



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

**Exploración de composición litológica, mineralógica y química de suelos del sector de Alamala-Catamayo, polígono 3.**

TRABAJO DE TITULACION

**AUTOR:** Ramírez Torres, Juan Carlos

**DIRECTOR:** Guartán Medina, José Arturo Msc.

**CO-DIRECTOR:** Guamán Jaramillo Galo Alexander 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**

**Magister.**

**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 3 realizado por Juan Carlos Ramírez Torres, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, 8 de marzo del 2018

f) .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Juan Carlos Ramírez Torres declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Exploración de composición litológica, mineralógica y química de suelos del sector Alamala-Catamayo, polígono 3, de la Titulación de Ingeniería en Geología y Minas, siendo el Magister José Arturo Guartán Medina director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra 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 que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional de la Universidad”

f) .....

Autor: Juan Carlos Ramírez Torres

Cédula: 1105945388

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mis padres Ruddy y Vicente por su apoyo y sacrificio en todos las metas que me he planteado en mi vida. A mis abuelitos por siempre darme ese empujoncito que a veces se necesita. A mis tíos y tías por siempre brindarme una palabra de apoyo. A mi hermano por estar siempre en las buenas y en las malas. A mi novia Belén por acompañarme, y ayudarme a superar cada obstáculo que se ha presentado, además del amor y apoyo.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por brindarme salud y haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida.*

*A mis padres Ruddy y Vicente por su apoyo y guía a lo largo de mi vida.*

*A mi compañera de batallas Belén Sotomayor por estar siempre en las buenas y en las malas, y ser testigo del esfuerzo realizado en este trabajo.*

*A mis compañeros y amigos por extenderme su mano durante esta etapa universitaria.*

*A mi director de tesis José Guartán por su tiempo, paciencia y apoyo a lo largo de este trabajo y durante toda mi carrera.*

*A la Universidad Técnica Particular de Loja por brindarme las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo.*

## INDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
INDICE DE CONTENIDO .....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	x
INDICE DE TABLAS .....	xii
RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN .....	15
CAPÍTULO I .....	16
GENERALIDADES .....	16
1.1. Antecedentes .....	17
1.2. Justificación .....	17
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. General.....	18
1.3.2. Específicos.....	18
CAPITULO II .....	19
CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS DE LA ZONA .....	19
2.1 Localización de la zona de estudio. ....	20
2.2 Relieves, altitudes y topografía.....	21
2.3 Accesibilidad.....	22
CAPITULO III .....	24
MARCO TEÓRICO .....	24
3.1 Fluorescencia de Rayos X (FRX). ....	25
3.2 Difracción de Rayos X (DRX).....	25
3.3 Geoquímica.....	26
3.4 Tipos de muestreo para suelos.....	26

3.4.1	Muestreo al azar. ....	26
3.4.2	Muestreo sistemático.....	26
3.4.3	Muestreo estratificado.....	27
3.4.4	Muestreo compuesto.....	27
3.5	Anomalía Geoquímica.....	27
3.6	Valor de fondo o background.....	27
3.7	Valor de Umbral.....	27
3.8	Geoestadística.....	27
3.9	Histograma.....	28
3.10	Coefficiente de correlación.....	28
3.11	Nube de dispersión.....	28
3.12	Diagramas de cajas y bigotes.....	28
CAPITULO IV.....		29
GEOLOGÍA REGIONAL.....		29
4.1	Geología regional.....	30
4.1.1.	Formaciones.....	30
4.2	Estructuras regionales.....	33
4.2.1.	Sistema Falla Las Aradas-Frente de Baños.....	33
CAPITULO V.....		34
METODOLOGÍA DE TRABAJO.....		34
5.1	Revisión bibliográfica, benchmarking.....	35
5.2	Trabajo de campo; geología, muestreo.....	35
5.3	Ensayos en laboratorio.....	36
5.3.1.	Preparación de las muestras.....	36
5.3.2.	Análisis mineralógico mediante microscopía.....	37
5.3.3.	Análisis químico mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	37
5.3.4.	Difracción de Rayos X.....	38



<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>39</b>
<b>RESULTADOS DE CAMPO .....</b>	<b>39</b>
<b>6.1 Geología Local.....</b>	<b>40</b>
<b>6.1.1. Formación Sacapalca.....</b>	<b>40</b>
<b>6.1.2. Intrusivos.....</b>	<b>41</b>
<b>6.1.3. Lavas.....</b>	<b>42</b>
<b>6.1.4. Depósitos coluviales.....</b>	<b>43</b>
<b>6.2 Litologías.....</b>	<b>44</b>
<b>6.2.1. Andesita porfídica.....</b>	<b>44</b>
<b>6.2.2. Andesita.....</b>	<b>45</b>
<b>6.2.3. Andesita porfídica meteorizada.....</b>	<b>46</b>
<b>6.2.4. Riolita.....</b>	<b>46</b>
<b>6.2.5. Granito.....</b>	<b>47</b>
<b>6.3 Mapa Geológico.....</b>	<b>48</b>
<b>6.4 Mapa de muestreo.....</b>	<b>50</b>
<b>6.5 Análisis químico y mineralógico de muestras.....</b>	<b>51</b>
<b>6.5.1 Análisis mineralógico mediante microscopía.....</b>	<b>51</b>
<b>6.5.2 Difracción de Rayos X.....</b>	<b>51</b>
<b>6.5.3 Fluorescencia de Rayos X.....</b>	<b>53</b>
<b>6.6 Interpretación de resultados.....</b>	<b>54</b>
<b>6.6.1. Estadística descriptiva de elementos mayoritarios.....</b>	<b>54</b>
<b>6.6.2. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios.....</b>	<b>61</b>
<b>6.7 Mapas Geoquímicos.....</b>	<b>63</b>
<b>6.7.1. Mapa geoquímico de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.....</b>	<b>64</b>
<b>6.7.2. Mapa geoquímico de SiO<sub>2</sub>.....</b>	<b>64</b>
<b>6.7.3. Mapa geoquímico de CaO.....</b>	<b>64</b>

6.7.4. Mapa geoquímico de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	64
6.7.5. Mapa geoquímico de K <sub>2</sub> O.....	64
6.7.6. Mapa geoquímico de MgO.....	65
6.7.7. Mapa geoquímico de MnO.....	65
CONCLUSIONES .....	66
RECOMENDACIONES .....	67
BIBLIOGRAFIA .....	68
ANEXOS .....	71
<b>Anexo I: Mapa de afloramientos analizado.....</b>	<b>72</b>
<b>Anexo II: Fichas mineralógicas.....</b>	<b>73</b>
<b>Anexo III: DFR-X.....</b>	<b>82</b>
3.1 Difractograma de rayos X -Granodiorita .....	82
3.2 Difractograma de rayos X –Riolita .....	84
3.3 Difractograma de Rayos X – Andesita.....	86
3.4 Difractograma de rayos X –Pórfido Andesítico.....	88
<b>Anexo IV.....</b>	<b>90</b>
4.1 Mapa geoquímico de Al .....	90
4.2 Mapa geoquímico de Si .....	91
4.3 Mapa geoquímico de Ca.....	92
4.4 Mapa geoquímico de Fe .....	93
4.5 Mapa geoquímico de K.....	94
4.6 Mapa geoquímico de Mg .....	95
4.7 Mapa geoquímico de Mn .....	96

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio. ....	20
<b>Figura 2.-</b> Valle en "V" presente en el polígono de estudio.....	21
<b>Figura 3.-</b> Relieve de la zona de estudio. ....	21
<b>Figura 4.-</b> Intrusivo "El Tingo". ....	22
<b>Figura 5.-</b> Vertientes mixtas, convexas y rectilíneas.....	22
<b>Figura 6.-</b> Vía de acceso a la zona de estudio.....	23
<b>Figura 7.-</b> Resumen de la Ley de Bragg. ....	26
<b>Figura 8.-</b> Geología regional del polígono 3. ....	32
<b>Figura 9.-</b> Principales fallas y rasgos morfológicos del Ecuador.....	33
<b>Figura 10.-</b> Muestreo compuesto realizado en el polígono 3. ....	35
<b>Figura 11.-</b> Limpieza y secado de las muestras. ....	36
<b>Figura 12.-</b> Pulverización y guardado de las muestras. ....	37
<b>Figura 13.-</b> Análisis de FRX de las muestras.....	38
<b>Figura 14.-</b> Andesita Porfídica en la zona de estudio. ....	40
<b>Figura 15.-</b> Hidrotermalismo en andesita porfídica. ....	41
<b>Figura 16.-</b> Muestra de mano de andesita porfídica cloritizada. ....	41
<b>Figura 17.-</b> Granito en la parte central del polígono, en corte de vía.....	42
<b>Figura 18.-</b> Intrusivo "El Tingo". ....	42
<b>Figura 19.-</b> Riolita aflorando en vía y corte de vía. ....	43
<b>Figura 20.-</b> Coluvio de clastos ígneos. ....	43
<b>Figura 21.-</b> Andesita porfídica verde oscura. ....	44
<b>Figura 22.-</b> Andesita porfídica verde grisácea. ....	45
<b>Figura 23.-</b> Andesita con vetilla de calcita. ....	45
<b>Figura 24.-</b> Andesita silicificada, con presencia de patinas de calcita. ....	46
<b>Figura 25.-</b> Riolita. ....	47
<b>Figura 26.-</b> Granito de intrusivo "El Tingo". ....	48
<b>Figura 27.-</b> Granito. ....	48
<b>Figura 28.-</b> Mapa geológico. ....	49
<b>Figura 29.-</b> Mapa de muestreo para ICP. ....	50
<b>Figura 30.-</b> Histograma de $Al_2O_3$ .....	55
<b>Figura 31.-</b> Diagrama de cajas y bigotes de $Al_2O_3$ . ....	55
<b>Figura 32.-</b> Histograma de $SiO_2$ . ....	56
<b>Figura 33.-</b> Diagrama de cajas y bigotes de $SiO_2$ . ....	56
<b>Figura 34.-</b> Histograma de $K_2O$ . ....	57
<b>Figura 35.-</b> Diagrama de cajas y bigotes de $K_2O$ .....	57

<b>Figura 36.-</b> Histograma de CaO.....	58
<b>Figura 37.-</b> Diagrama de cajas y bigotes de CaO.....	58
<b>Figura 38.-</b> Histograma de MgO.....	59
<b>Figura 39.-</b> Histograma de MnO.....	60
<b>Figura 40.-</b> Diagrama de cajas y bigotes de MnO.....	60
<b>Figura 41.-</b> Histograma de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	61
<b>Figura 42.-</b> Diagrama de cajas y bigotes de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	61
<b>Figura 43.-</b> Nube de dispersión de CaO vs Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	63
<b>Figura 44.-</b> Nube de dispersión de MnO vs Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	63

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Coordenadas de ubicación del polígono de estudio, con Datum WGS84.....	20
<b>Tabla 2.-</b> Composición de la muestra 1. ....	51
<b>Tabla 3.-</b> Composición de la muestra 2. ....	52
<b>Tabla 4.-</b> Composición de la muestra3. ....	52
<b>Tabla 5.-</b> Composición de la muestra 4. ....	53
<b>Tabla 6.-</b> Resultados de FRX.....	53
<b>Tabla 7.-</b> Estadística descriptiva de los elementos presentes en las muestras. ....	54
<b>Tabla 8.-</b> Correlación de elementos mayoritarios correspondientes a los datos de FRX.....	62
<b>Tabla 9.-</b> Tendencia de distribución espacial. ....	64

## RESUMEN

Esta investigación se enfoca en identificar el tipo de litología, la composición mineralógica y química de muestras de suelo y roca correspondientes al polígono 3 de la zona Alamala-Catamayo, en base a un muestreo sistemático de la zona de estudio. Se realiza análisis químicos y mineralógicos como: Análisis Mineralógico mediante Difracción de Rayos X (DRX) y Análisis Químico mediante Fluorescencia de rayos X (FRX). Para luego mediante herramientas geoestadísticas como la correlación de datos, histogramas y diagramas de cajas y bigotes, entender el comportamiento mineralógico de los elementos:  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ , y plasmarlos mediante mapas de anomalías.

**PALABRAS CLAVES:** análisis químicos y mineralógicos, Alamala-Catamayo, composición mineralógica y química, herramientas geoestadísticas, mapas de anomalías, polígono 3.

## **ABSTRACT**

This research focuses on identifying the type of lithology, the mineralogical and chemical composition of soil and rock samples corresponding to polygon 3 of the Alamala-Catamayo area, based on a systematic sampling of the study area. Chemical and mineralogical analyzes are performed such as: Mineralogical Analysis by X-ray Diffraction (XRD) and Chemical Analysis by X-ray Fluorescence (FRX). Then using geostatistical tools such as data correlation, histograms, and boxes and whiskers diagrams, understand the mineralogical behavior of the elements: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, MnO, and translate them through maps of anomalies.

**KEYWORDS:** Alamala-Catamayo, chemical and mineralogical analyzes, geostatistical tools, maps of anomalies, mineralogical and chemical composition, polygon 3, chemical analysis.

## INTRODUCCIÓN

La geoquímica de suelos se emplea para la caracterización a detalle de la distribución de los elementos químicos en las diferentes fracciones granulométricas de los suelos. Sin embargo, en regiones áridas es complicado hablar de un horizonte A, ya que por lo general se encuentra un regolito con distintos grados de organización. En cualquier caso, estos tipos de suelo, suelen evidenciar una respuesta homogénea (Fassbender, & Bornemisza, 1994).

La presente investigación se basa en la determinación de los distintos minerales y elementos químicos conformados en el suelo y roca madre dentro del polígono 3, Alamala-Catamayo, determinando un fondo y una línea base de estos, mediante análisis estadísticos, entendiendo así la relación de los elementos químicos con la roca madre.

El primer capítulo detalla los antecedentes correspondientes al presente estudio, así como también la justificación y los objetivos tanto generales como específicos. En el segundo capítulo se describen las características físico geográficas de la zona de estudio tales como localización, topografía y accesibilidad

El tercer capítulo trata sobre los fundamentos teóricos acerca de las técnicas utilizadas en este estudio. En el cuarto capítulo se describe la geología regional, así como también las distintas estructuras que pueden llegar a afectar la geología de la zona.

En el quinto capítulo se define la metodología empleada para realizar los distintos análisis químicos tales como FRX, DRX y estadísticos como correlación de datos, histogramas, diagramas de cajas y bigotes y nubes de dispersión.

El sexto capítulo trata sobre los resultados obtenidos de los distintos análisis químicos, y la interpretación de los mismos, mediante las distintas herramientas estadísticas ya mencionadas anteriormente.



**CAPÍTULO I**  
**GENERALIDADES**

## **1.1. Antecedentes**

La zona de estudio no cuenta con trabajos de investigación previas en cuanto a la geoquímica del sector. Sin embargo, hay estudios geoquímicos cercanos a la zona, como es el Proyecto modelo piloto para la determinación del potencial Geológico-Mineralógico de las zonas Zaruma y Cariamanga a escala 1:100000 (INIGEMM, 2013).

En cuanto a la geología, el trabajo de investigación de Loayza (2017), sirve como apoyo para la geología del sector, ya que esta abarca una pequeña parte de la zona Este del polígono de estudio; además, del trabajo de investigación de Sánchez (2012), el cual fue realizado en la cuenca de Catamayo.

## **1.2. Justificación**

Los suelos y sus distintas características están en dependencia de los aspectos geológicos, fisiográficos y climáticos de una región o zona, condicionando así los horizontes presentes en los suelos, así, como también la disposición de sus minerales.

Desde el punto de vista geoquímico los horizontes presentan un gran interés, ya que en ellos se puede determinar la concentración de elementos químicos preferenciales (Besoain, 1970). Es por ello que, en la presente investigación, se pretende determinar de manera local el fondo y línea base de los elementos individuales o la presencia de anomalías presentes en la zona, para analizar su comportamiento geoquímico y entender su relación con la distinta litología y mineralogía de la zona.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. General**

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

#### **1.3.2. Específicos**

- Investigar la 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.

## **CAPITULO II**

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS DE LA ZONA**

## 2.1 Localización de la zona de estudio.

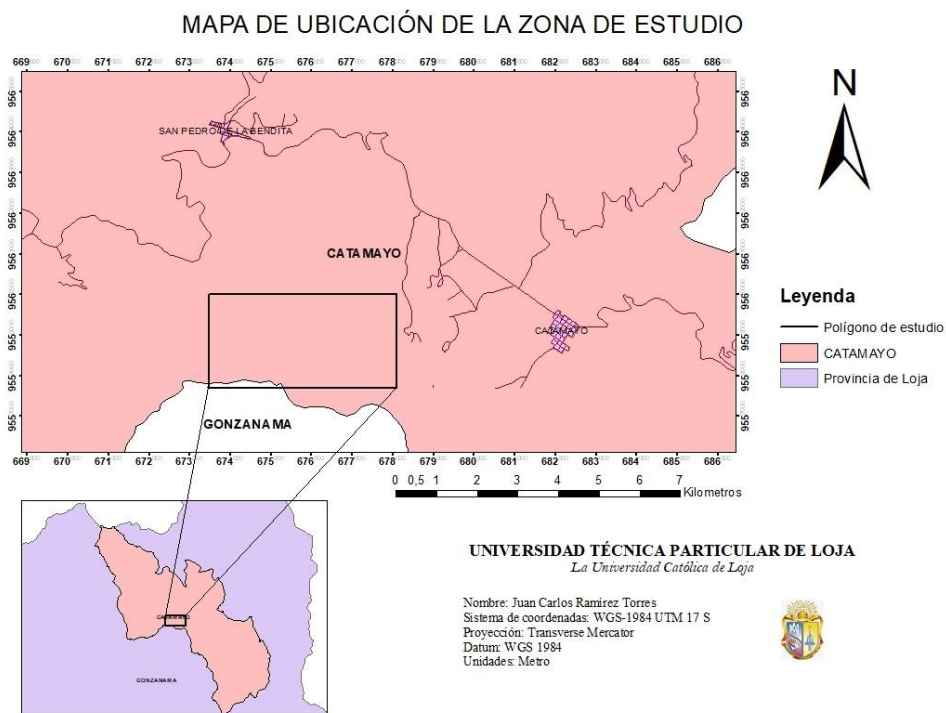
La zona de estudio se encuentra en el sector de Alamala dentro de la cuenca sedimentaria de Catamayo, la cual está ubicada en la Cordillera de los Andes al Sur del Ecuador. La zona de estudio se encuentra, cartográficamente en su mayoría en la hoja topográfica a escala 1:50000 de Catamayo, y una pequeña parte en la carta topográfica de Nambacola a escala 1:50000. La zona de estudio es de 10.65 km<sup>2</sup> ubicados en las siguientes coordenadas:

**Tabla 1.-** Coordenadas de ubicación del polígono de estudio, con Datum WGS84.

Puntos	X	Y
1	673472.23	9560011.25
2	678099.35	9560002.38
3	673467.85	9557707.58
4	678094.85	9557698.66

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



**Figura 1.-** Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fuente: IGM.

Elaboración: Autor.

## 2.2 Relieves, altitudes y topografía.

Geomorfológicamente dentro de la zona de estudio, se pueden apreciar valles en V (Figura 2), en la parte central del polígono, formado por el cauce de la quebrada Duranda.



**Figura 2.-** Valle en "V" presente en el polígono de estudio.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

La mayoría de su relieve muestra cimas agudas (Figura 3), con excepción de las cimas redondeadas entorno a intrusivo "El Tingo" (Figura 4).



**Figura 3.-** Relieve de la zona de estudio.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



**Figura 4.-** Intrusivo "El Tingo".

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Las vertientes o zonas de escorrentía presentes, son convexas y rectilíneas que desembocan en la quebrada Duranda, con longitudes de vertientes moderadamente largas, es decir que van desde los 50 m hasta 250 m. Las pendientes en la zona son de media a fuerte con un porcentaje promedio del 50% (Figura 5).



**Figura 5.-** Vertientes mixtas, convexas y rectilíneas.

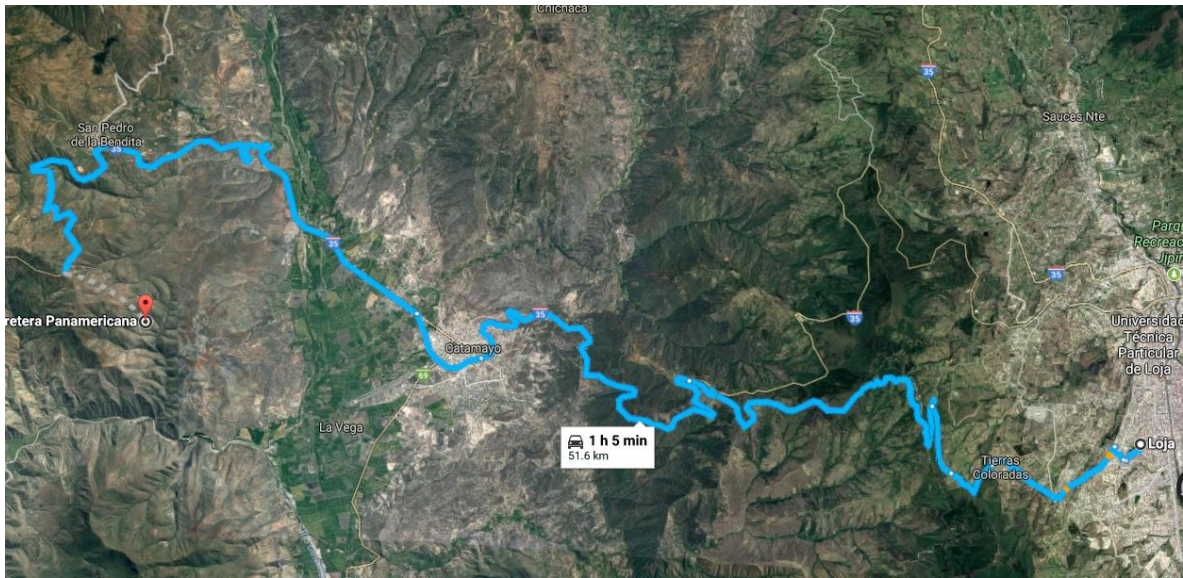
Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

### **2.3 Accesibilidad.**

El acceso al área de estudio o polígono de estudio, se encuentra a 52 km aproximadamente de la ciudad de Loja, mediante vías de primer orden, hasta llegar al sector de Alamala, en donde el

ingreso se lo hace mediante vías de segundo orden, tomando un tiempo aproximado desde la ciudad de Loja, de una hora con 15 minutos.



