento inferida denominada Potrerillos, presenta una orientación NE-SO y ha influido en la división de los sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas de la Unidad Guayabal de edad Oligoceno – Mioceno con las secuencias volcánicas y volcano - sedimentarias de la Unidad Chaguarpamba de edad Cretácica, esta interpretación se puede corroborar en la hoja geológica de Loja, 2017 (*Ver Figura 5, pag.20*).

6.3 Mapa geológico local.

MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

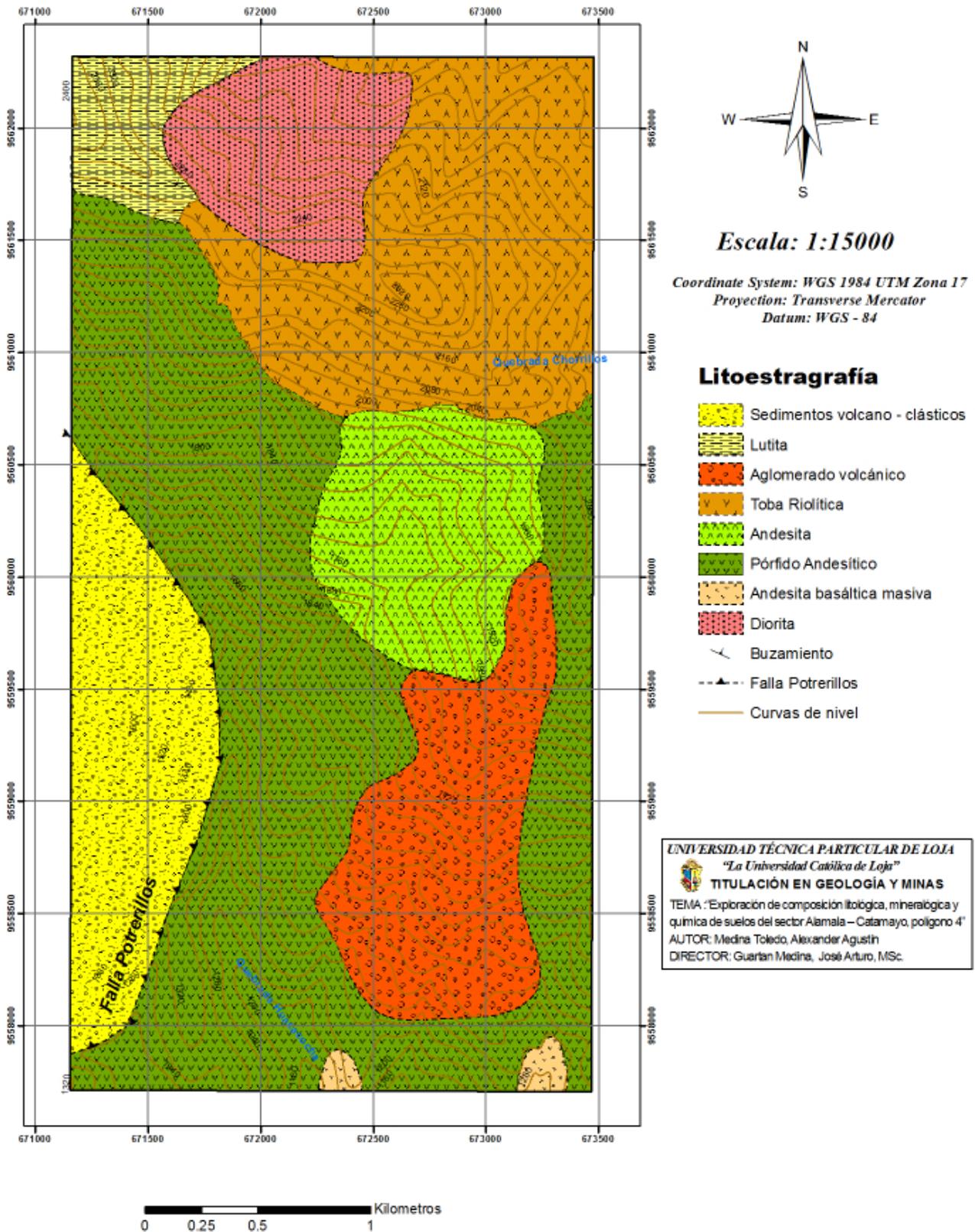


Figura 23. Mapa Geológico Local.
Fuente y elaboración: El autor

6.4 Análisis mineralógico.

Se recolectaron 15 muestras de suelo del sector Alamala – Catamayo los cuales se indica en el mapa de puntos de muestreo (Ver Figura 24).

MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO

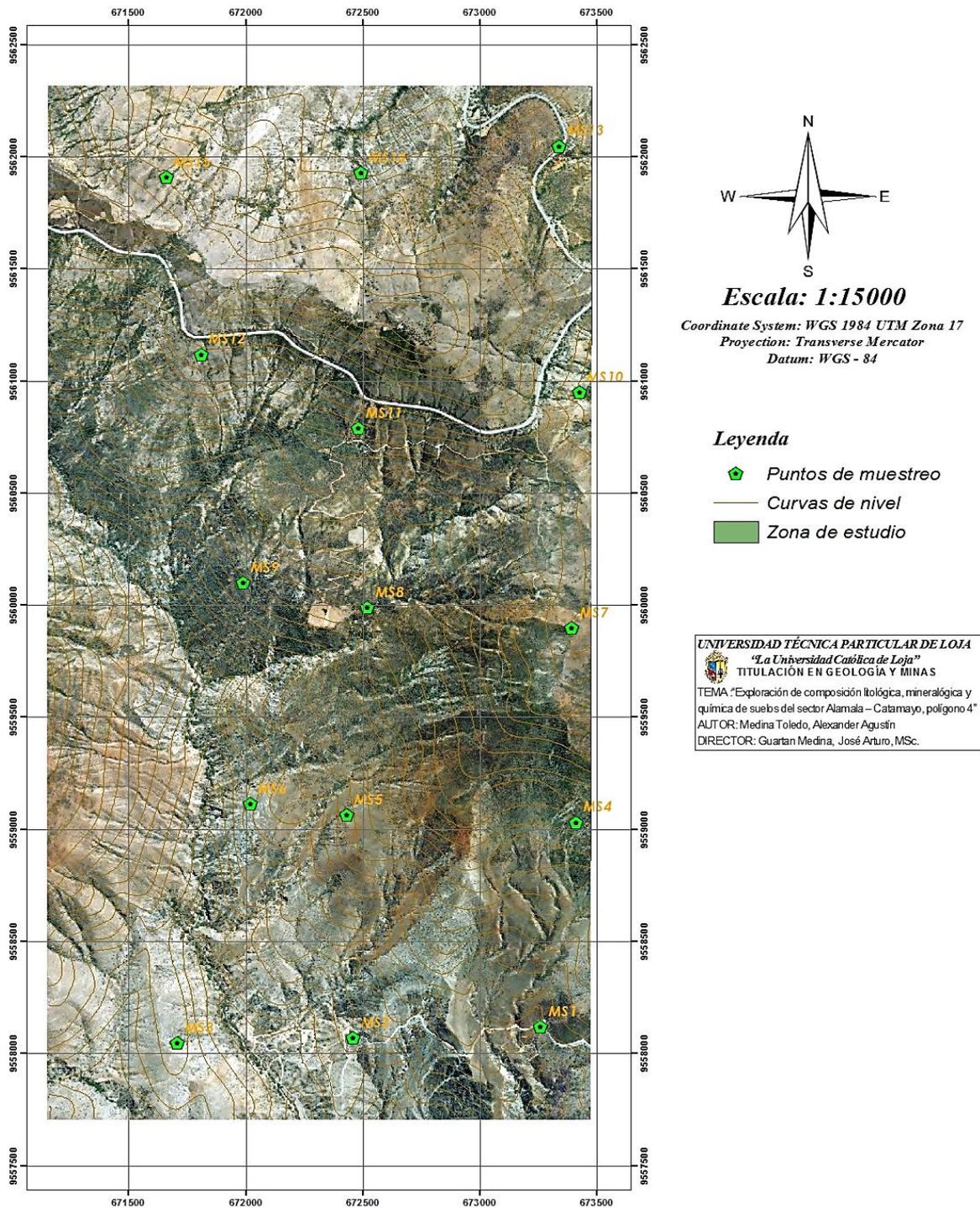


Figura 24. Mapa de puntos de muestreo.
Fuente y elaboración: El autor.

Mediante el análisis macroscópico y la interpretación mineralógica se pudo identificar las siguientes tipo de litologías en el sector Alamala – Catamayo: Andesita basáltica masiva, diorita, pórfido andesítico, andesita, aglomerado volcánico, toba riolítica, lutita.

Para determinar la composición de los minerales existentes en la zona de estudio se empleó el análisis de Difracción de Rayos – X.

6.4.1 Difracción de Rayos – X.

Se realizó Difracción de Rayos – X en muestras de las litologías existentes en la zona de estudio con el objetivo de lograr una mejor caracterización mineralógica.

El análisis e interpretación de los resultados obtenidos se muestran en los diferentes difractogramas:

6.4.1.1 Análisis difractograma Muestra 1.

Basados en el análisis mineralógico de Difracción de Rayos X la muestra 1 corresponde a una roca volcánica denominada andesita compuesta por minerales silicatados como: cuarzo, andesina, hornblenda, clorita, biotita, esta roca pertenece a la Unidad Guayabal compuesta por ser secuencias volcánicas. El difractograma de la muestra 1 (*Ver Figura 25*) con los minerales identificados se indica a continuación:

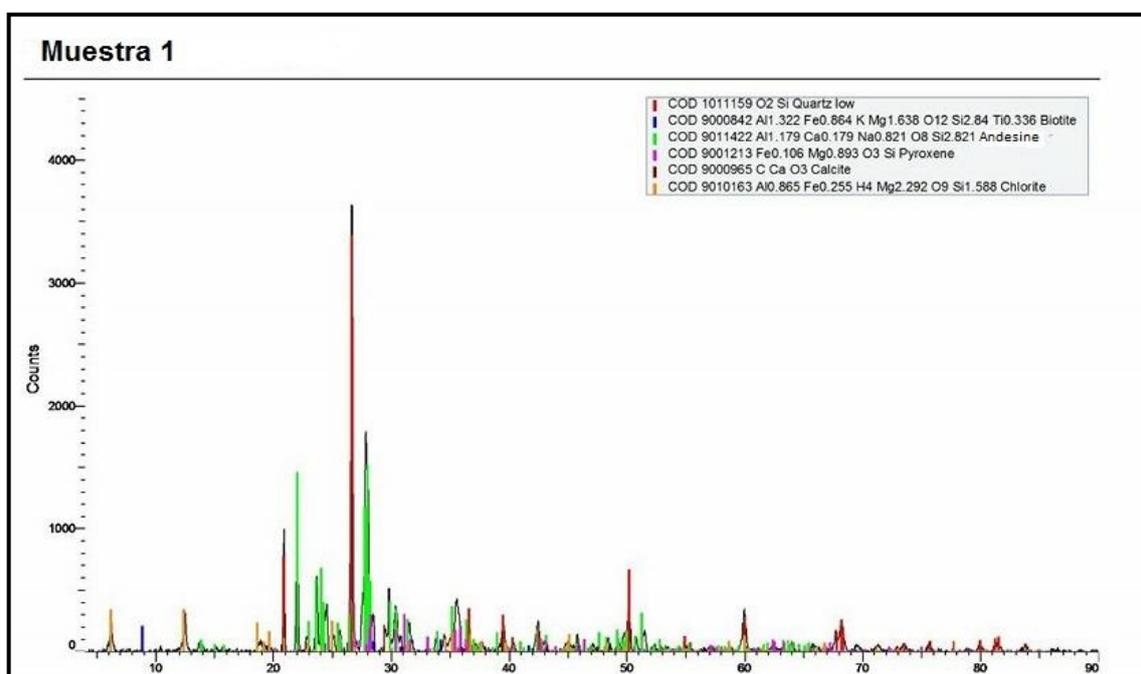


Figura 25. Difractograma de la muestra 1.
Fuente y elaboración: El autor.

6.4.1.2 Análisis difractograma Muestra 2.

Mediante el difractograma de la muestra 2 se definió el tipo de roca de composición volcánoclastica nombrada como toba riolítica, compuesta principalmente por cuarzo, sanidina, plagioclasas, augita, biotita y leucita. Esta roca corresponde a la Unidad Guayabal caracterizado por rocas volcánoclasticas. Los minerales identificados de la muestra 2 se observan en el difractograma (*Ver Anexo IV, Figura 34, pag.66*).

6.4.1.3 Análisis difractograma Muestra 3.

A través del difractograma de la muestra 3 y mineralogía macroscópica se determinó el tipo de roca de composición andesítica como un pórfido andesítico compuesto por los siguientes minerales: cuarzo, biotita, andesina, piroxeno, calcita, clorita. Pertenece a la Unidad Guayabal. Los minerales identificados se observan en el difractograma de la muestra 3 (*Ver Anexo IV, Figura 35, pag.66*).

