



# 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 los suelos del sector Alamala – Catamayo, polígono 2.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**AUTOR:** Naula Ruilova, Nestor Andrés

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

LOJA – ECUADOR

2018



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

2018

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

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 en el sector Alamala – Catamayo, polígono 2; realizado por el profesional en formación: Nestor Andrés Naula Ruilova, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Marzo de 2018

f) .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Nestor Andrés Naula Ruilova declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Exploración de composición litológica, mineralógica y química de suelos en el sector Alamala – Catamayo, polígono 2, de la Titulación de Ingeniería en Geología y Minas, siendo el Magister José Arturo Guartán Medina director del presente trabajo; y exigimos 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 mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos 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: Nestor Andrés Naula Ruilova

Cédula: 1104775950

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mis padres, quienes han demostrado ser los pilares más fuertes en todo ámbito de formación dentro de mi vida; gracias por su paciencia.

A mi futura hija Lía; a quién espero pronto.

A mi sobrino Sam, quien vive lleno de curiosidad siguiendo varios de mis pasos.

A mi familia en general quién ha sabido darme su apoyo en los momentos que he necesitado.

A los amigos quienes me han acompañado desde la infancia; a mi amigo de universidad Danny, por su apoyo.

*Nestor Andrés Naula Ruilova*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Técnica Particular de Loja, a los docentes que formaron parte de mi educación y a mi director de tesis, el Magister José Arturo Guartán; por su orientación, la paciencia e impulso para realizar mi trabajo.

A mis padres por su paciencia, apoyo personal y monetario durante la realización de todos mis estudios.

A mi familia y amigos que estuvieron en cada momento.

A mi amigo, el Ing. Juan Carlos Quintuña por su apoyo incondicional dentro de mi estadía en los laboratorios de la Universidad.

*Nestor Andrés Naula Ruilova*

## INDICE DE CONTENIDOS

TRABAJO DE TITULACIÓN .....	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
INDICE DE CONTENIDOS.....	VI
INDICE DE ILUSTRACIONES .....	XII
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	3
CAPITULO I.....	4
GENERALIDADES .....	4
1.1.    Justificación.....	5
1.2.    Objetivos. ....	5
1.2.1.    Objetivo General.....	5
1.2.2.    Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	6
ASPECTOS FÍSICOS Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	6
2.1.    Localización de la zona de estudio .....	7
2.2.    Relieves y topografía.....	8
2.3.    Accesibilidad.....	8
CAPÍTULO III.....	10
MARCO TEÓRICO .....	10

3.1.	Muestreo en campo.....	11
3.1.1.	Muestreo sistemático.....	11
3.1.2.	Muestreo estratificado.....	11
3.2.	Trabajos de laboratorio.....	11
3.2.1.	Análisis macroscópico.....	11
3.2.2.	Fluorescencia de Rayos X.....	11
3.2.3.	Difracción de Rayos X.....	12
3.3.	Análisis estadístico.....	12
3.3.1.	Coeficiente de correlación.....	12
3.3.2.	Nubes de dispersión.....	12
3.3.3.	Cajas de bigotes.....	12
3.3.4.	Fondo.....	12
3.3.5.	Umbral.....	12
3.3.6.	Anomalía geoquímica.....	12
3.4.	Mapas geoquímicos.....	13
3.4.1.	IDW.....	13
CAPÍTULO IV.....		14
GEOLOGÍA REGIONAL.....		14
4.1.	Geología regional y estructuras.....	15
4.1.1.	Formaciones.....	15
4.1.2.	Estructuras regionales.....	17
4.1.3.	Geomorfología local.....	18
CAPÍTULO V.....		21



METODOLOGIA DE TRABAJO .....	21
5.1. Trabajo de gabinete.....	22
5.2. Levantamiento en campo y muestreo. ....	22
5.2.1. Muestreo de núcleos. ....	23
5.3. Trabajos de laboratorio.....	23
5.3.1. Limpieza inicial.....	23
5.3.2. Secado.....	24
5.3.3. Trituración.....	24
5.3.4. Pulverización.....	24
5.3.5. Análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX). ....	24
5.3.6. Difracción de Rayos X (DRX).....	24
5.4. Análisis de los mapas de anomalías geoquímicas.....	25
CAPÍTULO VI .....	26
RESULTADOS .....	26
6. Resultados de campo. ....	27
6.1. Geología local.....	27
6.1.1. Unidad el Guayabal. ....	27
6.1.2. Intrusivos. ....	28
6.1.3. Filones de calcita.....	29
6.1.4. Depósitos cuaternarios.....	29
6.2. Petrología local.....	30
6.2.1. Rocas volcánicas.....	30
6.2.2. Intrusivos.....	34

6.2.3.	Filones de calcita.....	34
6.3.	Mapa geológico. ....	34
6.4.	Mapa de muestreo.....	35
6.5.	Análisis químico - mineralógico de las muestras.....	35
6.5.1.	Resultado del ensayo de Fluorescencia de Rayos X. ....	35
6.5.2.	Resultados del ensayo de Difracción de Rayos X.....	36
6.5.3.	Difractograma Muestra No1.....	36
6.5.4.	Difractograma Muestra No 2.....	37
6.5.5.	Difractograma Muestra No 4 – 5 – 6. ....	37
6.6.	Interpretación de resultados de laboratorio.....	38
6.6.1.	Estadística descriptiva de óxidos en porcentaje.....	38
6.6.2.	Diagramas de cajas y bigotes.....	41
6.7.	Interpretación de mapas de anomalías geoquímicas.....	42
6.7.1.	Mapa de anomalías SiO <sub>2</sub> . ....	42
6.7.2.	Mapa de anomalías Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	43
6.7.3.	Mapa de anomalías Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	43
6.7.4.	Mapa de anomalías K <sub>2</sub> O.....	43
6.7.5.	Mapa de anomalías CaO.....	43
6.7.6.	Mapa de anomalías MgO.....	44
6.7.7.	Mapa de anomalías MnO.....	44
6.7.8.	Mapa de anomalías S.....	44
	CONCLUSIONES .....	45
	RECOMENDACIONES .....	46

BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS.....	49
Anexo 1. Mapa de puntos de recorrido en campo del polígono 2 .....	50
Anexo 2. Malla de muestreo de núcleos para ensayos de laboratorio .....	51
Anexo 3. Muestreo sistemático de núcleos en campo. 1. Determinación del radio de muestreo; 2. Ubicación del núcleo; 3. Toma de muestra; 4. Extracción de muestra; Lateral: Excavación en zonas de gruesas capas de suelo. ....	52
Anexo 4. Trabajos de laboratorio realizados. 1. Homogenización; 2. Secado de muestras; 3. Trituración; 4. Cuarteo; 5. Pulverización; 6. FRX; 7. DRX.....	52
Anexo 5. Toba riolítica de la zona de estudio. ....	53
Anexo 6. Depósitos de calcita en la zona de estudio 1. Depósito de calcita; 2. Depósito de calcita; 3-9. Agregados minerales de calcio.....	53
Anexo 7. Depósitos aluviales de la zona de estudio .....	54
Anexo 8. Toba riolítica.....	55
Anexo 9. Pórfido andesítico tono verde claro .....	56
Anexo 10. Pórfido andesítico tono verde grisáceo.....	57
Anexo 11. Intrusivo de Monzogranito .....	58
Anexo 12. Agregados minerales de calcita - dispersos en la zona .....	59
Anexo 13. Mapa litológico de la zona de estudio.....	60
Anexo 14. Mapa de muestreo en campo .....	61
Anexo 15. Difractograma de la muestra 1 – Monzogranito .....	62
Anexo 16. Difractograma de la muestra 2 - Toba riolítica .....	62
Anexo 17. Pórfido andesítico - verde claro - verde grisáceo - café claro. ....	63
Anexo 18. Mapa de anomalías geoquímicas SiO <sub>2</sub> .....	64

Anexo 19. Mapa de anomalías geoquímicas $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	65
Anexo 20. Mapa de anomalías geoquímicas $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	66
Anexo 21. Mapa de anomalías geoquímicas $\text{K}_2\text{O}$ .....	67
Anexo 22. Mapa de anomalías geoquímicas $\text{CaO}$ .....	68
Anexo 23. Mapa de anomalías geoquímicas $\text{MgO}$ .....	69
Anexo 24. Mapa de anomalías geoquímicas $\text{MnO}$ .....	70
Anexo 25. Mapa de anomalías geoquímicas $\text{S}$ .....	71

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. ....	7
Ilustración 2. Geomorfología de la zona de estudio. ....	8
Ilustración 3. Puntos de acceso a la zona de estudio.....	9
Ilustración 4. Mapa geológico regional del Sur del País. (Loja - Catamayo).....	17
Ilustración 5. Sistemas fallados de la Cordillera Real.....	18
Ilustración 6. Geoformas de la zona de estudio .....	19
Ilustración 7. Inclinação de las laderas en la zona de estudio. ....	19
Ilustración 8. Drenajes profundos en la zona de estudio. ....	20
Ilustración 9. Capas de material aluvial con clastos volcánicos.....	20
Ilustración 10. Pórfido andesítico de tono verde grisáceo. ....	27
Ilustración 11. Hidrotermalismo de la zona de estudio - vetillas de calcita. ....	28
Ilustración 12. Intrusivo de Monzogranito.....	29
Ilustración 13. Depósitos aluviales. ....	30
Ilustración 14. Toba riolítica tono café claro – pardo. ....	31
Ilustración 15. Muestra fuera del polígono; Muestra dentro del polígono.....	31
Ilustración 16. Pórfido andesítico tono verde claro. ....	32
Ilustración 17. pórfido andesítico tono verde claro. ....	32
Ilustración 18. Pórfido andesítico tono verde grisáceo. ....	33
Ilustración 19. Pórfido andesítico de tono verde grisácea. ....	33
Ilustración 20. Monzogranito tono rosa pálido – pardo.....	34
Ilustración 21. Diagrama de dispersión CaO – S.....	40
Ilustración 22. Diagrama de dispersión CaO – SiO <sub>2</sub> .....	41
Ilustración 23. Diagrama de caja y bigotes - Porcentajes de óxidos.....	42

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del polígono UTM WGS 84. ....	7
Tabla 2. Resultados Frx para las 21 muestras del estudio .....	35
Tabla 3. Porcentajes minerales del difractograma No. 1. ....	36
Tabla 4. Porcentajes minerales del difractograma No. 2. ....	37
Tabla 5. Porcentajes minerales del difractograma No. 4, 5, 6. ....	38
Tabla 6. Estadística descriptiva de la concentración de elementos de las muestras analizadas por FRX. ....	38
Tabla 7. Coeficiente de correlación para los porcentajes de óxidos .....	40
Tabla 8. Tendencia de distribución espacial de los elementos. ....	42

## RESUMEN

El presente trabajo detalla los resultados obtenidos a partir de los estudios realizados en la zona conocida como Loma Alamala, la misma se ubica en el cantón Catamayo, provincia de Loja. Para esto se usaron diferentes técnicas de laboratorio como la Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX), las cuales fueron aplicadas a un total de 21 muestras tomadas del área de estudio. Los resultados de laboratorio se enfocaron en determinar los elementos mayoritarios como Si, Al, Fe, K, Ca, Mg, Mn y S, con los cuales se realizó la estadística descriptiva para finalmente desarrollar los mapas de anomalías geoquímicas, y así dar la correcta interpretación de como los elementos intervienen en la geoquímica y geología de la zona.

**PALABRAS CLAVES:** Loma Alamala, Catamayo, Fluorescencia de Rayos X, Difracción de Rayos X, estadística descriptiva, Mapas geoquímicos.

## **ABSTRACT**

The present work details the results obtained from the studies carried out in the area known as Loma Alamala, it is located in the canton Catamayo, province of Loja. For this, different laboratory techniques were used, such as X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD), which were applied to a total of 21 samples taken from the study area. The laboratory results focused on determining the major elements such as Si, Al, Fe, K, Ca, Mg, Mn and S, with which the descriptive statistics was made to finally develop maps of geochemical anomalies, and thus give the correct interpretation of how the elements intervene in the geochemistry and geology of the area.

**KEY WORDS:** Loma Alamala, Catamayo, X-ray Fluorescence, X-ray Diffraction, descriptive statistics, geochemical maps.



## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El estudio geoquímico de los suelos y rocas debe constituir la fase inicial de la prospección y exploración geológica. Estos estudios buscan establecer la existencia de los diferentes tipos de elementos químicos presentes en los suelos de la zona de estudio, así como, minerales de interés. Con los resultados se puede construir la distribución de elementos en la zona basándonos directamente en el foco emisor, siendo en este caso la roca madre preexistente en los suelos de una zona de estudio.

El presente Trabajo de Fin de Titulación consiste en determinar mediante los estudios geoquímicos la mineralogía y la línea base de los elementos químicos relacionándolos con la litología de la zona de estudio ubicada en el sector Alamala del cantón Catamayo. La cobertura de la zona de estudio comprende un total de 10.65 km<sup>2</sup>.

Catamayo es un cantón perteneciente a la provincia de Loja, geológicamente se considera como una cuenca constituida por rocas volcánicas y volcans sedimentarias que afloran a lo largo de la zona. Además, se encuentran depósitos aluviales, rocas de tipo riolíticas y cuerpos intrusivos graníticos y granodioríticos, de los cuales, algunos poseen estudios previos.

Para esto se ha visto pertinente el desarrollo de algunas etapas para llegar al fin indicado, la primera etapa compete la recopilación de información de la zona de estudio, en esta se incluyen Trabajos de Fin de Titulación aledaños al sector, estudios geológicos realizados por entidades estatales y mapas geológicos de antiguos investigadores, además de mapas modificados actualmente por el INIGEMM. En conjunto a esta información se desarrolla la segunda etapa en la cual efectúa un levantamiento en campo a fin de determinar la geología de la zona mediante la toma de datos estructurales y muestras puntuales. El mayor inconveniente para el desarrollo de esta actividad fue la dificultad del terreno en cuanto a pendientes inclinadas, esto impedía en muchos de los casos llegar a las cotas más altas para tomar muestras e información necesaria. La tercera etapa se basa en los análisis de laboratorio mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX). Con estos ensayos se determina la mineralogía y la composición química de óxidos como SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, CaO, MnO y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Con los elementos geoquímicos se realizaron análisis cualitativos para correlacionar los resultados con la mineralogía y la geología a través de mapas de anomalías geoquímicas.

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

## **1.1. Justificación.**

El Trabajo de Fin de Titulación, Exploración de composición litológica, mineralógica y química de los suelos del sector Alamala – Catamayo, polígono 2, está ubicado en el sector de Alamala Catamayo enmarcado en las coordenadas: 1. [673476.58 - 9562314.93], 2. [678103.81 – 9562306.10], 3. [673472.23 – 9560011.25], 4. [678099.34 – 9560002.38].

A nivel regional se conoce que geológicamente se compone de material volcánico sedimentario; pero dicho sector carece de información detallada en cuanto a discriminación geológica, estudios estructurales, geoquímicos y otros; razón por la cual se vio pertinente el desarrollo de un estudio geoquímico con el fin de establecer la roca madre o mineralogía encargada de establecer los óxidos mayoritarios presentes en la zona de estudio.

Mediante la determinación de las concentraciones de óxidos mayoritarios se puede elaborar diferentes hipótesis de como es el comportamiento geoquímico en la zona de estudio; poniendo en práctica todos los conocimientos adquiridos hasta el momento.

La aplicación de este estudio tiene un sin número de aplicaciones que podrían ser destinadas a cualquier rama de la biología, bioquímica, gestión ambiental o agropecuaria;

## **1.2. Objetivos.**

### **1.2.1. Objetivo General.**

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

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- Investigar geoquímicamente a escala local para determinar el fondo 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 rodea, el origen natural de la roca y su composición mineralógica.