**Figura 6.-** Vía de acceso a la zona de estudio.  
Fuente: Google Earth 2017.  
Elaboración: Autor



**CAPITULO III**  
**MARCO TEÓRICO**

### **3.1 Fluorescencia de Rayos X (FRX).**

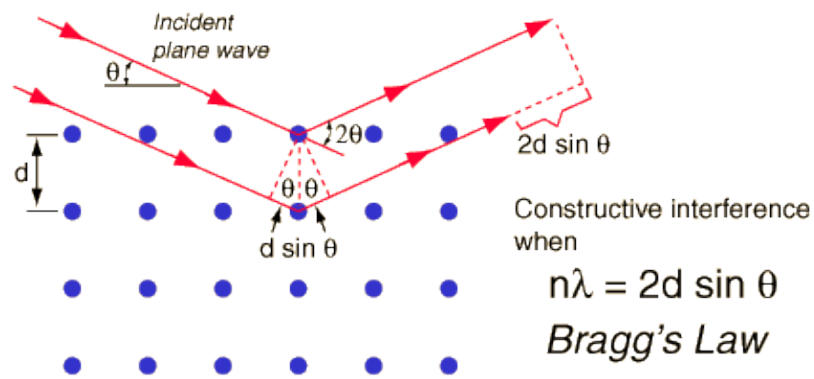
La fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica de análisis cualitativo y cuantitativo que permite determinar la composición química de muestras complejas de una manera eficiente y en tiempos cortos. Comúnmente es aplicada en el análisis geoquímico y de materiales como cerámicos, vidrios, metales. Por otro lado, este método se fundamenta en el estudio de las emisiones de fluorescencia, la misma que se produce cuando los átomos de una muestra están en estado de excitación gracias a la incisión de una fuente de rayos X de alta energía o rayos gamma (Beckhoff et al., 2007).

### **3.2 Difracción de Rayos X (DRX).**

La difracción de rayos X (DRX) es una técnica analítica utilizada en el análisis de cualitativo y cuantitativo de las fases cristalinas de un material, independientemente de su origen (e.g. natural o sintético). Por ello, esta técnica es ampliamente empleada en varios campos como: cristalografía, estratigrafía, geodinámica, mineralogía, paleontología, petrología y geoquímica, geotecnia, ingeniería civil, ciencias ambientales, áreas de química, edafología, metalurgia, cerámica, farmacia, ciencia de materiales, patrimonio, arqueometría, etc. (Salazar et al. 2009).

Por otro lado, el DRX es un fenómeno físico que se genera al combinar un haz de rayos X a una longitud de onda determinada, con un elemento cristalino. Asimismo, esta técnica se basa en la dispersión coherente del haz de rayos X manteniendo la longitud de onda de la radiación y en la interferencia constructiva que producen las ondas que están en fase y se esparcen en diferentes direcciones del espacio.

La ley de Bragg (Figura 7) describe el fenómeno de la difracción de rayos X, el mismo que predice la dirección en donde se lleva a cabo la interferencia constructiva tanto entre los haces de rayos X dispersados coherentemente por el cuerpo cristalino (D., Gómez, J. F., Mosquera, J. C., & Mejía, L. T., 2010).



**Figura 7.-** Resumen de la Ley de Bragg.

Fuente: Olmo, M., Nave, R.

Elaboración: Olmo, M., Nave, R.

### 3.3 Geoquímica.

La geoquímica permite conocer la distribución espacial de los elementos químicos en la tierra, estudiando las reacciones químicas que ocurren en la superficie terrestre, incorporando esta información en los ciclos geoquímicos, a fin de llegar a conocer como funcionaron en el pasado y como pueden ser alterados en un futuro (McSween, Richardson y Uhle, 2004).

Los valores de las anomalías tienden a sobrepasar los valores de fondo (background). Mientras que las anomalías negativas, es decir sus valores son menores a los de fondo, no representan una guía para la búsqueda de depósitos minerales (McSween et al., 2004).

### 3.4 Tipos de muestreo para suelos.

El seleccionar una parte representativa de un área es la finalidad de un muestreo, y para ello existen varios tipos de muestreo.

#### 3.4.1 Muestreo al azar.

Este tipo de muestreo es satisfactorio en un área homogénea, ya que la selección de las muestras es al azar y no hay relación con la variación que pueda presentar el suelo (AMBIENTE, 1999).

#### 3.4.2 Muestreo sistemático.

Se trata de tomar las muestras sistemáticamente, habiendo realizado un mallado de muestras previamente en un mapa. Permite obtener datos exactos ya que las muestras se distribuyen en toda la población. Sin embargo, es necesario hacer un estudio preliminar de la zona para conocer la variabilidad del suelo (AMBIENTE, 1999).

### **3.4.3 Muestreo estratificado.**

Este muestreo se lo realiza en suelos heterogéneos, en donde se divide el área a muestrear en partes homogéneas, y en cada una de estas se toma un número de muestras (de manera sistemática o al azar) que representen al área del que van a ser tomadas, con respecto al total (AMBIENTE, 1999).

### **3.4.4 Muestreo compuesto.**

La ventaja de este tipo de muestreo es que permite realizar un mayor muestreo sin la necesidad de que aumente el número de análisis, mezclando las muestras que se han tomado para obtener una sola que represente al total (AMBIENTE, 1999).

### **3.5 Anomalía Geoquímica.**

Es la variación de la distribución geoquímica normal de un área. Es expresada mediante números los cuales se separan de un grupo más amplio de valores, llamado background o fondo geoquímico (Silva y Nieves, 2010).

### **3.6 Valor de fondo o background.**

El valor de fondo o background se refiere a la riqueza normal de un elemento en un área determinada. Sin embargo, la distribución de los elementos en la tierra es raramente uniforme, por lo que el valor de fondo se lo trata en intervalos, incluso cuando se observe un ambiente relativamente uniforme (Silva y Nieves, 2010).

### **3.7 Valor de Umbral.**

EL valor de umbral determina la concentración para que un elemento de una muestra pueda considerarse anómala. Ya que este valor es el límite superior de los valores de fondo (background), en donde los valores mayores son anomalías (Silva y Nieves, 2010).

### **3.8 Geoestadística.**

La geoestadística pertenece a una de las ramas de la estadística, tratando fenómenos de distribuciones espaciales o temporales, mediante variables distribuidas en el espacio que mantienen cierta relación, con el objetivo de la estimación, predicción y simulación de esas variables, las cuales se denominan variables regionalizadas (Matheron, 2005).

### **3.9 Histograma.**

El histograma representa las frecuencias o números de ocurrencia en función de una variable, dividiendo los valores en intervalos y agrupando los datos que se clasifiquen dentro de estos. Siendo una herramienta útil para la detección de valores atípicos (no frecuentes) (Emery, 2013).

### **3.10 Coeficiente de correlación.**

La correlación es una medida de relación estadística entre variables. En donde dos variables están correlacionadas positivamente si se mueven en el mismo sentido. Mientras que, cuando dos variables se mueven en sentido contrario, quiere decir que están correlacionadas negativamente

### **3.11 Nube de dispersión.**

La nube de dispersión es un gráfico, el cual sirve para visualizar la relación o correlación entre dos variables, y de igual manera detectar los valores típicos en donde los puntos de los valores se alejan de la nube (Emery, 2013).

### **3.12 Diagramas de cajas y bigotes.**

Es la representación visual de cinco valores numéricos (mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y máximo) ubicados en una escala vertical u horizontal. En donde la caja describe los datos entre los dos cuartiles. Mientras que los bigotes son dos segmentos que describen, uno el cuarto de los datos menores al primer cuartil y el segundo el cuarto de los datos mayores que el tercer cuartil (Johnson y Kuby, 2008).

**CAPITULO IV**  
**GEOLOGÍA REGIONAL**

## **4.1 Geología regional.**

La cuenca de Catamayo se encuentra ubicada dentro de lo que se conoce como el graben de Catamayo-Cariamanga-Huancabamba.

Al sur del Ecuador las cuencas intramontañosas, están caracterizadas por evidenciar distintos episodios de apertura, y cierre, en donde se acumularon sedimentos, y se deformaron y levantaron, respectivamente. En donde los distintos ambientes de depositación varían entre secuencias sedimentarias litorales y continentales neógenas, las cuales interaccionaron con volcanismo sincrónico, presentando además evidencias de tectónica sinsedimentaria (Hungerbühler et al., 2002).

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.

Dentro de la zona de estudio, aflora principalmente la Formación Sacapalca, de edad paleocénica, teniendo facies volcano sedimentarias en un ambiente tectónico erosivo (Hungerbühler et al., 2002).

La Formación Saraguro, que es la continuación de la Formación Sacapalca, son características para la evolución orogénica de todo el cinturón de los Andes centrales. Estos grandes cinturones vulcanogenéticos en Ecuador, Perú y Chile, se los denomina cinturón volcánico Neogénico, debido a que su evolución termina en el Neógeno y comienzos del Paleoceno, con la depositación del vulcanismo regional del Grupo Saraguro (Hungerbühler et al., 2002).

La Formación Catamayo de edad Miocénica aflora en la zona sur de Catamayo, con un ambiente fluvial y de llanura de inundación costera (Hungerbühler et al., 2002).

Material volcano sedimentario de la Formación Gonzanamá, se encuentra cubriendo la cuenca de Catamayo, depositada en un entorno marino marginal en ambiente lagunar lacustre de agua salada (Hungerbühler et al., 2002).

### **4.1.1. Formaciones.**

#### **4.1.1.1. Formación Sacapalca.**

Ubicación-descripción: Se consideraron previamente como restringida al graben Catamayo, sin embargo, estas rocas continúan hacia el N y forman una parte substancial del afloramiento

previamente mapeado como Formación Saraguro. Una sección de 3 km de espesor ocurre en el sinclinal de Chuquiribamba, al Norte de Catamayo. Es probable porque la unidad está intruida por el Plutón San Lucas y por la intrusión de El Tingo.

Génesis: Facies volcano sedimentarias, tectónico erosivo.

Edad: Paleoceno-Eoceno Temprano.

Petrografía: Comprende pórfidos andesíticos, brechas tobáceas, conglomerados, lutitas lacustres y tobas dacíticas esparcidas.

#### **4.1.1.2. Formación Catamayo.**

Ubicación-descripción: de aproximadamente 400m de espesor, en el sector de Catamayo. Al Sur del pueblo de Catamayo, la Formación Catamayo descansa discordantemente sobre la Formación Sacapalca, donde los sedimentos forman un cabalgamiento con la Formación volcánica Loma Blanca.

Génesis: Llanuras de inundación (en la parte inferior), llanuras fluviales (en la parte media) y llanuras costeras con incursiones marinas (en la parte superior) estrechamente relacionados con los con los ambientes de depositamiento encontrados en la Formación Gonzanamá y en otras series del Mioceno medio de la parte Sur del Ecuador.

Edad: Mioceno Medio.

Petrografía: La parte inferior está compuesta fundamentalmente de pizarras, areniscas y calizas de menor importancia, con abundantes las 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.

#### **4.1.1.3. Formación Saraguro.**

Ubicación-descripción: Es la formación volcánica de mayor extensión del área en el Sur de Ecuador, se extiende por una distancia de 220 km desde la ciudad de Riobamba en el Norte, hasta Saraguro/Oña en el Sur, y cruza de la Cordillera Occidental en el Oeste, a la Cordillera Real en el Este. La Formación Saraguro tiene un espesor de 500-2000m,



Génesis: Steinmann (1997) propone que los flujos ignimbríticos voluminosos fueron suministrados por una fisura eruptiva y procesos de formación de la caldera, que se formaron en un ambiente tectónico extensional.

Edad: Eoceno temprano.

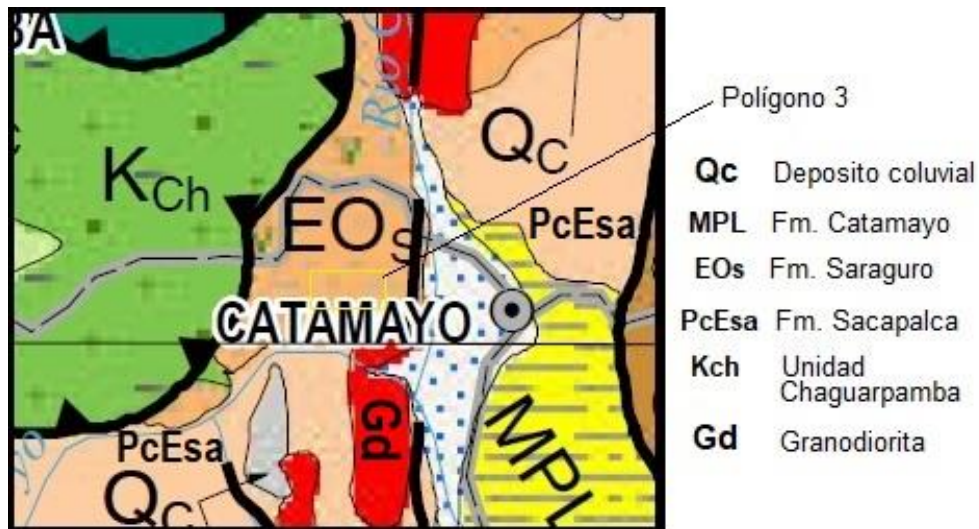
Petrografía: Consta de piroclásticos ácidos a intermedios. En la parte inferior, andesitas, tobas dacíticas y los flujos de lava prevalecen. La parte superior contiene predominantemente riolita, horizontes de ignimbrita de gran extensión superficial, que muestran las características típicas de refrigeración columnares y ocasionalmente piedra pómez y rocas sub-volcánicas que reflejan la proximidad cerca de los centros de erupción. Intercalando sedimentos fluviales y lacustres son frecuentes.

#### 4.1.1.4. Unidad Chaguarpamba.

Es una secuencia volcanoclástica compuesta por tobas arenosas intercaladas con limolitas volcánicas laminadas, aglomerados y lutitas fosilíferas.

Edad: Cretácico inferior tardío.

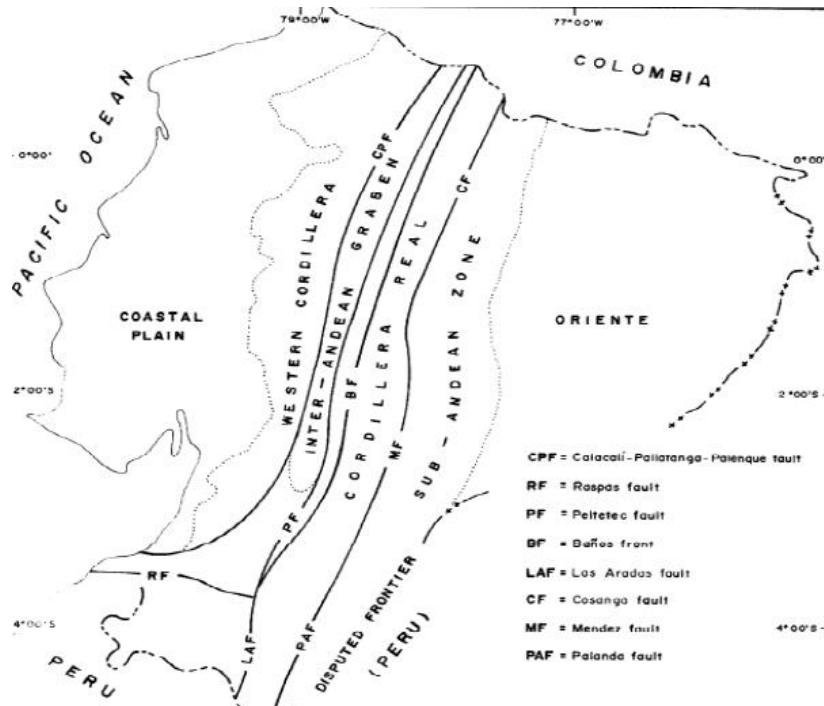
En la Figura 14 se observa la posición geológica regional del área del polígono de estudio.



**Figura 8.-** Geología regional del polígono 3.  
Fuente: INIGEMM, 2017.  
Elaboración: Autor.

## 4.2 Estructuras regionales.

En la Figura 15 se muestra gráficamente las estructuras regionales que afectan la zona de estudio.



**Figura 9.-** Principales fallas y rasgos morfológicos del Ecuador.

Fuente: Aspden, 1992.

Elaboración: Autor.

### 4.2.1. Sistema Falla Las Aradas-Frente de Baños.

Se la observo por primera vez cerca de Baños al Norte del país y al Sur seguidamente en el sector las Aradas, en donde forma el graben oriental de la zona. Se manifiesta como la zona de mayor cizallamiento NNE-SSW dentro de las rocas metamórficas y separa los terrenos Alao y Loja. Según estudios, una zona de cizallamiento de 2 km de ancho al oeste del principal cambio litológico cerca de Baños. Al Norte la falla de Baños se proyecta tentativamente bajo la cobertura de rocas cenozoicas, esto divide al basamento de Ambuquí y Monte olivo, áreas que tienden a diferentes direcciones y que pueden representar un punto de convergencia de las cordilleras Central y Oriental de Colombia.

**CAPITULO V**  
**METODOLOGÍA DE TRABAJO**

### 5.1 Revisión bibliográfica, benchmarking.

Se realizó la revisión bibliográfica de papers, tesis sobre la relación entre la geología y la composición geoquímica de un suelo, como: Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of South-West Spain de E. Galán, J.C. Fernandez-Caliani, I. González, P. Aparicio, A. Romero (2008); Mineralogical and geochemical investigations of the Middle Eocene ironstones, El Bahariya Depression, Western Desert, Egypt de Walid Salam, Mourtada El Aref, Reinhard Gaupp (2011); y tesis como: Caracterización de arcillas naturales del cantón Catamayo y sus usos potenciales en la tecnología de C. Loayza (2017).

Como base de la geología de la zona de estudio, se revisó el Mapa Geológico de la República del Ecuador escala 1:1000000, y hojas cartográficas de Catamayo (NVI-F3), y Nambacola (NVIII-B1) a escala 1:50000.

### 5.2 Trabajo de campo; geología, muestreo.

Se realizó varias salidas de campo que comprenden un reconocimiento de la zona de estudio, levantamiento geológico de la zona para determinar la litología existente y obtener un mapa geológico de la zona. Se realizó el levantamiento de varios afloramientos, los cuales se encuentran evidenciados en un mapa en el anexo 1, pag 72. Los afloramientos son georreferenciados y registrados.



**Figura 10.-** Muestreo compuesto realizado en el polígono 3.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Se realizó el muestreo mediante una malla de muestreo estratificado para 15 muestras, una por cada km<sup>2</sup>; para luego realizar un muestreo sistemático (Figura 10), permitiendo obtener resultados más exactos a partir de las muestras que se distribuyen regularmente en toda la población (Jiménez, 2017). A las muestras se les realiza un análisis litológico, mineralógico y geoquímico.

### 5.3 Ensayos en laboratorio.

Se realizó la preparación de 15 muestras obtenidas en campo para los distintos ensayos de laboratorio: análisis mineralógico mediante DRX y microscopía, y análisis químico mediante FRX.

#### 5.3.1. Preparación de las muestras.

A las muestras se les realiza un proceso de limpieza, con el fin de eliminar material orgánico o impurezas que pudieran alterar los análisis. Posterior a ello y empleando una estufa a una temperatura de 105°C se secarán las muestras durante un periodo de 24 horas (Figura 11).



**Figura 11.-** Limpieza y secado de las muestras.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Consiguiente al secado, se tomó un aproximado de 110 g de cada muestra para pulverizarlas, utilizando un pulverizador rotatorio de anillo, el cual operó durante 6 minutos a 700 rpm. Una vez finalizado el proceso mencionado, se guardó las muestras en fundas para su posterior análisis (Figura 12).



**Figura 12.-** Pulverización y guardado de las muestras.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

### **5.3.2. Análisis mineralógico mediante microscopía.**

Se realiza el análisis mineralógico empleando el microscopio Motic SMZ-168 en 9 de las 15 muestras, debido a que estas 9 muestras presentan líticas con las propiedades apropiadas para realizar el análisis.

### **5.3.3. Análisis químico mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX).**

Con ayuda del equipo portátil de FRX Bruker X S1 TURBO<sup>SD</sup>, a partir de las muestras pulverizadas y homogeneizadas, se coloca una pequeña cantidad ( $\approx 5$  g) en el recipiente para ser colocado en el equipo FRX donde se realiza la lectura del espectrómetro de fluorescencia de Rayos X (Figura 13). El equipo debe estar configurado para realizar el análisis por el método *Mining Light Elements*, el cual realiza la lectura y presenta en la pantalla la cuantificación de los elementos analizados.



**Figura 13.-** Análisis de FRX de las muestras.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

#### **5.3.4. Difracción de Rayos X.**

El análisis fue realizado a 4 muestras representativas de la litología del polígono de estudio mediante el equipo BRUKER D8 ADVANCE ECO. Las muestras pulverizadas se agregaron en el portamuestra, asegurándose de que la superficie quede totalmente plana, para posteriormente ser colocadas en el equipo, para luego mediante los programas EVA Difrac Plus y TOPAS, presentar los resultados cualitativa y cuantitativamente.

**CAPITULO VI**  
**RESULTADOS DE CAMPO**



## 6.1 Geología Local.

Dentro del polígono de estudio se encuentra aflorando la Formación Sacapalca del Paleoceno-Mioceno Medio, la cual fue descrita por primera vez por Kennerley (1973).

Con un espesor de más de 2000 m (Baldock, 1982), comprende flujos de lavas andesíticas, tobas andesíticas a dacíticas, y flujos de brechas (Hungerbühler, 1995)

### 6.1.1. Formación Sacapalca.

La andesita porfídica (Figura 14) de la Formación Sacapalca, se encuentra aflorando en la mayor parte del polígono de estudio.



**Figura 14.-** Andesita Porfídica en la zona de estudio.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Hay presencia de alteración hidrotermal, en este caso de alteración propilítica evidenciada en las vetillas de clorita-calcita-caolinita en los afloramientos (Figura 15); provocado probablemente por los intrusivos que afloran en la zona.



**Figura 15.-** Hidrotermalismo en andesita porfídica.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

En la parte Oeste de la zona de estudio, se encuentra alteración hidrotermal de tipo cloritización, en donde se observa minerales de clorita junto al cuarzo (Figura 16), provocados por la alteración hidrotermal del piroxeno, anfíbol y biotita presentes en la roca y la cual se encuentra relacionada con la alteración propilítica.



**Figura 16.-** Muestra de mano de andesita porfídica cloritizada.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

### 6.1.2. Intrusivos.

Granito. – Se encuentra aflorando en la parte casi central del polígono (ver apartado 6.4) en donde se lo puede observar a lo largo de la vía que atraviesa el polígono (Figura 17), y en la parte sureste del polígono en lo que es el intrusivo “El Tingo” (Figura 18), en donde se pueden observar macizos rocosos de granito aflorando en la parte superior.



**Figura 17.-** Granito en la parte central del polígono, en corte de vía.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



**Figura 18.-** Intrusivo "El Tingo".

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

Estos intrusivos serían la fuente de emisión de fluidos hidrotermales que provocan las distintas alteraciones en las andesitas porfídicas presentes en la zona.

### **6.1.3. Lavas.**

Riolita. – Se encuentra aflorando en una pequeña parte al Oeste del polígono (ver apartado 6.4), en la vía que atraviesa el polígono, y en los afloramientos realizados por corte de vía (Figura 19).



**Figura 19.-** Riolita aflorando en vía y corte de vía.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

#### **6.1.4. Depósitos coluviales.**

En todo el polígono se encuentran depósitos coluviales cuaternarios cubriendo la andesita porfídica (Figura 20), con capas que pueden llegar a un metro de espesor muy superficiales.

Los clastos presentes en los coluvios son de material ígneo, como andesita, basalto, además de cuarzo, y la presencia de zonas con carbonatos.