6.4.1.4 Análisis difractograma Muestra 4.

En base al difractograma de la muestra 4 se definió la roca de tipo sedimentaria denominada como lutita compuesta principalmente por silicatos y aluminosilicatos como: cuarzo, albita, illita montmorillonita, heulandita. Corresponde a la Unidad Chaguarpamba conformado por una secuencia de sedimentos volcánoclasticos intercalados con lutitas. Los minerales identificados de la muestra 4 se observa en el difractograma (*Ver Anexo IV, Figura 36, pag.67*).

6.5 Análisis químico y resultados estadísticos.

6.5.1 Valores obtenidos por Fluorescencia de Rayos – X.

Las 15 muestras de suelo recolectadas en campo fueron sometidas análisis de Fluorescencia de Rayos - X arrojando como resultado elementos mayoritarios en porcentajes como: Al_2O_3 , SiO_2 , S, K_2O , CaO, TiO_2 , MnO, Fe_2O_3 , (*Ver tabla 3*). Las muestras roca fueron sometidas análisis químico de Fluorescencia de Rayos – X. obteniendo datos composicionales en porcentaje de los siguientes elementos mayoritarios: Al_2O_3 , SiO_2 , S, K_2O , CaO, TiO_2 , MnO, Fe_2O_3 (*Ver Tabla 4*).

Con los valores obtenidos en el análisis químicos Fluorescencia de Rayos – X se realizó un estudio estadístico descriptivo con el objetivo de lograr interpretar la correlación de la geología con las concentraciones elementales y las concentraciones mineralógicas de la zona de estudio. Se empeló gráficas estadísticas como nubes de dispersión, diagramas de cajas y coeficiente de correlación.

Tabla 3. Concentración (%) de elementos mayoritarios de muestras de suelo obtenidos por análisis químico de Fluorescencia de Rayos - X.

Muestras	Al₂O₃	SiO₂	S	K₂O	CaO	TiO₂	MnO	Fe₂O₃
MS 1	18.500	62.000	0.043	1.590	5.440	0.420	0.204	4.670
MS 2	15.800	38.000	0.167	0.587	20.500	0.785	0.224	9.380
MS 3	20.300	52.000	0.308	0.773	5.890	0.902	0.276	10.200
MS 4	15.700	75.000	0.038	0.748	0.790	0.839	0.107	5.370
MS 5	23.000	56.100	0.042	1.570	3.630	0.583	0.117	6.220
MS 6	19.600	54.400	0.056	1.040	6.340	0.745	0.219	8.260
MS 7	10.500	83.400	0.031	0.791	0.853	0.479	0.076	3.540
MS 8	20.200	60.700	0.013	1.370	2.310	0.985	0.209	8.430
MS 9	20.600	59.400	0.029	1.680	2.320	1.130	0.244	8.320
MS 10	18.700	48.100	0.110	1.140	17.300	0.807	0.188	8.850
MS 11	20.300	57.300	0.047	2.100	4.210	0.866	0.224	7.920
MS 12	22.600	61.200	0.000	1.660	1.080	0.732	0.179	7.230
MS 13	22.400	54.500	0.026	2.180	3.190	1.100	0.207	9.800
MS 14	18.100	63.500	0.061	2.150	3.530	0.769	0.205	6.240
MS 15	22.400	56.700	0.000	1.760	0.478	1.020	0.250	10.500

Fuente y elaboración: El autor.

Tabla 4. Concentración (%) de elementos mayoritarios de muestras de rocas obtenidos por análisis químico de Fluorescencia de Rayos - X.

Muestras	Al₂O₃	SiO₂	S	K₂O	CaO	TiO₂	MnO	Fe₂O₃
Pórfido Andesítico	12.900	61.800	0.008	1.040	1.750	0.151	0.153	1.570
Aglomerado	11.900	61.300	0.039	1.040	1.060	0.446	0.104	4.910
Toba Riolita	19.600	76.600	0.020	0.806	0.349	0.271	0.043	0.875
Lutita	15.300	56.300	0.030	2.590	4.360	0.732	0.196	6.050

Fuente y elaboración: El autor.

6.5.2 Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios, muestras de suelo.

El coeficiente de correlación es una medida de relación entre dos variables cuantitativas, este coeficiente puede variar entre -1 para una correlación negativa perfecta y +1 para una correlación positiva perfecta, y en el caso de obtener un valor en 0 indica que no existe relación lineal entre las variables.

En la *Tabla 5* se presenta las correlaciones elementales de las muestras de suelo del sector Alamala – Catamayo, aquellos valores significativos son marcados con tonalidad verde, presenta una tendencia a +1 por lo que se los considera como una correlación positiva. Para la presente investigación exploratoria/geoquímica, los elementos químicos de interés que se les aplicó correlación son los siguientes: Al₂O₃ – K₂O, Fe₂O₃ – TiO₂, CaO – S, MnO – Fe₂O₃.

Tabla 5. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios, muestras de suelo.

	Al_2O_3	SiO_2	S	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3
Al_2O_3	1							
SiO_2	-0.477	1						
S	-0.125	-0.464	1					
K_2O	0.601	-0.010	-0.514	1				
CaO	-0.188	-0.731	0.531	-0.408	1			
TiO_2	0.460	-0.318	0.012	0.277	-0.089	1		
MnO	0.508	-0.665	0.389	0.247	0.224	0.571	1	
Fe_2O_3	0.572	-0.764	0.361	0.098	0.319	0.766	0.784	1

Fuente y elaboración: El autor.

En la *Tabla 5*, se aprecia las correlaciones entre las concentraciones químicas, la correlación positiva entre Al_2O_3 - K_2O , indica la presencia de alteración argílica intermedia en la zona noroccidente de estudio, ya que posee una importante cantidad de *Feldespato K* acompañado con minerales de arcilla, reemplazando principalmente a las plagioclasas intermedias.

Entre la relación CaO – S es una correlación de tipo positiva se evidencia minerales de sulfato como yeso frecuente en rocas sedimentarias, se puede visualizar en forma lenticular o cristales esparcidos en arcillas. La relación Fe_2O_3 – TiO_2 , es una correlación positiva, evidencia de minerales óxidos como la ilmenita aparece como mineral accesorio en rocas ígneas volcánicas. La relación MnO – Fe_2O_3 es una correlación positiva, evidencia la presencia de mineral hidróxido *goethita* se forma en condiciones de oxidación como producto de la meteorización en minerales que contienen hierro.

En la *Figura 26* se puede observar una gráfica de correlación positiva cuyos valores se aproximan a +1 entre los elementos químicos CaO – S. En la *Figura 27* se observa una gráfica de correlación negativa que se aproxima a -1 entre los compuestos SiO_2 - Fe_2O_3 .

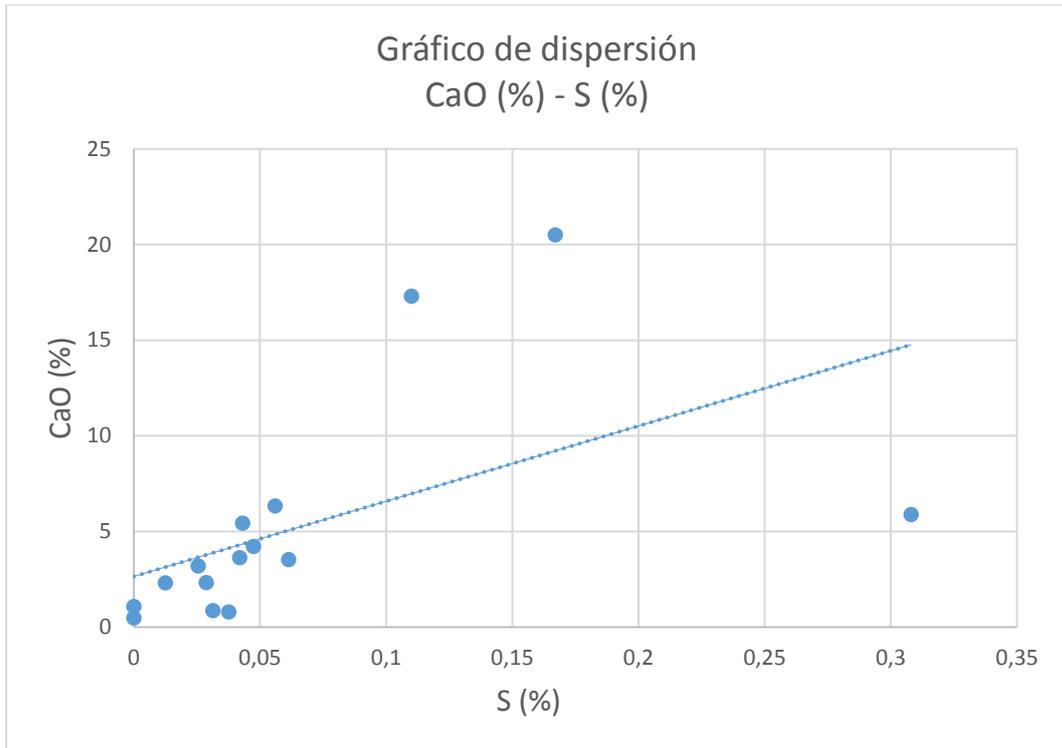


Figura 26. Nube de dispersión entre Cao – S, correlación positiva.
Fuente y elaboración: El autor.

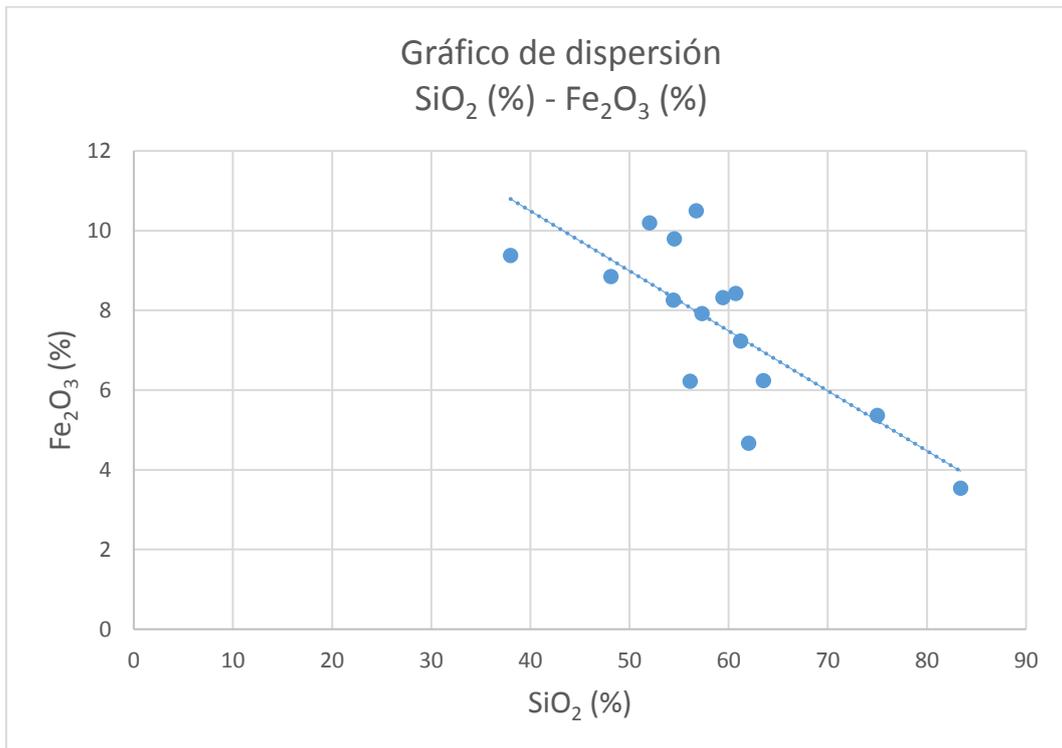


Figura 27. Nube de dispersión entre SiO₂ - Fe₂O₃, correlación negativa.
Fuente y elaboración: El autor.

6.5.3 Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios, muestras de roca.

En la *Tabla 6* se exponen los coeficientes de correlación entre los óxidos mayoritarios, los valores que se encuentran marcados de anaranjado son los más aproximados a +1 por lo que se interpretan como correlaciones positivas, en caso de los valores que se aproximen a -1 corresponde a una correlación negativa. Se puede visualizar distintas correlaciones de tipo positivas, como negativas, para la investigación hemos tomado como correlación positiva a los siguientes elementos mayoritarios: $Al_2O_3 - SiO_2$

Tabla 6. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios, muestra de rocas.

	Al_2O_3	SiO_2	S	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3
Al_2O_3	1							
SiO_2	0.762	1						
S	-0.216	-0.276	1					
K_2O	-0.061	-0.689	0.278	1				
CaO	-0.194	-0.781	0.130	0.975	1			
TiO_2	-0.044	-0.567	0.694	0.776	0.767	1		
MnO	-0.519	-0.917	-0.023	0.704	0.712	0.526	1	
Fe_2O_3	-0.451	-0.790	0.761	0.760	0.714	0.908	0.628	1

Fuente y elaboración: El autor.

La relación entre $Al_2O_3 - SiO_2$ es una correlación positiva indica la presencia de minerales aluminosilicatos como *minerales de arcilla (montmorillonita, illita)* comunes en rocas sedimentarias. La relación entre $K_2O - CaO$ es una correlación positiva indica la presencia de minerales tectosilicatos como *feldespatos, plagioclasas* minerales constituyentes de rocas ígneas volcánicas. La correlación positiva entre $TiO_2 - Fe_2O_3$ corresponde a la presencia de minerales óxidos como la *ilmenita*, mineral accesorio de las rocas volcánicas.