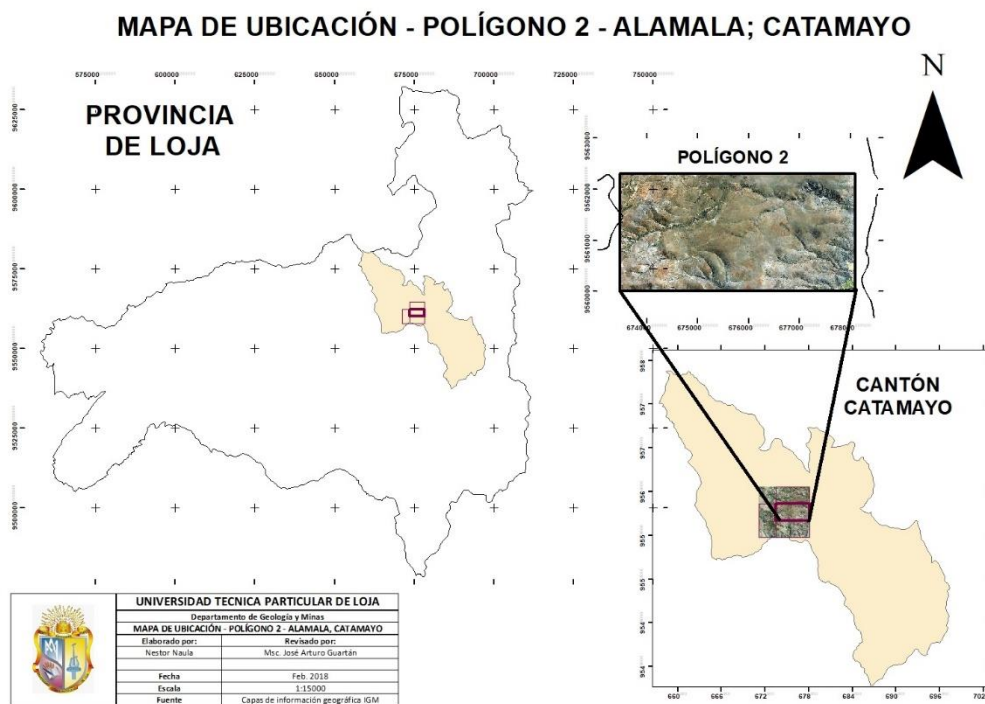
## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS FÍSICOS Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

## 2.1. Localización de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en la Cuenca de Catamayo; pertenece a la provincia de Loja. Se ubica a 2.32 km de San Pedro de la Bendita, a una altitud promedio de 1700 m.s.n.m. Limita al Norte con el cantón San Pedro de la Bendita, al Sur con La Vega y la Hacienda La Algarrobera, al Este con Catamayo y al Oeste con Las Chinchas.

Actualmente se encuentra en la hoja topográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM): Catamayo escala 1:50000 código NVI – F3. El polígono de estudio (Ilustración 1) se enmarca dentro de las coordenadas UTM, datum WGS84 (Tabla 1).



**Ilustración 1.** Mapa de ubicación de la zona de estudio.

**Fuente:** IGM.

**Elaboración:** El autor.

**Tabla 1.** Coordenadas del polígono UTM WGS 84.

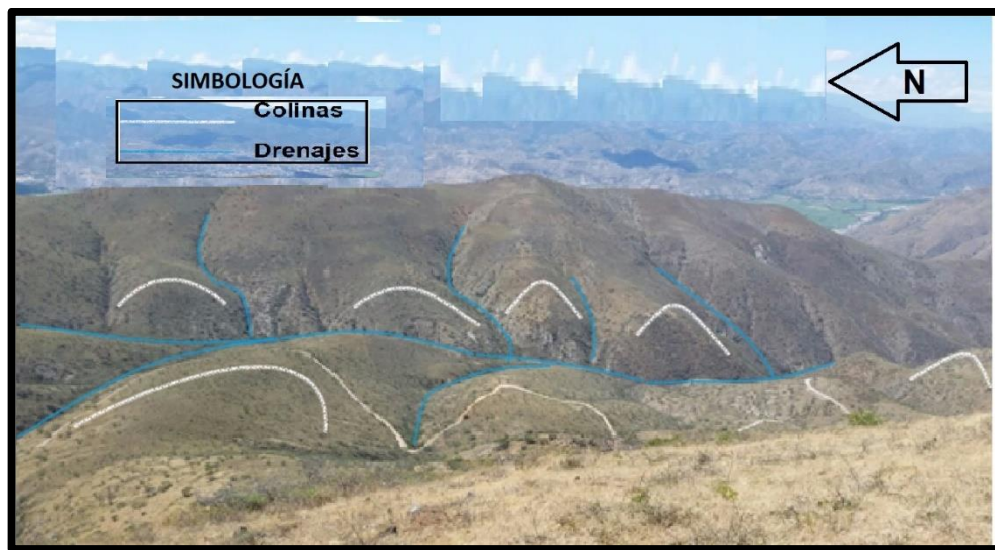
PUNTO	X	Y
1	673,476.58	9,562,314.93
2	678,103.81	9,562,306.10
3	673,472.23	9,560,011.25
4	678,099.34	9,560,002.38

**Fuente y elaboración:** El autor.

## 2.2. Relieves y topografía.

Según (Gutierrez Elorza, 2008) la geomorfología es resultado directo de fuerzas endógenas y exógenas.

Los relieves en la zona de estudio abarcan principalmente amplias extensiones de terreno que forman colinas redondeadas y sub redondeadas con drenajes muy pronunciados. Las fuerzas endógenas favorecerían al movimiento vertical de las mismas cuyo resultado son las colinas tipo Domo. Las fuerzas exógenas serían las responsables de la depositación de amplias capas de material aluvial y drenajes (Ilustración 2).



**Ilustración 2.** Geomorfología de la zona de estudio.  
**Fuente y elaboración:** El autor.

## 2.3. Accesibilidad

El área de estudio posee dos accesos (Ilustración 3), uno en San Pedro de la Bendita y otro por el balneario El Guayabal. Para acceder por el primer acceso se debe tomar la Ruta 35 vía a la costa, a 2.32 km de la Vía San Pedro – Catamayo existe una entrada de segundo orden lastrada, para este punto se debe solicitar el respectivo permiso a la empresa Monterrey. Por El Guayabal el acceso empieza a partir del conocido cuello volcánico rumbo al Sur; varios de los accesos al área de estudio de igual manera son bajo permisos previos a los propietarios de canteras y terrenos con plantíos de caña de azúcar.



**Ilustración 3.** Puntos de acceso a la zona de estudio  
**Fuente:** Google Earth.  
**Elaboración:** El autor.

**CAPÍTULO III**  
**MARCO TEÓRICO**



### **3. Marco teórico.**

En el presente capítulo se describen los conceptos básicos que facilitará entender los resultados descritos en los siguientes capítulos.

#### **3.1. Muestreo en campo.**

Se basa en la extracción de muestras tipo núcleo de suelo o muestras superficiales de roca fresca, todo esto mediante parámetros establecidos para evitar la contaminación o mala ubicación de la muestra seleccionada.

Existen diferentes tipos para el muestreo del suelo, como el muestreo al azar, muestreo sistemático, muestreo estratificado y el muestreo compuesto. (Jiménez, 2010, págs. 182 - 183).

Para nuestro estudio utilizamos los métodos de muestreo sistemático y estratificado.

##### **3.1.1. Muestreo sistemático.**

La malla de muestreo se realiza de manera sistemática mediante intervalos fijos, en nuestro caso cada 1000 metros; dichos intervalos son ubicados en un mapa mediante cuadrículas o mallas de muestreo. Es recomendable para suelos heterogéneos (Jiménez, 2010).

##### **3.1.2. Muestreo estratificado.**

Recomendado para áreas de difícil acceso o en donde es posible tomar una muestra directamente de los estratos (Jiménez, 2010).

#### **3.2. Trabajos de laboratorio**

##### **3.2.1. Análisis macroscópico**

Comprende el reconocimiento de los minerales de interés más comunes que componen la roca además de las características generales como el color, el peso, la fractura y su textura (Griem, 2017).

##### **3.2.2. Fluorescencia de Rayos X.**

Método de alta precisión para un análisis químico rápido, de preparación simple y de manera no destructiva, Determina las concentraciones de los diferentes elementos químicos en cualquier tipo de muestra (Valentinuzzi, 2008).

### **3.2.3. Difracción de Rayos X.**

Método de análisis cualitativo y cuantitativo que determina la composición mineralógica en base a la cristalinidad de los minerales, su tamaño, la simetría, los coeficientes de dilatación y otros (Bragg, 1962).

### **3.3. Análisis estadístico.**

Los diferentes análisis estadísticos permiten estimar, discriminar y relacionar los diferentes resultados en base a los objetivos planteados.

#### **3.3.1. Coeficiente de correlación.**

Técnica estadística que nos permite analizar la relación entre dos o más variables, determina el nivel de relación entre variables que pueden ser directa (+1) o indirecta (-1) (Gitman, 2005).

#### **3.3.2. Nubes de dispersión.**

Representación gráfica que describe el comportamiento entre dos variables de un grupo de datos, cada valor se representa entre dos variables graficadas entre dos ejes, la variable dependiente o eje Y; y, la variable independiente o eje X. Como resultado se puede analizar la relación entre cada variable (Gitman, 2005).

#### **3.3.3. Cajas de bigotes.**

Según (Johnson & Kuby, 2008) las cajas de bigotes son dos segmentos que describen los datos menores del primer cuartil y el segundo cuarto de los datos mayores que el tercer cuartil.

#### **3.3.4. Fondo.**

Corresponde a la riqueza normal de un elemento dentro de un área determinada, varía si el terreno es heterogéneo y no uniforme (Silva & Nieves, 2010).

#### **3.3.5. Umbral.**

Determina la concentración de un elemento en la que se pueda considerar como un valor anómalo. Es el límite superior de los valores de fondo en donde los valores mayores son las anomalías (Silva & Nieves, 2010).

#### **3.3.6. Anomalía geoquímica.**

Según (Silva & Nieves, 2010) se considera como la distribución geoquímica anómala de un área en específico.

### **3.4. Mapas geoquímicos.**

Los mapas geoquímicos son la representación gráfica de los valores estadísticos, son trabajados mediante un software como el ArcMap gracias al uso de la herramienta IDW o método inverso de la distancia (Desktop, 2017).

#### **3.4.1. IDW.**

El método inverso de la distancia es una herramienta de interpolación entre los valores anómalos de un lugar, esto en función a los valores más cercanos a un punto de interés (Desktop, 2017).

**CAPÍTULO IV**  
**GEOLOGÍA REGIONAL**

#### **4.1. Geología regional y estructuras.**

El basamento de la Cuenca de Catamayo aún es un tema que se encuentra bajo discusión; pero algunos autores como Hungerbühler sostienen que posiblemente este sea material metamórfico perteneciente a la formación Chigüinda; esto debido a que el mismo material metamórfico se encuentra como basamento en la Cuenca de Malacatos - Vilcabamba.

Muchos autores han relacionado a la secuencia volcánica de Catamayo con los volcánicos Sacapalca de composición Andesítica, sin embargo, actualmente INIGEMM ha sugerido que los volcánicos Catamayo son mucho más jóvenes y su composición vendría a ser más Dacítica – Riolítica; con esto define que la edad de estos volcano sedimentos sería Oligoceno y tendría más relación con el Arco Volcánico Saraguro.

Es importante recalcar que los volcano sedimentos conocidos como Sacapalca predominan en el área de estudio, estas presentan tres facies volcano sedimentarias dentro de un ambiente tectónico erosivo. Los volcano sedimentos de Sacapalca no afloran hacia el Norte del Ecuador, pero si aflora al Norte del Perú donde es conocida como la Formación Llama; hacia el Norte del Ecuador, la Formación Sacapalca es conocida como la Formación Saraguro, ya mencionada antes.

Actualmente se sostiene que la Cuenca de Catamayo posee rasgos muy familiares a las Cuencas de Loja, Malacatos, Vilcabamba y Girón; estas presentan facies marinas costeras y sedimentarias continentales Mioceno Medio – Mioceno tardío (Hungerbühler D. , 2002).

##### **4.1.1. Formaciones.**

###### **4.1.1.1. Unidad Chaguarpamba.**

**Ubicación.** - Se ubica hacia al Sur Oeste de la cuenca de Catamayo, sus mejores afloramientos se encuentran en la carretera San Pedro de la Bendita – Las Chinchas

**Edad.** - Cretácico

**Génesis.** - Facies distales de la unidad Bramaderos

**Petrografía.** - Consiste en una secuencia formada por lutitas verdes, limolitas café y areniscas de grano fino color gris (Egüez, Gaona, & Albán, 2017).

###### **4.1.1.2. Unidad Changaimina.**

**Ubicación.** - Se ubica en las márgenes del río Catamayo

**Edad:** Paleoceno

**Génesis.** - No establecida.

**Petrografía.** - Se conforma de lavas andesíticas básicas de color gris verdoso con textura afanítica y subporfírica; la edad establecida se debe a dataciones en muestras de lava por Hungerbühler (Egüez, Gaona, & Albán, 2017).

#### **4.1.1.3. Formación Saraguro.**

**Ubicación.** - Se cree que el arco Saraguro aflora actualmente en la zona de Catamayo, INIGEMM ha diferenciado las rocas aflorantes en el sector y ha separado las mismas de lo que antes se denominada como Formación Sacapalca.

**Edad.** - Oligoceno Mioceno

**Génesis.**- Se deposita en un ambiente de vulcanismo regional (Hungerbühler D. , 2002).

**Petrografía.**- tobas de líticos, tobas de cristales, brechas polilíticas y aglomerados, por lo general estas tienen a mostrar procesos de hidrotermalismo (Jaillard, 1996).

Según el mapa actualizado (Egüez, Gaona, & Albán, 2017) esta formación se compone netamente de rocas piroclásticas y lavas andesíticas.

#### **4.1.1.4. Unidad Guayabal.**

**Ubicación.** - Es mejor observable en la carretera Catamayo – San Pedro de la Bendita

**Edad.** - Oligoceno - Mioceno

**Génesis.** - Secuencias volcanoclásticas de composición intermedia a ácida.

**Petrografía.** - Se compone de lavas andesíticas afaníticas y tobas grises intercaladas con tobas riolíticas de tonos blanquecinos (Egüez, Gaona, & Albán, 2017).

#### **4.1.1.5. Formación Catamayo.**

**Ubicación.** - es observable al Sur del pueblo de Catamayo, descansa discordantemente sobre la formación Sacapalca, sus sedimentos forman un cabalgamiento con la formación Loma Blanca.

**Edad.** - Mioceno Medio

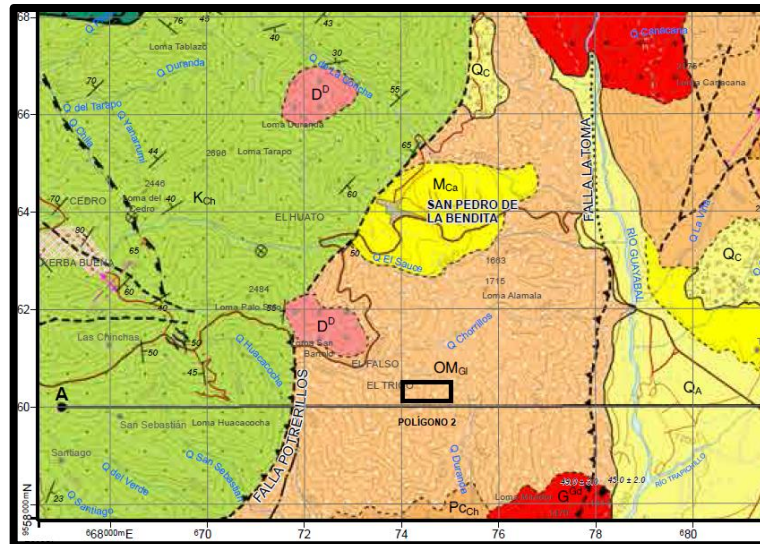
**Génesis.** - De ambiente fluvial

**Petrografía.** - Su base se compone principalmente de calizas no muy importantes, posee abundantes venas de Yeso; su parte central posee areniscas gruesas y conglomerados. Superficialmente se encuentran pizarras, areniscas e intercalaciones de calizas.

#### 4.1.1.6. Depósitos cuaternarios.

Materiales depositados a los márgenes del río Catamayo y los amplios drenajes que se encuentran en la Cuenca, forman depósitos aluviales, coluviales y amplias terrazas; su material es variado según el lugar de donde sea arrastrado.

La disposición de las formaciones puede ser observada en la Ilustración 4.



**Ilustración 4.** Mapa geológico regional del Sur del País. (Loja - Catamayo)  
**Fuente:** (Egüez, Gaona, & Albán, 2017).  
**Elaboración:** El autor.

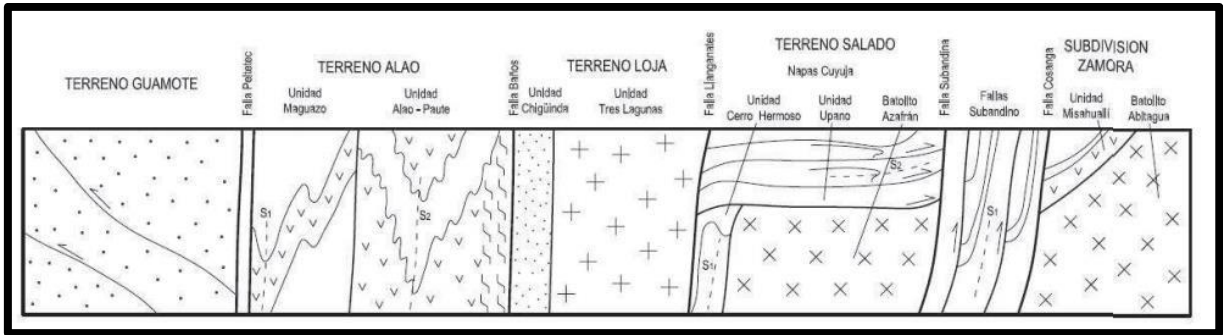
#### 4.1.1.7. Intrusivos.