**Figura 20.-** Coluvio de clastos ígneos.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

## 6.2 Litologías.

En base a las distintas salidas de campo realizadas para el levantamiento geológico de la zona de estudio, se elaboró un mapa geológico (ver apartado 6.4), en donde se define y muestra la ubicación de 5 litologías que se encuentran emplazadas en la zona de estudio. La litología encontrada son en su totalidad rocas ígneas, entre ellas intrusivas y extrusivas.

A continuación, se describen las distintas litologías:

### 6.2.1. Andesita porfídica.

Las rocas clasificadas y mapeadas como andesita porfírica, presentan una coloración verde oscura (Figura 21) a verde grisáceo (Figura 22).



**Figura 21.-** Andesita porfídica verde oscura.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

En algunas muestras hay presencia de cuarzo en un 5 a 7%, los cuales en su mayoría están cubiertas por patinas de clorita, la cual es una alteración hidrotermal de los ferromagnesianos que se encuentran en la roca como son los piroxenos (15%) y anfíboles (20%, en algunos casos grandes cristales). Contiene un alto porcentaje de feldspatos (30 a 40%). Además, hay la presencia de calcita.



**Figura 22.-** Andesita porfídica verde grisácea.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

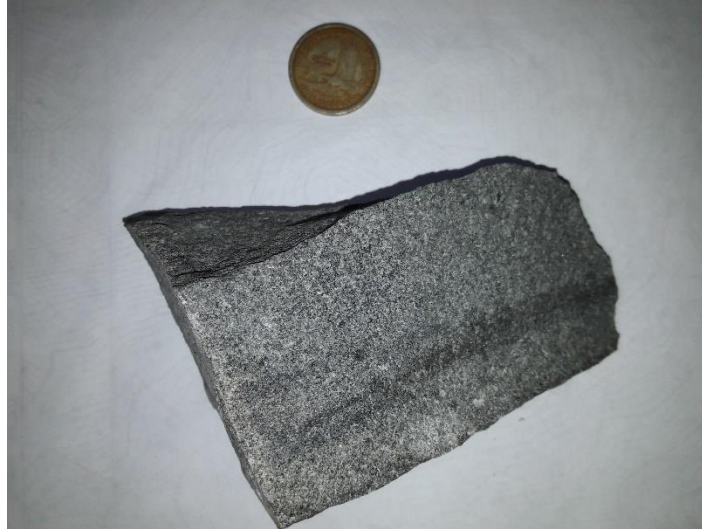
### 6.2.2. Andesita.

Clasificadas como andesita (Figura 23) por su coloración verdosa y alto contenido de plagioclasas.



**Figura 23.-** Andesita con vetilla de calcita.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

De textura afanítica, de color verdoso oscuro. Con patinas de calcita debido a la posible carbonatación (Figura 24). Pequeña presencia de cloritización, además de, vetillas de calcita intruidas en la roca.



**Figura 24.-** Andesita silicificada, con presencia de patinas de calcita.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

### **6.2.3. Andesita porfídica meteorizada.**

Diferenciadas de las andesitas porfídicas anteriormente mencionadas, debido a su abundancia en cotas de gran altura donde son propensas a mayor meteorización (ver apartado 6.4) y por su coloración rojiza.

Presentan oquedades en la parte externa, ya que internamente si se las parte, se puede observar la roca intacta, donde se muestran los feldespatos, anfíboles y piroxenos descritos anteriormente en la andesita porfídica.

### **6.2.4. Riolita.**

La roca definida como riolita es de grano fino, con coloración blanca amarillenta (Figura 25), con presencia de alineación de los minerales.



**Figura 25.-** Riolita.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

Mineralógicamente contiene gran cantidad de cuarzo y feldespatos; además se puede observar, aunque con dificultad la biotita.

#### **6.2.5. Granito.**

El granito mapeado es de color claro, de textura fanerítica, poco meteorizado con cristales de cuarzo vítreos y de forma circular y cristales rectangulares de feldespato (Figura 26 y 27).

Contiene cuarzo en un 40% y feldespato potásico en un 50%; además, contiene plagioclasas, biotita y anfíbol, los cuales se encuentran como minerales secundarios.





**Figura 26.-** Granito de intrusivo “El Tingo”.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

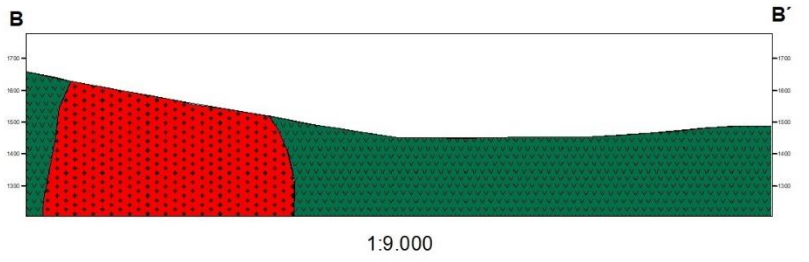
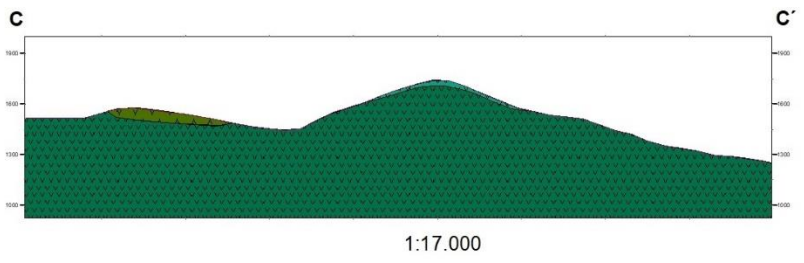
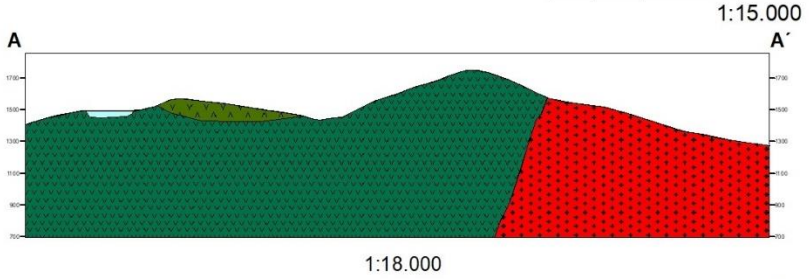
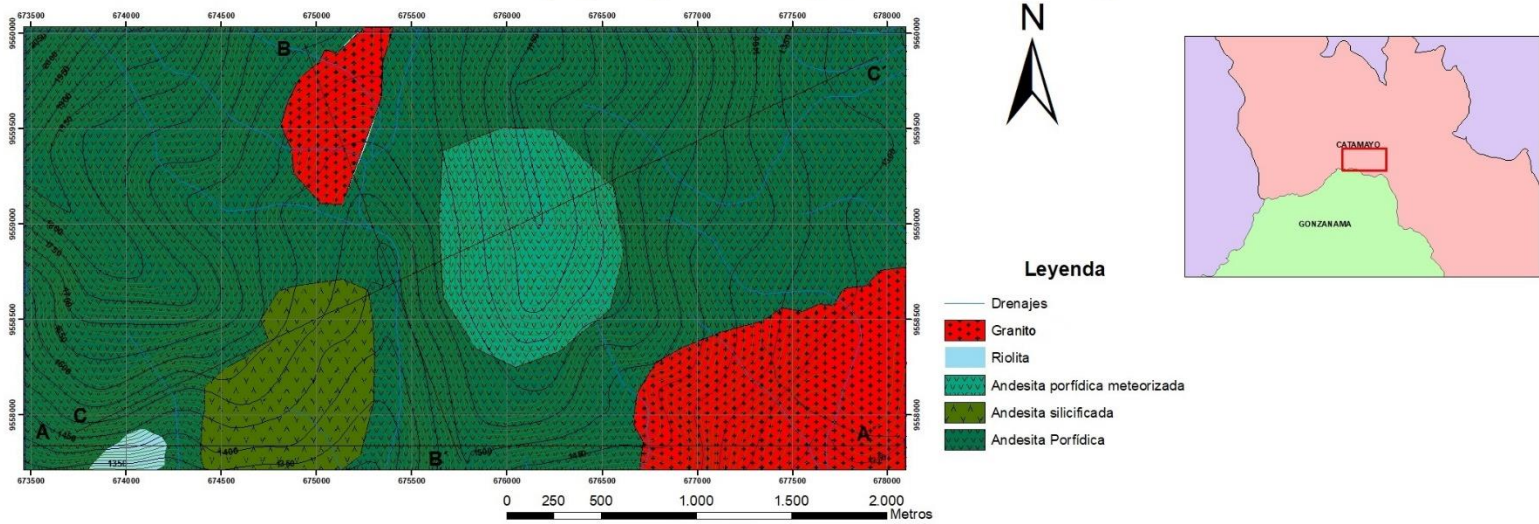


**Figura 27.-** Granito.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

### **6.3 Mapa Geológico.**

En el polígono de estudio se realizó una campaña de exploración, en la cual se analizó distintos afloramientos como se aprecia en el Anexo 1, pag71. A continuación, en la figura 28 se presenta el mapa geológico basado en los resultados obtenidos en campo.

### Mapa geológico del Polígono 3 Alamala-Catamayo

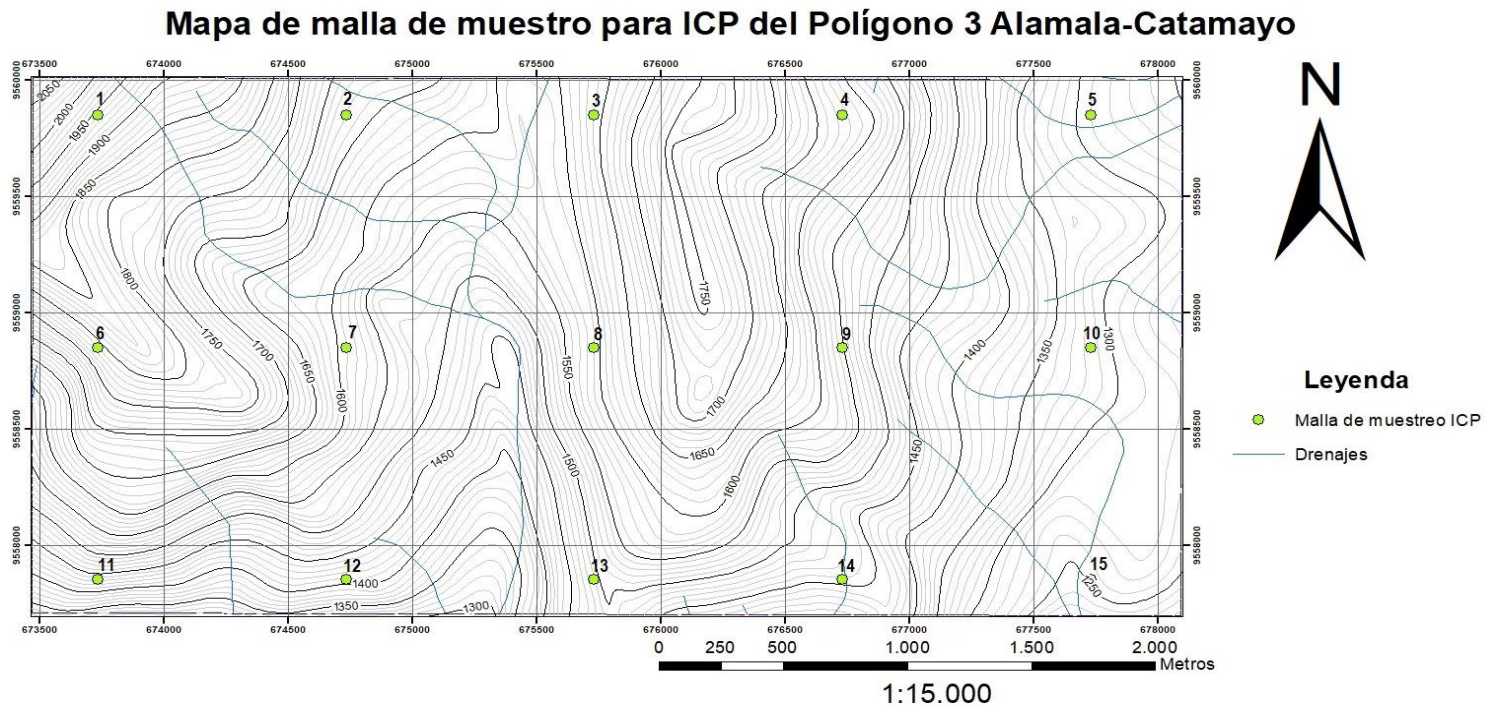


	<b>UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA</b>		
	Titulación de Geología y Minas		
	<b>MAPA GEOLÓGICO POLIGONO 3 ALAMALA-CATAMAYO</b>		
	Elaborado por:	Juan Carlos Ramirez Torres	
	Proyección:	Transverse mercator	Datum:
Escala:	1: 15 000		
Unidades:	Metros		

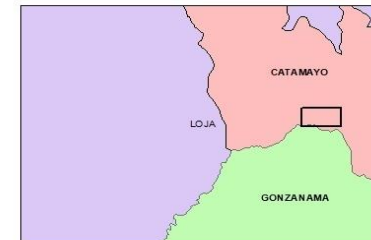
**Figura 28.-** Mapa geológico.  
**Fuente:** Autor.  
**Elaboración:** Autor.

## 6.4 Mapa de muestreo.

En base al mallado establecido se llevó a cabo la campaña de muestreo, con la que se diseñó el mapa de muestreo (Figura 29). Posterior a ello, las muestras tomadas se utilizaron en los diferentes análisis.



	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>			
	Titulación de Geología y Minas			
	<b>MAPA DE MUESTREO PARA ICP POLÍGONO 3 ALAMALA-CATAMAYO</b>			
	Elaborado por:		Juan Carlos Ramírez Torres	
	Proyección		Transverse mercator	
	Escala:	1: 15 000	Datum:	WGS 1984
Unidades	Metros			



**Figura 29.-** Mapa de muestreo para ICP.

**Fuente:** Autor.

**Elaboración:** Autor.

## 6.5 Análisis químico y mineralógico de muestras.

### 6.5.1 Análisis mineralógico mediante microscopía.

Mediante el microscopio MOTIC SMZ-168, y tomando solamente las muestras que permitieran realizar microscopía, debido a que presentaban aun líticos de la roca original, se realizó el análisis microscópico en donde se identificó: granito, andesita, andesita porfídica y riolita.

En el anexo 2, pag 73 se muestran las fichas con la respectiva descripción detallada de cada roca identificada.

### 6.5.2 Difracción de Rayos X.

Con el objetivo de caracterizar detalladamente la mineralogía de la litología presente en el polígono de estudio, se analizó por difracción de rayos X a cuatro muestras representantes de la litología del polígono, las cuales se indican a continuación:

#### 6.5.2.1 Muestra 1.

Por medio del análisis, se identificó la muestra 1 como granito. El difractograma se encuentra en el anexo 3.1, pag 82. A continuación se presenta los minerales que componen la muestra1:

**Tabla 2.-** Composición de la muestra 1.

Minerales	Formula Química	Porcentaje
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	34.92 %
Oligoclasa	(Na,Ca)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	11.35 %
Andesina	(Na,Ca)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	34.93 %
Ortoclasa	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	13.84 %
Moscovita	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	0.27 %
Vermiculita	Mg <sub>1.8</sub> Fe <sub>2</sub> +0.9Al <sub>4.3</sub> SiO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> •4(H <sub>2</sub> O)	1.41 %
Riebeckita	Na <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> +3Fe <sub>3</sub> +2(Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> )(OH) <sub>2</sub>	3.27 %

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

#### 6.5.2.2 Muestra 2.

A partir del análisis se identificó la muestra dos como riolita. EL difractograma junto con sus minerales se encuentra en el anexo 3.2, pag 84. A continuación se presenta los minerales que componen la muestra2:

**Tabla 3.-** Composición de la muestra 2.

<b>Minerales</b>	<b>Formula Química</b>	<b>Porcentaje</b>
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	82.94 %
Oligoclasa	(Na,Ca)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	0.04 %
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	0.80 %
Goetita	Fe <sub>3</sub> +O(OH)	2.32 %
Moscovita	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	8.37 %
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	5.53 %

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

**6.5.2.3 Muestra 3.**

A partir del análisis se identificó la muestra tres como andesita. El difractograma con los minerales identificados se encuentra en el anexo 3.3, pag 86. A continuación se presenta los minerales que componen la muestra3:

**Tabla 4.-** Composición de la muestra3.

<b>Minerales</b>	<b>Formula Química</b>	<b>Porcentaje</b>
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	19.84 %
Ortoclasa	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	6.93 %
Albita	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	3.02 %
Oligoclasa	(Na,Ca)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	55.73 %
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	1.80 %
Vermiculita	Mg <sub>1.8</sub> Fe <sub>2+0.9</sub> Al <sub>4.3</sub> Si <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> •4(H <sub>2</sub> O)	2.61 %
Hornblenda	Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe,Al) <sub>5</sub> (Al,Si) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	2.29 %
Clorita	(Mg,Fe) <sub>3</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> •(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub>	7.79 %

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

**6.5.2.4 Muestra 4.**

Mediante el análisis de difracción se identificó a la muestra como andesita la cual se encuentra compuesta por: cuarzo, biotita, oligoclasa, ortoclasa, piroxeno, clorita y calcita. Esta muestra luego mediante análisis microscópico se identificó como andesita porfídica debido a su textura. El difractograma con los minerales se encuentra en el anexo 3.4, pag 88.

**Tabla 5.-** Composición de la muestra 4.

Minerales	Formula Química	Porcentaje
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	46.04 %
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	1.86 %
Oligoclasa	(Na,Ca)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	38.38 %
Vermiculita	Mg <sub>1.8</sub> Fe <sub>2+0.9</sub> Al <sub>4.3</sub> SiO <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> •4(H <sub>2</sub> O)	3.52 %
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	3.90 %
Albita	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	5.46 %
Ortoclasa	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0.11 %
Ferropargasita	NaCa <sub>2</sub> (Fe <sub>2+</sub> ,Mg) <sub>4</sub> Al(Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> )O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	0.74 %

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

### 6.5.3 Fluorescencia de Rayos X.

Las 15 muestras obtenidas en el polígono de estudio fueron sometidas a análisis por Fluorescencia de Rayos X (FRX), dando como resultado los siguientes elementos mayoritarios: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, como se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.-** Resultados de FRX.

Muestra	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Total
1	21.70	59.90	0.54	1.99	N/A	0.16	5.85	90.14
2	20.00	56.40	1.15	5.74	N/A	0.28	6.59	90.16
3	17.10	43.80	0.67	18.90	N/A	0.20	8.68	89.34
4	18.40	46.20	1.05	14.20	N/A	0.23	9.65	89.73
5	19.20	53.50	1.24	7.71	N/A	0.19	7.88	89.72
6	16.30	63.40	1.43	2.42	N/A	0.11	4.93	88.60
7	16.50	49.30	0.73	12.50	N/A	0.22	9.22	88.46
8	17.00	46.90	0.57	12.80	N/A	0.17	7.67	85.11
9	18.70	51.80	1.09	11.00	N/A	0.12	7.07	89.78
10	21.10	60.40	1.87	2.43	N/A	0.17	6.80	92.77
11	17.40	43.30	0.63	17.70	7.38	0.23	8.32	94.96
12	21.70	46.10	1.55	11.00	N/A	0.15	7.12	87.62
13	21.80	56.90	0.90	3.26	N/A	0.18	6.24	89.27
14	16.50	56.10	2.14	8.30	N/A	0.20	7.00	90.24
15	16.50	57.00	2.05	10.90	N/A	0.16	6.36	92.97

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

## 6.6 Interpretación de resultados.

### 6.6.1. Estadística descriptiva de elementos mayoritarios.

A partir de los datos obtenidos del análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX) para las 15 muestras, se determinó que el polígono de estudio presentó los siguientes elementos mayoritarios:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mientras que los elementos minoritarios fueron  $\text{MgO}$  y  $\text{MnO}$ . Las concentraciones de estos elementos fueron mayores o iguales a 1% y menores a 1%, respectivamente.

En la Tabla 7 se aprecian el valor mínimo, máximo, mediana, varianza y desviación estándar de cada uno de los elementos de las 15 muestras analizadas. Respecto a la desviación estándar, se puede observar que los compuestos que presentaron la menor desviación estándar fueron  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{MnO}$ , esto muestra una homogeneidad en cuanto a la composición de los suelos en relación a los dos compuestos. Por otro lado, se determinó que los compuestos  $\text{SiO}_2$  y  $\text{CaO}$  presentan una mayor heterogeneidad, en cuanto a la composición de los suelos en porcentaje. Esto se ratifica con los valores muy dispersos de la varianza de cada compuesto.

**Tabla 7.-** Estadística descriptiva de los elementos presentes en las muestras.

	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
<b>Nro. de Valores</b>	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
<b>Valor Min. (%)</b>	16.30	43.30	0.54	1.99	0.00	0.12	4.93
<b>Valor Max. (%)</b>	21.80	63.40	2.14	18.90	7.38	0.28	9.65
<b>Media (%)</b>	18.66	52.73	1.17	9.39	0.49	0.18	7.29
<b>Mediana (%)</b>	18.40	53.50	1.09	10.90	0.00	0.18	7.07
<b>Varianza</b>	4.49	41.93	0.29	29.86	3.63	0.00	1.66
<b>Des. Est.</b>	2.12	6.48	0.54	5.47	1.91	0.04	1.29
<b>Cft. Asim.</b>	0.44	-0.03	0.60	0.13	3.87	0.44	0.21

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

#### 6.6.1.1 Aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

En la Figura 30 se aprecia el histograma para el aluminio  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , el mismo que muestra una asimetría positiva ya que su cola de distribución se alarga hacia la derecha. Además, se observa que la mayor frecuencia (5) de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  radica entre 16% y 17%. Sin embargo, las frecuencias restantes (2) se mantienen constantes entre 17% y 20%.

El diagrama de cajas y bigotes (Figura 31) indico que la mayor concentración de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se encuentra entre el 16.4% y 18.4%. Estos resultados se pueden ratificar con el histograma, ya que se obtuvieron resultados similares.

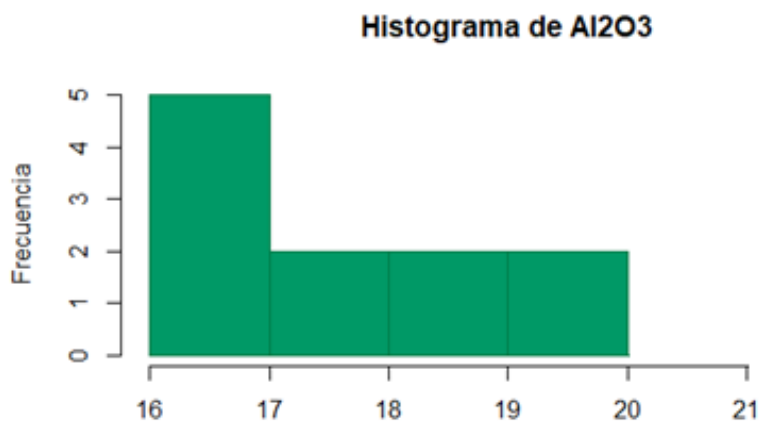


Figura 30.- Histograma de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.