En la *Figura 28* y *Figura 29* se visualizan gráficas de correlación positiva cuyos valores se aproximan a +1 entre los elementos mayoritarios $Al_2O_3 - SiO_2$ y $CaO - K_2O$.

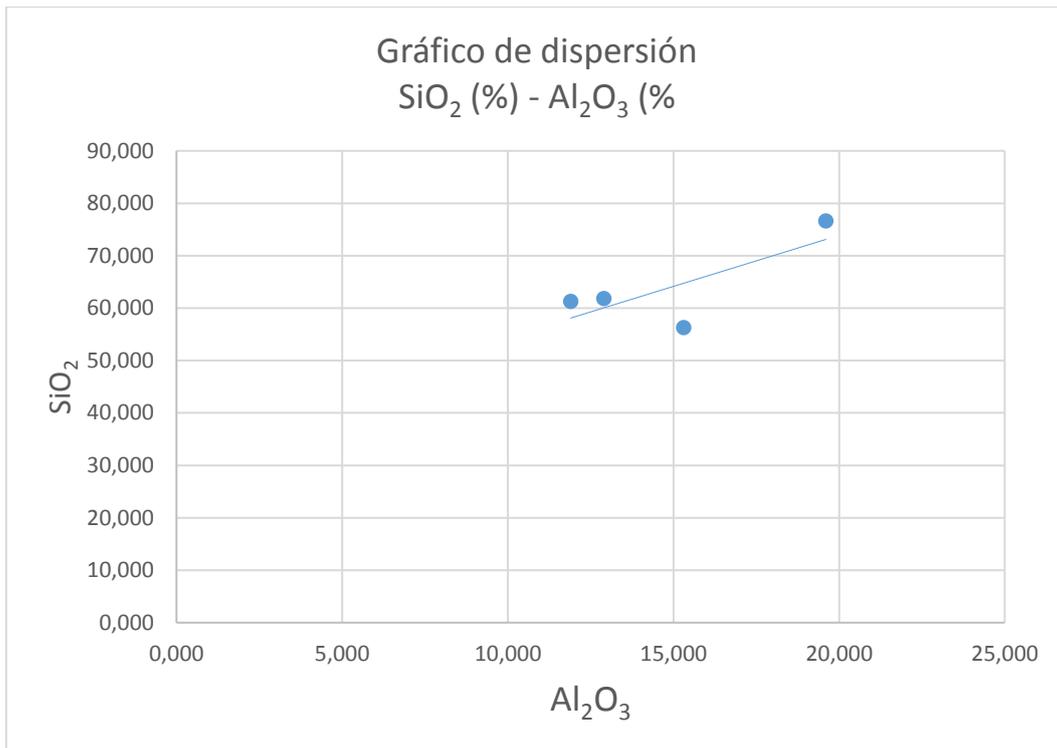


Figura 28. Nube de dispersión entre CaO (%) – MgO (%), correlación positiva.
Fuente y elaboración: El autor.

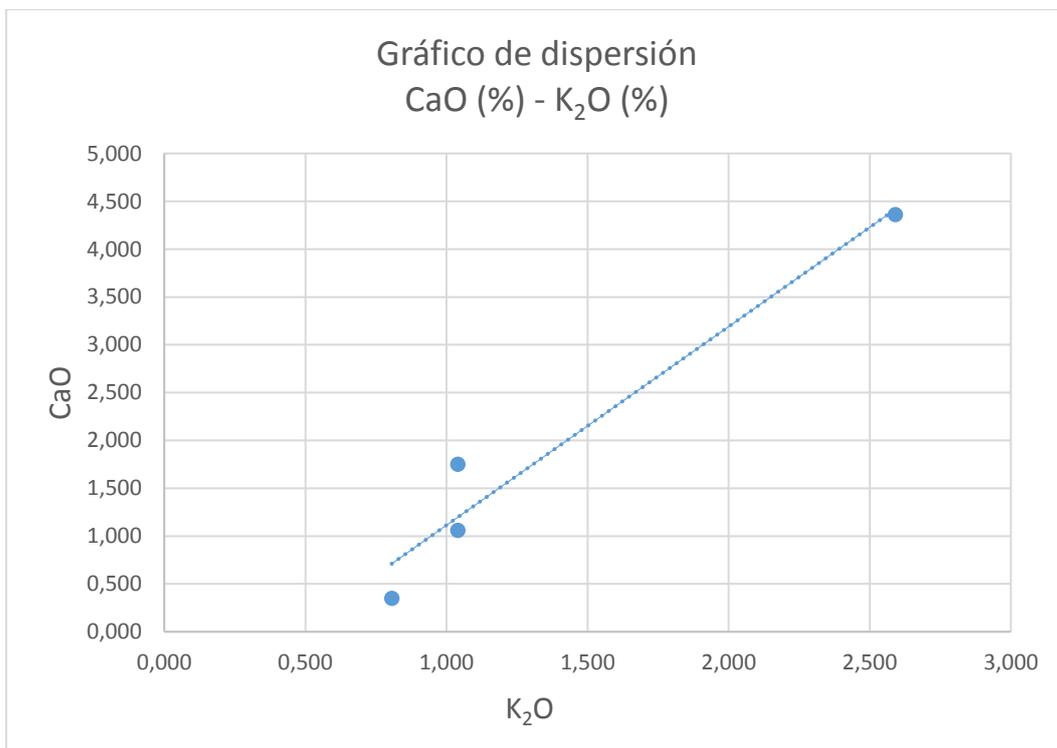


Figura 29. Nube de dispersión entre CaO (%) - K₂O (%), correlación positiva.
Fuente y elaboración: El autor.

6.5.4 Diagrama de caja y bigotes.

El diagrama de caja es una representación gráfica que suministra información acerca de los valores máximo, mínimo, cuartiles Q_1 , Q_2 o mediana, Q_3 y valores atípicos en el caso que existan, este método permite visualizar la simetría y distribución de los valores.

En la *Figura 30* se visualiza 5 elementos mayoritarios cuyos valores fueron obtenidos mediante análisis químicos de Fluorescencia de Rayos - X. De acuerdo a los graficas de caja y bigotes se observa que el compuesto químico de SiO_2 (%) presenta mayor concentración entre 54 % - 61 % y valores anómicos entre 72 % - 83 %, se caracteriza de los otros elementos mayoritarios por su simetría y distribución de los valores, se corroborar que la zona de estudio está constituida la gran mayoría por minerales silicatados, constituyentes primarios de rocas ígneas.

El diagrama caja y bigotes de Al_2O_3 , presenta mayor concentración entre 18 % - 21 %, asociado con sílice SiO_2 , forman minerales aluminosilicatos tales como: feldespatos, plagioclasas (andesina, albita), minerales de arcillas característico en las rocas de composición andesítica, dioritas, lutitas encontradas en la zona de estudio.

El diagrama de cajas y bigotes del elemento mayoritario de Fe_2O_3 , presenta mayor concentración entre el 6 % - 9%, son indicadores de la presencia de oxidaciones en las rocas analizadas en el sector Alamala - Catamayo. El diagrama de caja y bigotes del elemento mayoritario CaO presenta mayor concentración entre el 2 % - 6 % y valores anómicos entre 12 % - 21 %, es evidencia de calcita observada en campo en forma de vetillas en rocas de composición andesítica.

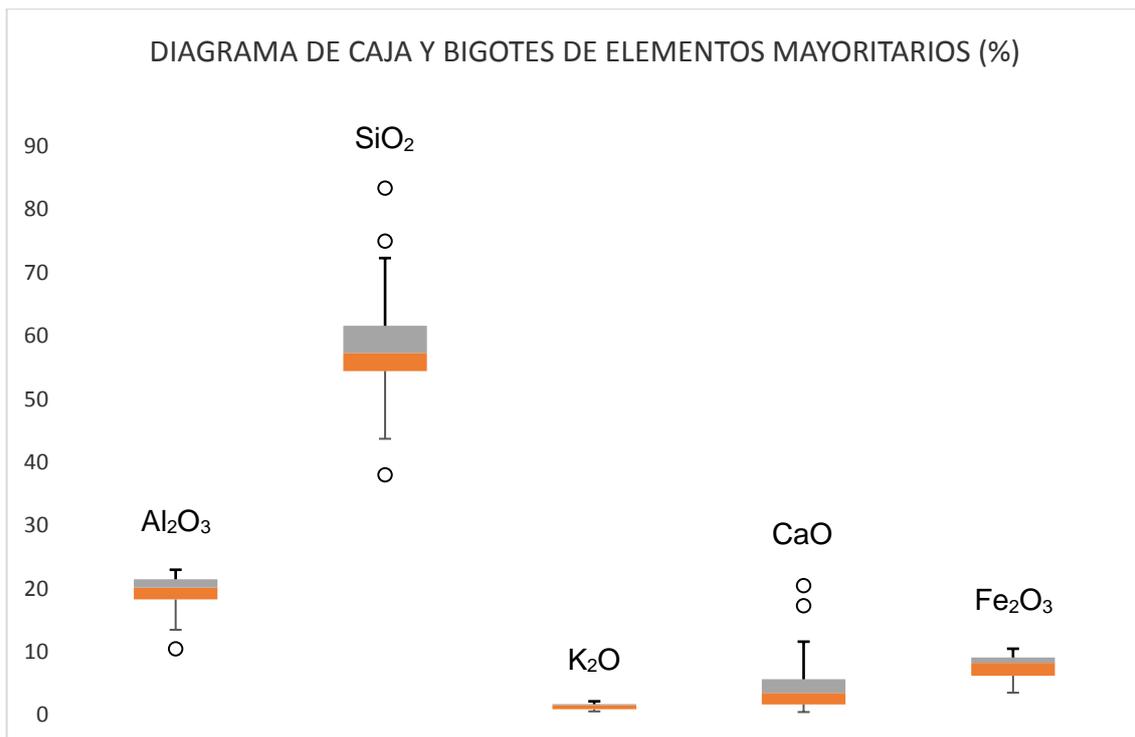


Figura 30. Diagrama de caja y bigotes de los elementos mayoritarios obtenido de Fluorescencia de rayos - X.

Fuente y elaboración: El autor.

6.6 Mapas geoquímicos

Los mapas geoquímicos visualizan las zonas de concentración elemental, se logra generar líneas de base elementales que permite dar información a futuros investigadores acerca de la cantidad y cualidades de los elementos encontrados en suelo, es información básica que permite saber cómo es el entorno en la zona de estudio.

Los mapas geoquímicos de los distintos elementos mayoritarios se generaron mediante un análisis estadístico (Ver *Tabla 7* y *Tabla 8*) y la utilización del software Arcgis 10.2 con la extensión Geostatistical – IDW.

Tabla 7. Estadística descriptiva de la concentración (%) de elementos mayoritarios de las muestras de suelo obtenidas mediante el análisis químico de Fluorescencia de Rayos-X.

	Al_2O_3	SiO_2	S	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3
Valor Min.	10.500	38.000	0.000	0.587	0.478	0.420	0.076	3.540
Valor Max.	23.000	83.400	0.308	2.180	20.500	1.130	0.276	10.500
Media	19.247	58.820	0.065	1.409	5.191	0.811	0.195	7.662
Mediana	20.200	57.300	0.042	1.570	3.530	0.807	0.207	8.260
Varianza	10.960	111.059	0.006	0.289	34.776	0.043	0.003	4.311
Desviación estándar	3.311	10.538	0.080	0.538	5.897	0.207	0.055	2.076

Fuente y elaboración: El autor.

Tabla 8. Tendencia distribución espacial.

Parámetros	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	S (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
Background (Promedio)	19.247	58.820	0.065	1.409	5.191	0.811	0.195	7.662
Umbral (backg + desvst)	22.557	69.358	0.144	1.947	11.088	1.018	0.251	9.738
Subanomalía (backg + 2*desvst)	25.868	79.897	0.224	2.485	16.985	1.225	0.306	11.815
Anomalía (backg + 3*desvst)	29.178	90.435	0.304	3.023	22.882	1.432	0.362	13.891
Anomalía Definida (backg + 4*desvst)	32.489	100.974	0.383	3.560	28.779	1.639	0.417	15.968

Fuente y elaboración: El autor.

6.6.1 Mapas Geoquímicos de los elementos mayoritarios analizados.

6.6.1.1 Mapa geoquímico del SiO₂.

En el mapa geoquímico del elemento mayoritario SiO₂ (Ver Anexo V, Figura 37, pag.68) se visualiza que las concentraciones oscilan entre 59 % a 100 %. El área de mayor concentración elemental se encuentra en el margen Este constituida por rocas como andesitas, pórfidos andesíticos, aglomerados correspondientes a la Unidad Guayabal, y en el margen Norte de la zona de estudio constituido por un intrusivo diorítico, estas concentraciones van entre 90 % a 100 %. El sílice SiO₂ es un constituyente principal para la formación de los minerales silicatados encontrados en zona de estudio.