Dentro de la zona de estudio podemos encontrar rocas intrusivas como las granodioritas, muchos de estos tienden a tener variaciones de Monzogranito; poseen una textura fanerítica de grano medio a grueso, se componen de plagioclasas, feldespato alcalino, cuarzo, biotita y menores cantidades de hornblenda.

Además, también podemos encontrar dioritas, la mayoría son cuerpos jóvenes que se distribuyen al Oeste del área. Poseen texturas faneríticas de grano fino a medio con plagioclasas, hornblenda y en ocasiones piroxeno.

#### 4.1.2. Estructuras regionales.

El basamento metamórfico de la Cordillera Real agrupa terrenos alóctonos y autóctonos que se encuentran separados por grandes sistemas fallados en sentido NNE – SSW (Litherland, 1994). Regionalmente los terrenos de la Cordillera Real están limitados por las fallas Cosanga – Méndez, Llanganates, Frente de Baños y Peltetec (Ilustración 5).



**Ilustración 5.** Sistemas fallados de la Cordillera Real.

**Fuente:** (Litherland, 1994).

**Elaboración:** El autor.

#### 4.1.2.1. Falla Frente de Baños.

Nace en el Norte del País y hacia el Sur toma el nombre de falla Las Aradas (Aspden, 1992); es con este nombre que toma parte en la geomorfología de nuestra zona de estudio. La falla Las Aradas se considera como una división de la falla Peltetec al momento de que esta recorre la cuenca de la antigua falla Jirón. A lo largo de esta las formaciones se hunden hacia el Oeste contra el basamento metamórfico demostrando actividad en el Cenozoico y siendo considerada una de las estructuras fundamentales del basamento metamórfico (Reyes, 2004). Esta falla se considera regional inversa y su caracteriza se basa en pertenecer a una zona de sutura (Hungerbühler D. , 2002).

#### 4.1.2.2. Falla La Toma.

Su edad determinada es menor a 1.6 Ma. Se considera como inversa, buza al Oeste y se asocia a varias ramificaciones, posiblemente tiene relación con el sistema de Falla Las Aradas que se extiende hacia el Sur. Su geomorfología forma escarpes y drenajes irregulares pronunciados. Geomorfológicamente levanta terrazas aluviales (Egüez A. A., 2003).

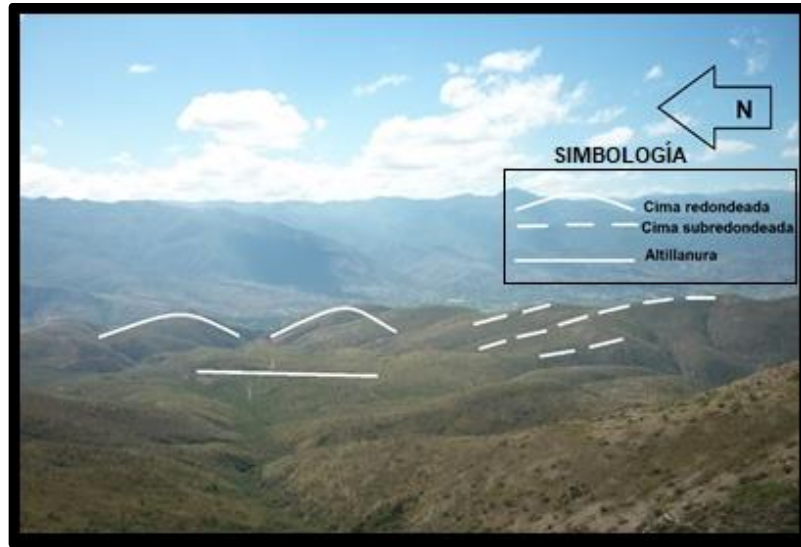
#### 4.1.2.3. Falla El Tambo.

Su edad ha sido determinada menor a 1.6 Ma. Es una falla inversa con buzamiento NE, divide la formación Loma Blanca hacia el Oriente de la Cuenca. Geomorfológicamente genera escarpes irregulares (Egüez A. A., 2003).

#### 4.1.3. Geomorfología local.

En la zona de estudio encontramos típicas geoformas de terrenos conformados por rocas volcánicas y rocas intrusivas, la morfodinámica que conllevan la existencia de este tipo de rocas, desemboca en un sinnúmero de geoformas que van desde superficies onduladas hasta colinas y altillanuras (Ilustración 6). Los declives en las laderas de las montañas en la zona van del 50% al 60% (Ilustración 7).



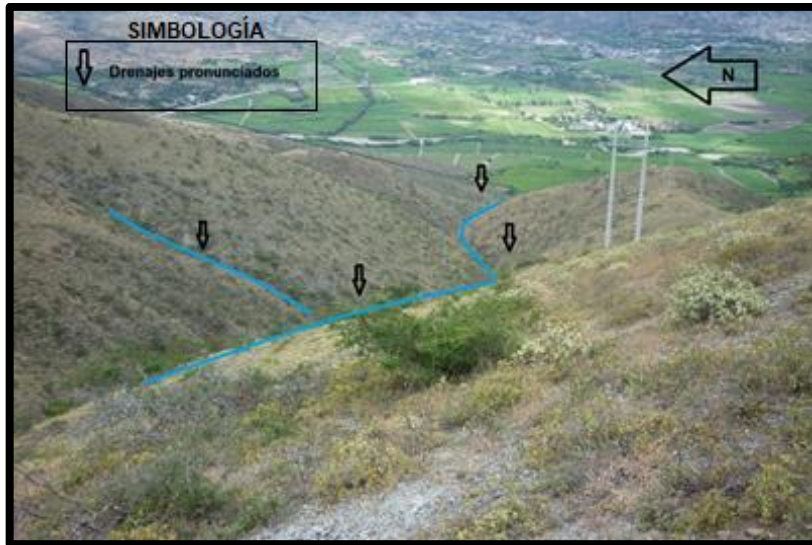


**Ilustración 6.** Geoformas de la zona de estudio  
**Fuente y elaboración:** El autor.



**Ilustración 7.** Inclinación de las laderas en la zona de estudio.  
**Fuente y elaboración:** El autor.

Este tipo de relieve puede ser explicado gracias a los procesos tectónicos endógenos, la cuenca de Catamayo está conformada principalmente por material volcánico - sedimentario y lavas andesíticas además se intruyen cuerpos ígneos ácidos (Loayza, 2017); la intrusión de cuerpos ígneos tipo dique al momento de ascender provocarían una deformación del tipo dúctil en el terreno, con esto generarían las colinas redondeadas o subredondeadas mejor conocidas como Domos. Los procesos exógenos como el clima, las lluvias y demás, con el tiempo generarían un conjunto de drenajes muy pronunciados (Ilustración 8) y llanuras cubiertas de material aluvial con clastos volcánicos, característicos de terrenos volcánico sedimentarios (Ilustración 9).



**Ilustración 8.** Drenajes profundos en la zona de estudio.  
Fuente y elaboración: El Autor.



**Ilustración 9.** Capas de material aluvial con clastos volcánicos.  
Fuente y elaboración: El autor.

**CAPÍTULO V**  
**METODOLOGIA DE TRABAJO**

### **5.1. Trabajo de gabinete.**

La recopilación de información sobre la zona de estudio ha sido muy variada y extensa, sin embargo, lo más importante en la selección de la misma es el enfoque geoquímico o mineralógico que esta posea.

De esta manera se ha tomado en cuenta para el enfoque regional principalmente estudios recientes sobre la geología local y el estudio estructural de la Cuenca de Catamayo; sin embargo, no se puede dejar de lado estudios geológicos regionales, de esta manera se indica la bibliografía ocupada: Methamorphic Belts of Ecuador de M Litherland, J A Aspend (Litherland, 1994), Database and Map of Quaternary Faults and floods of Ecuador and its offshore regions de Arturo Eguez y otros (Egüez A. A., 2003), Caracterización de arcillas naturales del cantón Catamayo y sus usos potenciales en la tecnología de Cristian Loayza (Loayza, 2017).

Se analizaron informes de trabajos realizados por estudiantes de la Titulación de Geología y Minas de la UTPL que fueron realizados cerca de la zona en Catamayo, San Pedro de la Bendita y Las Chinchas; además, se contrasta toda la información con los mapas geológicos actualizados del INIGEMM.

En cuanto a estudios de geoquímica se revisaron artículos en los que se analiza a profundidad la relación entre la geoquímica y la mineralogía de las rocas, las mismas se detallan: Influence of geological setting on geochemical baselines of trace elements in soils. Application to soils of South–West Spain de Galán (Galán, Fernández, & González, 2008), Mineralogical and geochemical investigations of the Middle Eocene ironstones, El Bahariya Depression, Western Desert, Egypt de Walid Salama (Salama W. , 2012), Geochemical characteristics of stream sediments, sediment fractions, soils de Sansfica M. Younga (Sansfica & Pitawala, 2013), Petrography, mineralogy and geochemistry of the Late Eocene oolitic ironstones of the Jebel Ank, Southern Tunisian Atlas de Hechmi Garnit (Garnit & Bouhlel, 2017).

### **5.2. Levantamiento en campo y muestreo.**

La exploración y reconocimiento en campo es la mejor manera para analizar los afloramientos naturales o artificiales de los cuales sea posible tomar toda la información geológica necesaria. Para las diversas campañas en campo se usó el material básico de campo como martillo, brújula, GPS y libreta de campo para anotar la información necesaria como la ubicación con coordenadas y la descripción litológica.

Para el estudio se ha tomado un total de 84 puntos (Anexo 1, pág. 60) de los cuales se obtuvo toda la información correspondiente y disponible procurando guardar evidencias mediante muestras puntuales y fotografías, cada una de ellas con su respectiva etiqueta.

Debido a la dificultad de acceso para las zonas más elevadas del polígono en algunos de los casos se procuró correlacionar puntos de la vía San Pedro – Las Chinchas con material geológico del polígono (Anexo 1, pág.60).

Como material base para los ensayos de laboratorio se necesitan un total de 15 muestras a las que se les realizará FRX y DRX; para ello se ha hecho uso de una malla de muestreo (Anexo 2, pág. 61) por cada polígono con el fin de determinar previamente los puntos en campo.

#### **5.2.1. Muestreo de núcleos.**

Para efectuar el muestreo de núcleos se procedió de la siguiente manera:

- Se colocó un eje central en cada uno de los puntos que indicaban las coordenadas del Anexo 2, pág. 61.
- A partir de ese eje se estimaba un radio aproximado de 50 cm y se traza un círculo en el cual se ubicaban 5 puntos en los cuales se procedía a tomar la muestra de núcleo (Anexo 3, pág. 62).
- En los sectores en donde la capa orgánica o la capa de material aluvial es muy amplia, primero se cavaba con el fin de remover la mayor cantidad de material innecesario y poder obtener un núcleo (Anexo 3, pág. 62).
- En puntos donde se presentan mayormente arcillas, se procuró obtener clastos cercanos que no posean demasiada contaminación para así no alterar los resultados de la misma.

#### **5.3. Trabajos de laboratorio.**

Con las muestras obtenidas en campo se llevó a cabo el siguiente protocolo para prepararlas y realizar ensayos de observación macroscópica, FRX y DRX. (Anexo 4, pág. 62).

##### **5.3.1. Limpieza inicial.**

A todas las muestras obtenidas en campo se les realizó una limpieza inicial, para ello se disgrega la muestra, se retira cualquier impureza o materia orgánica que pudiera haberse incluido en la muestra y se la homogeniza.

### **5.3.2. Secado.**

Se procede a colocar la muestra en una bandeja de vidrio para luego ser puesta a secar en la mufla marca Retsch a +/- 105° por 24 horas.

### **5.3.3. Trituración.**

Previa a la trituración y posterior al secado se realizó un cuarteo mediante el cual se redujo el total de la muestra para procurar una mejor selección.

Luego del segundo cuarteo se procede a usar la trituradora de mandíbulas marca Retsch, realizando una limpieza con anterioridad para así evitar la contaminación. Una vez realizada la limpieza se procede a cerrar las mandíbulas y triturar la muestra hasta un tamaño promedio de 3 mm (en el caso de muestras con clastos) para luego proceder a pulverizar las muestras.

### **5.3.4. Pulverización.**

Previa a la pulverización se realizó un cuarteo final con el fin de obtener un promedio de 100 gramos que serán pulverizados y servirían para realizar los ensayos de FRX y DRX.

El pulverizador consiste en un pocillo de cromo de 8" de diámetro que posee dos anillos, el equipo vibra a 700 rpm en un ciclo programado de 3 minutos.

### **5.3.5. Análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX).**

La Fluorescencia de Rayos X es una técnica de análisis elemental la cual se basa en la dispersión de energía que producen tubos de rayos X al momento de excitarse, para los análisis se utilizó el equipo portátil de rayos X – marca Bruker S1 TURBO.

Para realizar este tipo de análisis primero se debe homogenizar las muestras a manera de realizar un cuarteo y se coloca una pequeña porción en el recipiente porta muestras del equipo. Luego se procede a encender el equipo y configurarlo mediante el método *Mining Light Elements*. Finalmente se descargan los resultados desde el equipo una vez realizadas las lecturas.

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

La Difracción de Rayos X es una técnica que identifica las fases cristalinas de los minerales para luego dar un resultado cualitativo y cuantitativo (Skoog, 2001). La difracción sucede cuando una onda encuentra los obstáculos entre los espacios minerales capaces de dispersar la onda en diferentes magnitudes y longitudes (Skoog, 2001). El departamento de la UTP

posee un equipo BRUKER D8 ADVANCE ECO, para la presente labor se usaron los programas ...

Para realizar un ensayo eficaz de difracción la muestra debe de estar correctamente pulverizada.

#### **5.4. Análisis de los mapas de anomalías geoquímicas.**

Con los resultados obtenidos de los ensayos se realizó un análisis de los mismos, se obtuvo la estadística descriptiva de los mismos enfocados directamente en nuestros objetivos iniciales. Con la estadística obtenida se procedió a realizar mapas de anomalías geoquímicas.

Los mapas fueron realizados mediante el software ArcMap usando la herramienta inversa de la distancia (IDW) la cual determina los valores de cada celda a través de la combinación lineal de un conjunto de puntos de muestra. El resultado final es un mapa de anomalía de cada analito de interés.

El paso final es el análisis del mapa, según la variación y concentración de los diferentes colores se puede realizar un análisis acerca de cómo se desarrolla la geoquímica de la zona de estudio.

## **CAPÍTULO VI**

### **RESULTADOS**



## 6. Resultados de campo.

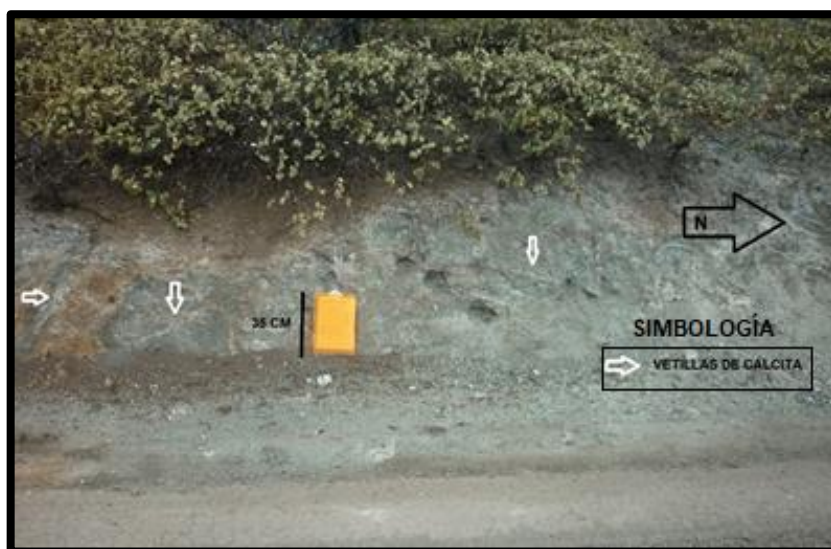
### 6.1. Geología local.

La zona de estudio abarca solo la Unidad El Guayabal, pertenece a la Formación Sacapalca (actual Saraguro) son rocas volcánicas tipo tobas, tobas andesíticas flujos de lava, brechas volcánicas, tobas de cristales y aglomerados con procesos de hidrotermalismo presentes a lo largo de toda la zona de estudio.

Además, en el centro del polígono se extiende una amplia llanura que comprende material aluvial depositado que correspondería a depósitos cuaternarios.

#### 6.1.1. Unidad el Guayabal.

El material de esta Formación pertenece regionalmente a los volcánicos Saraguro, se hace presente a lo largo de toda la zona de estudio, el pórfido andesítico es predominante en toda la zona. Su tono es variado de gris claro, pardo y verde oscuro a claro. Los cristales de la roca son variados, de tamaños milimétricos y de tonos que van de crema a pardo, el afloramiento de la ilustración 10 se ubica en las coordenadas: 9560409 N; 675062 E.