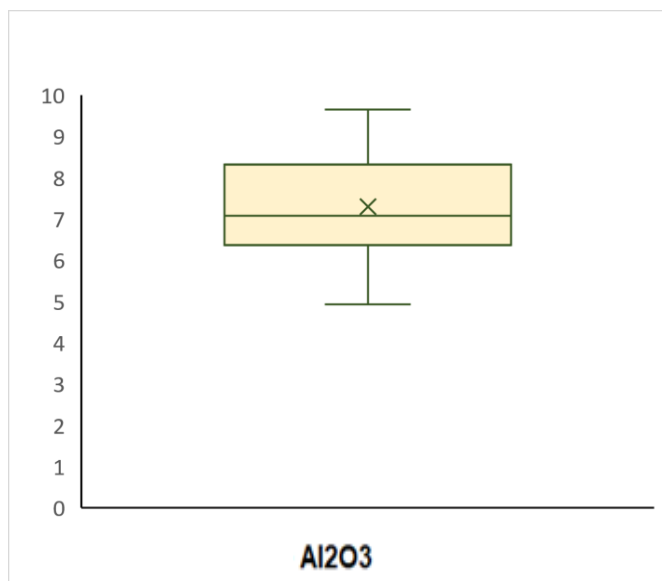
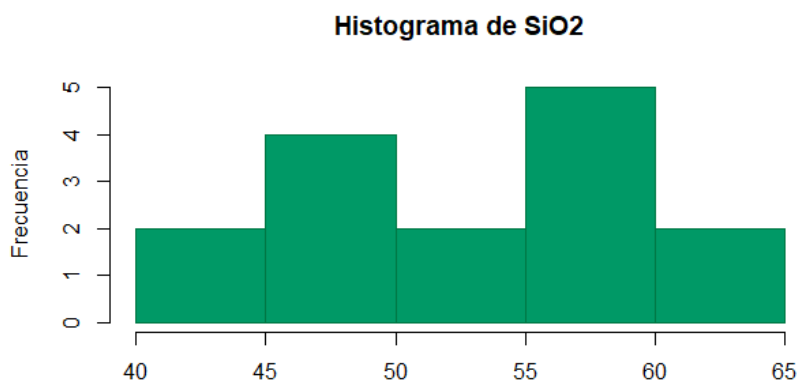


Figura 31.- Diagrama de cajas y bigotes de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.



### 6.6.1.2 Silicio ( $\text{SiO}_2$ ).

El histograma correspondiente al  $\text{SiO}_2$  se muestra en la Figura 32. Asimismo, de acuerdo a su eje de simetría, se establece una asimetría negativa, es decir presenta una cola alargada hacia la izquierda. Respecto a las frecuencias 5 es la mayor registrando valores entre 55% y 60%. Seguida de una frecuencia 4 entre 45% y 50%. En el diagrama de cajas y bigotes se (Figura 33) constató que la mayor concentración del compuesto, se da entre los porcentajes 53.5% y 57%.



**Figura 32.-** Histograma de  $\text{SiO}_2$ .

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



**Figura 33.-** Diagrama de cajas y bigotes de  $\text{SiO}_2$ .

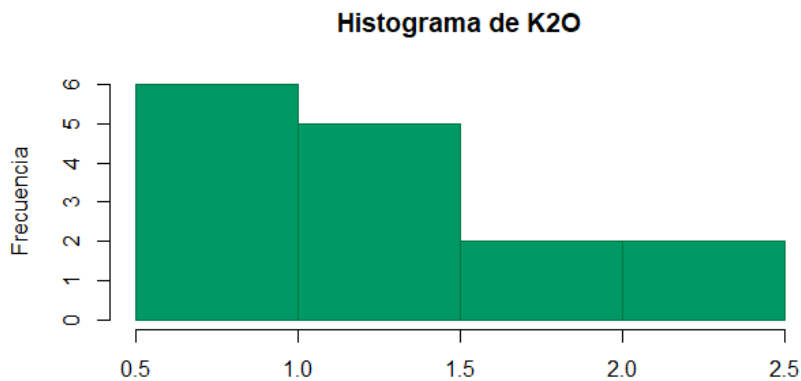
Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

### 6.6.1.3 Potasio ( $K_2O$ ).

El histograma de  $K_2O$  indica una asimetría positiva, mostrando un alargamiento de su cola a la derecha, esto se puede observar en la Figura 34. De igual manera se puede apreciar que entre 0.5% y 1%, se registra la mayor frecuencia (6). Sin embargo, la menor frecuencia (2) se encuentra entre el 1.5% y 2.5%.

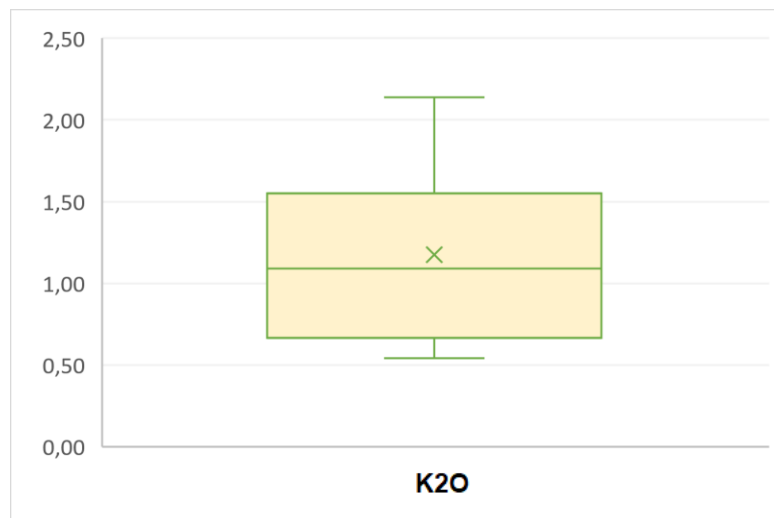
En la Figura 35 en donde se presenta el diagrama de cajas y bigotes de  $K_2O$  se muestra que la mayor concentración de  $K_2O$  se encuentra entre 0.56 % y 1.090 %, demostrando el valor de frecuencia 6 descrito en el histograma.



**Figura 34.-** Histograma de  $K_2O$ .

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



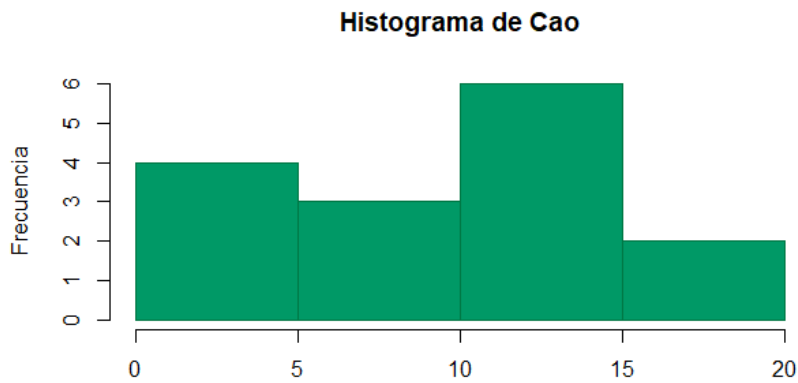
**Figura 35.-** Diagrama de cajas y bigotes de  $K_2O$ .

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

#### 6.6.1.4 Calcio (CaO)

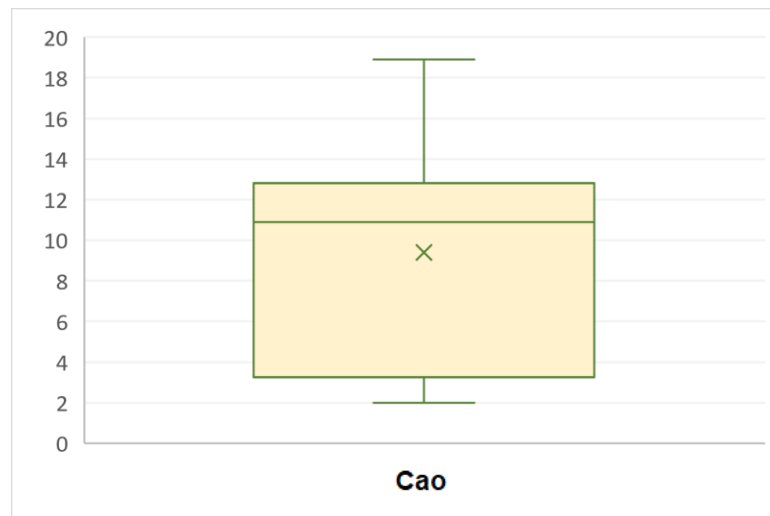
En el histograma de CaO (Figura 36) se observa un alargamiento de su cola hacia la izquierda, indicando una asimetría negativa. Además, se observa que los porcentajes entre 10% y 15% presenta una frecuencia de 6. Mientras que los porcentajes de entre 15% y 20% presentan una frecuencia de 2. En el diagrama de cajas y bigotes (Figura 37) se comprueba que la mayor concentración de CaO se encuentra entre 10.9 % y 13 %.



**Figura 36.-** Histograma de CaO.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



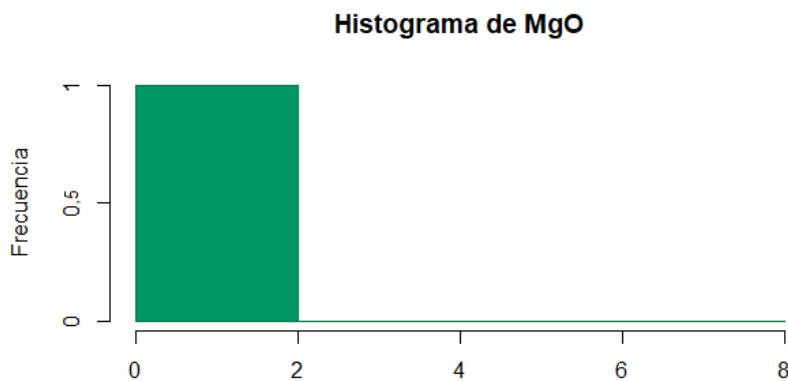
**Figura 37.-** Diagrama de cajas y bigotes de CaO.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

### 6.6.1.5 Magnesio (MgO)

En la Figura 38 se muestra el histograma de MgO en el cual como se puede observar no posee una asimetría positiva o negativa, debido a que, de las 15 muestras analizadas, solo una muestra evidenció la presencia de MgO (Tabla 2) y por ende la frecuencia como se observa en el histograma, es de 1.



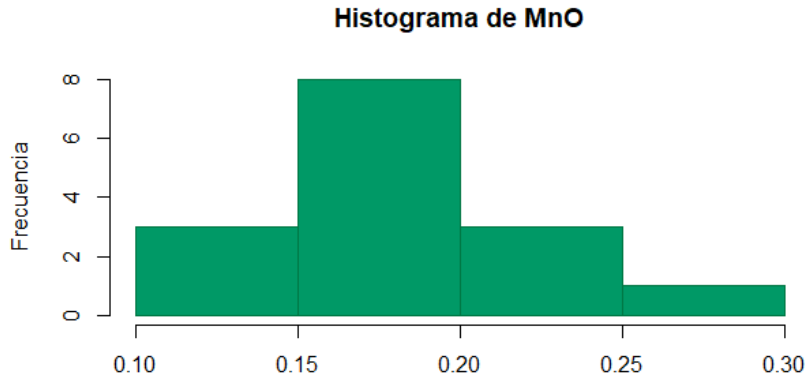
**Figura 38.-** Histograma de MgO.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

### 6.6.1.6 Manganeso (MnO)

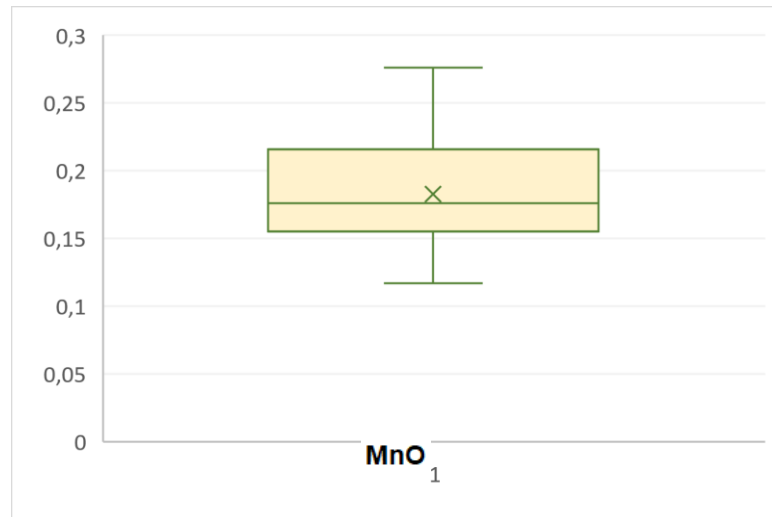
En el histograma de MnO (Figura 39), se evidencia una asimetría positiva indicando un alargamiento de su cola a la derecha. En cuanto a su frecuencia, se evidencia que los porcentajes de entre 0.15% y 0.20% presentan la mayor frecuencia (8). Mientras que la frecuencia más baja (1) se evidencia los porcentajes entre 0.25% y 0.30%. Asimismo, en el diagrama de cajas y bigotes (Figura 40) se evidencia que la mayor concentración de MnO se encuentra entre los porcentajes 0.155 % y 0.176 %.



**Figura 39.-** Histograma de MnO.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



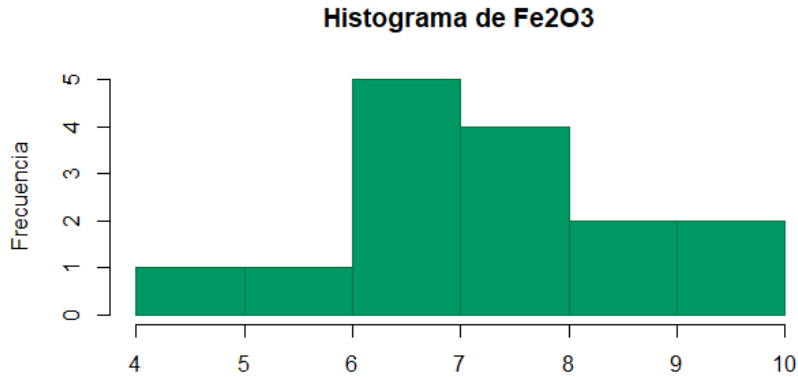
**Figura 40.-** Diagrama de cajas y bigotes de MnO.

Fuente: Autor.

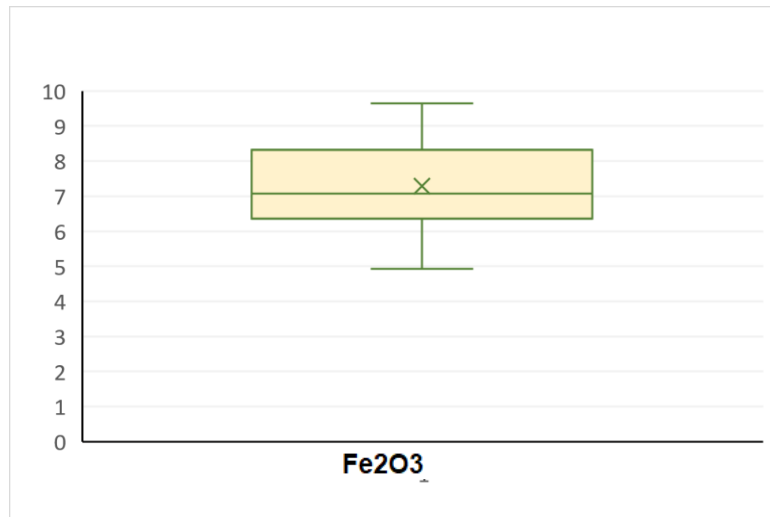
Elaboración: Autor.

### 6.6.1.7 Hierro ( $Fe_2O_3$ ).

En el histograma de  $Fe_2O_3$ , indica un alargamiento de su cola a la derecha, mostrando una asimetría positiva como se puede mostrar en la Figura 41. Asimismo, las frecuencias más altas son 4 y 5, mostrando porcentajes entre 7% - 8%, y 6% - 7% respectivamente. De igual manera, en el Figura 42 donde se muestra el diagrama de cajas y bigotes de  $Fe_2O_3$ , se muestra que la mayor concentración de compuesto se encuentra entre 6.2 % y 7.07 %.



**Figura 41.-** Histograma de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor.



**Figura 42.-** Diagrama de cajas y bigotes de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.  
Fuente: Autor.  
Elaboración: Autor

### 6.6.2. Coeficiente de correlación de elementos mayoritarios.

El coeficiente de correlación mide la relación entre dos variables, y este a su vez mide el grado de proporcionalidad de ambas variables. Asimismo, el grado de proporcionalidad o correlación tiene un valor que va desde -1 hasta +1, siendo -1 para un coeficiente de proporcionalidad negativo y +1 para un coeficiente de proporcionalidad positivo. De manera que, los valores positivamente correlacionados se mueven en una misma dirección. Mientras que los valores negativamente correlacionados se mueven en direcciones opuestas (Johnson y Kuby, 2008).

Es así que, en la Tabla 8 los valores con correlación positiva y que más se acerquen a +1 muestran una relación entre los compuestos, es decir, tienen relación mineralógica. Por el contrario, los valores que más se acerquen a -1 o se correlacionan negativamente son relaciones débiles, en donde un compuesto aumenta y el otro disminuye.

**Tabla 8.-** Correlación de elementos mayoritarios correspondientes a los datos de FRX.

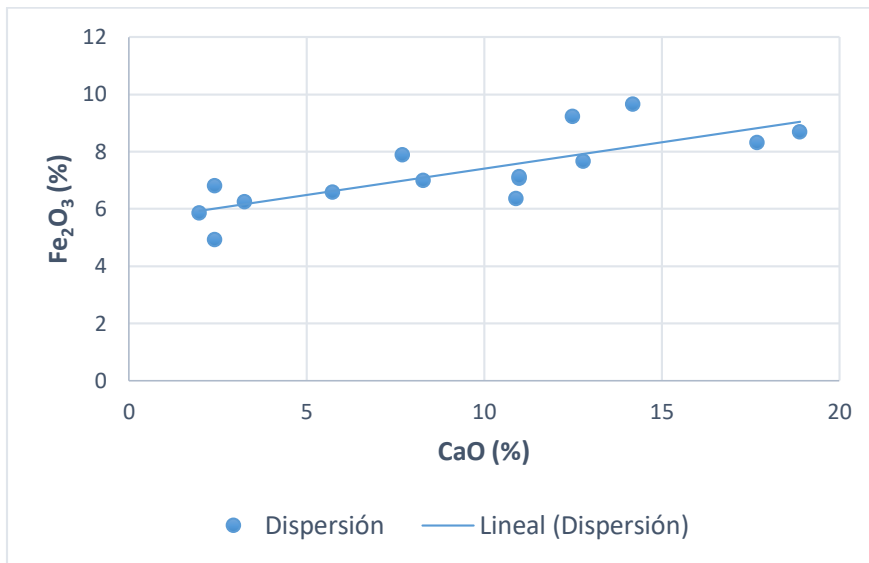
	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>MnO</i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1						
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0.217	1					
<b>K<sub>2</sub>O</b>	-0.067	0.462	1				
<b>CaO</b>	-0.512	-0.920	-0.315	1			
<b>MgO</b>	-0.165	-0.403	-0.279	0.421	1		
<b>MnO</b>	-0.060	-0.316	-0.182	0.296	0.278	1	
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	-0.280	-0.819	-0.360	0.783	0.221	0.534	1

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

En base a la tabla de correlación de óxidos, se establece que el valor más aproximado a +1, es el valor entre Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaO (0.783), lo cual mostraría la presencia de hornblenda (ferrohornblenda y magnesiohornblenda), la misma que se encuentra comúnmente en rocas ígneas como el granito (Fernandez, 2016), y como se observa en el mapa geológico (apartado 5.3) existe gran presencia de granito en la zona. Asimismo, como siguiente valor aproximado a +1 es el valor entre MnO – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.534). Es común encontrar al Fe y Mn asociados, y en condiciones de aridez el Fe y Mn se encuentran oxidados, y por ende inmóviles, lo que les permite acumularse bajo colores intensos, rojos o amarillos (Rivera y Valiente, 2003), lo cual es observable en todo el polígono 3.

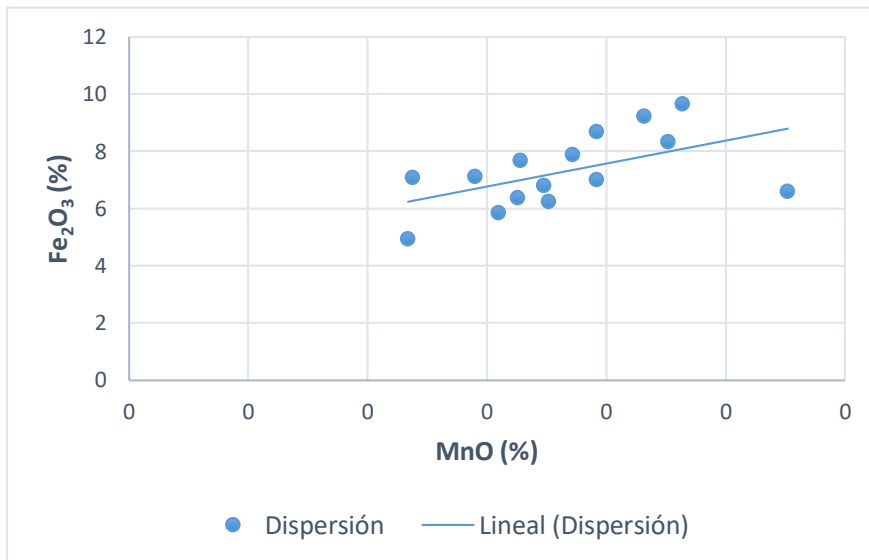
A continuación, se aprecia gráficamente en las Figuras 43 y 44 mediante nubes de dispersión, la correlación de los elementos Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaO y MnO – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> respectivamente, evidenciando la correlación positiva entre ellos.



**Figura 43.-** Nube de dispersión de CaO vs Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.



**Figura 44.-** Nube de dispersión de MnO vs Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

### 6.7 Mapas Geoquímicos.

Los mapas geoquímicos muestran la distribución espacial de las concentraciones obtenidas mediante análisis de FRX, en el polígono 3. Los mapas geoquímicos mostrados a continuación fueron realizados mediante el Programa ArcGis 10.5 con ayuda de la extensión IDW.



**Tabla 9.-** Tendencia de distribución espacial.

	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>MnO</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
<b>Fondo</b>	18,66	52,73	1,17	9,39	0,49	0,18	7,29
<b>Umbral</b>	20,78	59,21	1,71	14,85	2,40	0,23	8,58
<b>Subanomalia</b>	22,90	65,68	2,24	20,32	4,30	0,27	9,87
<b>Anomalia</b>	25,01	72,16	2,78	25,78	6,21	0,31	11,16
<b>A. Definid</b>	27,13	78,63	3,31	31,25	8,11	0,35	12,45

Fuente: Autor.