6.6.1.2 Mapa geoquímico del Al₂O₃.

En el mapa geoquímico del elemento mayoritario Al₂O₃ (Ver Figura 31, pag.50) se visualiza concentraciones que oscilan entre 19 % a 32 %, la mayor concentración elemental de Al₂O₃ cubre el área de la Loma Bartolo, la quebrada Huacacocha y la quebrada Chorrillos. La combinación de la estructura química del Al₂O₃ con el compuesto sílice forman minerales aluminosilicatos como los feldespatos, plagioclasas, minerales de arcilla, estos minerales son constituyentes principales de las rocas como: diorita, andesita, pórfido andesítico, aglomerados, toba riolítica, lutitas correspondientes a la Unidad Guayabal y la Unidad Chaguarpamba respectivamente.

MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS Al₂O₃

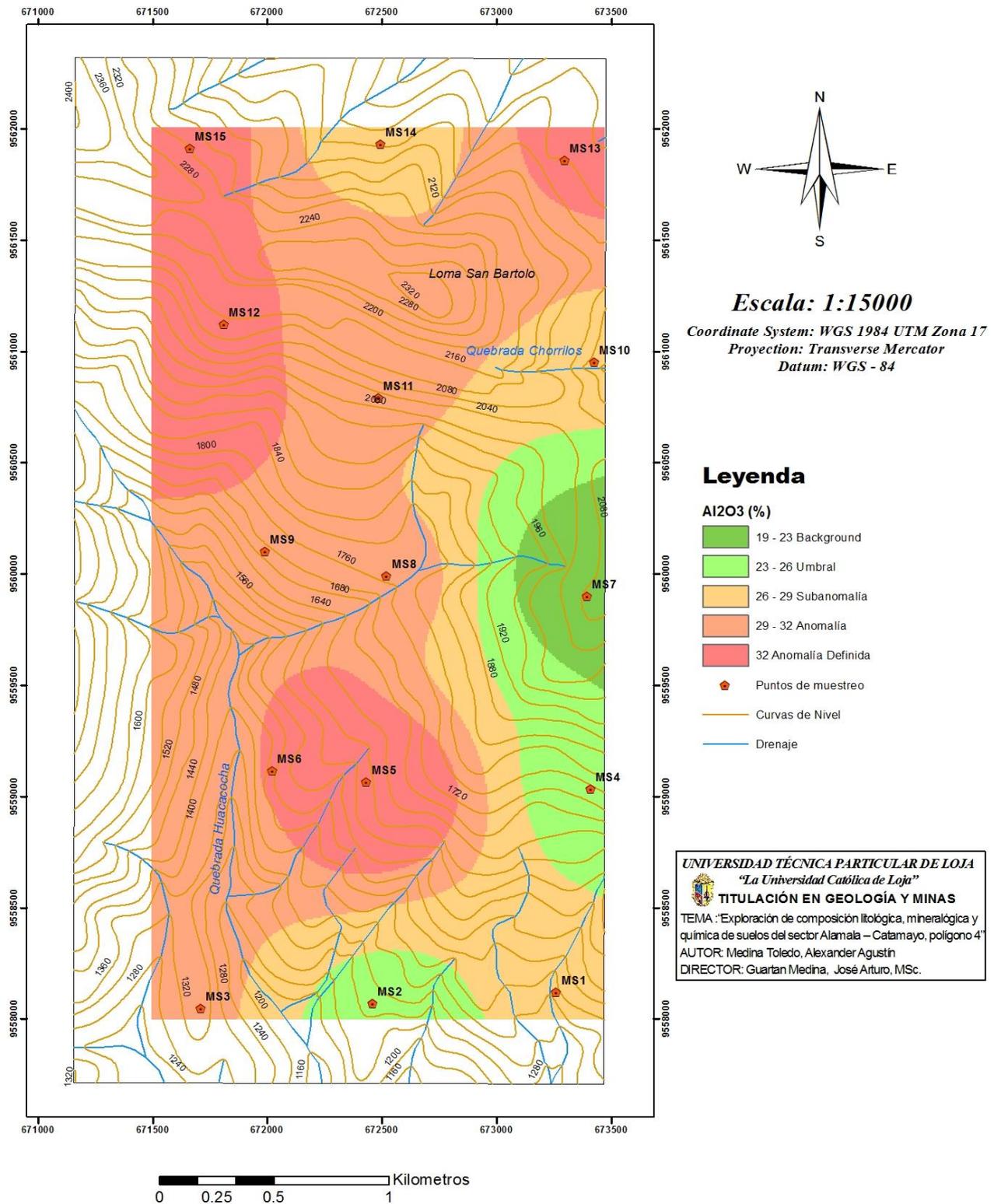


Figura 31. Mapa geoquímico de Al₂O₃.
 Fuente y elaboración: El autor.

6.6.1.3 Mapa geoquímico del S.

En el mapa geoquímico del elemento mayoritario S (*Ver Anexo V, Figura 38, pag.69*) se visualiza concentraciones que oscilan entre 0.06 % a 0.38 % aproximadamente, la zona de estudio presenta concentraciones relativamente bajas. El área de mayor concentración elemental de S, se encuentra al Suroccidente del polígono en la Unidad Chaguarpamba constituidas por secuencias volcánico - sedimentarias intercaladas con lutitas, se observan concentraciones desde un 0.30 % a 0.38 % lo que sugiere la presencia de minerales de sulfatos hidratado como el yeso que se visualizó en campo en forma lenticular o en cristales esparcidos en la arcilla.

6.6.1.4 Mapa geoquímico del K₂O.

En el mapa geoquímico del elemento mayoritario K₂O (*Ver Anexo V, Figura 39, pag.70*) se visualiza concentraciones que oscilan entre 1.41 % a 3.56 %. El área de mayor concentración elemental de K₂O, se encuentra al Norte de la zona de estudio corresponde a la Unidad Guayabal compuesta por tobas riolíticas, estas concentraciones van de 3.02 % a 3.56 % y son evidencia de la presencia de minerales tectosilicatos como feldespatos potásicos, sanidina, característico en las rocas volcánicas presentes en la zona de estudio.

6.6.1.5 Mapa geoquímico del CaO.

En el mapa geoquímico del elemento mayoritario CaO (*Ver Anexo V, Figura 40, pag.71*) se visualiza concentraciones que oscilan entre 5 % a 29 %. El área de mayor concentración elemental de CaO se encuentra al Sur en la Unidad Changaimina y al Este la Unidad Guayabal compuestas por rocas como andesitas basálticas masivas y tobas riolíticas respectivamente, estas concentraciones van de 23 % a 29 % y son evidencia de presencia de minerales como la calcita, el cual se visualiza en campo en forma de vetillas en las rocas de composición andesítica y esparcido en las tobas riolíticas.

6.6.1.6 Mapa geoquímico del Ti₂O.

En el mapa geoquímico del elemento mayoritario Ti₂O (*Ver Anexo V, Figura 41, pag.72*) se visualiza concentraciones que oscilan entre 0.81 % a 1.64 %. El área de mayor concentración de Ti₂O, se encuentra en la Unidad Guayabal y Unidad Chaguarpamba, en el margen Norte y Oeste del polígono, estas concentraciones van de 1.43 % a 1.64 % y son evidencia de minerales óxidos como ilmenita mineral accesorio de rocas ígneas.

6.6.1.7 Mapa geoquímico del MnO.

En el mapa geoquímico del elemento mayoritario MnO (*Ver Anexo V, Figura 42, pag.73*) se visualiza concentraciones que oscilan entre 0.20 % a 0.42 %. El área de mayor concentración se encuentra al Oeste del polígono y oscilan entre 0.23 % a 0.27 %, son evidencia de la presencia del mineral pirolusita que se encuentran impregnadas en las rocas volcánicas de la zona de estudio.

6.6.1.8 Mapa geoquímico del Fe₂O₃.

En el mapa geoquímico del elemento mayoritario Fe₂O₃ (*Ver Anexo V, Figura 43, pag.74*) se visualizan concentraciones que oscilan entre 6 % a 14 %. El área de mayor concentración elemental de Fe₂O₃ se encuentra en el margen Noroccidente correspondiente a la Unidad Chaguarpamba compuesta por sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas, estas concentraciones van entre 12 % a 14 % y son evidencia de la presencia de minerales óxidos.

CONCLUSIONES

- La zona de estudio en el sector Alamala – Catamayo descansa sobre un basamento metamórfico (Unida Chiguinda), se cartografiaron tres unidades geológicas a escala 1:15 000, desde la más antigua a la más joven tenemos la Unidad Chaguarpamba, Unidad Changaimina y Unidad Guayabal, separadas por una falla inversa de cabalgamiento inferida denominada Potrerillos con orientación NE – SO.
- En la Unidad Guayabal de edad Oligo – Miocénica afloran rocas volcánicas como: andesitas, pórfidos andesíticos, toba riolítica, aglomerados que abarca la mayoría de la zona de estudio, al margen Oeste aflora la Unidad Chaguarpamba de edad Cretácica compuesta por sedimentos volcanoclásticos intercalados con lutitas y al Sur de la zona de estudio aflora la Unidad Changaimina de edad Paleoceno – Mioceno compuesta por andesíticas basálticas masivas.
- Para la toma de muestra se empleó el método FOREGS, se obtuvieron 15 muestras de suelo las cuales fueron sometidas a ensayos físicos y químicos, empezó por el secado hasta lograr la pulverización de la muestra, el análisis químico se fundamentó en la digestión de la muestra sólida consiguiendo un material líquido a través de ácidos, presión y temperatura.
- Las 15 muestras de suelo y las 4 muestras de roca luego de tratamiento físico y químico fueron sometidas a un análisis químico de Fluorescencia de Rayos – X obteniendo elementos mayoritarios como: SiO_2 , Al_2O_3 , S, K_2O , CaO, TiO_2 , MnO, Fe_2O_3 , permitieron determinar los minerales constituyentes de las rocas encontradas en la zona de estudio.
- Mediante el análisis químico de Fluorescencia de Rayos – X (FRX) se detectó la composición química del sector Alamala – Catamayo en valores promedio (Fondo) de: Al_2O_3 (19.25%), SiO_2 (58.82%), S (0.06%), K_2O (1.41%), CaO (5.19%), TiO_2 (0.81%), MnO (0.20%), Fe_2O_3 (7.66%).
- Para determinar la mineralogía de la zona de estudio se empleó el análisis químico de Difracción de Rayos – X (DRX) en muestras de rocas, obteniendo como resultado la identificación de los siguientes minerales: cuarzo, feldespatos, andesina, albita, biotita, goethita, clorita, calcita, ortoclasa, sanidina, augita, dolomita, rutilo, leucita, hornblenda, montmorillonita, illita, heulandita, oligoclasa, pirolusita.

- El coeficiente de correlación realizado entre los elementos mayoritarios Al_2O_3 - K_2O , revela un proceso de alteración de tipo argílica intermedia en el noroccidente de la zona de estudio, ya que posee una gran cantidad de Feldespato k acompañado de minerales de arcilla que se encuentran reemplazando a las plagioclasas.
- La correlación entre la geología y los datos composicionales de las concentraciones elementales y concentraciones mineralógicas se lo realiza mediante los mapas geoquímicos, demostrando que los elementos mayoritarios de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , K_2O abarca gran parte del polígono de estudio, corresponde a minerales silicatados como, feldespatos, plagioclasas, minerales de arcilla propios en rocas ígneas y sedimentarias, provenientes de la Unidad Guayabal, Unidad Changaimina y Unidad Chaguarpamba

RECOMENDACIONES.

1. Realizar un muestreo más detallado con el fin de obtener una mejor caracterización geoquímica de los elementos químicos, que servirá para determinar la composición cualitativa y cuantitativa de los componentes útiles e impurezas del mineral.
2. Se recomienda realizar estudios geofísicos como gravimetría, para lograr una mejor interpretación de las litologías y estructuras geológicas depositadas a profundidad durante la evolución de la Cuenca Catamayo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aitchison, J. (2010). The Statistical Analysis of Compositional Data. *Journal of the Royal Statistical Society Series Methodological*, 44(2), 139–177. Retrieved from <https://doi.org/10.2307/2345821>
- Aspden, J. A., Harrison, S. H., & Rundle, C. C. (1992). New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and El Oro Province of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(1–2), 77–96. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90019-U](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90019-U).
- Caranqui, D. P. Q. (2013). Interpretación geoquímica de los resultados de laboratorio de las muestras de sedimentos fluviales correspondiente a la zona Sigchos – Totorillas (5.000km²), con aplicación minera y ambiental. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2324>
- Córdova et al. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 730. Retrieved from <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Bates, R.L., and Jackson, J.A., eds., 1987, *Glossary of geology* (3d ed.): Alexandria, Va., American Geological Institute, 788 p.
- Departamento de Sociología de la Universidad Complutense de Madrid. (2001). Análisis de correlación lineal: Los procedimientos Correlaciones bivariadas y Correlaciones parciales. Guía SPSS, 1–20. Retrieved from http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMultivariable/17corlin_SPSS.pdf
- Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, C. C., & Dart, R. L. (2003). Database and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. USGS Open-File Report 03-289, 77.
- Feininger, T. & Bristow, G. (1980). Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador. *Geologische Rundschau*. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF02104650>
- Gansser, A. (1973). Facts and theories on the Andes: Twenty-sixth William Smith Lecture. *Journal of the Geological Society*, 129(2), 93–131. Retrieved from <https://doi.org/10.1144/gsjgs.129.2.0093>.
- Hungerbühler, D., (1997). Neogene basins in the Andes of southern Ecuador evolution , deformation and regional tectonic implications. Retrieved from

<https://www.researchcollection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/143381/eth-40985-01.pdf?sequence=1>

Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D. E., ... Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57(1–2), 75–124. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00071-X)

INIGEMM. (2017). "Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgica." 2017, 1563(d), 9. Retrieved from http://www.geoinvestigacion.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/LOJA_100K_2017-2.pdf

Jaillard, E., Ordoñez, M., Berrones, G., Bengtson, P., Bonhomme, M., Jimenez, N., & Zambrano, I. (1996). Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of Southwestern Ecuador during Late Cretaceous and early Tertiary times. *Journal of South American Earth Sciences*, 9(1–2), 131–140. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(96\)00033-8](https://doi.org/10.1016/0895-9811(96)00033-8)

Journel, A. G., & Huijbregts, C. J. (1978). *Mining Geostatistics*. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/261170689/mining-geostatistics-pdf>

Kennerley, J. B. (1973). *Geology of Loja province southern Ecuador*. Loja. Retrieved from: https://books.google.com.ec/books/about/Geology_of_Loja_Province_Southern_Ecuador.html?id=MuuYXwAACAAJ&redir_esc=y

Kennerley & Almeida. (1975). Hoja de Loja (56), escala 1:100.000. Instituto Geográfico Militar (IGM), Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos (MR NE), Dirección General de Geología y Minas (DGGM) and Institute of Geological Sciences London (IGS).