**Ilustración 10.** Pórfido andesítico de tono verde grisáceo.

**Fuente y elaboración:** El autor.

A lo largo de toda la zona el material base, en este caso el pórfido, ha sido afectado por alteraciones hidrotermales. Se observan grandes intrusiones de calcita que van desde vetillas tipo D que corresponden a la etapa principal de la alteración hidrotermal o están directamente relacionadas a la alteración argílica intermedia que se desarrolla a temperaturas menores a 400° C (Hunt, 2010). Su espesor varía desde los 2 cm hasta los 40 cm en algunas zonas. El afloramiento de la ilustración 11 se ubica en las coordenadas 9560329 N; 674799 E.



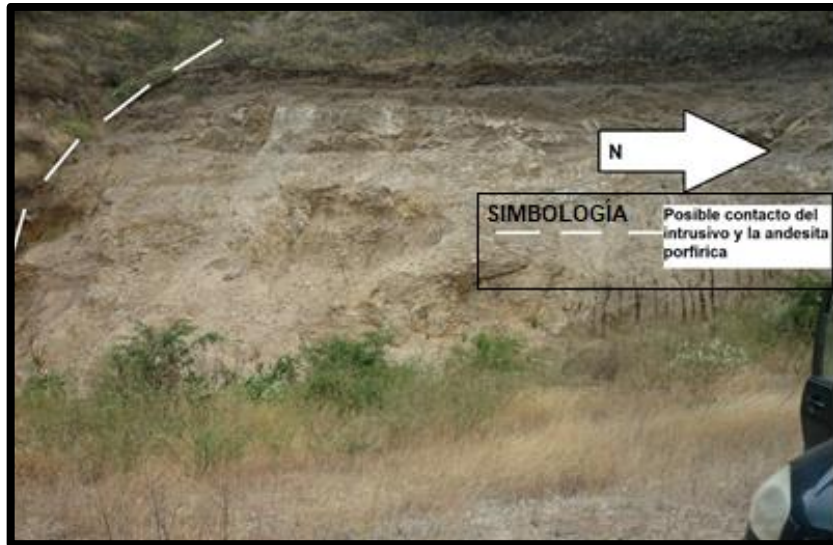
**Ilustración 11.** Hidrotermalismo de la zona de estudio - vetillas de calcita.

**Fuente y elaboración:** El autor.

En puntos exteriores colindantes a nuestra zona de estudio podemos encontrar en algunos casos toba riolítica, no abarca grandes extensiones dentro de nuestro polígono sin embargo se encuentra presente. Los mejores afloramientos se encuentran a lo largo de la vía San Pedro – Las Chinchas. Su color es café claro debido al interperismo a la que ex expuesta, posee minerales de cuarzo, plagioclasas y micas como moscovita que posee una coloración en tono pardo. Posee oxidaciones de hierro y magnesio. La podemos observar en el anexo 5, pág.63.

### **6.1.2. Intrusivos.**

En la zona hasta el momento se ha ubicado un cuerpo ígneo al Noreste del polígono, se trata de un Monzogranito altamente meteorizado, esto se debe a trabajos de extracción de material por cantera y a los drenajes existentes en la zona. Se disgrega con facilidad al tacto y tiene un color pardo; podemos encontrar el afloramiento de la ilustración 12 en las coordenadas 9561780 N; 677496 E.



**Ilustración 12.** Intrusivo de Monzogranito.  
**Fuente y elaboración:** El autor.

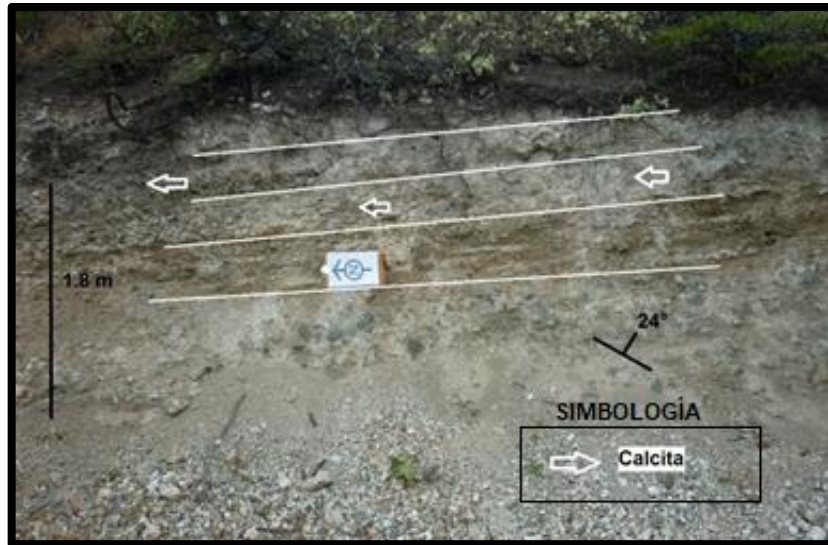
### 6.1.3. Filones de calcita.

Un caso especial dentro del polígono son los filones de calcita, los mismos abarcan grandes extensiones de hasta 15 m por 12 m de profundidad, se ubican en cumbres elevadas y aportan material a los puntos más bajos del polígono en forma de bombas que confunden al explorador pero que a la final resultan ser solo aportes desprendidos de los filones de calcita; se puede observar este caso en el anexo 6, pág. 63.

### 6.1.4. Depósitos cuaternarios.

La zona de estudio comprende un sin número de drenajes que con el tiempo han favorecido a la depositación de material aluvial, el mismo se encuentra formando una gruesa capa que en sectores abarca hasta 1.5 m de altura.

En sectores la depositación ha sido gradual lo cual ha dado paso a la formación de altillanuras, en las mismas se evidencia la depositación decreciente en una matriz limo arcillosa. Los clastos son semi angulosos del tipo volcánico como andesitas, riolitas y brechas (anexo 7, pág. 64). De igual manera posee vetillas de calcita que reaccionan al HCl, el afloramiento de la ilustración 13 se ubica en las coordenadas 9561393 N; 675284 E.



**Ilustración 13.** Depósitos aluviales.  
Fuente y elaboración: El autor.

## 6.2. Petrología local.

Con los trabajos realizados en campo y al muestreo de rocas por punto en los diferentes afloramientos se ha realizado el mapa litológico en el cual se establece las diferentes unidades litoestratigráficas en donde constan las rocas volcánicas, los intrusivos y el material aluvial. A continuación, se describe cada una de las diferentes litologías.

### 6.2.1. Rocas volcánicas.

La roca volcánica predominante en la zona de estudio es el pórfido andesítico diferenciándose dos subclases en base a su composición química y por ende variaciones de colores que son observados en campo que van de pardo hasta verdes grisáceos.

Gracias a la observación se puede decir que la variación del color en la roca se debe a la meteorización química debido a la exposición a factores ambientales como el aire; las lluvias o drenajes que provocan hidratación e hidrólisis en algunos casos. (Strahtler, 1960) dice que el crecimiento de las plantas también influye directamente en la bioquímica de una zona.

En la zona de estudio se puede encontrar tobas riolíticas de tono café claro – pardo (Anexo 8, pág. 65). Se encuentran en la parte Noroeste del mismo hacia la zona más cercana a la vía; la roca presenta fenocristales de plagioclasas, cuarzo y micas como moscovita (Ilustración 14).



**Ilustración 14.** Toba riolítica tono café claro – pardo (9562504; 673006).  
**Fuente y elaboración:** El autor.

Posee una elevada presencia de óxido de manganeso más conocida como pirolusita, mineral muy común de ambientes oxidantes además de una elevada carbonatación que puede deberse posiblemente a alteraciones hidrotermales (Russell, 1979).

Para este caso se puede considerar que el color de la roca se debe al elevado nivel de meteorización de la zona, ya que la misma se encuentra expuesta a factores ambientales y a la contaminación vehicular.

Varios puntos se usaron para delimitar la zona que abarca el material de estas características, en este caso se comparan las muestras de los puntos denominados P1D1 – P1FPD3 (Ilustración 15).



**Ilustración 15.** Muestra fuera del polígono (Izq. 9562504; 673006); Muestra dentro del polígono (Der. 9561989; 674749).  
**Fuente y elaboración:** El autor.

El pórfido andesítico de tono verde claro se encuentra en la parte Sur del polígono, posee una mineralogía semejante a la muestra anterior, pero su diferencia es que no posee moscovita o el mismo nivel de meteorización (Anexo 9, pág. 66), esto se debe a que la roca se ubica en los puntos más elevados del polígono, por sobre los 2000 m, y no se encuentra expuesta de la misma manera a los factores de meteorización ya mencionados (Ilustración 16).



**Ilustración 16.** Pórfido andesítico tono verde claro (9560108; 676209).  
**Fuente y elaboración:** El autor.

Para constatar tal información se ha tomado las muestras de los puntos P8D2 – P14D3 (Ilustración 17).



**Ilustración 17.** pórfido andesítico tono verde claro (Izq. 9560108; 676209) – (Der. 9560085; 673487).  
**Fuente y elaboración:** El autor.

En cuanto al pórfido andesítico de tono verde grisáceo se ubica a lo largo de toda la zona de estudio, presenta la mineralogía ya detallada y una meteorización un poco más elevada que el cercano pórfido andesítico de verde claro (Anexo 10, pág. 67). Esto se debe a que se encuentra hacia las bases del polígono y recibe las continuas descargas de los drenajes de los puntos más elevados, la roca posee elevadas oxidaciones con pirolusita y se encuentra afectada por el hidrotermalismo de la zona (Ilustración 18).



**Ilustración 18.** Pórfido andesítico tono verde grisáceo (9561381; 674991).  
**Fuente y elaboración:** el autor.

Como puntos de comparación se ha elegido las muestras P4D1 y P9D2 (Ilustración 19).



**Ilustración 19.** Pórfido andesítico de tono verde grisáceo (Izq. 9561875; 677442) – (Der. 9561381; 674991).  
**Fuente y elaboración:** El autor.

### 6.2.2. Intrusivos.

En la zona de estudio se encuentra un solo intrusivo ubicado en el extremo Noreste, se trata de un Monzogranito de color rosa pálido – pardo (Ilustración 20), se encuentra altamente meteorizado; lo podemos encontrar dentro de una cantera de propiedad privada. Posee minerales como cuarzo, plagioclasas, ortoclasas, moscovita y mínimas trazas de pirita. Se observar lo descrito en el anexo 11, pág. 68.



**Ilustración 20.** Monzogranito tono rosa pálido – pardo.  
**Fuente y elaboración:** El autor

### 6.2.3. Filones de calcita.

Otros casos que se pueden considerar de tipo intrusivo, serían los filones de calcita ubicados al Noroeste y Suroeste de la zona de estudio (Anexo 6, pág. 63), los mismos aportan grandes cantidades de calcita al lixiviarse por factores ambientales como la erosión y el interperismo. Abarcan grandes extensiones de terreno de hasta 30 metros por 6 metros de profundidad. De lo que se puede observar posee tonos crema y se fractura fácilmente al tacto (Anexo 12, pág. 69).

### 6.3. Mapa geológico.

El mapa geológico resultado del estudio se puede observar en el anexo 13, pág. 70. Para las tramas y los colores se vio necesario trabajar de acuerdo al mapa actualizado del INNIGEM 2017 (Egüez, Gaona, & Albán, 2017).

El análisis del mismo se realiza en la leyenda dentro del mapa en conjunto con los perfiles de corte.



#### 6.4. Mapa de muestreo.

Se consideró práctico reunir en un solo mapa los puntos de muestreo para cada análisis de laboratorio. Se realiza una breve descripción en cuanto al sistema de muestreo en la leyenda del mapa (anexo 14, pág. 71).

#### 6.5. Análisis químico - mineralógico de las muestras.

##### 6.5.1. Resultado del ensayo de Fluorescencia de Rayos X.

Se realizó un total de 21 ensayos de Fluorescencia de Rayos X, de los cuales 15 fueron destinados como base para determinar la química de la zona de estudio. Las 6 muestras restantes se usaron como base para los ensayos de Difracción de Rayos X con el fin de determinar la mineralogía de la zona de estudio (Tabla 2). Como resultado de este ensayo se obtuvo la concentración porcentual de los óxidos mayoritarios MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, S, K<sub>2</sub>O, CaO, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Tabla 2.** Resultados Frx para las 21 muestras del estudio

Muestra	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	3.470	18,300	57.600	0.117	1.410	6.100	0.220	8.310
2	N/A	16.100	62.000	0.092	3.090	3.740	0.150	5.630
3	4.270	16.100	60.000	0.086	3.600	3.850	0.140	4.560
4	5.130	9.630	27.300	0.268	0.978	36.700	0.180	8.160
5	N/A	11.300	42.200	0.229	1.120	22.700	0.160	5.710
6	3.130	18.900	52.600	0.077	0.608	4.980	0.230	8.030
7	3.130	14.800	44.700	0.136	0.612	14.000	0.190	7.330
8	N/A	16.100	60.600	0.084	1.150	5.260	0.210	5.620
9	N/A	14.900	45.800	0.164	0.359	15.300	0.130	7.980
10	2.710	16.700	52.200	0.132	0.457	11.500	0.090	4.100
11	3.620	16.900	45.300	0.145	0.985	14.100	0.120	5.880
12	4.250	16.300	43.200	0.262	0.433	22.100	0.180	7.610
13	5.720	11.600	30.100	0.320	0.508	37.500	0.120	5.670
14	N/A	15.400	55.500	0.055	2.320	4.580	0.130	4.220
15	3.740	16.100	51.800	0.167	1.580	13.700	0.160	8.210
16	N/A	14	66.700	0.220	2.960	2.180	0.050	1.520
17	2.770	16.600	49.300	0.130	1.280	6.440	0.190	7.550
18	N/A	3.090	1.850	0.270	0.340	67.700	0.030	1.160
19	N/A	11.100	33.400	0.030	0.380	4.290	0.170	5.850
20	3.890	16.600	51.600	0.070	0.640	6.470	0.200	7.890
21	N/A	13.500	59.300	0.070	0.990	4.330	0.110	6.830
N/A	Not available		No disponible					

Fuente y elaboración: El autor.

### 6.5.2. Resultados del ensayo de Difracción de Rayos X.

El ensayo se realizó en base a muestras tomadas directamente del campo, esto con el fin de corroborar la litología de la zona de estudio en base a los resultados obtenidos al finalizar el ensayo.

Se realizó un total de 5 ensayos mediante difracción. Los resultados de los mismos se analizaron tomando como guía los resultados del ensayo de Fluorescencia de las 6 muestras destinadas a Difracción de Rayos X, tal y como se menciona en el apartado anterior. Hay que recalcar que la muestra No. 3 no fue analizada mediante Difracción, esto se debe a que gracias al análisis de Fluorescencia se pudo observar y corroborar que tal material correspondía a un filón de calcita ubicado dentro de la zona de estudio; estos depósitos de calcio son muy comunes dentro del área de estudio, en ocasiones cubren amplias extensiones de terreno.

### 6.5.3. Difractograma Muestra No1.

La muestra No1, según los porcentajes de elementos mayoritarios y basados en el diagrama de Streckeisen, corresponde a un Monzogranito. Es un intrusivo perteneciente a la Unidad el Guayabal. Está compuesta por minerales como cuarzo, plagioclasa, ortoclasa, y calcita. Además, se distinguieron trazas minerales de dickita, biotita y hornblenda. Los porcentajes de los elementos se observan en la tabla 3. Se puede observar el difractograma en el anexo 15, pág. 72.

**Tabla 3.** Porcentajes minerales del difractograma No. 1.

<b>RESULTADOS DEL ENSAYO DE DIFRACTOMETRÍA No. 1 - MONZOGRANITO</b>		
<i>Elementos mayores 1%</i>		
<b>Mineral</b>	<b>Fórmula</b>	<b>%</b>
<b>Cuarzo</b>	SiO <sub>2</sub>	34.36
<b>Albita</b>	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	29.71
<b>Ortoclasa</b>	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	18.81
<b>Oligoclasa</b>	(Na,Ca)(Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	15.27
<b>Calcita</b>	CaCO <sub>3</sub>	1.05
<i>Elementos minoritarios</i>		
<b>Hornblenda</b>	Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe,Al) <sub>5</sub> (Al,Si) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	0.67
<b>Dickita</b>	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	0.09
<b>Biotita</b>	K(Mg,Fe) <sub>3</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	0.03
<b>Total:</b>		<b>100</b>

Fuente y elaboración: El autor

#### 6.5.4. Difractograma Muestra No 2.

La muestra No 2 corresponde a una toba riolítica perteneciente al extremo Oeste de la Unidad El Guayabal, se compone en su mayoría por cuarzo, plagioclasa, piroxenos y aluminosilicatos como la zeolita, moscovita, faujasita y vermiculita. Los porcentajes de los elementos se muestran en la tabla 4 y el difractograma se puede observar en el anexo 16, pág. 72.