Elaboración: Autor.

#### **6.7.1. Mapa geoquímico de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.**

El mapa geoquímico de Al presenta concentraciones de 0 a 18.66% (background) en gran parte del polígono 3. Mientras que los valores de umbral (20.78 – 22.90%) se muestran en la parte Noroeste, Este y Sur del polígono. Asimismo, los valores subanomálicos (20.78 – 22.90%) se presentan dentro de las zonas de umbral (Anexo 4.1, pag 90).

#### **6.7.2. Mapa geoquímico de SiO<sub>2</sub>.**

En cuanto al mapa geoquímico del Si, se observó que los valores de fondo (0 – 52.73%) se presentan en la mayoría de la zona. Los valores de umbral (52.73 – 59.21%) se muestran al Sureste y Noroeste del polígono. Mientras que los valores subanomálicos (59.21 – 65.68%) se muestran en pequeñas zonas al Este y Noroeste del polígono (Anexo 4.2, pag 91).

#### **6.7.3. Mapa geoquímico de CaO.**

En el mapa geoquímico de Ca, se muestran concentraciones de 0 a 9.39% (fondo) en casi todo el polígono, con excepción de las zonas de umbral (9.39 – 14.85%) que son pequeñas y se encuentran al Norte y Suroeste del polígono (Anexo 4.3, pag 92).

#### **6.7.4. Mapa geoquímico de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.**

El mapa geoquímico de Fe, muestra valores de fondo de 0 a 7.29% en gran parte del polígono, al Sureste, Sur y Noroeste. Valores de umbral (7.29 – 8.58%) en la parte central, Norte, Noreste y Suroeste del polígono. Valores subanomálicos (8.58 – 9.87%) en pequeña proporción en el centro y al Noreste del polígono (Anexo 4.4, pag 93).

#### **6.7.5. Mapa geoquímico de K<sub>2</sub>O.**

En cuanto al mapa geoquímico de K, se presentan concentraciones de 0 a 1.17% (fondo) en gran parte del polígono. Mientras que, los valores del umbral (1.17 – 1.71%) se encuentran en menor

proporción al Sureste, Sur y Oeste del polígono. Los valores subanomálicos (1.71 – 2.24%) se encuentran solamente al Sureste del polígono (Anexo 4.5, pag 94).

#### **6.7.6. Mapa geoquímico de MgO.**

En el mapa geoquímico de Mg, se observa los valores de fondo (0 – 0.49%) en casi la totalidad del polígono, con excepción de una pequeña parte al Suroeste en donde se concentran los valores de umbral, subanomalía, anomalía y anomalía definida (Anexo 4.6, pag 95).

#### **6.7.7. Mapa geoquímico de MnO.**

El mapa geoquímico de Mn muestra valores de fondo (0 – 0.18%) al Noroeste, Sur y Sureste, ocupando gran parte del polígono. Valores de umbral (0.18 – 0.23%) al Norte, Sureste y Suroeste del polígono. Mientras que valores subanomálicos (0.23 – 0.27%) en una pequeña parte al Noroeste polígono (Anexo 4.7, pag 96).

## CONCLUSIONES

- Acorde al análisis mineralógico mediante microscopía (macroscopía) realizado en los líticos presentes en las 15 muestras se estableció que la zona correspondiente al polígono 3 presenta los siguientes minerales en las rocas: cuarzo 45%, plagioclasas 43%, pirolusita 20%, piroxeno 10%, biotita 16% y hornblenda 9%.
- En base a los resultados obtenidos del análisis mineralógico mediante DRX realizado a la litología existente en la zona se determinaron cuatro rocas representativas: granito, andesita, riolita y andesita porfídica.
- Los análisis de fluorescencia de rayos X (FRX) junto con los análisis de histogramas y diagramas de cajas y bigotes demostraron que el polígono de estudio presento los siguientes elementos:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; en donde el  $\text{SiO}_2$  fue el elemento predominante debido a que presento mayor concentración (52.73%). Esto se debería a la alta presencia de cuarzo en los suelos.
- De los mapas geoquímicos elaborados, se detectaron anomalías de Mn concentradas al Suroeste del polígono.
- En base a los análisis antes mencionados se estableció además de la composición mineralógica de la litología, las alteraciones hidrotermales propilítica y clorítica.

## RECOMENDACIONES

- En la toma de muestras, se recomienda tratar de evitar en lo máximo posible la materia orgánica para evitar la incongruencia de datos al realizar los análisis.
- Antes de realizar cualquier análisis, la muestra debe estar totalmente seca para poder tener una correcta homogenización de la muestra y por ende resultados correctos.
- Durante el análisis de las muestras se recomienda limpiar los equipos o utensilios de análisis antes de pasar a otra muestra para evitar la contaminación de las mismas y obtener resultados incongruentes.
- Al realizar el análisis ICP se recomienda obtener una curva de calibración lo más cercana a 1, para poder obtener resultados exactos del análisis.

## BIBLIOGRAFIA

- Alicante, U. (2015). *Espectroscopía de emisión por plasma de acoplamiento inductivo*. Recuperado el 2 de Octubre de 2017, de <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis/espectroscopia-de-emision-por-plasma-de-acoplamiento-inductivo.html>
- AMBIENTE, C. D. (1999). *Los criterios y estándares para declarar un suelo contaminado en Andalucía y la metodología y técnicas de toma de muestra y análisis para su investigación*.
- Aspden, J., Harrison, S., & Rundle, 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*, 77-96.
- Beckhoff, B., KanngieBer, B., Langhoff, N., Wedell, R., & Wolff, H. (2007). *Handbook of practical X-ray fluorescence analysis*. Springer Science & Business Media.
- Besoain, E. (1970). *Curso de Mineralogía de Suelos*. Turrialba: Departamento de Cultivos y Suelos.
- Emery, X. (2013). *Geoestadística*. Santiago de Chile.
- Fassbender, H. W., & Bomemisza. (1994). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (Segunda ed.). San Jose: Servicio Editorial del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Fernández, J. C. (2016). *PATRIMONIO MINERALÓGICO DE LA UNIVERSIDAD DE HUELVA*. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, 2016.
- Galán, E., Fernández, J., González, I., Aparicio, P., & Romero, A. (2008). Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of South–West Spain. *Journal of Geochemical Exploration*, 89-106.
- Garnit, H., & Bouhlef, S. (2017). Petrography, mineralogy and geochemistry of the Late Eocene oolitic ironstones of the Jebel and, Southern Tunisian Atlas. *Ore Geology Reviews*, 134-153.
- Gitman, L., & Joehnk, M. (2009). *Fundamentos de inversiones*. Pearson Educación.
- Hungerbuhler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egeuz, A., Peterson, D., . . . Hammer, C. (202). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 75-124.

- Ikhmayies, S., Li, B., Carpenter, J., Li, J., Yang Hwang, J., Monteiro, S., . . . Kim, J. (2017). *Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2017*. Springer.
- Johnson, R., & Kuby, P. (2008). *Estadística Elemental: Lo esencial* (Décima ed.). Cengage Learning .
- Kennerley, J. B. (1973). *Geology of Loja Province, Southern Ecuador: Institute of Geological Sciences, Overseas Division, Report 23*.
- Loayza, C. (2017). *Caracterización de arcillas anturales del cantón Catamayo y sus usos potenciales en la tecnología*. Tesis, Universidad Técnica Particula de Loja, Loja.
- Mangeaud, A. (2014). *Estadística aplicada a las ciencias geológicas*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Matheron, G. (2005). *Curso de geoestadística*. Paris: Centro de Geoestadística de la Escuela de Minas de París.
- McSween, H., Richardson, S., & Uhle, M. (2004). *Geochemistry: Pathways and Processes*. Columbia University Press.
- Pilatasig, L., Ibadango, E., & Torres, C. (2013). *PROYECTO MODELO PILOTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL GEOLÓGICO- MINERALÓGICO DE LAS ZONAS ZARUMA Y CARIAMANGA A ESCALA 1:100.000*. Senescyt.
- Rivera, W., & Valiente, C. (2003). *Elaboración de un filtro de aplicación doméstica para la remoción de hierro y manganeso del agua, utilizando el proceso de aireación y de contacto*. Tesis, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Salama, W., El Aref, M., & Gaupp, R. (2012). Mineralogical and geochemical investigations of the Middle Eocene ironstones, El Bahariya Depression, Western Desert, Egypt. *Gondwana Research*, 717-736.
- Salazar, S., Bravo, J., & Román, M. (2009). *Identificación de la fracción mineral del aerosol atmosférico, en una zona urbana de la ciudad de México por medio de Difracción y Fluorescencia de Rayos-X*. Ciudad de México: *Atmósfera*, 2(2).
- Sánchez, Á. (2012). *Estudio geológico estructural e inventario de deslizamientos del área 1 de la cuenca de Catamayo*. Tesis, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.

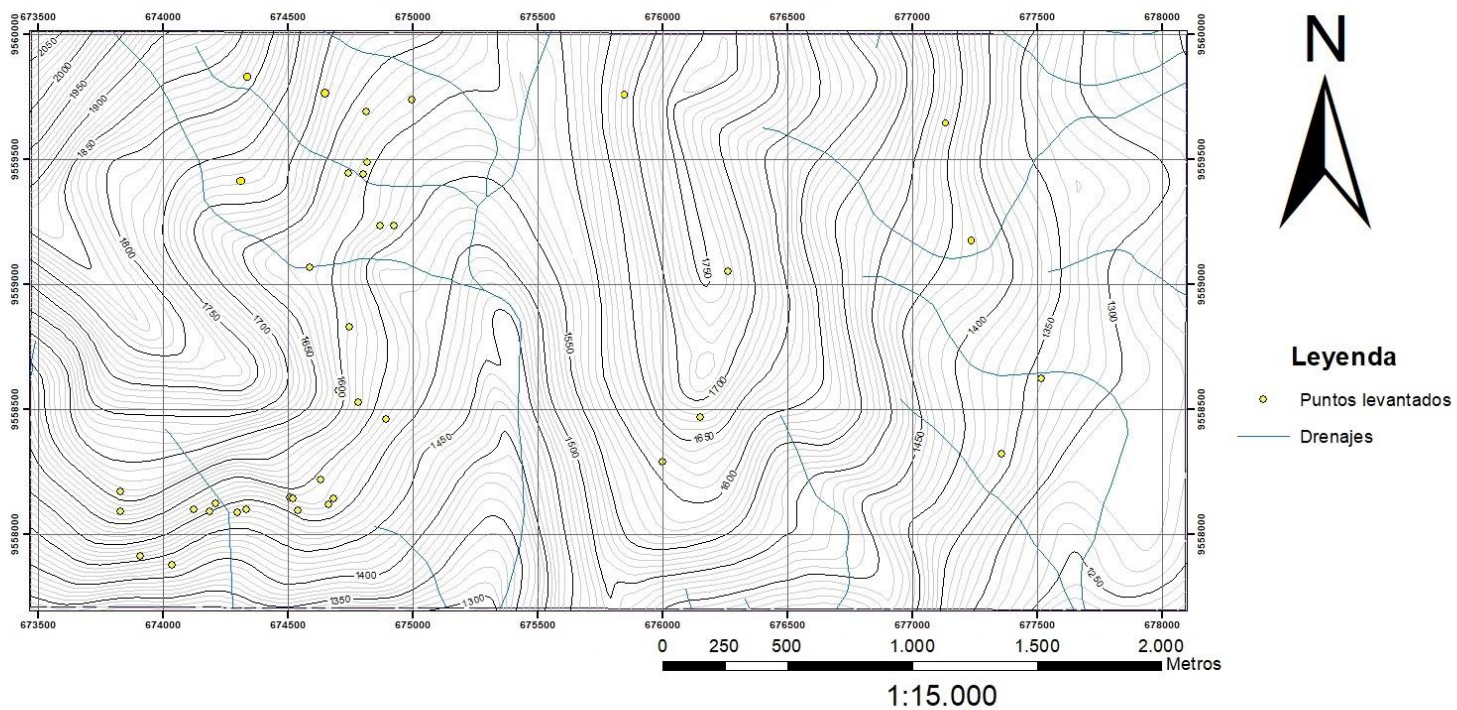
- Silva, E., & Nieves, I. (2010). *Caracterización geoquímica y petrográfica para determinar anomalías auríferas en la concesión minera Chocó 3 perteneciente a C.V. Minerven, ubicada en el municipio autónomo de Callao, estado Bolívar*. Tesis, Bolívar.
- Townley, B. (s.f.). *Hidrotermalismo*. Obtenido de Universidad de Chile: [www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ALTERACION.pdf](http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/ALTERACION.pdf)
- Young, S., Pitawala, A., & Ishiga, H. (2013). Geochemical characteristics of stream sediments, sediment fractions, soils, and basement rocks from the Mahaweli River and its catchment, Sri Lanka. *Chernie der Erde*, 357-371.

## **ANEXOS**



## Anexo I: Mapa de afloramientos analizado

### Mapa de puntos levantados del Polígono 3 Alamala-Catamayo



	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>				
	Titulación de Geología y Minas				
	MAPA DE PUNTOS LEVANTADOS - POLÍGONO 3 ALAMALA-CATAMAYO				
	Elaborado por:		Juan Carlos Ramírez Torres		
	Proyección		Transverse mercator		
	Escala:		1: 15 000		
Unidades		Metros			
		Datum:		WGS 1984	



**Anexo II: Fichas mineralógicas**


<b>Peticionario</b>	<b>Juan Carlos Ramírez T</b>		
<b>Obra</b>	Exploración Geoquímica Alamala-Catamayo		
<b>Fecha recepción</b>	28 – 07 – 2017	<b>Código de estudio</b>	P – 017 - 084
<b>Acta Número</b>	AM 000524	<b>Registro Laboratorio</b>	
<b>INTÉRPRETE</b>	Juan Carlos Ramírez		
<b>Código de muestra: 15</b>	<b>Cliente</b>		<b>Fecha análisis</b>
	<b>Laboratorio</b>		
<b>Microscopio usado:</b>	Motic SMZ - 168		
<b>Análisis adicionales:</b>	ICP – FRX - DRX		
<b>ORIGEN DE LA MUESTRA</b>			
Procedencia:			
Provincia: Loja; Canton: Loja; Parroquia: San Pedro de la Bendita; Sector: Alamala			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 677750	Y: 9557750	Z: 1255 ,nm
Formación geológica: Fm Sacapalca			
<b>ROCA ÍGNEA</b>			
<b>VOLCÁNICA</b>		<b>PLUTÓNICA</b>	X <b>HIPABISAL</b>
<b>Índice de color</b>	<i>Hololeucocrática (M' &lt; 10%)</i>		<i>Leucocrática (10% &lt; M' &lt; 35%)</i> X
<i>Mesocrática (35% &lt; M' &lt; 65%)</i>	<i>Melanocrática (65% &lt; M' &lt; 90%)</i>		<i>Holomelanocrática (M' &gt; 90%)</i>
<b>Cristalinidad (contenido de vidrio)</b>	<i>Hipohialina 1-20%</i>		<i>Hialocristalina 20-50%</i>
	<i>Holohialina 50-100%</i>		<i>Holocristalina 0%</i>
<b>Textura</b>	<i>Fanerítica</i>		X <i>Afanítica</i>
<i>Vesicular</i>	<i>Porfídica</i>		<i>Vítrea</i>
Otras:			
<b>Tamaño de grano</b>	<i>Muy grueso &gt; 16mm</i>		<i>Grueso 2-16mm</i> X
	<i>Medio 0.25-2mm</i>		<i>Fino &lt; 0.25mm</i>
<b>Relación entre los granos minerales</b>	<i>Inequigranular</i>		X <i>Equigranular</i>
	<i>Panidiomórfica</i>		X <i>Alotriomórfica</i>
<b>Minerales Primarios (%)</b>	Cuarzo: 40% Plagioclasa: 28%		
<b>Minerales Máficos y Accesorios (%)</b>	Piroxeno: 10%    Biotita: 15%    Hornblenda: 7%		
<b>Minerales de alteración</b>	Calcita		
<b>Tipo de alteración</b>			
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Granodiorita</b>		

<b>Peticionario</b>	<b>Juan Carlos Ramírez T</b>		
<b>Obra</b>	Exploración Geoquímica Alamala-Catamayo		
<b>Fecha recepción</b>	28 – 07 – 2017	<b>Código de estudio</b>	P – 017 - 084
<b>Acta Número</b>	AM 000523	<b>Registro Laboratorio</b>	
<b>INTÉRPRETE</b>	Juan Carlos Ramírez		
<b>Código de muestra: 14</b>	<b>Cliente</b>		<b>Fecha análisis</b>
	<b>Laboratorio</b>		
<b>Microscopio usado:</b>	Motic SMZ - 168		
<b>Análisis adicionales:</b>	ICP – FRX - DRX		
<b>ORIGEN DE LA MUESTRA</b>			
Procedencia: Provincia: Loja; Canton: Loja; Parroquia: San Pedro de la Bendita; Sector: Alamala			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 676550	Y: 9557750	Z: 1440 ,snm
Formación geológica: Fm Sacapalca			
<b>ROCA ÍGNEA</b>			
<b>VOLCÁNICA</b>		<b>PLUTÓNICA</b>	X <b>HIPABISAL</b>
<b>Índice de color</b>	<i>Hololeucocrática (M' &lt; 10%)</i>		<i>Leucocrática (10% &lt; M' &lt; 35%)</i> X
	<i>Mesocrática (35% &lt; M' &lt; 65%)</i>	<i>Melanocrática (65% &lt; M' &lt; 90%)</i>	<i>Holomelanocrática (M' &gt; 90%)</i>
<b>Cristalinidad (contenido de vidrio)</b>	<i>Hipohialina 1-20%</i>		<i>Hialocristalina 20-50%</i>
	<i>Holohialina 50-100%</i>		<i>Holocristalina 0%</i>
<b>Textura</b>	<i>Fanerítica</i>		X <i>Afanítica</i>
<i>Vesicular</i>	<i>Porfídica</i>		<i>Vítrea</i>
Otras:			
<b>Tamaño de grano</b>	<i>Muy grueso &gt; 16mm</i>		<i>Grueso 2-16mm</i> X
	<i>Medio 0.25-2mm</i>		<i>Fino &lt; 0.25mm</i>
<b>Relación entre los granos minerales</b>	<i>Inequigranular</i>		X <i>Equigranular</i>
	<i>Panidiomórfica</i>		X <i>Alotriomórfica</i>
<b>Minerales Primarios (%)</b>	Cuarzo: 40% Plagioclasa: 25%		
<b>Minerales Máficos y Accesorios (%)</b>	Piroxeno: 5%    Biotita: 25 - 30%    Hornblenda: 4 - 5%		
<b>Minerales de alteración</b>	Calcita		
<b>Tipo de alteración</b>			
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Granodiorita</b>		
<b>Observaciones</b>			

<b>Peticionario</b>	<b>Juan Carlos Ramírez T</b>		
<b>Obra</b>	Exploración Geoquímica Alamala-Catamayo		
<b>Fecha recepción</b>	28 – 07 – 2017	<b>Código de estudio</b>	P – 017 - 084
<b>Acta Número</b>	AM 000522	<b>Registro Laboratorio</b>	
<b>INTÉRPRETE</b>	Juan Carlos Ramírez		
<b>Código de muestra: 13</b>	<b>Cliente</b>		<b>Fecha análisis</b>
	<b>Laboratorio</b>		
<b>Microscopio usado:</b>	Motic SMZ - 168		
<b>Análisis adicionales:</b>	ICP – FRX - DRX		
<b>ORIGEN DE LA MUESTRA</b>			
Procedencia: Provincia: Loja; Canton: Loja; Parroquia: San Pedro de la Bendita; Sector: Alamala			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 675700	Y: 9557750	Z: 1490 ,snm
Formación geológica: Fm Sacapalca			
<b>ROCA ÍGNEA</b>			
<b>VOLCÁNICA</b>		<b>PLUTÓNICA</b>	<b>HIPABISAL</b>
<b>Índice de color</b>	<i>Hololeucocrática (M' &lt; 10%)</i>		<i>Leucocrática (10% &lt; M' &lt; 35%)</i>
<i>Mesocrática (35% &lt; M' &lt; 65%)</i>	X	<i>Melanocrática (65% &lt; M' &lt; 90%)</i>	<i>Holomelanocrática (M' &gt; 90%)</i>
<b>Cristalinidad (contenido de vidrio)</b>		<i>Hipohialina 1-20%</i>	<i>Hialocristalina 20-50%</i>
		<i>Holohialina 50-100%</i>	<i>Holocristalina 0%</i>
<b>Textura</b>		<i>Fanerítica</i>	<i>Afanítica</i>
<i>Vesicular</i>		<i>Porfídica</i>	X <i>Vítrea</i>
Otras:			
<b>Tamaño de grano</b>		<i>Muy grueso &gt; 16mm</i>	<i>Grueso 2-16mm</i>
		<i>Medio 0.25-2mm</i>	X <i>Fino &lt; 0.25mm</i>
<b>Relación entre los granos minerales</b>		<i>Inequigranular</i>	X <i>Equigranular</i>
	<i>Panidiomórfica</i>	<i>Hipidiomórfica</i>	X <i>Alotriomórfica</i>
<b>Minerales Primarios (%)</b>	Plagioclasa: 65%		
<b>Minerales Máficos y Accesorios (%)</b>	Piroxeno: 20%    Hornblenda: 15%		
<b>Minerales de alteración</b>	Calcita		
<b>Tipo de alteración</b>			
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Andesita Porfídica</b>		
<b>Observaciones</b>			

<b>Peticionario</b>	<b>Juan Carlos Ramírez T</b>		
<b>Obra</b>	Exploración Geoquímica Alamala-Catamayo		
<b>Fecha recepción</b>	28 – 07 – 2017	<b>Código de estudio</b>	P – 017 - 084
<b>Acta Número</b>	AM 000520	<b>Registro Laboratorio</b>	
<b>INTÉRPRETE</b>	Juan Carlos Ramírez		
<b>Código de muestra: 11</b>	<b>Cliente</b>		<b>Fecha análisis</b>
	<b>Laboratorio</b>		
<b>Microscopio usado:</b>	Motic SMZ - 168		
<b>Análisis adicionales:</b>	ICP – FRX - DRX		
<b>ORIGEN DE LA MUESTRA</b>			
Procedencia: Provincia: Loja; Canton: Loja; Parroquia: San Pedro de la Bendita; Sector: Alamala			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 673700	Y: 9557750	Z: 1435 ,snm
Formación geológica: Fm Sacapalca			
<b>ROCA ÍGNEA</b>			
<b>VOLCÁNICA</b>		<b>PLUTÓNICA</b>	<b>HIPABISAL</b>
<b>Índice de color</b>	<i>Hololeucocrática (M' &lt; 10%)</i>		<i>Leucocrática (10% &lt; M' &lt; 35%)</i>
<i>Mesocrática (35% &lt; M' &lt; 65%)</i>	X	<i>Melanocrática (65% &lt; M' &lt; 90%)</i>	<i>Holomelanocrática (M' &gt; 90%)</i>
<b>Cristalinidad (contenido de vidrio)</b>		<i>Hipohialina 1-20%</i>	<i>Hialocristalina 20-50%</i>
		<i>Holohialina 50-100%</i>	<i>Holocristalina 0%</i>
<b>Textura</b>		<i>Fanerítica</i>	<i>Afanítica</i>
<i>Vesicular</i>		<i>Porfídica</i>	X <i>Vítrea</i>
Otras:			
<b>Tamaño de grano</b>		<i>Muy grueso &gt; 16mm</i>	<i>Grueso 2-16mm</i>
		<i>Medio 0.25-2mm</i>	X <i>Fino &lt; 0.25mm</i>
<b>Relación entre los granos minerales</b>		<i>Inequigranular</i>	X <i>Equigranular</i>
	<i>Panidiomórfica</i>	<i>Hipidiomórfica</i>	X <i>Alotriomórfica</i>
<b>Minerales Primarios (%)</b>	Plagioclasa: 60 – 70 %		
<b>Minerales Máficos y Accesorios (%)</b>	Piroxeno: 10 – 15 %		
<b>Minerales de alteración</b>	Calcita		
<b>Tipo de alteración</b>			
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Andesita Porfídica</b>		
<b>Observaciones</b>			