Litherland, M., Aspden, J. A., Jemielita, R. A., & Survey, B. G. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*. Keyworth, Nottingham : British Geological Survey.

Meléndez, C., & Camacho, A. (2009). Espectrometría de fluorescencia de rayos x. *Aventuras Del Pensamiento*, 4. Retrieved from http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2009/08/20/espectrometria_de_fluorescencia_de_rayos_X.pdf

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2008). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. México: Editorial Limusa, S.A de C.V. Retrieved from

<https://es.scribd.com/doc/148254430/Probabilidad-y-Estadistica-Aplicadas-a-la-Ingenieria-Montgomery-Runger-2%C2%BA-Edicion-Cap-1-8>

- Ramón, G. (1977). Correlación entre variables. Apuntes de clase del curso Seminario Investigativo VI, 9(4), 413–422. Retrieved from <https://doi.org/10.1051/gse:19770401>
- Ruiz, J. Ariza, J. Fernández, C. (1999). Metodología para declarar un suelo contaminado. Estado Y Calidad De Los Recursos Naturales, 175–190. Retrieved from http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Estado_Y_Calidad_De_Los_Recursos_Naturales/Suelo/Criterios_pdf/Muestreo.pdf
- R. Salminen, T. Tarvainen, A. D., M. Duris, F.M. Fordyce, V. G., H. Kahelin, J. Kivisilla, G. Klaver, H. K., J. O. Larson, J. Lis, J. Locutura, K. M., H. Mjartanova, C. Mouvet, P. O'Connor, L. O., G. Ottonello, T. Paukola, J. A. P., ... William, B. deV ivo & L. (2012). FOREGS GEOCHEMICAL MAPPING FIELD MANUAL. Clinical Neurophysiology (Vol. 123). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.06.016>
- Salinas, H. (2010). Estadística: conceptos básicos y definiciones, 78. Retrieved from www.mat.udc.cl/hsalinas/cursos/2010/eyp2/clase1.pdf
- Sol, M. V., Navarro, R. V., & Guerrero, R. E. Z. (1996). Geoquímica aplicada al medio ambiente, 30.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. (2001). Química electroanalítica. Principios de Análisis Instrumental. Retrieved from <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Tamay, J., Galindo, J., Ruano, P., Soto, J., Lamas, F., & Azañon, J. (2015). Estructura De Las Cuencas Sedimentarias Neogenas-Cuaternarias Del Sur De Ecuador Mediante Datos De Gravimetría : Implicaciones En La Evolución Tectónica De Los Andes.
- TECSUP. (s.f.). MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN, 61. Retrieved from <https://es.scribd.com/presentation/287001769/Muestreo-y-Characterizacion-de-Minerales>

ANEXOS

Anexos I. Fichas de afloramientos.

Tabla 9. Descripción Afloramiento 3.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO		
	AFLORAMIENTO NÚMERO: 3		
UBICACIÓN	Sector Alamala		DESCRITA POR: Alexander Medina
CORDENADAS UTM	X: 673252	Y: 9558144	Z: 1417
FORMACION/UNIDAD	Unidad Guayabal – Unidad Changaimina		
DESCRIPCIÓN: Afloramiento tipo artificial por corte de vía, posee una potencia de 12 m x 20 m aproximadamente. Presenta un grado bajo de meteorización y su orientación es NW - SE. Se visualiza un contacto litológico entre la Unidad Guayabal y la Unidad Changaimina, constituidas en la zona superior por pórfidos andesíticos de composición intermedia, textura porfídica, presenta fenocristales de plagioclasa y anfíboles, posee una tonalidad verde a gris verdoso. En la parte inferior afloran andesitas basálticas de textura afanítica, presenta impregnación de pirolusita y posee una tonalidad crema a verde grisáceo.			
MEDIDAS ESTRUCTURALES:	N/A		
			

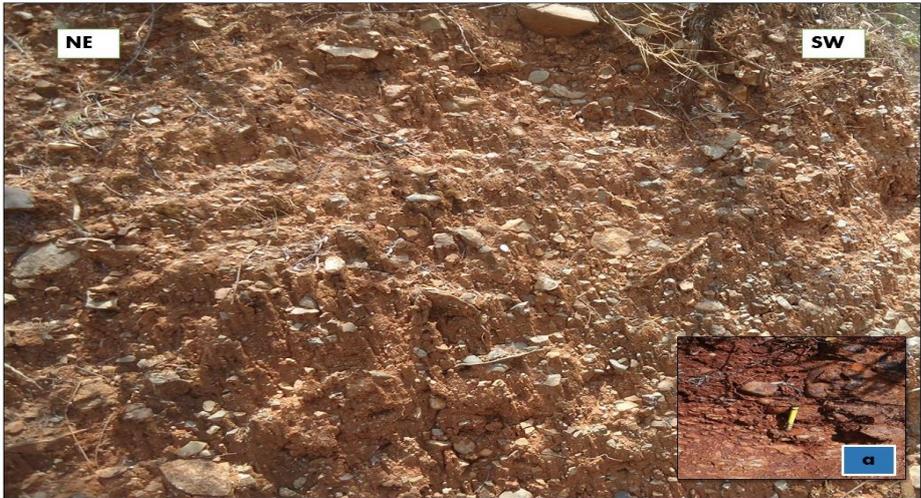
Fuente y elaboración: El autor.

Tabla 10. Descripción Afloramiento33.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO		
	AFLORAMIENTO NÚMERO:	33	
UBICACIÓN	Sector Alamala		DESCRITA POR: Alexander Medina
CORDENADAS UTM	X: 671705	Y: 9561688	Z: 2284
FORMACION/UNIDAD	Unidad Chaguarpamba		
DESCRIPCIÓN: Afloramiento tipo natural, posee una potencia de 8 m x 15 m aproximadamente. Presenta un grado medio de meteorización y su orientación es NE - SW. Se visualiza la presencia de lutitas presenta una tonalidad amarillenta debido a la presencia de un ambiente de oxidación, presenta una textura pelítica.			
MEDIDAS ESTRUCTURALES:	N 20° W – N 25° E		
			

Fuente y elaboración: El autor.

Tabla 11. Descripción Afloramiento 40.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA		
	FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO		
AFLORAMIENTO NÚMERO:	40		DATUM: WGS 84
UBICACIÓN	Sector Alamala		DESCRITA POR: Alexander Medina
CORDENADAS UTM	X: 672650	Y: 9560414	Z: 1878
FORMACION/UNIDAD	Unidad Guayabal		
DESCRIPCIÓN: Afloramiento tipo natural, su potencia es 5 m x 8 m aproximadamente. Presenta un grado alto de meteorización y su orientación es NE - SW. Se visualiza la presencia de aglomerados volcánicos con matriz soportada arenosa y clastos volcánicos angulosos a sub-redondeados (andesitas, pórfidos andesíticos, entre otras), el tamaño de los clastos es mayor a 2 mm. Posee una tonalidad anaranjada - rojiza que evidencia un alto contenido de oxidación.			
MEDIDAS ESTRUCTURALES:	N/A		
			

Fuente y elaboración: El autor.

Tabla 12. Descripción Afloramiento 53.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA		
	FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO		
AFLORAMIENTO NÚMERO:	53		DATUM: WGS 84
UBICACIÓN	Loma Bartolo		DESCRITA POR: Alexander Medina
CORDENADAS UTM	X: 672542	Y: 9560919	Z: 2134
FORMACION/UNIDAD	Unidad Guayabal		
<p>DESCRIPCIÓN:</p> <p>Afloramiento tipo artificial por corte de vía, posee una potencia de 5 m x 10 m aproximadamente. Presenta un grado medio de meteorización y su orientación es NE - SW. Se visualiza la presencia de tobas de composición riolítica consiste en una roca color crema a rosado de textura piroclástica. En superficie alterada la toba riolítica se observa de tonalidad anaranjado rojizo a consecuencia de la oxidación.</p>			
MEDIDAS ESTRUCTURALES:	N/A		
<div style="text-align: center;">  </div>			

Fuente y elaboración: El autor.

Anexo II. Mapa Geológico Local.

MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

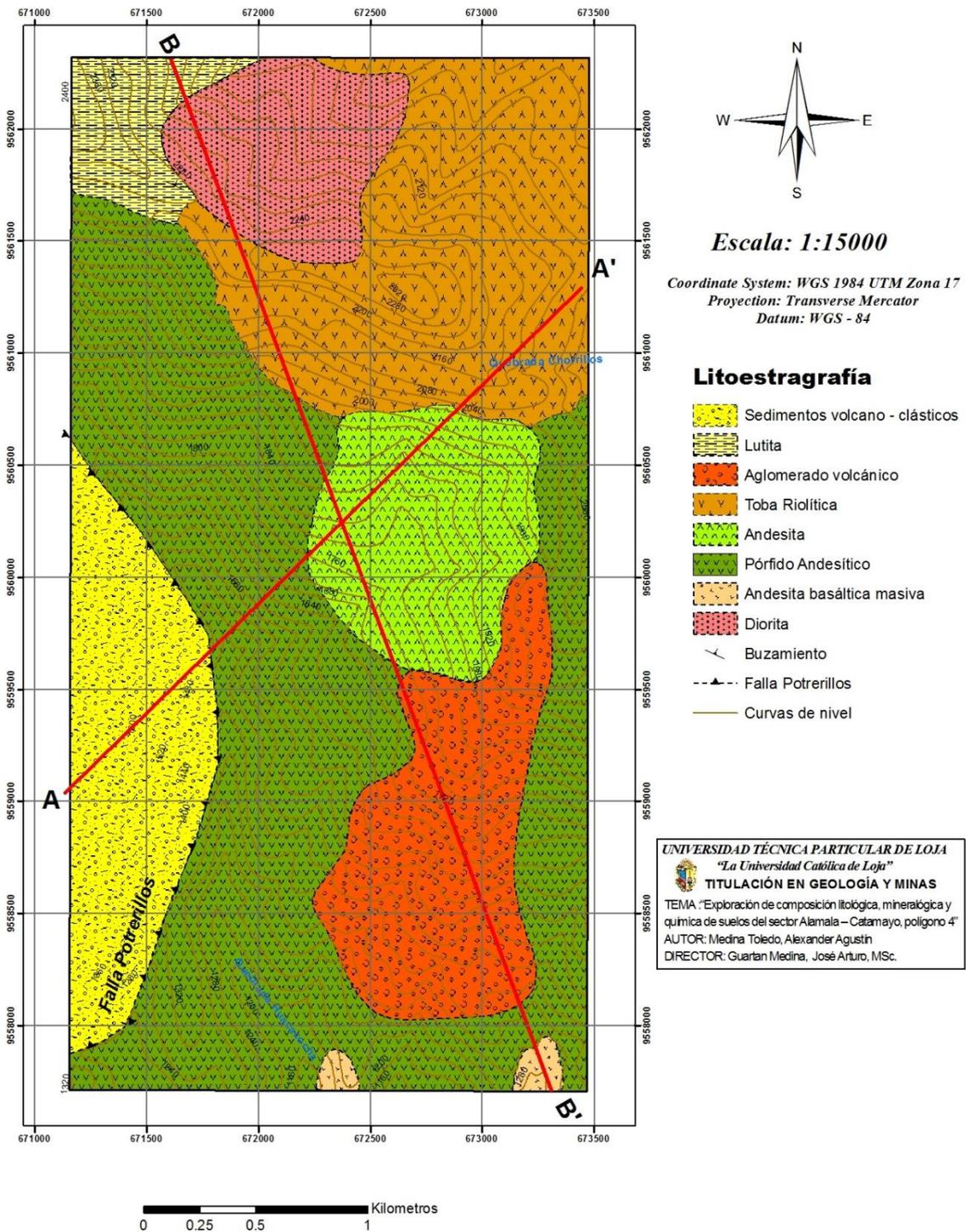


Figura 32. Mapa geológico local con líneas de cortes A – A' y B – B'.
 Fuente y elaboración: El autor