**Tabla 4.** Porcentajes minerales del difractograma No. 2.

<b>RESULTADOS DEL ENSAYO DE DIFRACTOMETRÍA No. 1 - MONZOGRANITO</b>		
<i>Elementos mayores 1%</i>		
<b>Mineral</b>	<b>Fórmula</b>	<b>%</b>
<b>Cuarzo</b>	SiO <sub>2</sub>	33.90
<b>Albita</b>	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	27.16
<b>Zeolita</b>	(K,Ba)(Si,Al)O.H <sub>2</sub> O	12.67
<b>Calcita</b>	CaCO <sub>3</sub>	10.47
<b>Moscovita</b>	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>	8.31
<i>Elementos minoritarios</i>		
<b>Caolinita</b>	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	3.16
<b>Faujasita</b>	(Mg,Na,K,Ca) <sub>n</sub> (Si,Al) <sub>12</sub> O <sub>24.15</sub> H <sub>2</sub> O	2.39
<b>Vermiculita</b>	Mg <sub>0.7</sub> (Mg,Fe,Al) <sub>6</sub> (Si,Al) <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>4.8</sub> H <sub>2</sub> O	1.94
<b>Total:</b>		<b>100</b>

Fuente y elaboración: El autor

#### 6.5.5. Difractograma Muestra No 4 – 5 – 6.

Los Difractogramas de las muestras 4 – 5 – 6 determinó que las muestras se tratan de pórfido andesítico y que se compone de cuarzo, plagioclasas como la andesina y micas como la clorita principalmente. Se encontraron trazas de augita, biotita y hornblenda. Esta roca pertenece de igual forma a la unidad El Guayabal. Pese a ser el mismo tipo de roca la muestra número 4 posee una cantidad muy baja de cuarzo que no llega al 1%, la clorita sobrepasa el 20% y la andesina sobrepasa el 50% y la calcita se encuentra por sobre el 5%. Encontramos además accesorios como la biotita y la augita. Se pueden observar los porcentajes en la tabla 5 y el difractograma en el anexo 17, pág. 73.

**Tabla 5.** Porcentajes minerales del difractograma No. 4, 5, 6.

<b>RESULTADOS DEL ENSAYO DE DIFRACTOMETRÍA No. 1 - MONZOGRANITO</b>		
<i>Elementos mayores 10%</i>		
<b>Mineral</b>	<b>Fórmula</b>	<b>%</b>
<b>Plagioclasas</b>		59.37
<b>Andesina</b>	$(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	38.46
<b>Oligoclasa</b>	$(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	20.91
<b>Cuarzo</b>	$\text{SiO}_2$	28.14
<b>Clorita</b>	$(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	12.48
	Total:	100
<i>Elementos minoritarios - varios</i>		
<b>Calcita</b>	$\text{CaCO}_3$	-
<b>Hornblenda</b>	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	-
<b>Biotita</b>	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$	-
<b>Augita</b>	$(\text{Ca,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_2\text{O}_6$	-

Fuente y elaboración: El autor

## 6.6. Interpretación de resultados de laboratorio.

### 6.6.1. Estadística descriptiva de óxidos en porcentaje.

A los resultados obtenidos de las 21 muestras se les realizó su respectiva estadística descriptiva, la misma se puede observar en la tabla 6.

**Tabla 6.** Estadística descriptiva de la concentración de elementos de las muestras analizadas por FRX.

	<b>MgO</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>S</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>CaO</b>	<b>MnO</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
<b># Valores</b>	21	21	21	21	21	21	21	21
<b>V. Min</b>	0,001	3,09	1,85	0,03	0,34	2,18	0,03	1,16
<b>V. Max</b>	5,72	18,9	66,7	0,32	3,6	67,7	0,23	8,31
<b>Media</b>	2,18	14,5	47,3	0,15	1,23	14,64	0,15	6,09
<b>Mediana</b>	2,77	16,1	51,6	0,13	1	6,47	0,15	5,88
<b>Varianza</b>	4,21	12,66	217,7	0,01	0,94	252,52	0,003	4,33
<b>D. estandar</b>	2,05	3,6	14,75	0,08	0,97	15,89	0,05	2,08
<b>Cft. Asimetría</b>	0,07	-1,81	-1,56	0,59	1,35	2,23	-0,74	-1,06

Fuente y elaboración: El autor

Se puede observar como el MgO tiene un valor mínimo de cero y otros óxidos como el CaO y el SiO<sub>2</sub> tienen valores máximos por sobre 50. Además, MnO y el S comparten en su media un valor similar de 0.15, lo cual estaría dando un indicio de que estos elementos tendrían una gran relevancia dentro de la zona de estudio.

Además, la media del S y el MnO es menor a 1 y la varianza del SiO<sub>2</sub> y CaO es mayor a 100, algo que se puede explicar en base a que el terreno geológicamente se compone de rocas volcánicas intermedias en sílice, en este caso el pórfido andesítico. En el caso de la calcita se debe a que en el terreno existe la presencia de un sin número de vetillas de calcita.

#### **6.6.1.1. Coeficiente de correlación de los óxidos.**

En la tabla 7 se observa que el S y el CaO tienen una correlación de 1, es directamente proporcional, geológicamente se puede relacionar esto a los filones de calcita encontrados en la zona de estudio, se puede explicar la relación S – CaO al hablar acerca de la anhidrita, este mineral es un sulfato de calcio que al absorber el agua se transforma en yeso. Los filones de calcita encontrados en la zona de estudio serían sulfato de calcio hidratado depositados a partir de soluciones acuosas con elevadas concentraciones de calcita.

La relación directa de 0.64 entre el MnO y el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se debe a un mineral no identificado en concreto, como referencia de estos elementos tenemos a la pirolusita que es un óxido de manganeso y a la biotita que es silicato de hierro, ambos presentes en la zona de estudio y que meteorizan fácilmente en ambientes reductores de elevada presencia de agua.

Finalmente, como parte importante hay que notar la relación de 0.51 entre el S, CaO y MgO y de 0.76 entre SiO<sub>2</sub>– Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; esto da un indicio sobre el tipo de alteración que está sufriendo el terreno, en este caso sería de tipo argílica intermedia. Como fundamento se ve el aumento de arcillas o aluminosilicatos (SiO<sub>2</sub>– Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>= 0.76), el aumento de CaO, la pérdida de K y la lixiviación parcial o completa del Na.

Además, se observa las correlaciones inversamente proporcionales de -0.7 a -0.9 entre el (SiO<sub>2</sub> – S), (S - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), (CaO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), lo cual nos indica como al aumentar el contenido de silicio y aluminio, disminuye el contenido de azufre, y como al aumentar el aluminio disminuye el contenido de calcio. Sin embargo, al tomar en cuenta las correlaciones inversas entre el (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaO) y (SiO<sub>2</sub> – CaO); las cuales podrían ser evidencia de los procesos magmáticos presentes en la zona debido a que en puntos cercanos del polígono e incluso dentro del mismo podemos encontrar cuerpos graníticos, los cuales estarían aportando de manera indirecta cargas de compuestos a la geoquímica de la zona.

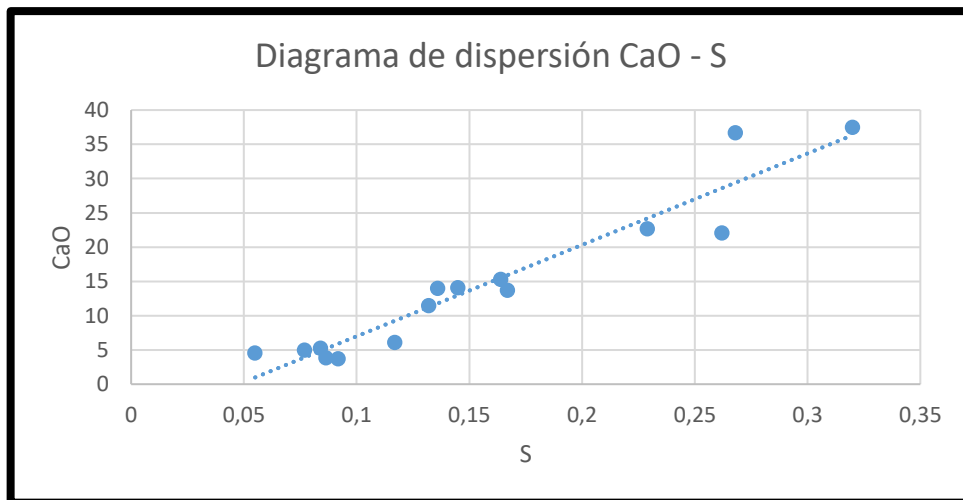
**Tabla 7.** Coeficiente de correlación para los porcentajes de óxidos

	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
MgO	1							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.12	1						
SiO <sub>2</sub>	-0.51	0.76	1					
S	0.51	-0.71	-0.88	1				
K <sub>2</sub> O	-0.20	0.14	0.59	-0.5	1			
CaO	0.51	-0.82	-0.96	1.0	-0.5	1		
MnO	0.06	0.22	0.13	-0.2	-0.1	-0.16	1	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.29	0.03	-0.30	0.3	-0.4	0.24	0.64	1

Fuente y elaboración: El autor

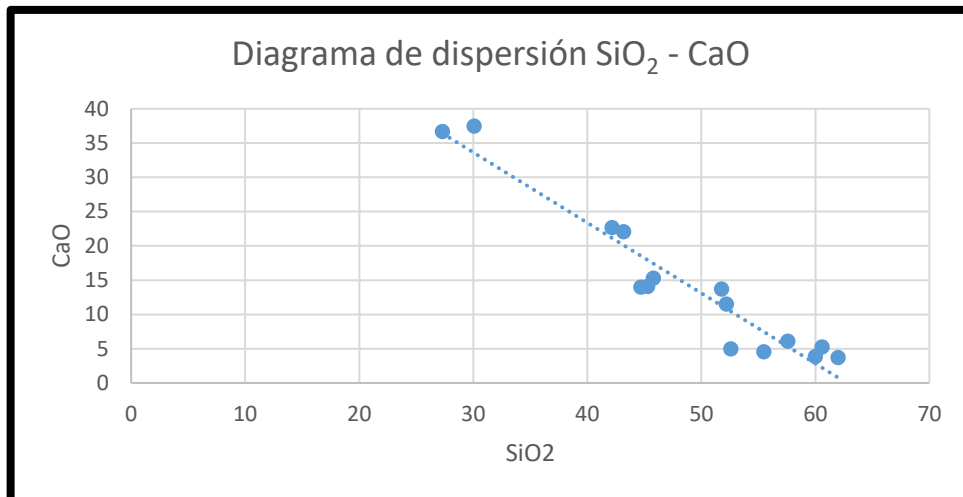
### 6.6.1.2. Gráficas de dispersión.

En la ilustración 21 se observa la tendencia que tiene la calcita en relación con el azufre, podemos observar la mayor tendencia entre los valores de 0.7 a 0.15 en el caso del azufre y de 5 a 15 en el caso del calcio. Se sostiene la idea de los procesos hidrotermales y las abundantes vetillas de calcio.



**Ilustración 21.** Diagrama de dispersión CaO – S.  
Fuente y elaboración: El autor.

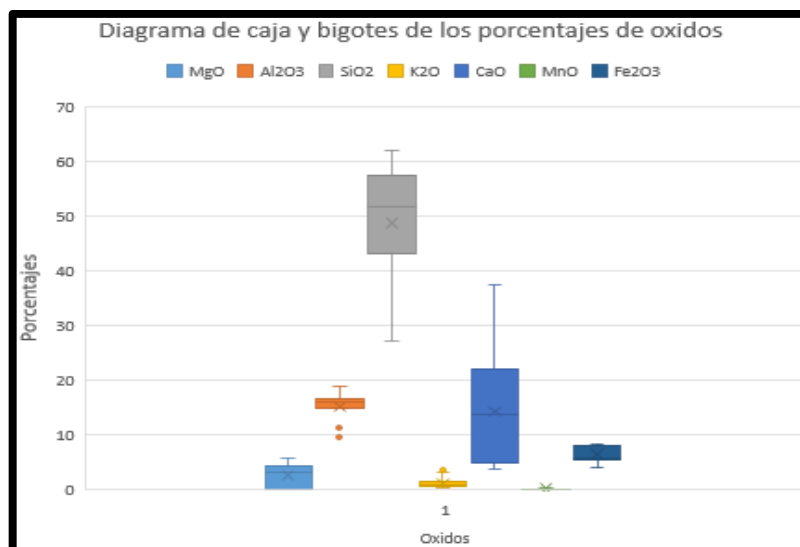
En la Ilustración 22 podemos observar la correlación indirecta entre el calcio y la sílice. La línea de tendencia sigue los valores estimados entre 0 – 20 para el calcio y de 45 – 65 para la sílice. Se sostiene la idea de (Barettino & Loredo, 2005) que al disminuir la acidez de la roca aumentan los procesos de hidrotermalismo.



**Ilustración 22.** Diagrama de dispersión CaO – SiO<sub>2</sub>  
**Fuente y elaboración:** El autor

### 6.6.2. Diagramas de cajas y bigotes.

En el diagrama de cajas y bigotes de la Ilustración 23 se puede observar los resultados del ensayo de Fluorescencia de Rayos X para determinar la concentración de elementos mayoritarios de nuestra zona de estudio. En este caso los valores que sobresalen de los demás son SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y CaO; lo cual confirma que los minerales de la zona son aluminosilicatos como las arcillas y feldespatos como la ortoclasa y la albita. Estos minerales a su vez poseen trazas bajas de potasio y sodio, lo cual explicaría la presencia de los demás elementos de nuestro estudio. Los valores más bajos corresponden al MgO y MnO; según (Fyfe, 1981) y en base a los porcentajes obtenidos del ensayo de Fluorescencia; dichos óxidos en los porcentajes obtenidos corresponden en este caso al pórfido andesítico, la cual estaría sirviendo de aporte a la zona de estudio.



**Ilustración 23.** Diagrama de caja y bigotes - Porcentajes de óxidos  
**Fuente y elaboración:** El autor

### 6.7. Interpretación de mapas de anomalías geoquímicas.

Los mapas geoquímicos que fueron elaborados en base a los resultados del ensayo de Fluorescencia de Rayos X; se usó la herramienta IDW del programa ArcGis 10.3. Los resultados obtenidos se entregan en forma de mapas de anomalías; para ello se usaron datos de la tabla 8.

- Background = Promedio;
- umbral = background + desviación estándar;
- subanomalía = background + 2desviación estándar;
- Anomalía = background + 3desviación estándar;
- anomalía definida = background + 4desviación estándar.

**Tabla 8.** Tendencia de distribución espacial de los elementos.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S
Background o Fondo	47,3	14,5	2,18	1,23	14,64	0,15	6,09	0,15
Umbral	62,05	18,1	4,23	2,2	30,53	0,2	8,17	0,23
Subanomalía	76,8	21,7	6,28	3,17	46,42	0,25	10,25	0,31
Anomalía	91,55	25,3	8,33	4,14	62,31	0,3	12,33	0,39
A. Definid	106,3	28,9	10,38	5,11	78,2	0,35	14,41	0,47

**Fuente y elaboración:** El autor

#### 6.7.1. Mapa de anomalías SiO<sub>2</sub>.

En el mapa de anomalías del Si se observa que la mayor concentración, en este caso el umbral, se ubica específicamente en el extremo Oeste de la zona de estudio. así como en el centro del mismo. Valores intermedios entre el umbral y el fondo ubica en los puntos más altos del polígono al Este, específicamente en donde se encuentra la roca más sana. Los valores



de fondo se ubican específicamente al Norte del polígono en el punto 3 y 12. El silicio sería parte del pórfido andesítico, roca presente en casi todo el polígono de la zona de estudio (Anexo 18, pág. 74).

#### **6.7.2. Mapa de anomalías $Al_2O_3$ .**

En el mapa de anomalías se observa que los puntos con mayor concentración del elemento, en este caso el umbral, se ubican principalmente en los puntos 0, 5 y 10; estos puntos son las cotas más altas de la zona de estudio y es en donde se encuentra la roca más sana. Los valores que predominan en la zona de estudio son los valores de fondo y se distribuyen a lo largo de todo el terreno. Igual que con el silicio, el aluminio se debe a los feldespatos presentes en el pórfido andesítico (Anexo 19, pág. 75).

#### **6.7.3. Mapa de anomalías $Fe_2O_3$ .**

El mapa de anomalías del  $Fe_2O_3$  se observa como los valores se distribuyen en dos zonas, al extremo Noroeste y al Sureste; en estos puntos se encuentran los valores correspondientes al umbral, específicamente en los puntos, 0, 3, 5, 8, 11, 14. Los valores de fondo se ubica en las cimas de los puntos 1, 2, 4, 7, 9, 10, 12 y 13. El hierro en la zona de estudio se debería a los anfíboles y piroxenos de la toba riolítica al extremo Noroeste y a minerales de hematita en el extremo Sureste (Anexo 20, pág. 76).