<b>Peticionario</b>	<b>Juan Carlos Ramírez T</b>		
<b>Obra</b>	Exploración Geoquímica Alamala-Catamayo		
<b>Fecha recepción</b>	28 – 07 – 2017	<b>Código de estudio</b>	P – 017 - 084
<b>Acta Número</b>	AM 000518	<b>Registro Laboratorio</b>	
<b>INTÉRPRETE</b>	Juan Carlos Ramírez		
<b>Código de muestra: 8</b>	<b>Cliente</b>		<b>Fecha análisis</b>
	<b>Laboratorio</b>		
<b>Microscopio usado:</b>	Motic SMZ - 168		
<b>Análisis adicionales:</b>	ICP – FRX - DRX		
<b>ORIGEN DE LA MUESTRA</b>			
Procedencia: Provincia: Loja; Canton: Loja; Parroquia: San Pedro de la Bendita; Sector: Alamala			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 676700	Y: 9558750	Z: 1550 msnm
Formación geológica: Fm Sacapalca			
<b>ROCA ÍGNEA</b>			
<b>VOLCÁNICA</b>		<b>PLUTÓNICA</b>	X <b>HIPABISAL</b>
<b>Índice de color</b>	<i>Hololeucocrática (M' &lt; 10%)</i>		<i>Leucocrática (10% &lt; M' &lt; 35%)</i> X
<i>Mesocrática (35% &lt; M' &lt; 65%)</i>	<i>Melanocrática (65% &lt; M' &lt; 90%)</i>		<i>Holomelanocrática (M' &gt; 90%)</i>
<b>Cristalinidad (contenido de vidrio)</b>	<i>Hipohialina 1-20%</i>		<i>Hialocristalina 20-50%</i>
	<i>Holohialina 50-100%</i>		<i>Holocristalina 0%</i>
<b>Textura</b>	<i>Fanerítica</i>		X <i>Afanítica</i>
<i>Vesicular</i>	<i>Porfídica</i>		<i>Vítrea</i> X
Otras:			
<b>Tamaño de grano</b>	<i>Muy grueso &gt; 16mm</i>		<i>Grueso 2-16mm</i> X
	<i>Medio 0.25-2mm</i>		<i>Fino &lt; 0.25mm</i>
<b>Relación entre los granos minerales</b>	<i>Inequigranular</i>		X <i>Equigranular</i>
	<i>Panidiomórfica</i>		X <i>Alotriomórfica</i>
<b>Minerales Primarios (%)</b>	Cuarzo: 55 %    Feldespatos potásicos: 10 % Plagioclasa: 20 %		
<b>Minerales Máficos y Accesorios (%)</b>	Piroxeno: 15 %		
<b>Minerales de alteración</b>	Calcita		
<b>Tipo de alteración</b>			
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Granodiorita</b>		
<b>Observaciones</b>	<b>Cubierta por calcita, lo que dificulta el análisis</b>		

<b>Peticionario</b>	<b>Juan Carlos Ramírez T</b>		
<b>Obra</b>	Exploración Geoquímica Alamala-Catamayo		
<b>Fecha recepción</b>	28 – 07 – 2017	<b>Código de estudio</b>	P – 017 - 084
<b>Acta Número</b>	AM 000516	<b>Registro Laboratorio</b>	
<b>INTÉRPRETE</b>	Juan Carlos Ramírez		
<b>Código de muestra: 7</b>	<b>Cliente</b>		<b>Fecha análisis</b>
	<b>Laboratorio</b>		
<b>Microscopio usado:</b>	Motic SMZ - 168		
<b>Análisis adicionales:</b>	ICP – FRX - DRX		
<b>ORIGEN DE LA MUESTRA</b>			
Procedencia:			
Provincia: Loja; Canton: Loja; Parroquia: San Pedro de la Bendita; Sector: Alamala			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 674700	Y: 9558750	Z: 1595 msnm
Formación geológica: Fm Sacapalca			
<b>ROCA ÍGNEA</b>			
VOLCÁNICA	<input type="checkbox"/>	PLUTÓNICA	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Índice de color</b>	<i>Hololeucocrática (M' &lt; 10%)</i>		<i>Leucocrática (10% &lt; M' &lt; 35%)</i>
<i>Mesocrática (35% &lt; M' &lt; 65%)</i>	<i>Melanocrática (65% &lt; M' &lt; 90%)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Holomelanocrática (M' &gt; 90%)</i>
<b>Cristalinidad (contenido de vidrio)</b>	<i>Hipohialina 1-20%</i>		<i>Hialocristalina 20-50%</i>
	<i>Holohialina 50-100%</i>		<i>Holocristalina 0%</i>
<b>Textura</b>	<i>Fanerítica</i>		<i>Afanítica</i>
<i>Vesicular</i>	<i>Porfídica</i>		<i>Vítrea</i>
Otras:			
<b>Tamaño de grano</b>	<i>Muy grueso &gt; 16mm</i>		<i>Grueso 2-16mm</i>
	<i>Medio 0.25-2mm</i>		<i>Fino &lt; 0.25mm</i>
<b>Relación entre los granos minerales</b>	<i>Inequigranular</i>		<i>Equigranular</i>
	<i>Panidiomórfica</i>		<i>Alotriomórfica</i>
<b>Minerales Primarios (%)</b>	Plagioclasa: 45 - 55 %		
<b>Minerales Máficos y Accesorios (%)</b>	Piroxeno: 2 - 3 % Horblenda: 4 - 5%		
<b>Minerales de alteración</b>	Calcita		
<b>Tipo de alteración</b>			
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Andesita</b>		
<b>Observaciones</b>			

<b>Peticionario</b>	<b>Juan Carlos Ramírez T</b>		
<b>Obra</b>	Exploración Geoquímica Alamala-Catamayo		
<b>Fecha recepción</b>	28 – 07 – 2017	<b>Código de estudio</b>	P – 017 - 084
<b>Acta Número</b>	AM 000515	<b>Registro Laboratorio</b>	
<b>INTÉRPRETE</b>	Juan Carlos Ramírez		
<b>Código de muestra: 6</b>	<b>Cliente</b>		<b>Fecha análisis</b>
	<b>Laboratorio</b>		
<b>Microscopio usado:</b>	Motic SMZ - 168		
<b>Análisis adicionales:</b>	ICP – FRX - DRX		
<b>ORIGEN DE LA MUESTRA</b>			
Procedencia: Provincia: Loja; Canton: Loja; Parroquia: San Pedro de la Bendita; Sector: Alamala			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 674700	Y: 9558800	Z: 1590 msnm
Formación geológica: Fm Sacapalca			
<b>ROCA ÍGNEA</b>			
VOLCÁNICA	<input checked="" type="checkbox"/>	PLUTÓNICA	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Índice de color</b>	<i>Hololeucocrática (M' &lt; 10%)</i>		<i>Leucocrática (10% &lt; M' &lt; 35%)</i>
<i>Mesocrática (35% &lt; M' &lt; 65%)</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Melanocrática (65% &lt; M' &lt; 90%)</i>	<i>Holomelanocrática (M' &gt; 90%)</i>
<b>Cristalinidad (contenido de vidrio)</b>	<i>Hipohialina 1-20%</i>		<i>Hialocristalina 20-50%</i>
	<i>Holohialina 50-100%</i>		<i>Holocristalina 0%</i>
<b>Textura</b>	<i>Fanerítica</i>		<i>Afanítica</i>
<i>Vesicular</i>		<i>Porfídica</i>	<input checked="" type="checkbox"/> <i>Vítrea</i>
Otras:			
<b>Tamaño de grano</b>	<i>Muy grueso &gt; 16mm</i>		<i>Grueso 2-16mm</i>
	<i>Medio 0.25-2mm</i>		<input checked="" type="checkbox"/> <i>Fino &lt; 0.25mm</i>
<b>Relación entre los granos minerales</b>	<i>Inequigranular</i>		<input checked="" type="checkbox"/> <i>Equigranular</i>
	<i>Panidiomórfica</i>		<input checked="" type="checkbox"/> <i>Alotriomórfica</i>
<b>Minerales Primarios (%)</b>	Plagioclasa: 65 - 70 %		
<b>Minerales Máficos y Accesorios (%)</b>	Biotita: 15 – 20%      Hornblenda: 5 – 10% Piroxenos: 10%		
<b>Minerales de alteración</b>	Calcita		
<b>Tipo de alteración</b>			
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Andesita Porfídica</b>		
<b>Observaciones</b>			



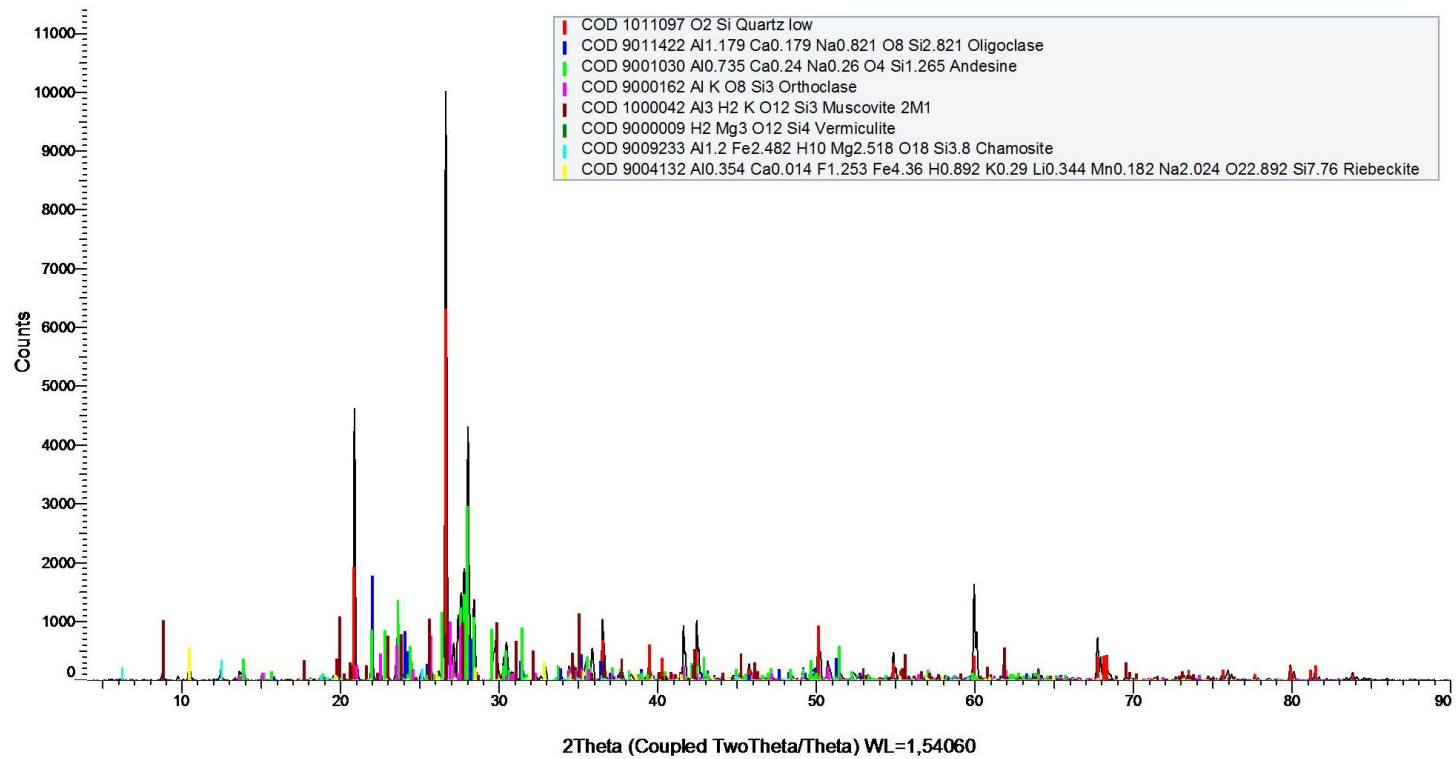
<b>Peticionario</b>	<b>Juan Carlos Ramírez T</b>		
<b>Obra</b>	Exploración Geoquímica Alamala-Catamayo		
<b>Fecha recepción</b>	28 – 07 – 2017	<b>Código de estudio</b>	P – 017 - 084
<b>Acta Número</b>	AM 000513	<b>Registro Laboratorio</b>	
<b>INTÉRPRETE</b>	Juan Carlos Ramírez		
<b>Código de muestra: 4</b>	<b>Cliente</b>		<b>Fecha análisis</b>
	<b>Laboratorio</b>		
<b>Microscopio usado:</b>	Motic SMZ - 168		
<b>Análisis adicionales:</b>	ICP – FRX - DRX		
<b>ORIGEN DE LA MUESTRA</b>			
Procedencia: Provincia: Loja; Canton: Loja; Parroquia: San Pedro de la Bendita; Sector: Alamala			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 676750	Y: 9559800	Z: 1625 msnm
Formación geológica: Fm Sacapalca			
<b>ROCA ÍGNEA</b>			
<b>VOLCÁNICA</b>		<b>PLUTÓNICA</b>	<b>HIPABISAL</b>
<b>Índice de color</b>	<i>Hololeucocrática (M' &lt; 10%)</i>		<i>Leucocrática (10% &lt; M' &lt; 35%)</i>
<i>Mesocrática (35% &lt; M' &lt; 65%)</i>	X	<i>Melanocrática (65% &lt; M' &lt; 90%)</i>	<i>Holomelanocrática (M' &gt; 90%)</i>
<b>Cristalinidad (contenido de vidrio)</b>		<i>Hipohialina 1-20%</i>	<i>Hialocristalina 20-50%</i>
		<i>Holohialina 50-100%</i>	<i>Holocristalina 0%</i>
<b>Textura</b>		<i>Fanerítica</i>	<i>Afanítica</i>
<i>Vesicular</i>		<i>Porfídica</i>	X <i>Vítrea</i>
Otras:			
<b>Tamaño de grano</b>		<i>Muy grueso &gt; 16mm</i>	<i>Grueso 2-16mm</i>
		<i>Medio 0.25-2mm</i>	X <i>Fino &lt; 0.25mm</i>
<b>Relación entre los granos minerales</b>		<i>Inequigranular</i>	X <i>Equigranular</i>
	<i>Panidiomórfica</i>	<i>Hipidiomórfica</i>	X <i>Alotriomórfica</i>
<b>Minerales Primarios (%)</b>	Plagioclasa: 30 % Bornita: 20 %		
<b>Minerales Máficos y Accesorios (%)</b>	Piroxenos: 2 % Anfíbol: 2 %		
<b>Minerales de alteración</b>	Calcita		
<b>Tipo de alteración</b>			
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Andesita Porfídica</b>		
<b>Observaciones</b>			

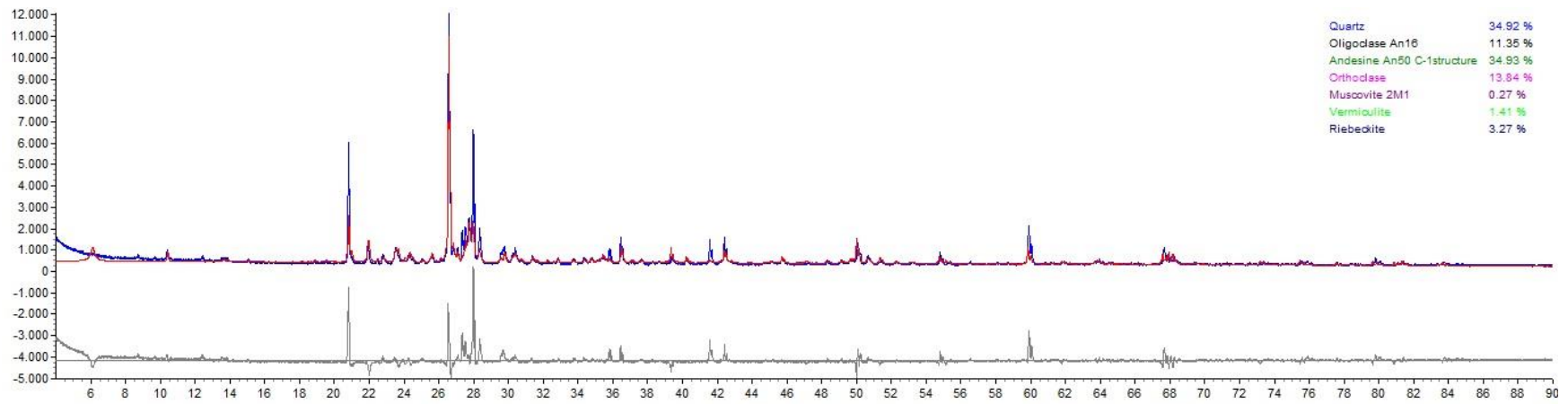
<b>Peticionario</b>	<b>Juan Carlos Ramírez T</b>		
<b>Obra</b>	Exploración Geoquímica Alamala-Catamayo		
<b>Fecha recepción</b>	28 – 07 – 2017	<b>Código de estudio</b>	P – 017 - 084
<b>Acta Número</b>	AM 000511	<b>Registro Laboratorio</b>	
<b>INTÉRPRETE</b>	Juan Carlos Ramírez		
<b>Código de muestra: 2</b>	<b>Cliente</b>		<b>Fecha análisis</b>
	<b>Laboratorio</b>		
<b>Microscopio usado:</b>	Motic SMZ - 168		
<b>Análisis adicionales:</b>	ICP – FRX - DRX		
<b>ORIGEN DE LA MUESTRA</b>			
Procedencia:			
Provincia: Loja; Canton: Loja; Parroquia: San Pedro de la Bendita; Sector: Alamala			
Coordenadas (WGS-1984)	X: 674700	Y: 9559800	Z: 1670 msnm
Formación geológica: Fm Sacapalca			
<b>ROCA ÍGNEA</b>			
<b>VOLCÁNICA</b>		<b>PLUTÓNICA</b>	<b>HIPABISAL</b>
<b>Índice de color</b>	<i>Hololeucocrática (M' &lt; 10%)</i>		<i>Leucocrática (10% &lt; M' &lt; 35%)</i>
<i>Mesocrática (35% &lt; M' &lt; 65%)</i>	X	<i>Melanocrática (65% &lt; M' &lt; 90%)</i>	<i>Holomelanocrática (M' &gt; 90%)</i>
<b>Cristalinidad (contenido de vidrio)</b>		<i>Hipohialina 1-20%</i>	<i>Hialocristalina 20-50%</i>
		<i>Holohialina 50-100%</i>	<i>Holocristalina 0%</i>
<b>Textura</b>		<i>Fanerítica</i>	<i>Afanítica</i>
<i>Vesicular</i>		<i>Porfídica</i>	X <i>Vítrea</i>
Otras:			
<b>Tamaño de grano</b>		<i>Muy grueso &gt; 16mm</i>	<i>Grueso 2-16mm</i>
		<i>Medio 0.25-2mm</i>	X <i>Fino &lt; 0.25mm</i>
<b>Relación entre los granos minerales</b>		<i>Inequigranular</i>	X <i>Equigranular</i>
<i>Panidiomórfica</i>		<i>Hipidiomórfica</i>	X <i>Alotriomórfica</i>
<b>Minerales Primarios (%)</b>	Plagioclasa: 65 %		
<b>Minerales Máficos y Accesorios (%)</b>	Hornblenda: 20 – 25%		Piroxenos: 10 – 15%
	Biotita: 5 – 10%		
<b>Minerales de alteración</b>	Calcita		
<b>Tipo de alteración</b>			
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Andesita Porfídica</b>		
<b>Observaciones</b>			