Anexo III. Cortes Geológicos

Corte A – A' y B – B'

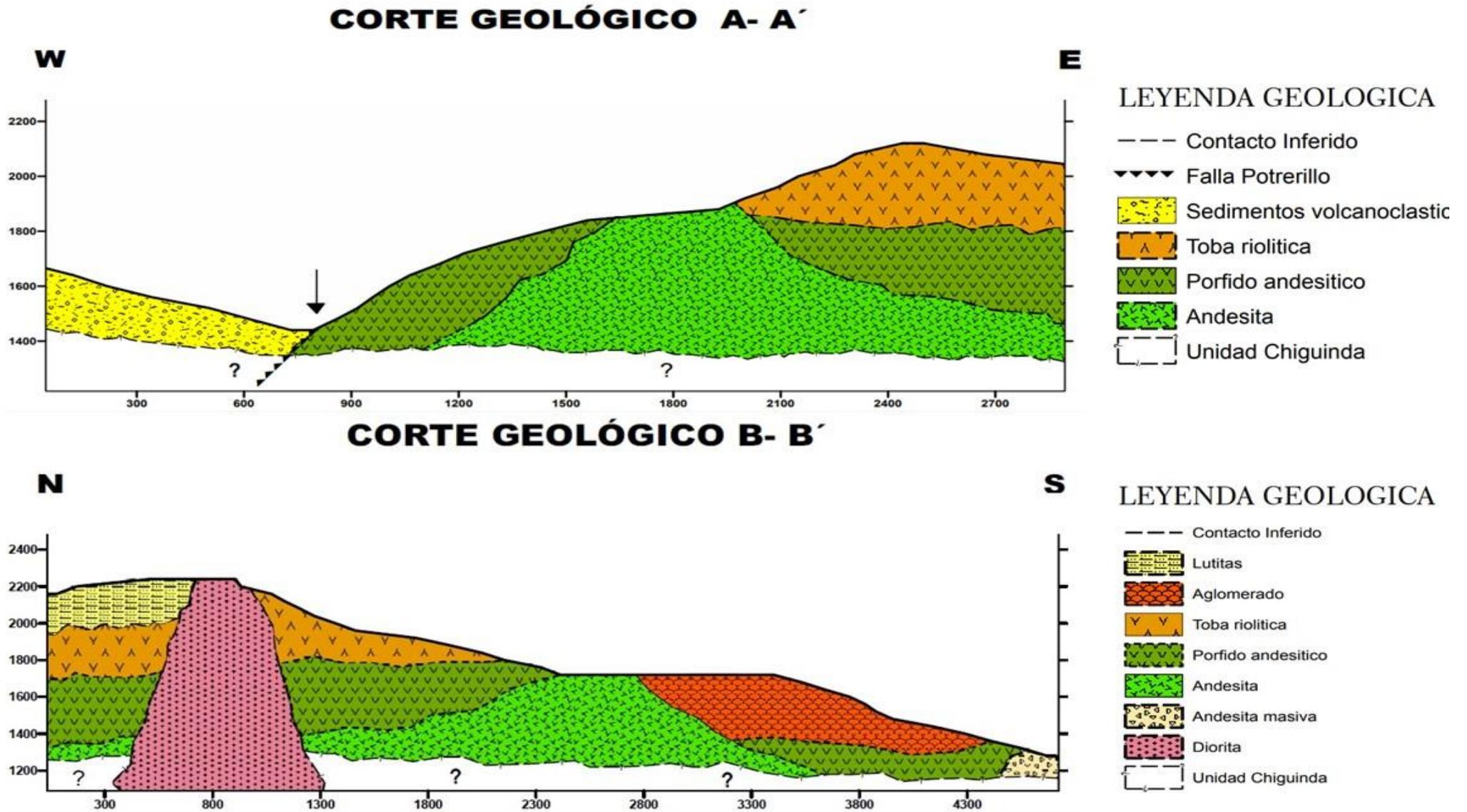


Figura 33. Cortes de secciones geológicas locales.
Fuente y elaboración: El autor.

Anexo IV. Difractogramas.

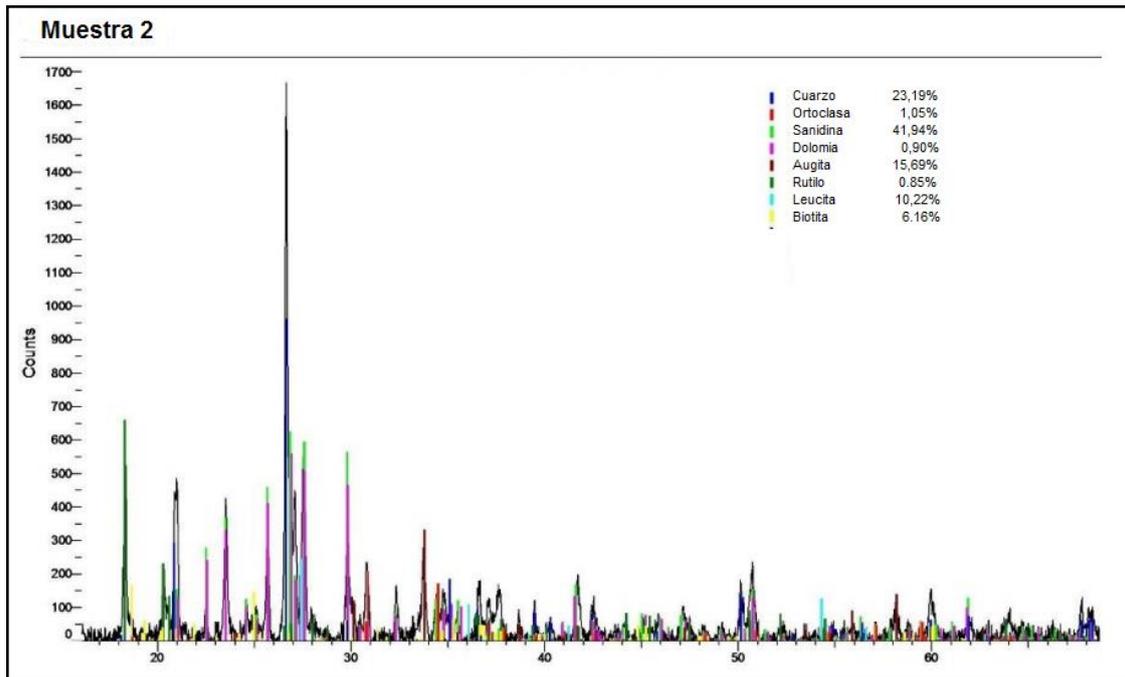


Figura 34. Difractograma de la muestra 2.
Fuente y elaboración: El autor.

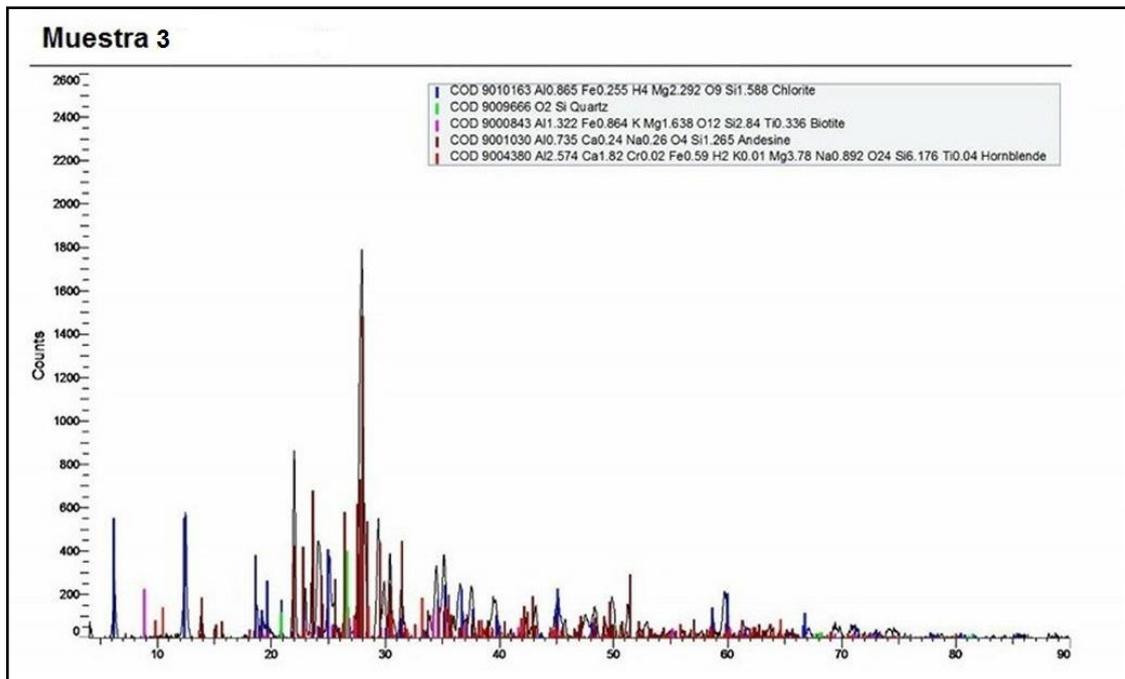


Figura 35. Difractograma de la muestra 3.
Fuente y elaboración: El autor.

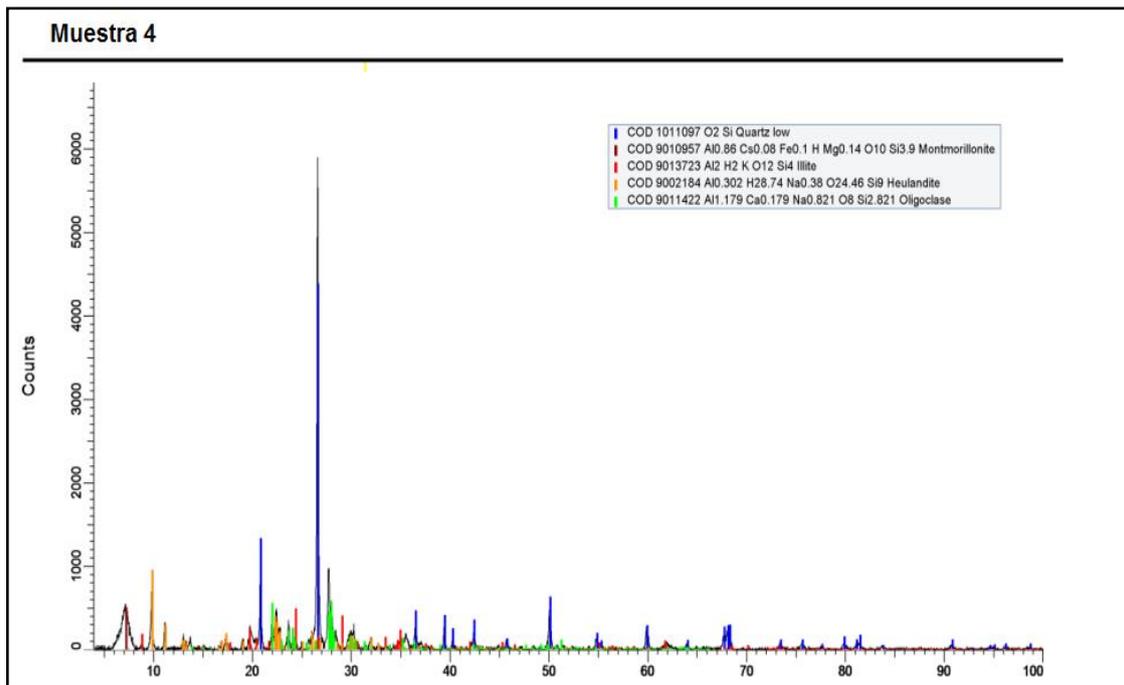


Figura 36. Difractograma de la muestra 4.
Fuente y elaboración: El autor.

Anexos V. Mapas geoquímicos.

MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS SiO₂

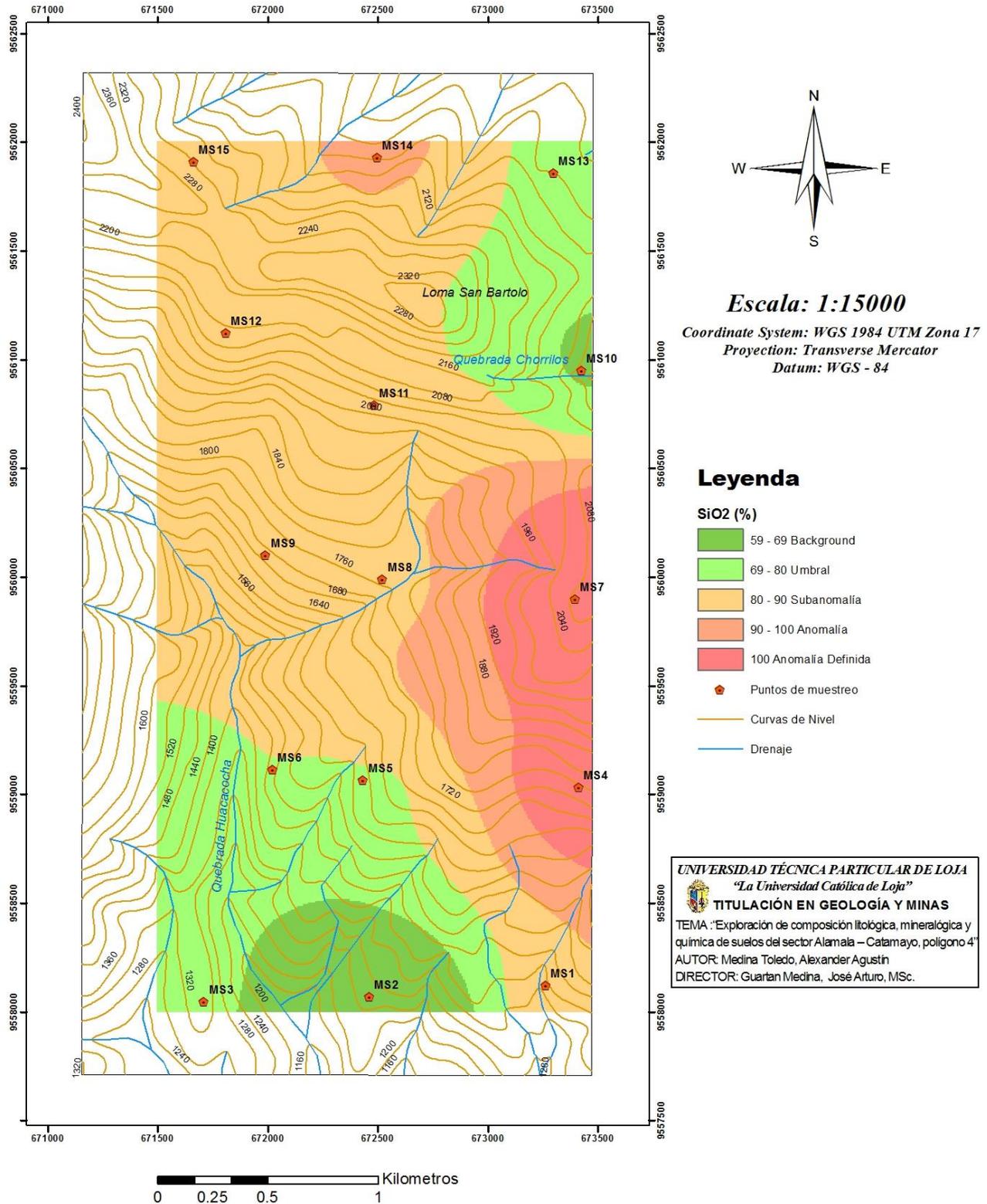


Figura 37. Mapa geoquímico de SiO₂.
 Fuente y elaboración: El autor.

MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS S

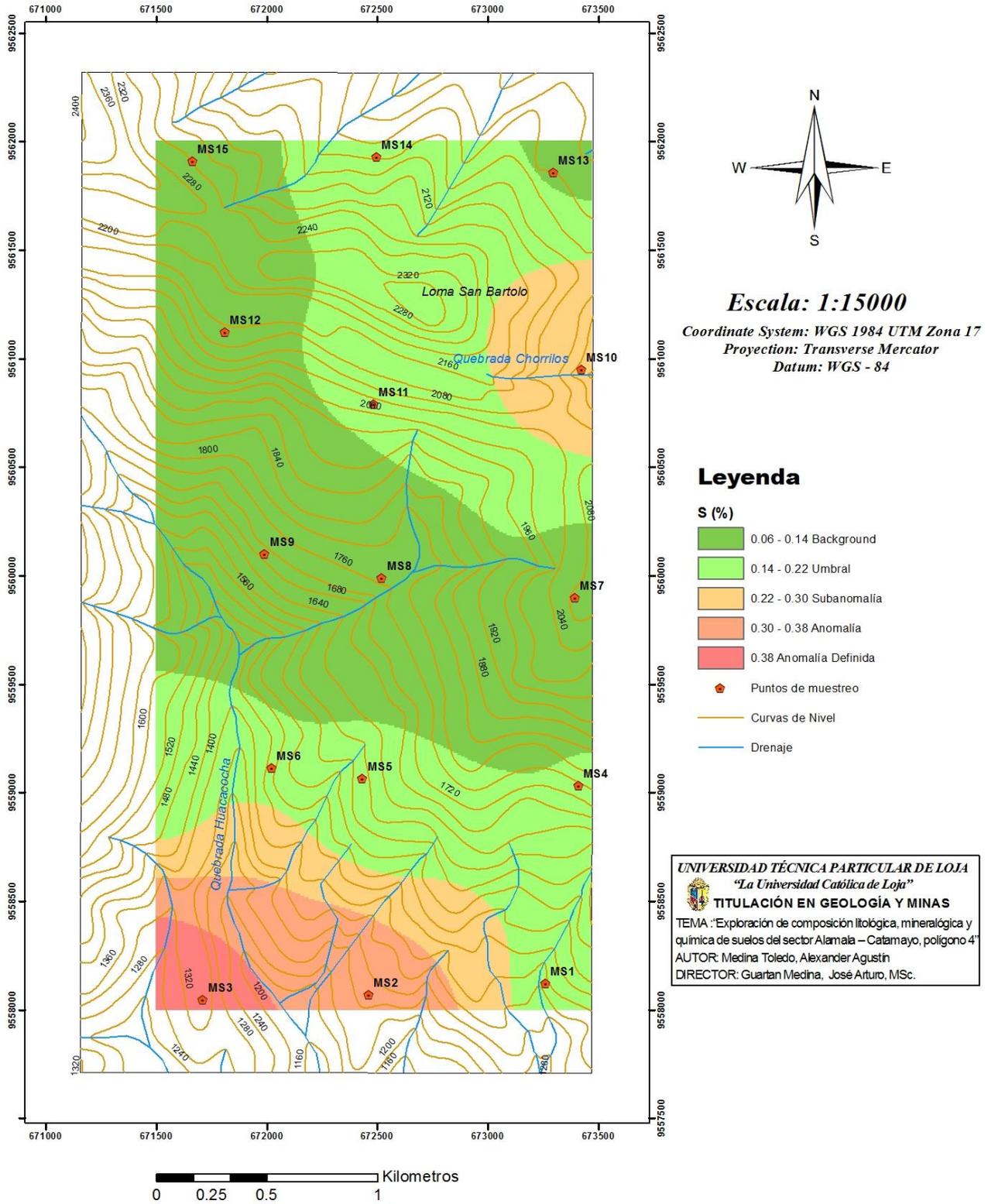


Figura 38. Mapa geoquímico de S.
 Fuente y elaboración: El autor.

MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS K₂O

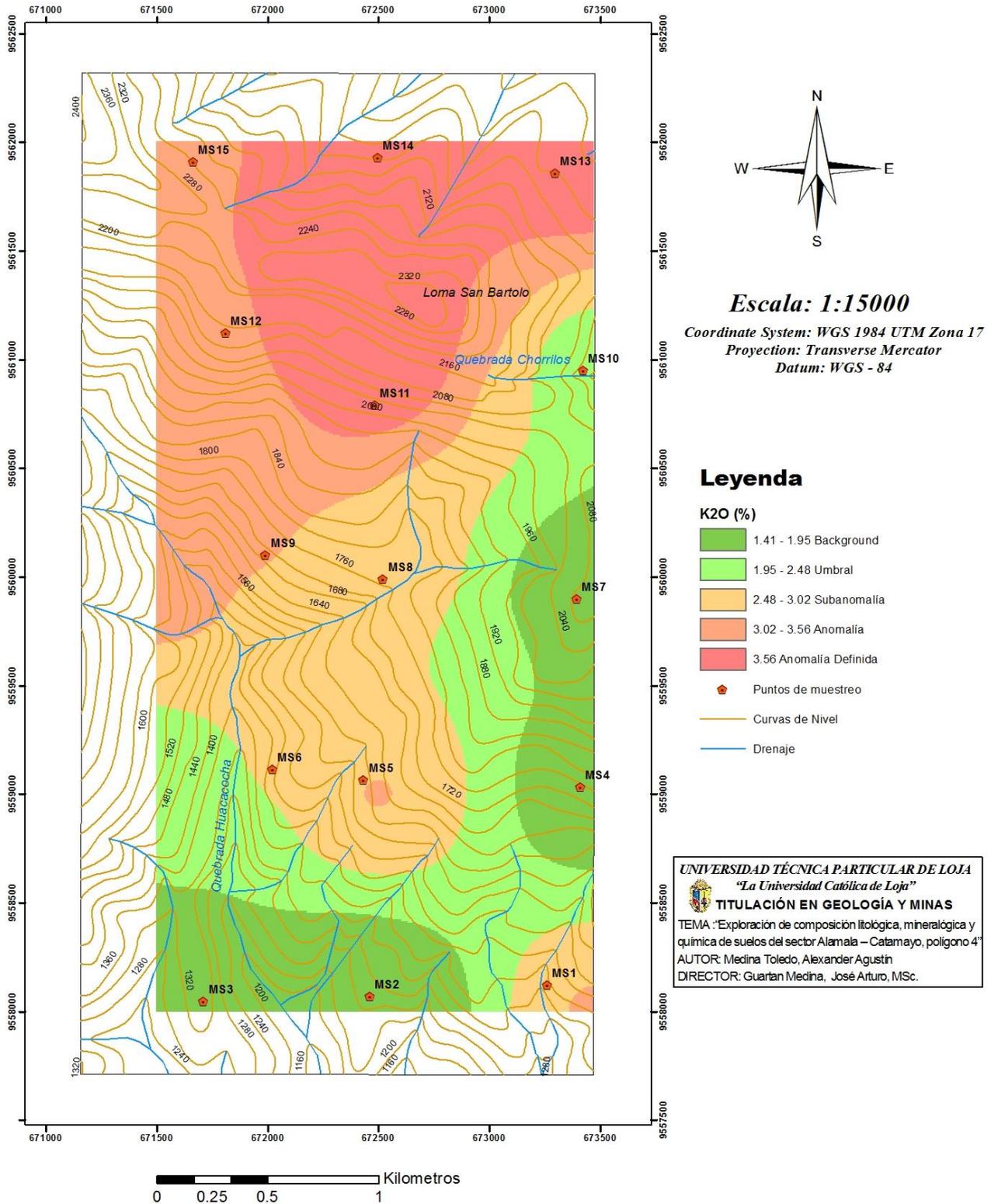


Figura 39. Mapa geoquímico de K₂O.
 Fuente y elaboración: El autor.

MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS CaO

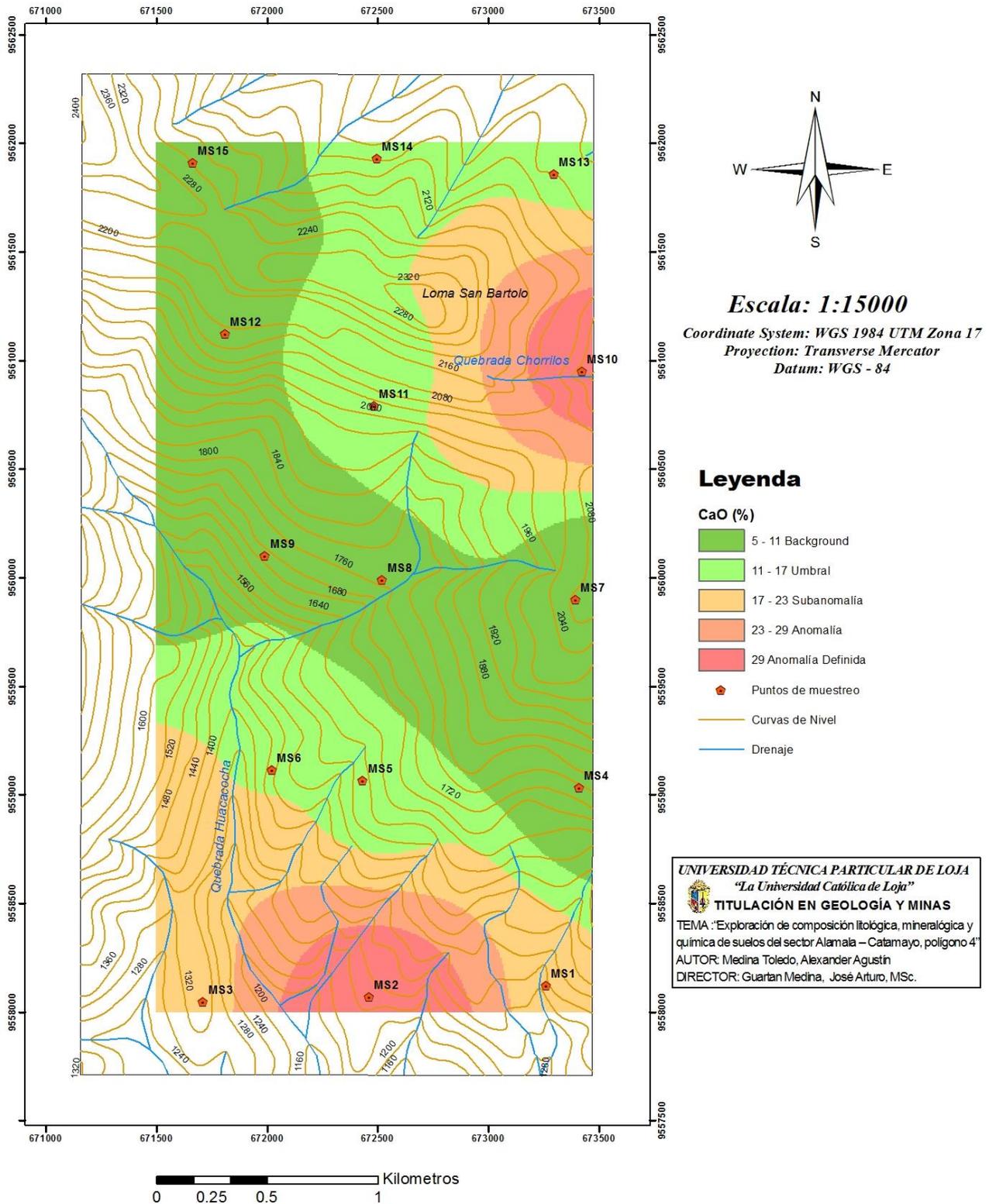


Figura 40. Mapa geoquímico de CaO.
 Fuente y elaboración: El autor.

MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS Ti_2O

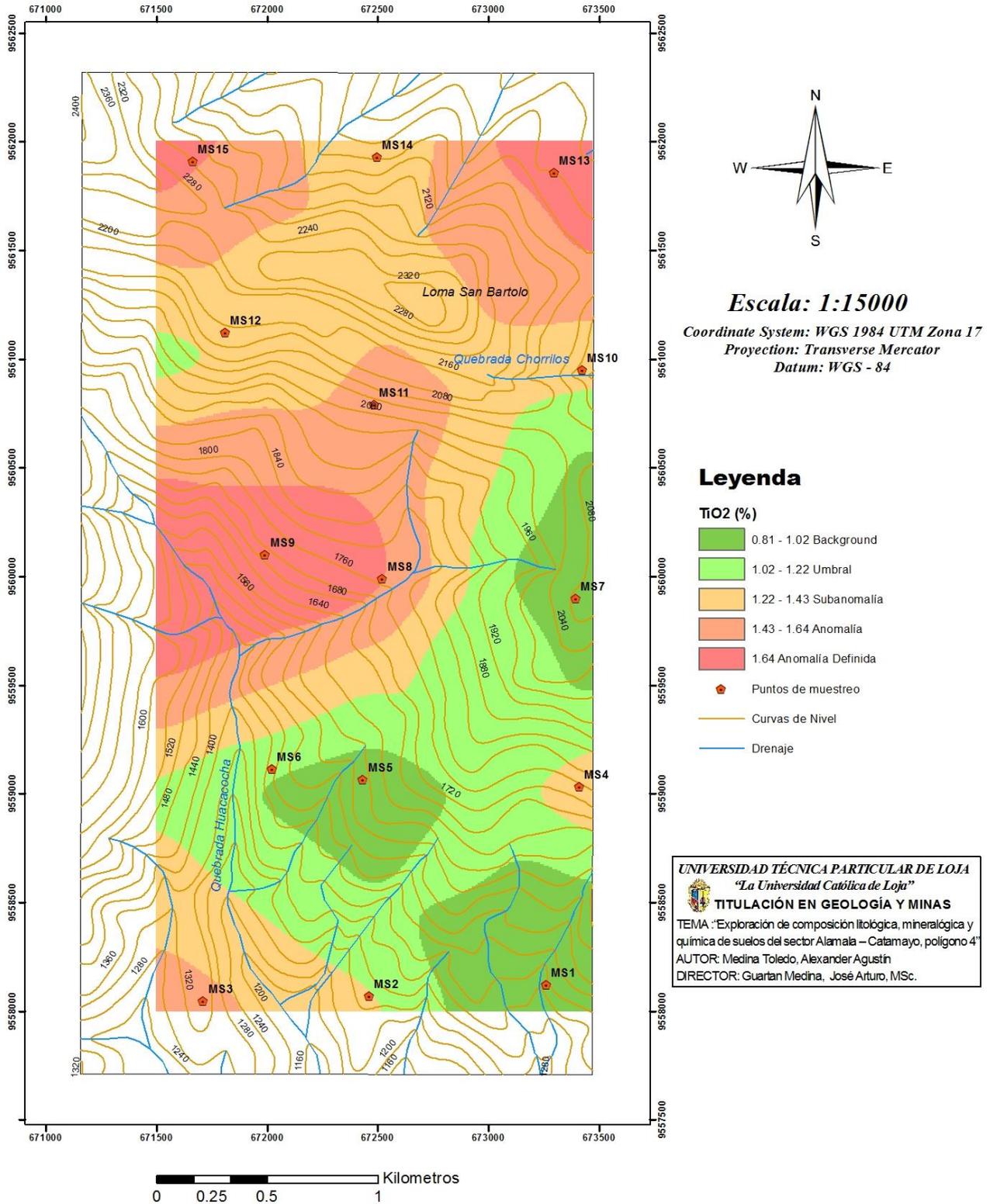


Figura 41. Mapa geoquímico de Ti_2O .
 Fuente y elaboración: El autor.

MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS MnO

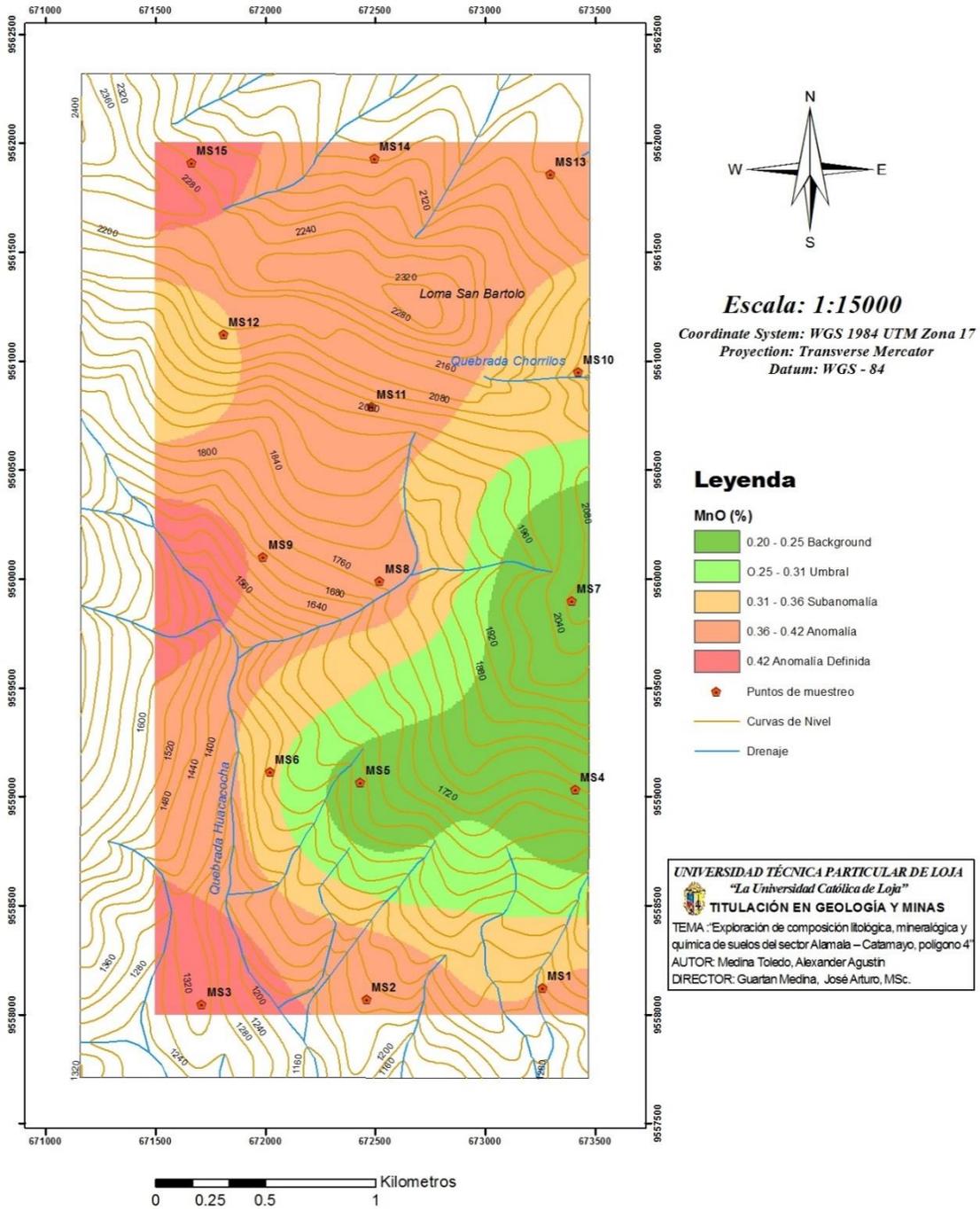


Figura 42. Mapa geoquímico de MnO.
 Fuente y elaboración: El autor.

MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS Fe₂O₃

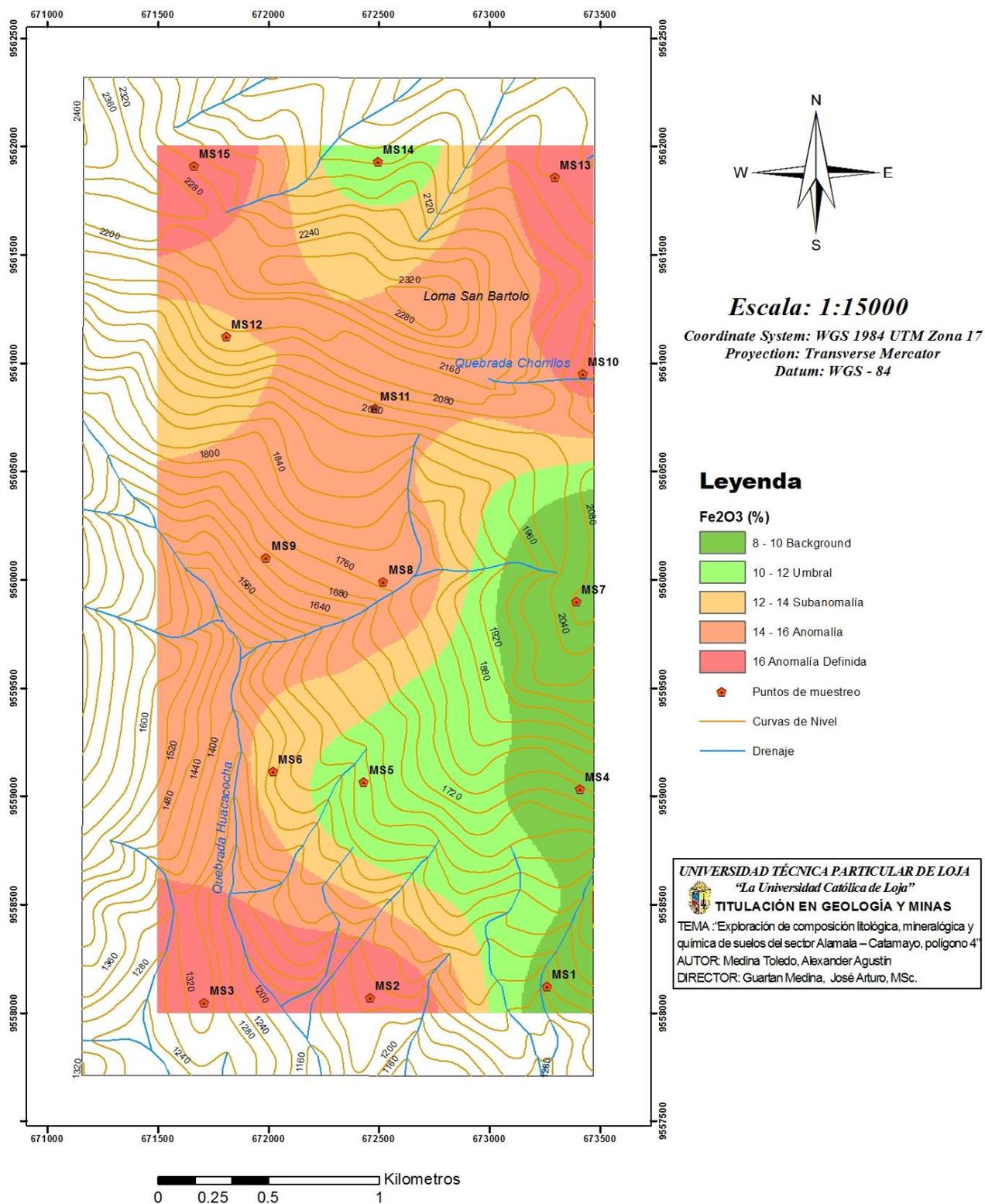


Figura 43. Mapa geoquímico de Fe₂O₃.
 Fuente y elaboración: El autor.