#### **6.7.4. Mapa de anomalías $K_2O$ .**

En cuanto a los valores de subanomalía del  $K_2O$  se observa que se ubican solo en el extremo Suroeste del polígono en los puntos 1 y 2. Los valores del umbral se ubican de forma aleatoria a los puntos ya mencionados. Los valores de fondo se distribuyen a lo largo de todo el centro del polígono en donde también se incluyen cimas elevadas. Sucede lo mismo que con el mapa de anomalías de hierro en donde los valores más bajos forman una franja que separa los valores anómalos del Este con los del Oeste. Los valores de este elemento tienen un doble origen, primero los valores de fondo corresponden a la ortoclasa y micas, minerales abundantes en la zona de estudio; y el segundo origen se debería a la alteración argílica intermedia en donde la andesina gana potasio al transformarse en Sericita (Anexo 21, pág. 77).

#### **6.7.5. Mapa de anomalías $CaO$ .**

En cuanto a la anomalía de calcita se pueden encontrar los valores más altos en las cimas más elevadas del polígono. En este caso la anomalía, subanomalía y el umbral llevan una secuencia en relación a la pendiente de las elevaciones. Se puede explicar esto de tres maneras; la primera que se debería a la lixiviación del elemento debido a factores de

meteorización. La segunda que podría deberse a la etapa del ascenso y acumulación de las vetillas de calcita debido al hidrotermalismo; las vetillas de calcita presentes en toda la zona ascienden por las pendientes y se acumulan en las cumbres. La tercera razón de la que tenemos mayor evidencia serían los filones de calcita, los mismos que estarían aportando la mayor cantidad del elemento y de los cuales dos de sus focos concuerdan con los puntos 2 y 3, puntos vistos en campo (Noroeste – Suroeste) (Anexo 22, pág. 78).

#### **6.7.6. Mapa de anomalías MgO.**

En cuanto al magnesio se puede observar como los valores del umbral se ubican solo en los puntos 3 y 12. Los valores de fondo se distribuyen abarcando gran parte de todo el polígono, en especial en puntos elevados y descienden por las pendientes de los mismos hasta el centro del polígono y abarcando las zonas bajas de la zona de estudio. Esto se debería a que al Oeste encontramos Toba Riolítica y poseen anfíboles, mineral muy común en estas rocas. Se estaría aportando el elemento gracias a la lixiviación por drenajes, esto debido a que el descenso de los valores sigue el curso de los drenajes (Anexo 23, pág. 79).

#### **6.7.7. Mapa de anomalías MnO.**

En lo que concierne al manganeso se observa como el umbral se ubica en los puntos 0, 5 y 7, aledañosamente a estos puntos se ubican los valores de fondo los cuales estarían cubriendo toda la zona de estudio. (Anexo 24, pág. 80).

#### **6.7.8. Mapa de anomalías S.**

La subanomalía se ubica al extremo Noreste del polígono en el punto 12, Los valores del umbral se distribuyen de forma aledaña a la subanomalía. Los valores correspondientes al fondo se distribuyen a lo largo de todo el polígono en concentraciones muy bajas. La explicación que podemos dar es que al extremo Noreste, la zona en la que se ubica subanomalía está ubicada cerca del cuello volcánico El Guayabal, punto en el que son mayores los procesos hidrotermales; y en el resto del polígono estaríamos tratando con concentraciones bajas de pirita y calcopirita (Anexo 25, pág. 81)

## CONCLUSIONES

En función de los objetivos planteados para nuestro estudio. podemos concluir lo siguiente.

- La zona de estudio se compone de rocas ígneas volcánicas pertenecientes a la Unidad el Guayabal, cuerpos intrusivos y material aluvial de edad cuaternario; todo dentro de la misma Unidad; las rocas ígneas volcánicas son de tipo pórfido andesítico y tobas riolíticas. Los cuerpos intrusivos corresponden al Monzogranito altamente meteorizado debido al interperismo y los filones de calcita. El material aluvial es de matriz limo arcillosa con clastos volcánicos. Los depósitos de calcita se ubican hacia el Oeste del polígono. La zona de estudio está sujeta a procesos de hidrotermalismo con alteración de tipo argílica intermedia.
- Las rocas de la zona de estudio tienen composición mineralógica como: plagioclasas félsicas. cuarzo. magnetita. piroxenos. hornblenda. biotita y moscovita; además de algunos minerales secundarios como pirita y arcillas como la albita. Estos minerales se corroboran con el análisis de Difracción de rayos X y por consiguiente los tipos de rocas analizados como pórfido andesítico. toba riolítica y Monzogranito.
- El análisis de Fluorescencia de Rayos X determinó que existen porcentajes de elementos mayoritarios como (valores promedio): SiO<sub>2</sub> – 48.73%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 15.28%; CaO – 14.41%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 6.47%; MgO – 2.61%; K<sub>2</sub>O – 1.28%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0.52%; S – 0.16%; MnO – 0.16.
- La roca base que estaría aportando a la geoquímica de la zona serían las rocas volcánicas como el pórfido andesítico para el aluminio y la sílice principalmente; la toba riolítica para el magnesio, manganeso y hierro; y los depósitos de calcio serían el mayor aporte de calcio para la zona de estudio.

## RECOMENDACIONES

- El muestreo en campo debe seguir el proceso sistemático desde la etapa pre campo con la malla de muestreo. para obtener mejores resultados se deberá realizar un muestreo más denso si es posible cada 100 m.
- Realizar un estudio geofísico o de gravimetría para saber la profundidad de las litologías analizadas en campo como por ejemplo los depósitos de calcita.
- Realizar estudios dirigidos a determinar el origen de los depósitos de calcita.
- Realizar estudios estructurales dirigidos a la discriminación de contactos en la zona de estudio.
- Determinar geoquímicamente las partes por millón de los elementos traza de la zona y así conocer si existen elementos de interés.

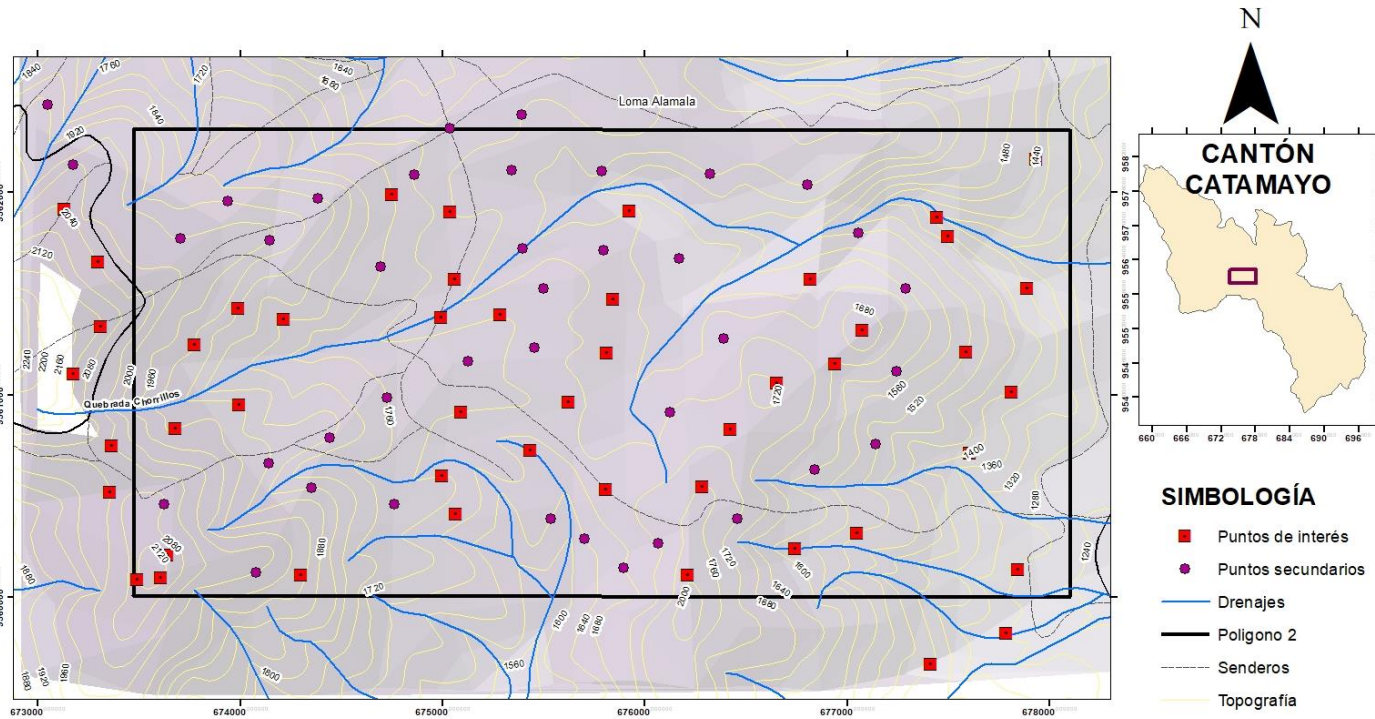
## BIBLIOGRAFÍA

- Aspden, J. (1992). the geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera.
- Barettino, D., & Loredó, J. (2005). Acidificación de suelos y aguas. In P. Younger, *Resumen de procesos y de normas para regulación* (p. 23). Madrid: Instituto Geológico y MInero de España.
- Bragg, W. L. (1962). The Growing Power of X - ray Analysis. In W. L. Bragg, *Fifty years of X - ray Diffraction* (pp. 120 - 121). International Union of Crystallography.
- Desktop, A. (2017). *pro.arcgis.com*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/idw.htm>
- Egüez, A. A. (2003). *Quaternary Faults and Folds MAP of ECUADOR 1*. Quito.
- Egüez, A., Gaona, M., & Albán, A. (2017). *MAPA GEOLÓGICO DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR*. Quito: INNIGEM.
- Fyfe, W. (1981). *Introducción a la geoquímica*. España: Reverté.
- Galán, E., Fernández, J., & González, I. (2008). Influence of geológicoal setting on geochemical baselines of trace elements in soils. *Science Direct*.
- Garnit, H., & Bouhleb, S. (2017). Petrography, mineralogy and geochemistry of the Late Eocene oolitic ironstones of the Jebel Ank, Southern Tunisian Atlas. *Ore Geology Reviews*.
- Gitman, L. J. (2005). *Fundamentos de inversiones*. Madrid: Pearson / Addison - Wesley.
- Griem, W. (2017). *Geovirtual2.cl*. Retrieved from <http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap03b.htm#macroscopicos>
- Gutierrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid : Pearson Prentice Hall.
- Hungerbühler, D. (1997). *Neogene basins in the Andes of southern Ecuador: Evolution, deformation and regional tectonic implications*. Earth Science Reviews.
- Hungerbühler, D. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamic of southern Ecuador. In M. Steiman, W. Winkler, D. E. Seward, D. Peterson, & C. Hammer. Earth Science Reviews.
- Hunt, G. &. (2010). *Clasificación de las vetillas según el tipo de alteración (reedición)*. U-Cursos.
- Jaillard, E. (1996). Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of southwestern Ecuador during late Cretaceous and Early Tertiary times. In M. Ordoñez, G. Berrones, P. Bengston, & N. &. Jimenez. South American Earth Sciences.
- Jiménez, R. (2010). *Metodología para declarar un suelo contaminado*. Retrieved from [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Estado\\_Y\\_Calidad\\_De\\_Los\\_Recursos\\_Naturales/Suelo/Criterios\\_pdf/Metodologia.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Estado_Y_Calidad_De_Los_Recursos_Naturales/Suelo/Criterios_pdf/Metodologia.pdf)
- Johnson, R., & Kuby, P. (2008). *Estadística elemental: lo esencial*. Monroe community college.
- Kennerly, J. (1992). *GEOLOGY OFF LOJA PROVINCE, SOUTHERN ECUADOR*. Loja.
- Litherland, M. A. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*. Nottingham: British geological survey.

- Loayza, C. (2017). *Caracterización de arcillas naturales del cantón Catamayo y sus usos potenciales en la tecnología*. Loja: UTPL.
- mineralogía, B. d. (N/A, N/A). *Webmineral.com*. Retrieved from [http://webmineral.com/data/Apatite-\(CaOH\)-M.shtml#.Wp2ILujOXIU](http://webmineral.com/data/Apatite-(CaOH)-M.shtml#.Wp2ILujOXIU)
- PerkinElmer, I. (2017). *Espectroscopía atómica - Una guía para seleccionar la técnica y un sistema apropiado*. PerkinElmer. Inc.
- Reyes, P. (2004). *Discusión sobre la evolución del jurásico - Cretácico de la Cordillera Real y el Bloque Amotape (reedición)*. Quito: EPN.
- Russell, M. (1979). Mineralogy of manganese dentrites and coatings. In *American Mineralogist - Vol. 64* (pp. 1219 - 1226). Pasadena: California Institute of technology.
- Salama, W. (2012). Mineralogical and geochemical investigations of the Middle Eocene ironstones, El Bahariya Depression, Western Desert, Egypt de . *Gondwana Research*.
- Salama, W., El Aref, M., & Gaupp, R. (2011). Mineralogical and geoquimical investigations of the midle eocene - El Bahariya Depression, Western Desert, Egypt. *Gondwana Research*, 1.
- Sansfica, M., & Pitawala, A. (2013). Geochemical characteristics of stream sediments, sediment fractions, soils . *Chemie der Erde*.
- Silva, E., & Nieves, I. (2010). *CARACTERIZACIÓN GEOQUIMICA Y PETROGRAFICA PARA DETERMINAR ANOMALÍAS AURIFERAS EN LA CONCESIÓN MINERA CHOCÓ 3 ZONA III PERTENECIENTE A C.V.G MINERVEN, UBICADA EN EL MUNICIPIO AUTÓNOMO EL CALLAO, ESTADO BOLIVAR*. Bolivar: Universidad de Oriente núcleo Bolivar.
- Skoog, D. A. (2001). *Principios de Análisis Instrumental*. Madrid: Concepción Fernández.
- Smith, K. &. (1999). *An overview of the abundance, relative mobility, bioavailability and human toxicity of metals*. Volumen 6A, 29:70.
- Strahtler, A. (1960). Physical Geography (2da edición). In "*Weathering*" (pp. 311 - 318). New York: John Wiley and Sons.
- Valentinuzzi, M. C. (2008). *ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X: IMPLEMENTACIÓN DE GUÍAS DE HACES EN REFLEXION TOTAL*. Famaf - UNC.
- Vázquez, I. (2008). *Estudio geoquímico de suelos y aguas como base para evaluar la contaminación: relación roca - suelo - agua*. Madrid: ISBN: 978-84-692-1123-6.