## Anexo III: DFR-X

### 3.1 Difractograma de rayos X -Granodiorita

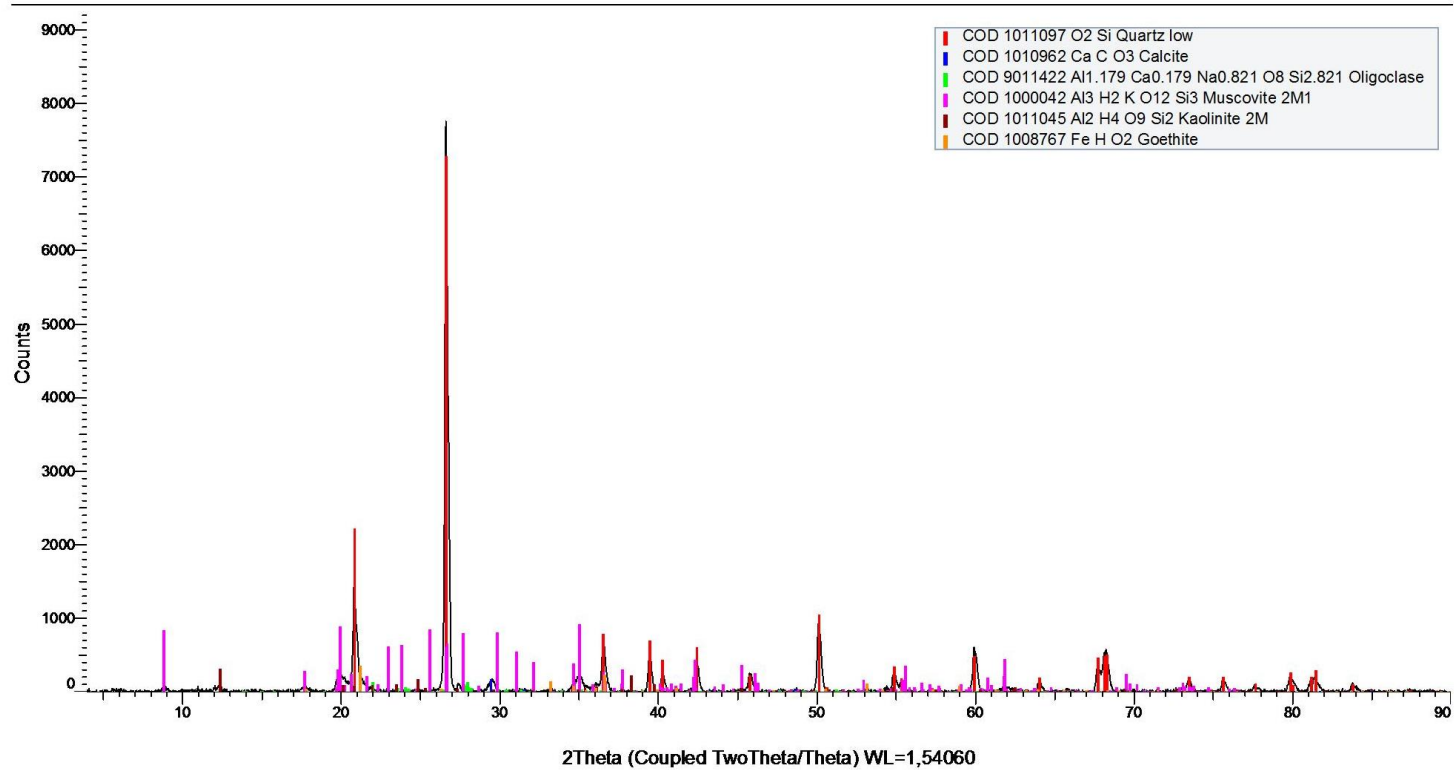
11

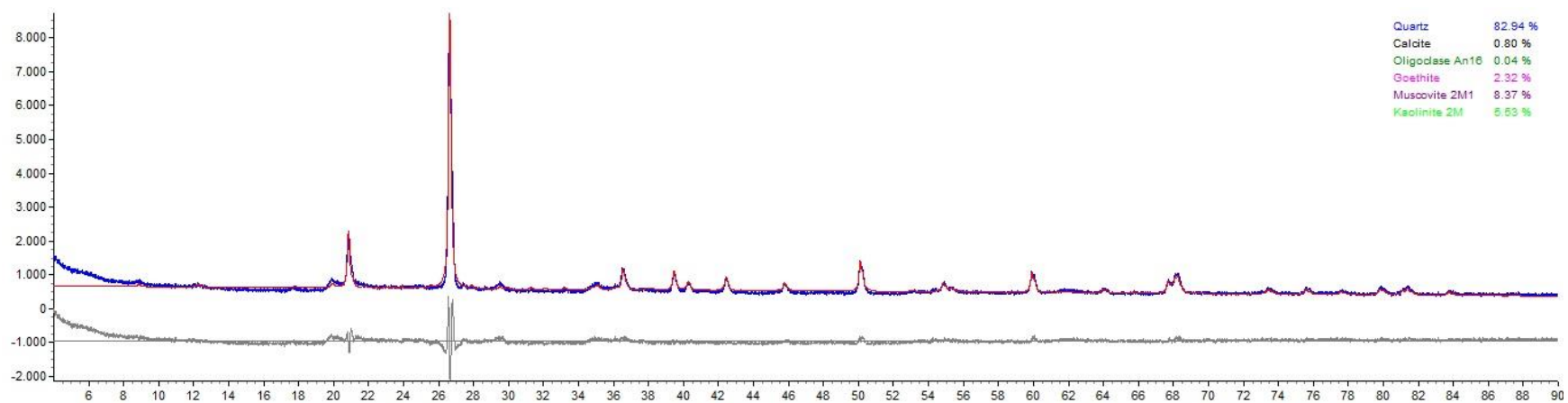




### 3.2 Difractograma de rayos X –Riolita

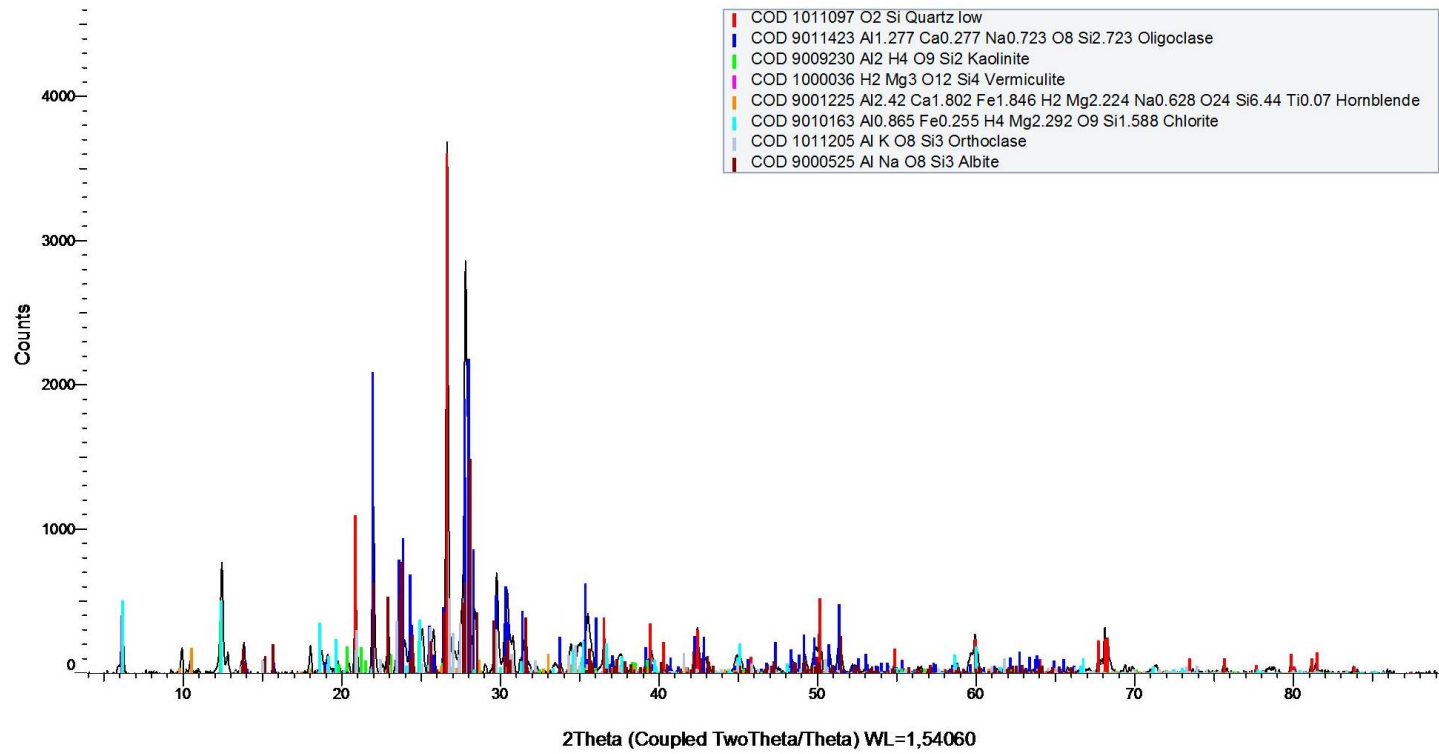
12

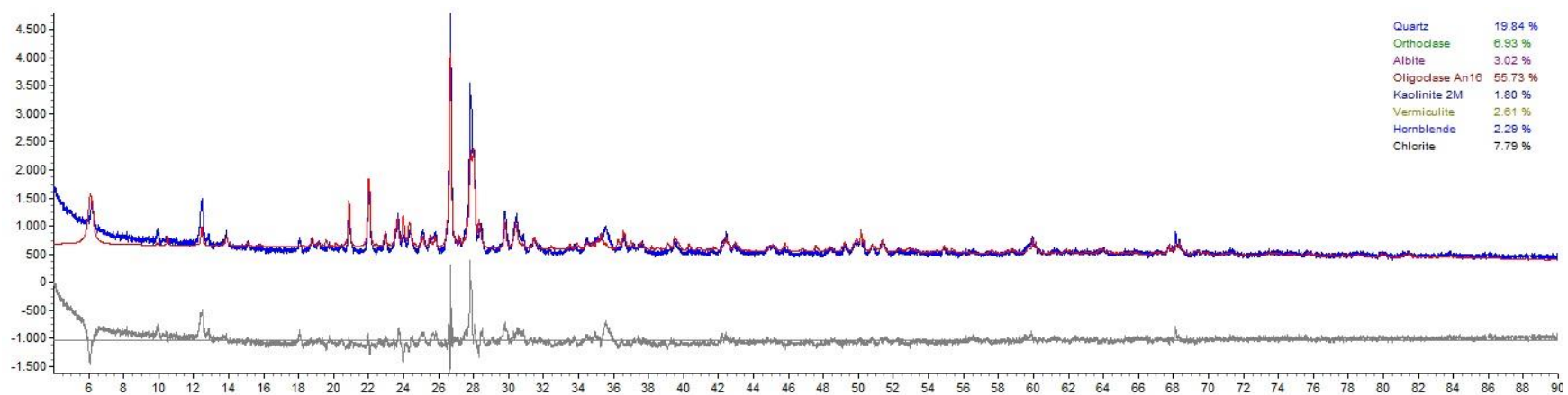




### 3.3 Difractograma de Rayos X – Andesita

13

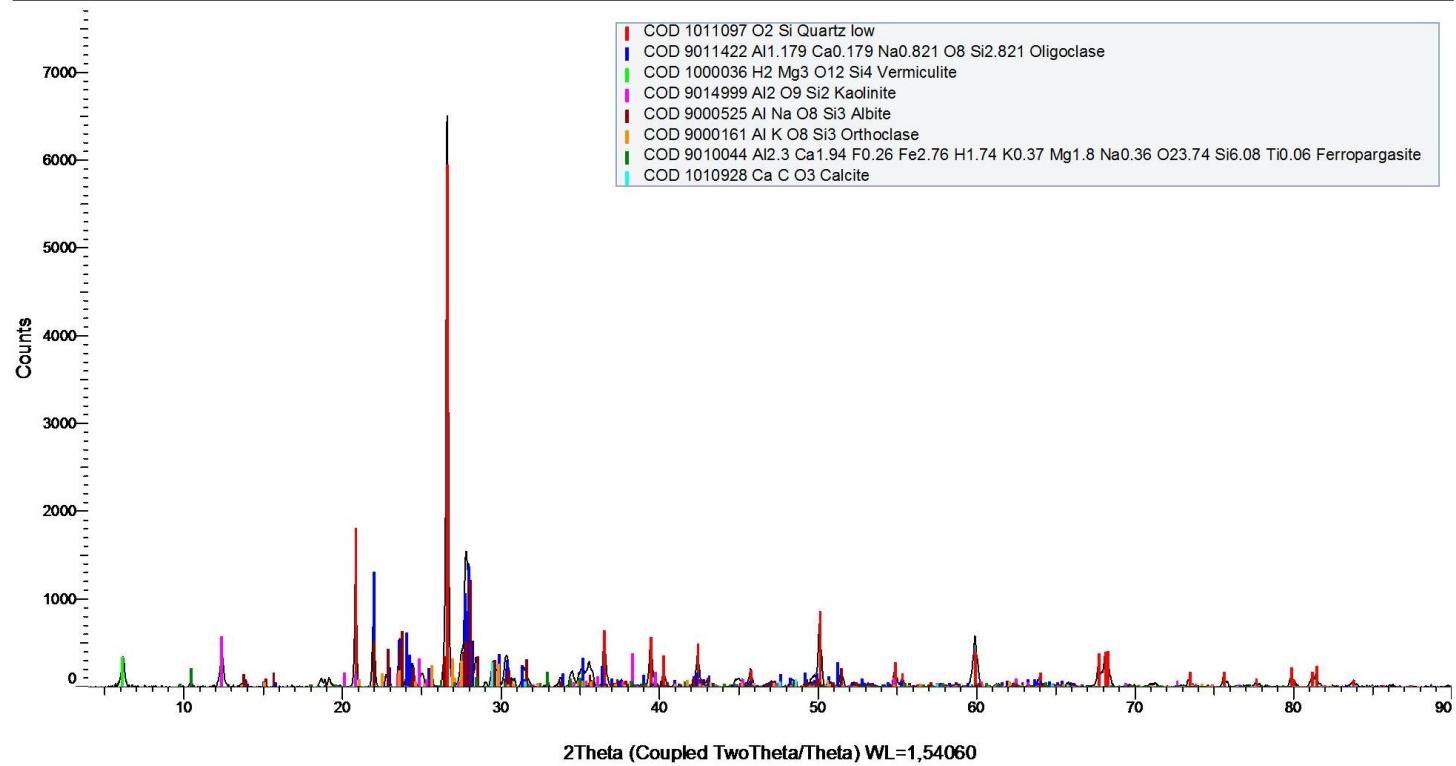


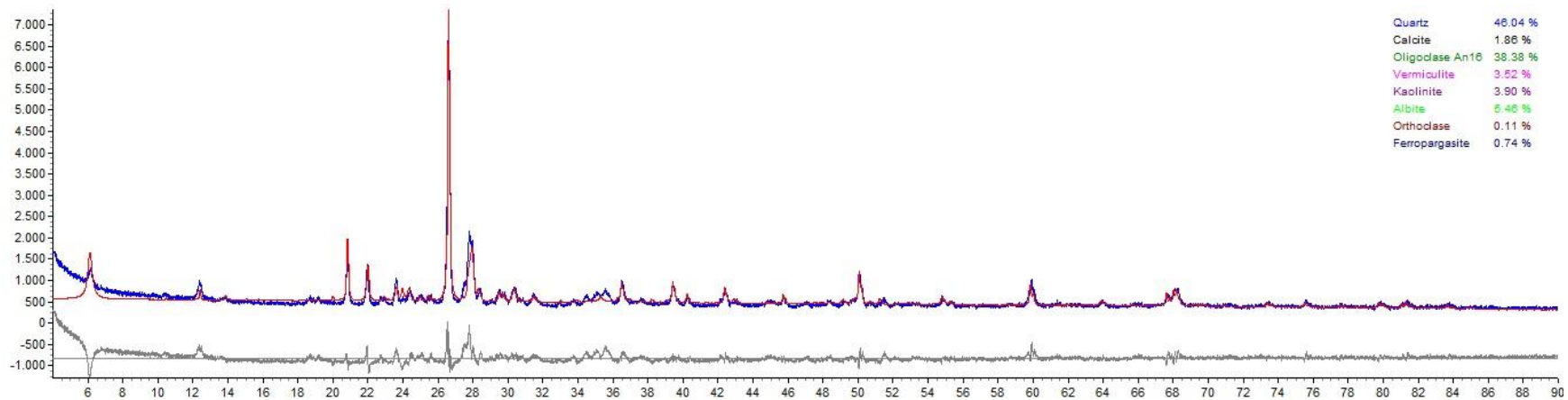




### 3.4 Difractograma de rayos X –Pórfido Andesítico

14

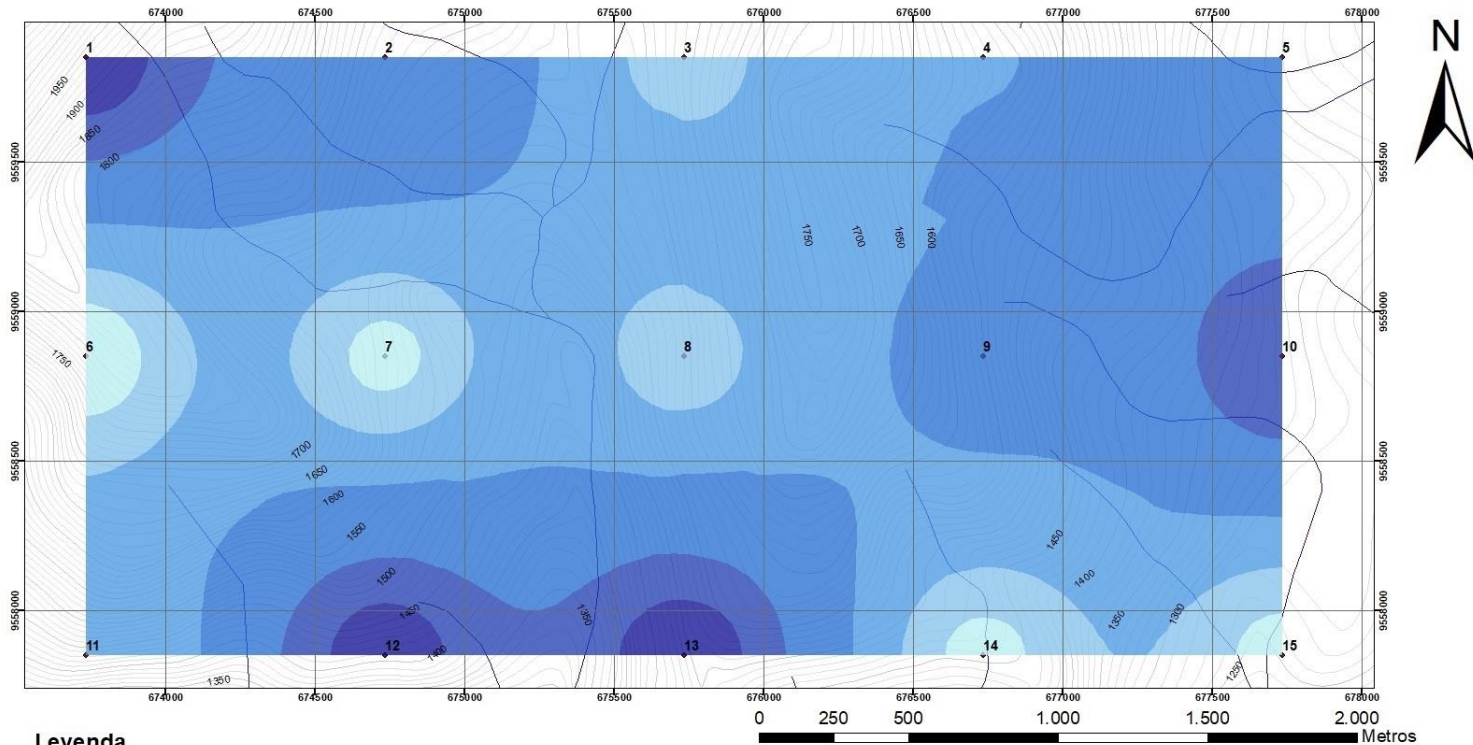




## Anexo IV

### 4.1 Mapa geoquímico de Al

# Mapa Geoquímico de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



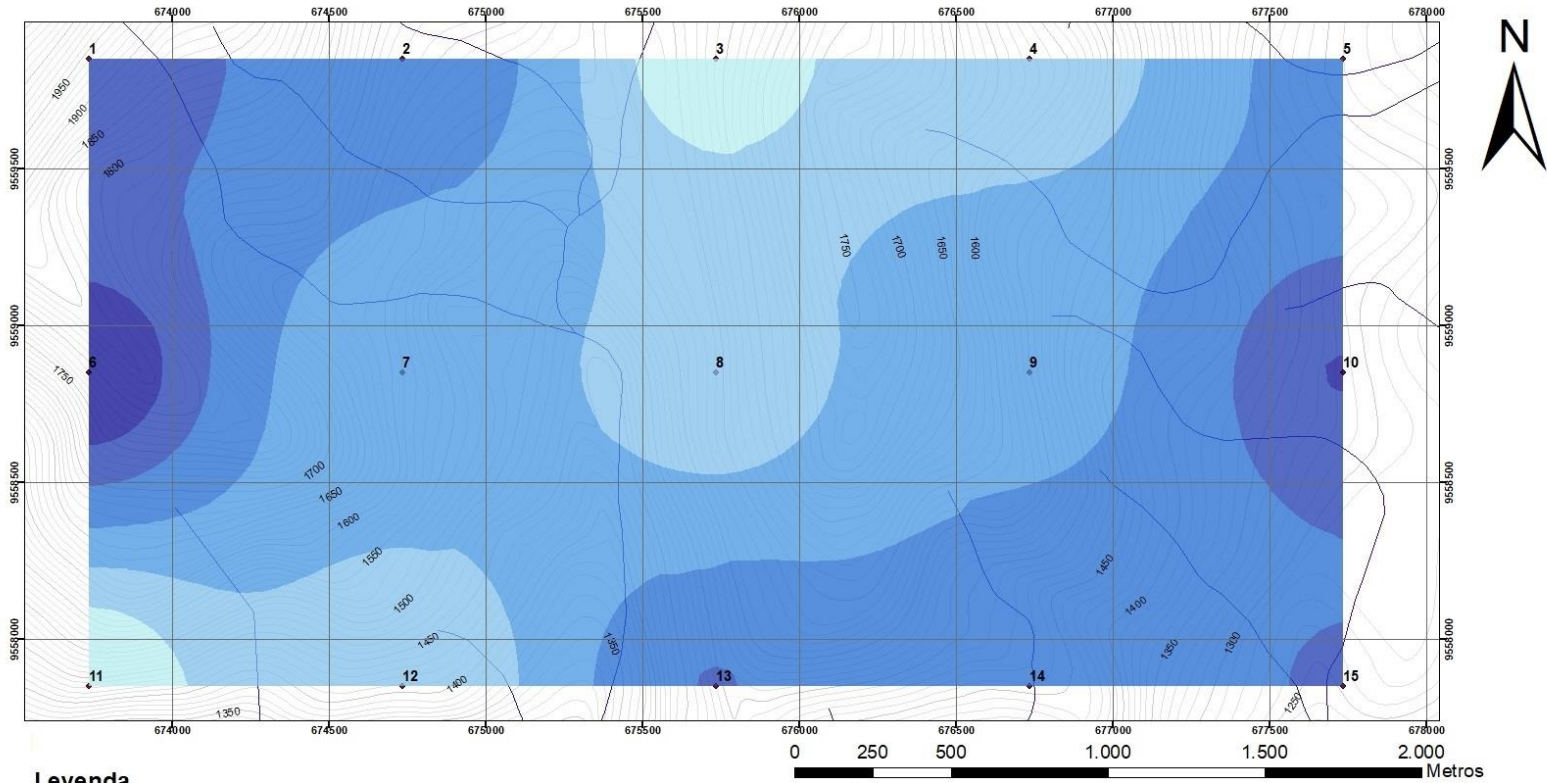
#### Leyenda

—	Drenaje	
Lightest Blue	16.3 – 16.711	} Fondo
Light Blue	16.711 – 17.369	
Medium Light Blue	17.369 – 18.418	
Medium Blue	18.418 – 20.093	} Umbral
Dark Blue	20.093 – 21.142	
Very Dark Blue	21.142 – 21.8	} Subanomalia

	<b>Universidad Técnica Particular de Loja</b>		
	<b>Titulación de Geología y Minas</b>		
	<b>MAPA GEOQUIMICO DE ALUMINIO</b>		
	<b>Elaborado por:</b>	Juan Carlos Ramírez Torres	
	<b>Proyección:</b>	Transverse mercator	
<b>Escala:</b>	1:15000	<b>Datum:</b>	WGS-1984
<b>Unidades:</b>	Metros		