## **ANEXOS**

## PUNTOS DE RECORRIDO EN CAMPO - POLÍGONO 2



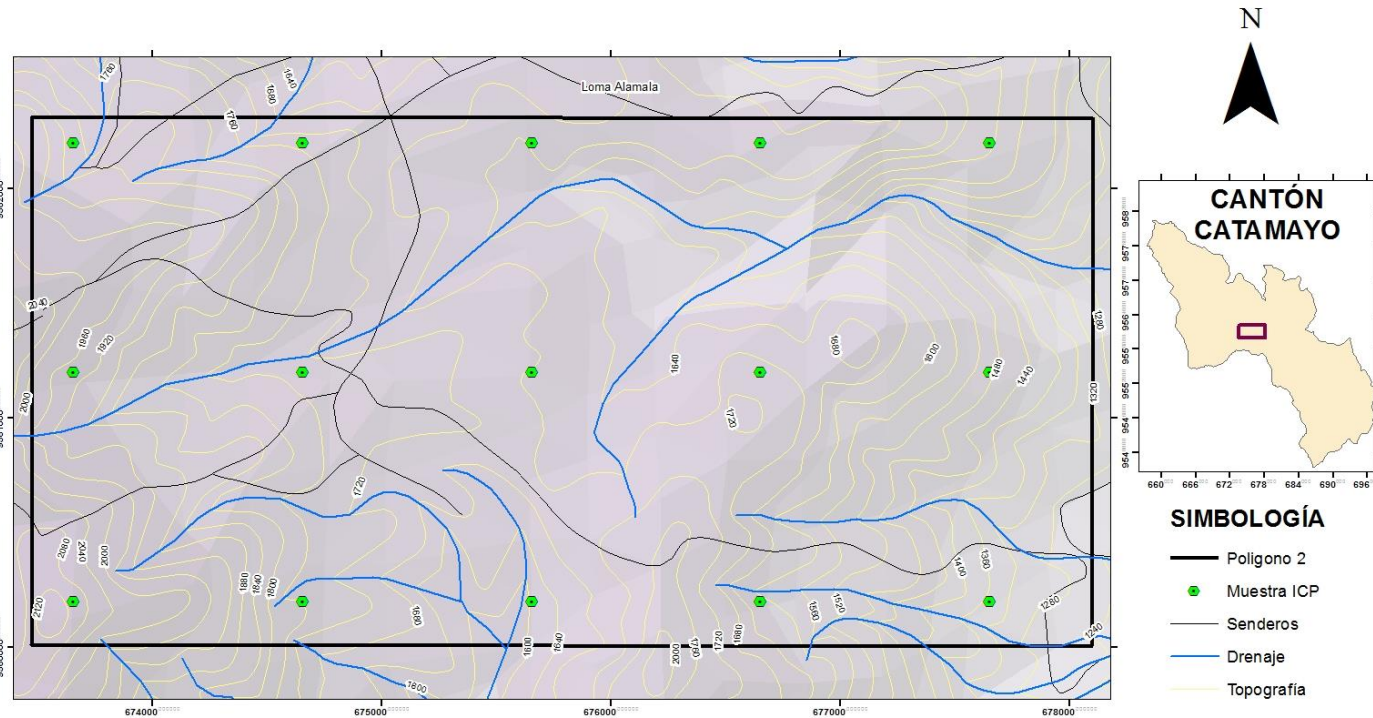
- SIMBOLOGÍA**
- Puntos de interés
  - Puntos secundarios
  - Drenajes
  - Polígono 2
  - - - Senderos
  - Topografía

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	Departamento de Geología y Minas	
<b>PUNTOS DE RECORRIDO EN CAMPO - POLÍGONO 2</b>		
Elaborado por:	Revisado por:	
Nestor Naula	Msc. José Arturo Guartán	
Fecha:	Feb. 2018	
Escala:	1:15000	
Fuente:	Capas de información geográfica IGM	

**Anexo 1.** Mapa de puntos de recorrido en campo del polígono 2  
**Fuente y elaboración:** El autor



## MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2



### SIMBOLOGÍA

- Polígono 2
- Muestra ICP
- Senderos
- Drenaje
- Topografía



<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
Departamento de Geología y Minas	
<b>MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2</b>	
Elaborado por:	Revisado por:
Nestor Naula	Msc. José Arturo Guartán
Fecha:	Feb. 2018
Escala:	1:15000
Fuente:	Capas de información geográfica IGM

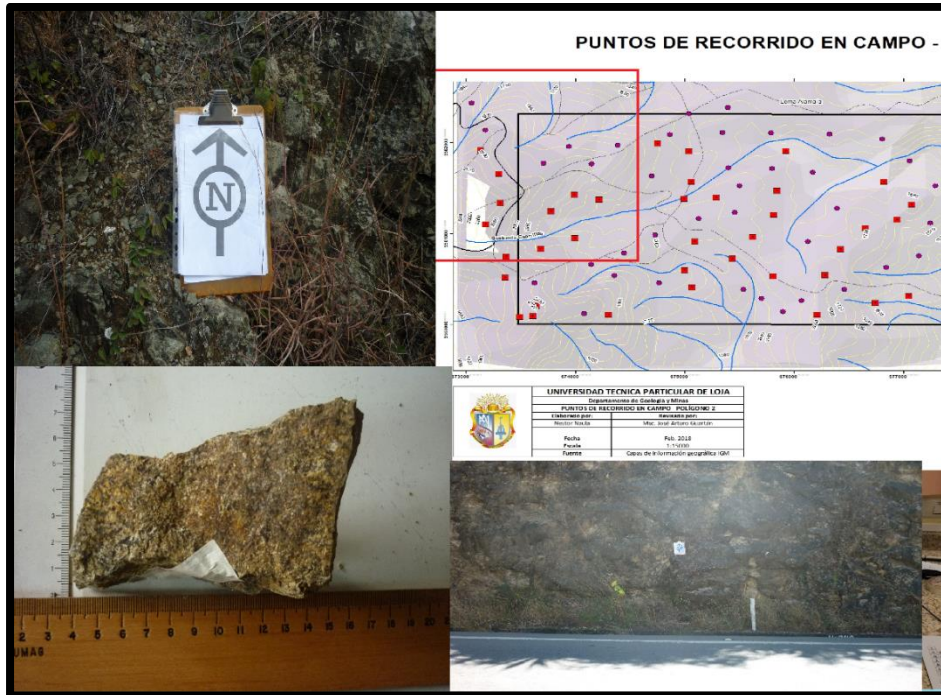
**Anexo 2.** Malla de muestreo de núcleos para ensayos de laboratorio  
Fuente y elaboración: El autor



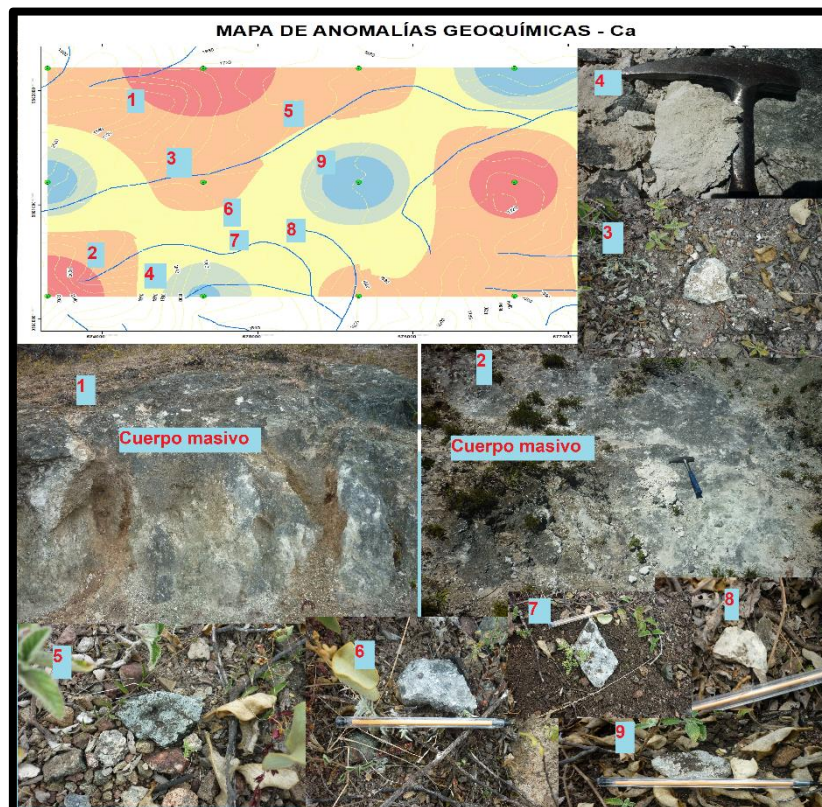
**Anexo 3.** Muestreo sistemático de núcleos en campo. 1. Determinación del radio de muestreo; 2. Ubicación del núcleo; 3. Toma de muestra; 4. Extracción de muestra; Lateral: Excavación en zonas de gruesas capas de suelo.  
Fuente y elaboración: El autor.





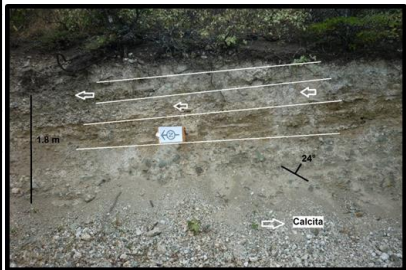
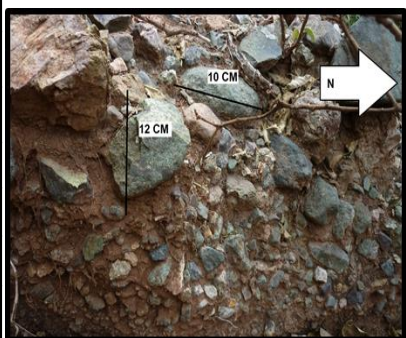
**Anexo 4.** Trabajos de laboratorio realizados. 1. Homogenización; 2. Secado de muestras; 3. Trituración; 4. Cuarteo; 5. Pulverización; 6. FRX; 7. DRX.  
Fuente y elaboración: El autor.






Anexo 5. Toba riolítica de la zona de estudio.  
Fuente y elaboración: El autor






Anexo 6. Depósitos de calcita en la zona de estudio 1. Depósito de calcita; 2. Depósito de calcita; 3-9. Agregados minerales de calcio.  
Fuente y elaboración: El autor

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>				
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO Y PETROGRAFICA ROCAS SEDIMENTARIAS</b>				
<b>AFLORAMIENTO NÚMERO</b>	P5D1	<b>CODIGO HOJA</b>		<b>DATUM</b>	WGS 84 - 17S
<b>UBICACIÓN</b>	Loma Alamala - San Pedro - Catamayo			<b>AFLORAMIENTO/ESQUEMA</b>	
<b>DESCRITA POR:</b>	Nestor Andrés Naula				
<b>CORDENADAS UTM</b>	675284	9561393	1670		
<b>FORMACION/UNIDAD</b>	Unidad El Guayabal				
<b>ESCALA:</b>	1:15000				
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Afloramiento de material aluvial depositado gradualmente de mayor a menor, de abajo hacia arriba se distinguen 5 capas cuyos clastos van desde 30 cm hasta 6mm; su matriz es areno arcillo limosa y tiene componentes calcareos pues reacciona al HCl. Predominan los clastos de tobas, brechas y pórfidos de tonos gris a verdes					
<b>MEDIDAD ESTRUCTURALES:</b> 3 m x 19 m				<b>ROCA MUESTRA</b>	
<b>ESTRUCTURAS (PLANARES/LINEARES):</b> N47E/24SW					
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA ROCAS:</b>					
<b>CÓDIGO MUESTRA:</b>	N/A				
<b>GRUPO GENÉTICO</b>	Sedimentos con material aluvial				
<b>TEXTURA</b>	Granular				
<b>ESTRUCTURAS</b>					
<b>GRADO DE CRISTALIDAD</b>	Holocristalina				
<b>GRADO DE REDONDES</b>	Subredondeados angulosos				
<b>TAMAÑO COMPONENTES/FENOCRIETALES</b>	> 1 mm				
<b>MATRIZ</b>	arcillo limosa				
<b>ESTADO</b>	Alta meteorización				
<b>COMPONENTES ROCA</b>					
<b>MATERIALES PRINCIPALES</b>	Tobas, brechas, andesitas, pórfidos				
<b>MATERIALES SECUNDARIOS</b>	Calcita				
<b>MINERALES AUXILIARES O ACCESORIOS</b>	N/A				
<b>MINERALES ALTERACIÓN</b>	Arcillas				
<b>NOMBRE ROCA</b>	Aluvial				
<b>OBSERVACIONES:</b> la zona presenta extensas capas de cobertura aluvial cuyo espesor siempre es mayor a 1m. El color del material segmentante siempre va de crema a gris.					
				<b>Fecha:</b>	30/07/2017

**Anexo 7.** Depósitos aluviales de la zona de estudio  
**Fuente y elaboración:** El autor





	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>				
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO Y PETROGRAFICA ROCAS VOLCÁNICAS</b>				
<b>AFLORAMIENTO NÚMERO</b>	P1D1	<b>CODIGO HOJA</b>		<b>DATUM</b>	WGS 84 - 17S
<b>UBICACIÓN</b>	Loma Alamala - San Pedro - Catamayo			<b>AFLORAMIENTO/ESQUEMA</b>	
<b>DESCRITA POR:</b>	Nestor Andrés Naula				
<b>CORDENADAS UTM</b>	674749	9561989	1692		
<b>FORMACION/UNIDAD</b>	Unidad El Guayabal				
<b>ESCALA:</b>	1:15000				
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Afloramiento de roca volcánica tipo toba riolítica de tono café claro - pardo, el afloramiento se encuentra altamente meteorizado. La zona presenta un elevado hidrotermalismo y posee gran cantidad de calcita en sus grietas.				
<b>MEDIDAD ESTRUCTURALES:</b>	60 m x 22 m			<b>ROCA MUESTRA</b>	
<b>ESTRUCTURAS (PLANARES/LINEARES)</b>					
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA ROCAS:</b>					
<b>CÓDIGO MUESTRA:</b>	P1D1				
<b>GRUPO GENÉTICO</b>	Volcánico - ígneo				
<b>TEXTURA</b>	Afanítica - porfídica				
<b>ESTRUCTURAS</b>	Vetillas de calcita				
<b>GRADO DE CRISTALIDAD</b>	Criptocristalino (matriz)				
<b>FORMA DE CRISTALIDAD</b>	Inequigranular				
<b>TAMAÑO COMPONENTES/ FENOCRISTALES</b>	> 1 mm				
<b>ESTADO ROCA</b>	Muy meteorizada				
<b>CORRELACIONES</b>	P1FPD3				
<b>COMPONENTES ROCA</b>					
<b>MINERALES PRINCIPALES</b>	Plagioclasas; Cuarzo				
<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	N/A				
<b>MINERALES AUXILIARES O ACCESORIOS</b>	Biotita				
<b>MINERALES ALTERACIÓN</b>	Oxidaciones, arcillas				
<b>NOMBRE ROCA</b>	Toba riolítica				
<b>OBSERVACIONES:</b> la elevada meteorización de la roca se debería a la exposición a los efectos ambientales a los que está expuesto el afloramiento.					
				<b>Fecha:</b>	30/07/2017

**Anexo 8.** Toba riolítica  
**Fuente y elaboración:** El autor

 <b>UTPL</b> <small>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</small>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>				
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO Y PETROGRAFICA ROCAS VOLCÁNICAS</b>				
<b>AFLORAMIENTO NÚMERO</b>	P8D2	<b>CODIGO HOJA</b>		<b>DATUM</b>	WGS 84 - 17S
<b>UBICACIÓN</b>	Loma Alamala - San Pedro - Catamayo			<b>AFLORAMIENTO/ESQUEMA</b>	
<b>DESCRITA POR:</b>	Nestor Andrés Naula				
<b>CORDENADAS UTM</b>	676209	9560108	1885		
<b>FORMACION/UNIDAD</b>	Unidad El Guayabal				
<b>ESCALA:</b>	1:15000				
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Afloramiento de roca volcánica tipo pórfido andesítico tono verde claro, el afloramiento se encuentra levemente meteorizado. La zona no presenta hidrotermalismo y posee algunas vetillas de calcita en sus grietas.				
<b>MEDIDAD ESTRUCTURALES:</b>	12 m x 20 m			<b>ROCA MUESTRA</b>	
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA ROCAS:</b>					
<b>CÓDIGO MUESTRA:</b>	P8D2				
<b>GRUPO GENÉTICO</b>	Volcánico - ígneo				
<b>TEXTURA</b>	Afanítica - porfídica				
<b>ESTRUCTURAS</b>	Vetillas de calcita				
<b>GRADO DE CRISTALIDAD</b>	Criotocristalino (matriz)				
<b>FORMA DE CRISTALIDAD</b>	Inequigranular				
<b>TAMAÑO COMPONENTES/ FENOCRIETALES</b>	> 1 mm				
<b>ESTADO ROCA</b>	Poco meteorizada				
<b>CORRELACIONES</b>	P14D3				
<b>COMPONENTES ROCA</b>					
<b>MINERALES PRINCIPALES</b>	Plagioclasas; Cuarzo				
<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	N/A				
<b>MINERALES AUXILIARES O ACCESORIOS</b>	Biotita				
<b>MINERALES ALTERACIÓN</b>	Oxidaciones, arcillas				
<b>NOMBRE ROCA</b>	Porfido andesítico				
<b>OBSERVACIONES:</b> La baja meteorización de esta roca se debe a que son puntos elevados en el polígono y no esta expuesto a drenajes					
				<b>Fecha:</b>	30/07/2017





**Anexo 9.** Pórfido andesítico tono verde claro

**Fuente y elaboración:** El autor

 <b>UTPL</b> <small>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</small>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>				
	<b>Unidad El Guayabal</b>				
<b>AFLORAMIENTO NÚMERO</b>	P4D1	<b>CODIGO HOJA</b>		<b>DATUM</b>	WGS 84 - 17S
<b>UBICACIÓN</b>	Loma Alamala - San Pedro - Catamayo			<b>AFLORAMIENTO/ESQUEMA</b>	
<b>DESCRITA POR:</b>	Nestor Andrés Naula				
<b>CORDENADAS UTM</b>	674991	9561381	1630		
<b>FORMACION/UNIDAD</b>	Unidad El Guayabal				
<b>ESCALA:</b>	1:15000				
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Afloramiento de roca volcánica tipo pórfido andesítico tono verde grisáceo, el afloramiento se encuentra muy meteorizado. La zona presenta elevado hidrotermalismo y posee grupos de vetillas de calcita.				
<b>MEDIDAD ESTRUCTURALES:</b>	2 m x 10 m			<b>ROCAMUESTRA</b>	
<b>ESTRUCTURAS (PLANARES/LINEARES)</b>					
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA ROCAS:</b>					
<b>CÓDIGO MUESTRA:</b>	P4D1				
<b>GRUPO GENÉTICO</b>	Volcánico - ígneo				
<b>TEXTURA</b>	Afanítica - porfídica				
<b>ESTRUCTURAS</b>	Vetillas de calcita				
<b>GRADO DE CRISTALIDAD</b>	Criptocristalino (matriz)				
<b>FORMA DE CRISTALIDAD</b>	Inequigranular				
<b>TAMAÑO COMPONENTES/ FENOCRISTALES</b>	> 1 mm				
<b>ESTADO ROCA</b>	Muy meteorizada				
<b>CORRELACIONES</b>	P9D2				
<b>COMPONENTES ROCA</b>					
<b>MINERALES PRINCIPALES</b>	Plagioclasas; Cuarzo				
<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	N/A				
<b>MINERALES AUXILIARES O ACCESORIOS</b>	Biotita				
<b>MINERALES ALTERACIÓN</b>	Oxidaciones, arcillas				
<b>NOMBRE ROCA</b>	Pórfido andesítico				
<b>OBSERVACIONES:</b> La elevada meteorización de esta roca se debe a que la descarga de drenajes es precisamente en estas zonas; además los grupos de vetillas de calcita se deben al hidrotermalismo de la zona.					
				<b>Fecha:</b>	30/07/2017