## 4.2 Mapa geoquímico de Si

### Mapa Geoquímico de SiO<sub>2</sub>



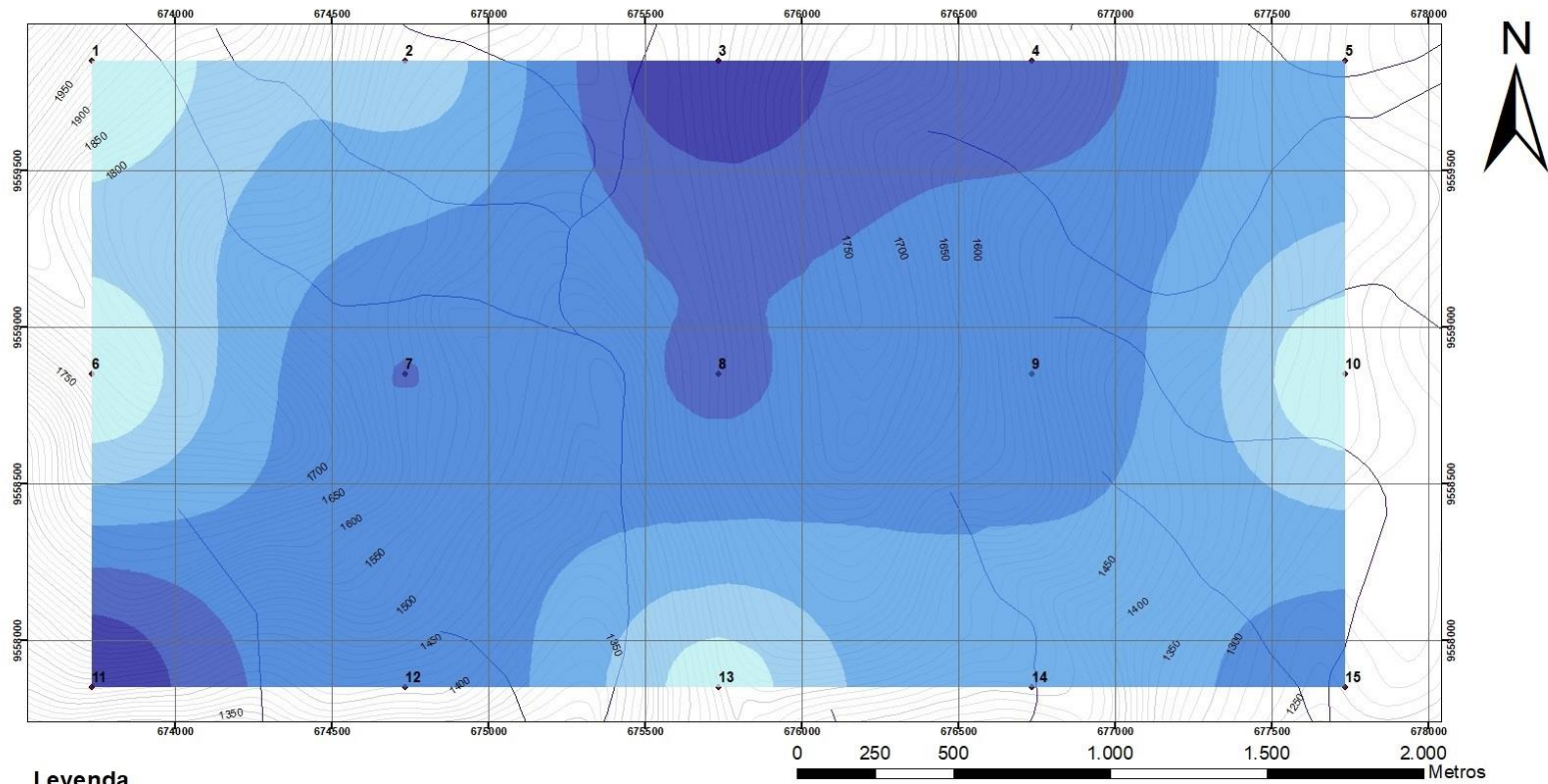
#### Leyenda

—	Drenaje	
Lightest Blue	43.3 – 46.134	Fondo
Light Blue	46.134 – 49.291	
Medium Light Blue	49.291 – 52.808	
Medium Blue	52.808 – 56.725	Umbral
Dark Blue	56.725 – 60.242	
Darkest Blue	60.242 – 63.4	
		Subanomalia

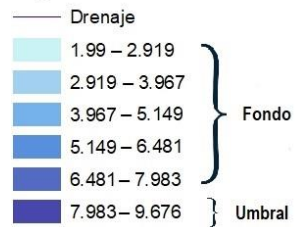
<b>Universidad Técnica Particular de Loja</b>			
<b>Titulación de Geología y Minas</b>			
<b>MAPA GEOQUIMICO DE SILICIO</b>			
<b>Elaborado por:</b>	Juan Carlos Ramírez Torres		
<b>Proyección:</b>	Transverse mercator		
<b>Escala:</b>	1:15000	<b>Datum:</b>	WGS-1984
<b>Unidades:</b>	Metros		

### 4.3 Mapa geoquímico de Ca

## Mapa Geoquímico de CaO



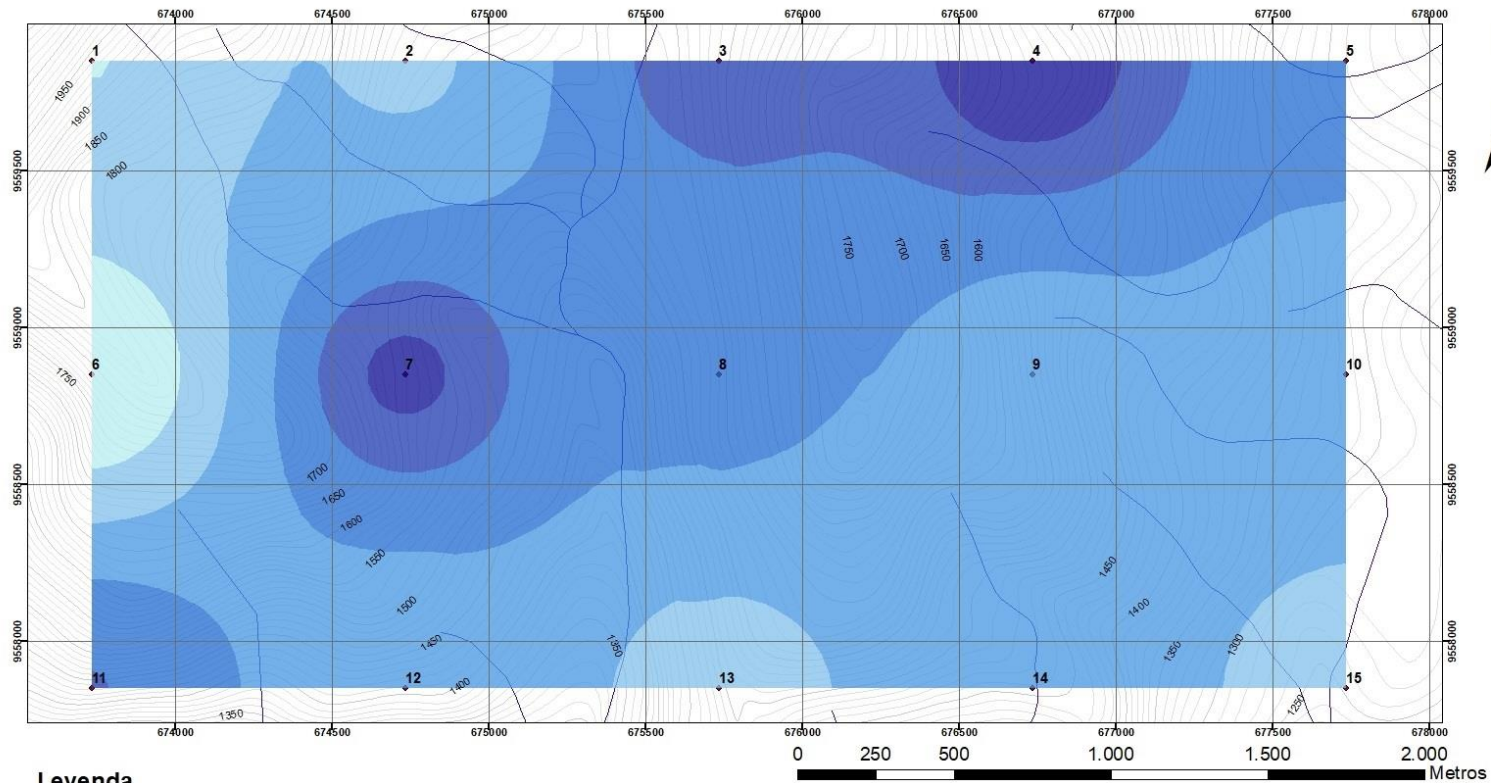
#### Leyenda



	<b>Universidad Técnica Particular de Loja</b>		
	<b>Titulación de Geología y Minas</b>		
	<b>MAPA GEOQUIMICO DE CALCIO</b>		
	<b>Elaborado por:</b>	Juan Carlos Ramírez Torres	
	<b>Proyección:</b>	Transverse mercator	
<b>Escala:</b>	1:15000	<b>Datum:</b>	WGS-1984
<b>Unidades:</b>	Metros		

#### 4.4 Mapa geoquímico de Fe

### Mapa Geoquímico de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



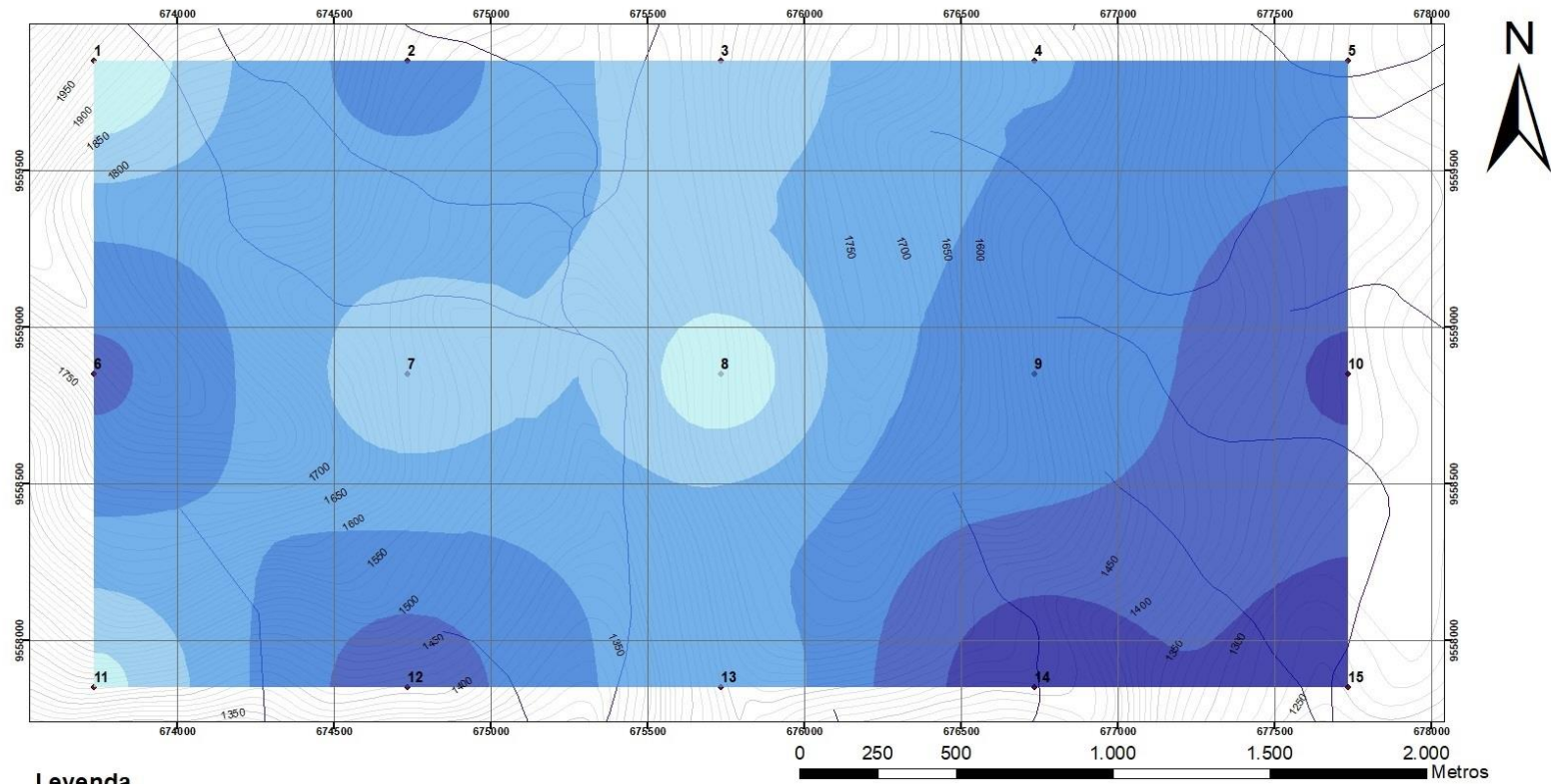
#### Leyenda

	Drenaje	
	4.93 – 5.864	} Fondo
	5.864 – 6.734	
	6.734 – 7.543	
	7.543 – 8.296	} Umbral
	8.296 – 8.997	
	8.997 – 9.65	} Subanomalia

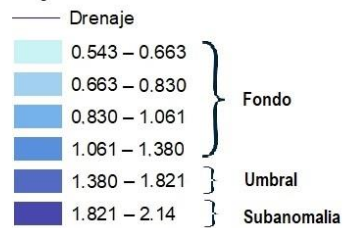
	<b>Universidad Técnica Particular de Loja</b>		
	<b>Titulación de Geología y Minas</b>		
	<b>MAPA GEOQUIMICO DE HIERRO</b>		
	<b>Elaborado por:</b>	Juan Carlos Ramírez Torres	
	<b>Proyección:</b>	Transverse mercator	
<b>Escala:</b>	1:15000	<b>Datum:</b>	WGS-1984
<b>Unidades:</b>	Metros		

## 4.5 Mapa geoquímico de K

### Mapa Geoquímico de K<sub>2</sub>O



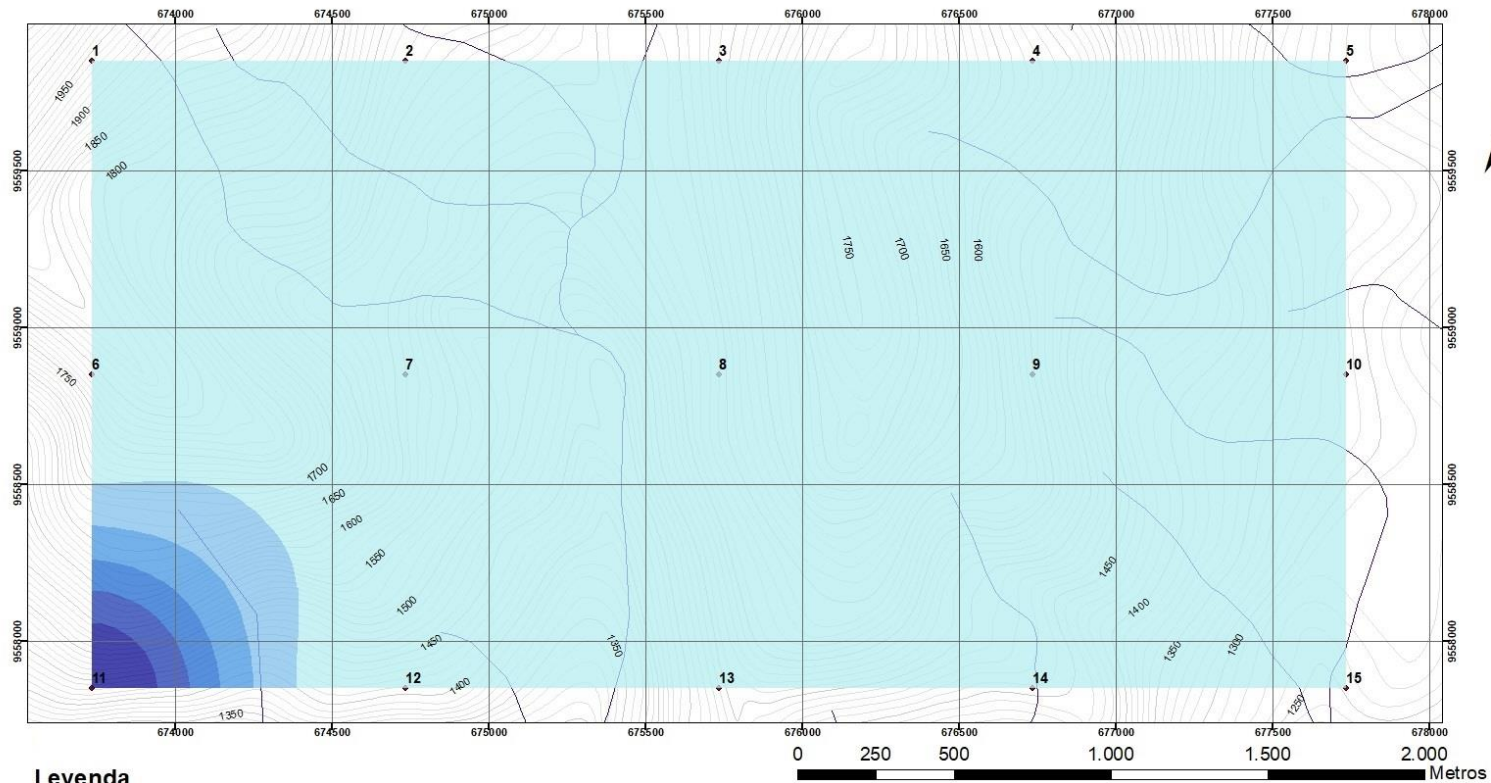
#### Leyenda



	<b>Universidad Técnica Particular de Loja</b>		
	<b>Titulación de Geología y Minas</b>		
	<b>MAPA GEOQUIMICO DE POTASIO</b>		
<b>Elaborado por:</b>	Juan Carlos Ramírez Torres		
<b>Proyección:</b>	Transverse mercator		
<b>Escala:</b>	1:15000	<b>Datum:</b>	WGS-1984
<b>Unidades:</b>	Metros		

## 4.6 Mapa geoquímico de Mg

### Mapa Geoquímico de MgO



#### Leyenda

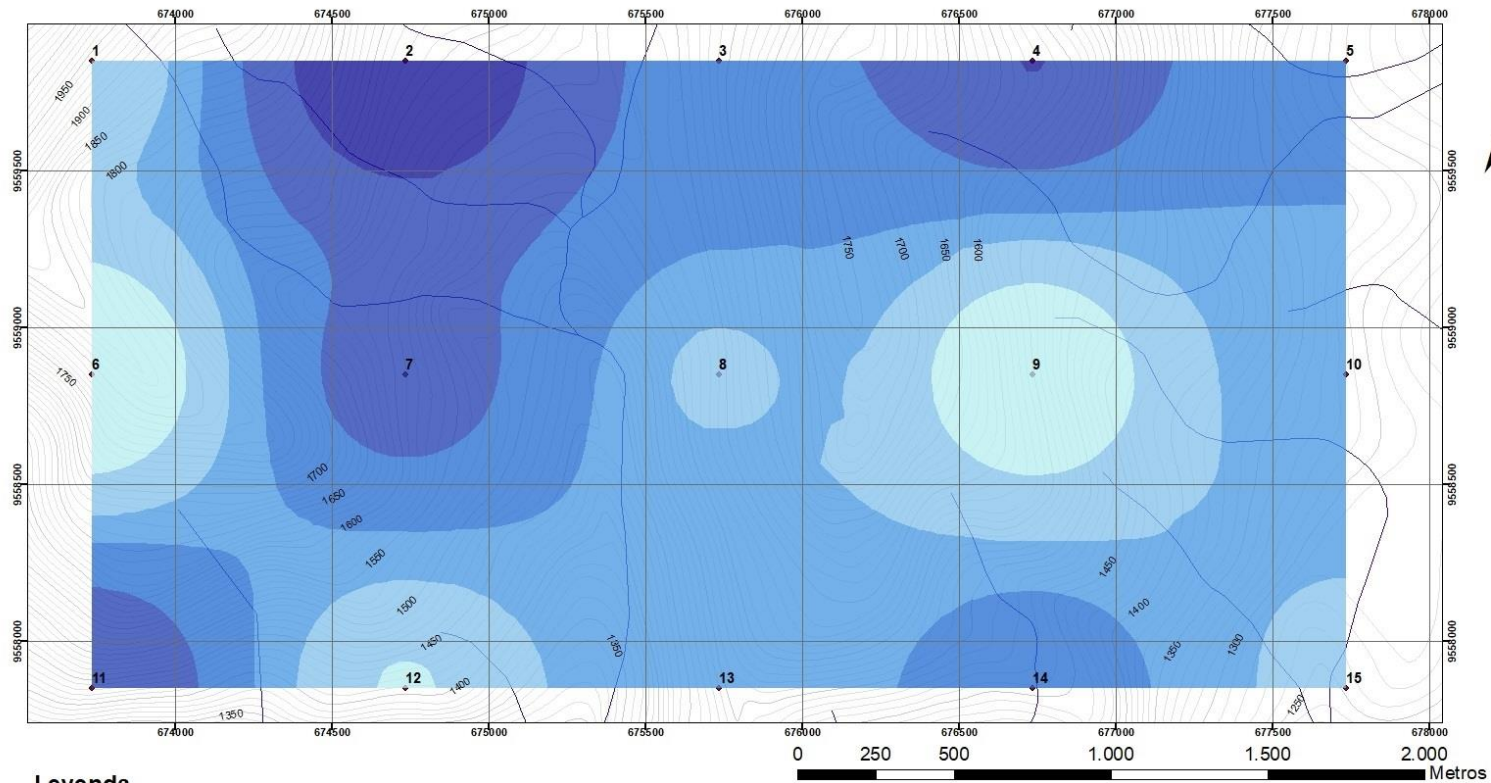
—	Drenaje	
0 – 1.23	} Fondo	
1.23 – 2.46		
2.46 – 3.69	} Umbral	
3.69 – 4.92		
4.92 – 6.15	} Subanomalía	
6.15 – 7.38		
	} Anomalía	
	} A. Definida	

	<b>Universidad Técnica Particular de Loja</b>		
	<b>Titulación de Geología y Minas</b>		
	<b>MAPA GEOQUIMICO DE MAGNESIO</b>		
	<b>Elaborado por:</b>	Juan Carlos Ramírez Torres	
	<b>Proyección:</b>	Transverse mercator	
<b>Escala:</b>	1:15000	<b>Datum:</b>	WGS-1984
<b>Unidades:</b>	Metros		

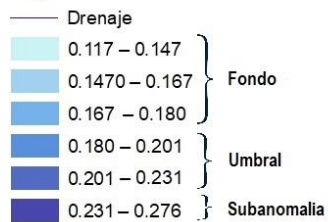


## 4.7 Mapa geoquímico de Mn

### Mapa Geoquímico de MnO



#### Leyenda



	<b>Universidad Técnica Particular de Loja</b>		
	<b>Titulación de Geología y Minas</b>		
	<b>MAPA GEOQUIMICO DE MANGANESO</b>		
	<b>Elaborado por:</b>	Juan Carlos Ramírez Torres	
	<b>Proyección:</b>	Transverse mercator	
<b>Escala:</b>	1:15000	<b>Datum:</b>	WGS-1984
<b>Unidades:</b>	Metros		