**Anexo 10.** Pórfido andesítico tono verde grisáceo

**Fuente y elaboración:** El autor

 <b>UTPL</b> <small>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</small>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>					
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO Y PETROGRAFICA ROCAS ÍGNEAS</b>					
<b>AFLORAMIENTO NÚMERO</b>	P10D2	<b>CODIGO HOJA</b>		<b>DATUM</b>	WGS 84 - 17S	
<b>UBICACIÓN</b>	Loma Alamala - San Pedro - Catamayo			<b>AFLORAMIENTO/ESQUEMA</b>		
<b>DESCRITA POR:</b>	Nestor Andrés Naula					
<b>CORDENADAS UTM</b>	677496	9561780	1362			
<b>FORMACION/UNIDAD</b>	Unidad El Guayabal					
<b>ESCALA:</b>	1:15000					
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Afloramiento de intrusivo tipo granito, abarca una gran extensión, 30 m aproximadamente; presenta meteorización debido a fuertes drenajes y a la construcción de una cantera. El material se disgrega muy fácilmente; su tono va de pardo a crema.					
<b>MEDIDAD ESTRUCTURALES:</b>	18 m x 30 m			<b>ROCAMUESTRA</b>		
<b>ESTRUCTURAS (PLANARES/LINEARES)</b>						
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA ROCAS:</b>						
<b>CÓDIGO MUESTRA:</b>	P10D2					
<b>GRUPO GENÉTICO</b>	Ígneo intrusivo					
<b>TEXTURA</b>	Fanerítica					
<b>ESTRUCTURAS</b>	Masiva					
<b>GRADO DE CRISTALIDAD</b>	Holocristalina					
<b>FORMA DE CRISTALIDAD</b>	Equigranular					
<b>TAMAÑO COMPONENTES/ FENOCRISTALES</b>	> 1 mm					
<b>ESTADO ROCA</b>	Muy meteorizada					
<b>CORRELACIONES</b>	N/A					
<b>COMPONENTES ROCA</b>						
<b>MINERALES PRINCIPALES</b>	Cuarzo, feldespatos					
<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	Biotita, hornblenda					
<b>MINERALES AUXILIARES O ACCESORIOS</b>	N/A					
<b>MINERALES ALTERACIÓN</b>	N/A					
<b>NOMBRE ROCA</b>	Granito					
<b>OBSERVACIONES:</b> la meteorización de la roca le da un tono crema y el material se disgrega fácilmente.						
				<b>Fecha:</b>	30/07/2017	

**Anexo 11.** Intrusivo de Monzogranito  
**Fuente y elaboración:** El autor



 <b>UTPL</b> <small>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</small>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>				
	<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO Y PETROGRÁFICA VOLCÁNICAS</b>				
<b>AFLORAMIENTO NÚMERO</b>	N/A	<b>CODIGO HOJA</b>		<b>DATUM</b>	WGS 84 - 17S
<b>UBICACIÓN</b>	Loma Alamala - San Pedro - Catamayo			<b>AFLORAMIENTO/ESQUEMA</b>	
<b>DESCRITA POR:</b>	Nestor Andrés Naula				
<b>CORDENADAS UTM</b>	N/A	N/A	N/A		
<b>FORMACION/UNIDAD</b>	Unidad El Guayabal				
<b>ESCALA:</b>	1:15000				
<b>DESCRIPCIÓN:</b> A lo largo de toda la zona de estudio dispersas como bombas se puede encontrar agregados minerales de calcita, son livianas de tono claro con medidas de hasta 10 cm. No poseen presencia de cuarzo y pueden ser relacionadas con el cuerpo masivo de calcita ubicado al Suroeste del polígono.					
<b>MEDIDAD ESTRUCTURALES:</b> N/A				<b>ROCAMUESTRA</b>	
<b>ESTRUCTURAS (PLANARES/LINEARES):</b>					
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA ROCAS:</b>					
<b>CÓDIGO MUESTRA:</b>	N/A				
<b>GRUPO GENÉTICO</b>	Posibles bombas de calcita				
<b>TEXTURA</b>	Afanítica				
<b>ESTRUCTURAS</b>					
<b>GRADO DE CRISTALIDAD</b>	Homogeneo				
<b>GRADO DE CRISTALINIDAD</b>	Criptocristalino				
<b>TAMAÑO COMPONENTES/FENOCRIETALES</b>	< 1 mm				
<b>ESTADO</b>	Alta meteorización				
<b>CORRELACIONES</b>	N/A				
<b>COMPONENTES ROCA</b>					
<b>MINERALES PRINCIPALES</b>	Calcita y feldespatos				
<b>MINERALES SECUNDARIOS</b>	N/A				
<b>MINERALES AUXILIARES O ACCESORIOS</b>	N/A				
<b>MINERALES ALTERACIÓN</b>	N/A				
<b>NOMBRE ROCA</b>	Bomba de calcita				
<b>OBSERVACIONES:</b> se las puede encontrar a lo largo de toda la zona de estudio, se encuentran dispersas sobre las altillanuras aluviales.					
				<b>Fecha:</b>	30/07/2017

**Anexo 12.** Agregados minerales de calcita - dispersos en la zona  
**Fuente y elaboración:** El autor

## ANEXO 13 - LITOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO - POLÍGONO 2

### BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

#### INTRODUCCIÓN

El área de estudio se localiza al Suroeste del cantón Catamayo, cerca del cantón San Pedro de la Bendita, posee una extensión de 10,65 Km<sup>2</sup>. Morfológicamente es una zona irregular dominada por los relieves tipo cono con alturas de hasta 2200 msnm.

#### GEOLOGÍA

La zona de estudio involucra a nivel regional tobas riolíticas, brechas y aglomerados de la Formación Saraguro; según el mapa actualizado 2017 del INGEOMIN, a nivel local nos encontramos en la Unidad El Guayabal, la cual se compone de rocas volcánicas como tobas de fillos, tobas riolíticas, pórfido andesítico, brechas y aglomerados. Además, podemos encontrar intrusivos tipo granito y depósitos de calca. La zona de estudio está sujeta a procesos hidrotérmales con alteración argílica intermedia.

#### LITOSTRATIGRAFÍA

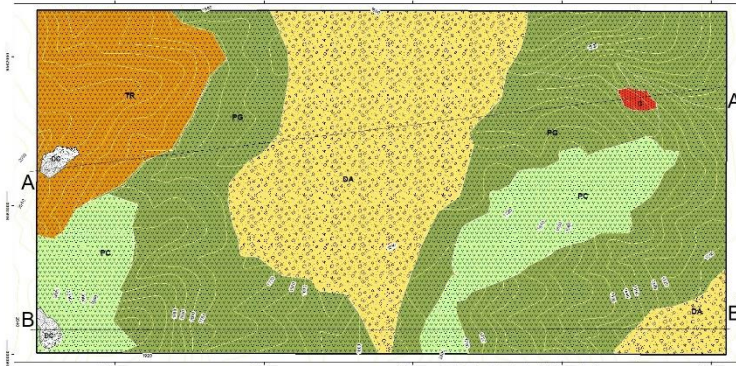
**Toba riolítica (TR)** - perteneciente a la unidad El Guayabal podemos encontrar toba riolítica de tono café claro - pardo; sus mejores afloramientos se ubican al Noroeste del polígono cerca de la carretera San Pedro - Las Chinchas. Posee minerales como feldspatos, cuarzo, anfíboles y proxiens; presenta gran meteorización.

**Pórfido andesítico** - en la zona de estudio podemos observar como el pórfido andesítico presenta dos tonalidades debido a la meteorización; encontramos pórfido andesítico de tono verde grisáceo (PC) que se ubica en los puntos intermedios y bajos de la zona de estudio, abarca gran parte del polígono y posee minerales como cuarzo, andesina, ortoclasa moscovita.

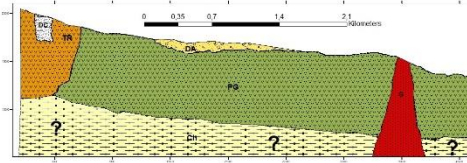
Encontramos pórfido andesítico de tono verde claro (PCL) que se ubica en los puntos más elevados del polígono, no presenta una elevada meteorización y posee los minerales ya mencionados.

**Intrusivos** - ubicamos granito (G) en el extremo Noroeste de la zona de estudio, lo podemos observar al ingresar a una canchera de propiedad privada cerca del parque recreacional El Guayabal. Posee minerales como cuarzo, plagioclasas, ortoclasas, moscovita y hornblenda. Su tonalidad es rosa pálido y presenta alta meteorización.

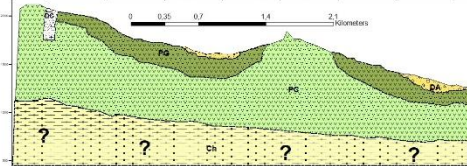
Además, un caso interesante dentro de la zona de estudio son los depósitos de calca, pudimos ubicar dos puntos en el extremo Oeste del polígono. Abarcan extensiones de hasta 30 metros de longitud por 15 metros de profundidad, hasta donde se puede observar. Se encuentran abiertos gran cantidad de carbonilos a la zona de estudio en forma de bombas, ya que se encuentran dispersas a lo largo del mismo; estas son livianas y presentan alta efervescencia.



### CORTE A - A'



### CORTE B - B'



#### DESCRIPCIÓN DE LOS CORTES GEOLÓGICOS

Corte A - A' - basados en la hipotesis de varios autores y en el mapa actualizado del INGEOMIN 2017, hemos considerado práctico colocar a la Unidad Chigüinda como basamento de la zona de estudio. Al filo podemos observar el intruso de granito descrito en la breve descripción geológica del mapa. Al Orco observamos un depósito de calca, debido a que no poseemos información geológica de este cuerpo no podemos estimar su profundidad total así que para el estudio hemos considerado una medida estimada. Una pequeña capa de material correspondiente al material aluvial depositado en el centro del polígono. En este corte solo encontramos pórfido andesítico de color verde grisáceo. Como se desconoce la profundidad a la que se extiende el pórfido y como se el contacto con el basamento, hemos considerado de igual forma medida estimada.

Corte B - B' - de igual forma que en el corte A - A', hemos considerado a la Unidad Chigüinda como el basamento de la zona de estudio. En este corte podemos observar de igual forma un depósito de calca ubicado al extremo Suriente del polígono. Podemos observar dos capas de material aluvial que no alcanzan gran profundidad de terreno. En el corte podemos observar el pórfido andesítico de color verde grisáceo y verde claro. Así como en el corte anterior, debido a que no conocemos la profundidad de cada capa hemos considerado medidas estimadas.

#### UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

Departamento de Geología y Minas

LITOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO - POLÍGONO 2

Elaborado por: Nestor Nuala

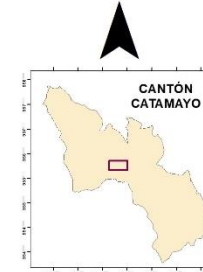
Revisado por: Msc. José Arturo Guartán

Fecha: Feb. 2018

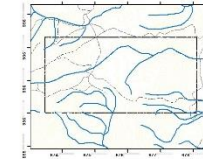
Escala: 1:10000

Fuente: Capas de información geográfica IGM

N



#### DESCRPTIVO DEL POLÍGONO



#### SIMBOLOGÍA

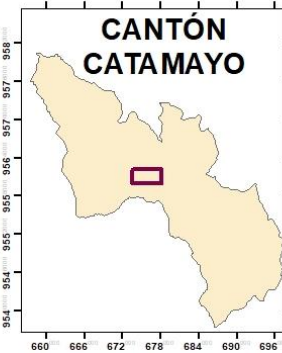
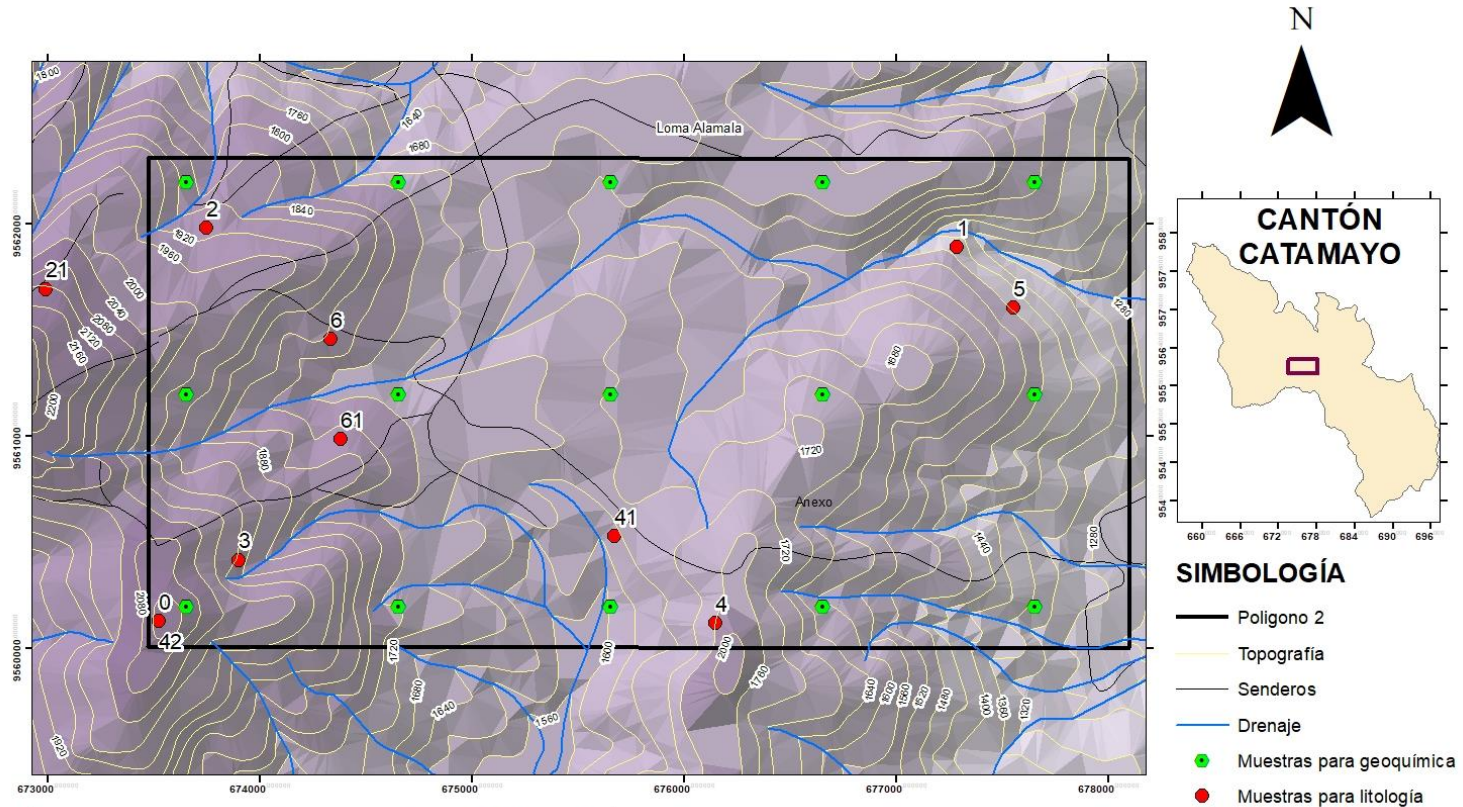
- Polígono 2
- Topografía
- Senderos
- Drenajes

#### LITOLOGÍAS

- Cuaternario**
  - Depósitos Aluviales (DA)
- ROCAS VOLCÁNICAS**
  - Toba riolítica (TR)
  - Pórfido andesítico verde grisáceo (PC)
  - Pórfido andesítico verde claro (PCL)
- INTRUSIVOS**
  - Depositos de Calca (DC)
  - Granito (G)
- BASAMENTO**
  - Unidad Chigüinda

Anexo 13. Mapa litológico de la zona de estudio  
Fuente y elaboración: El autor

## ANEXO 14 MAPA DE MUESTREO EN CAMPO - POLÍGONO 2



### SIMBOLOGÍA

- Polígono 2
- Topografía
- Senderos
- Drenaje
- Muestras para geoquímica
- Muestras para litología



### UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

Departamento de Geología y Minas

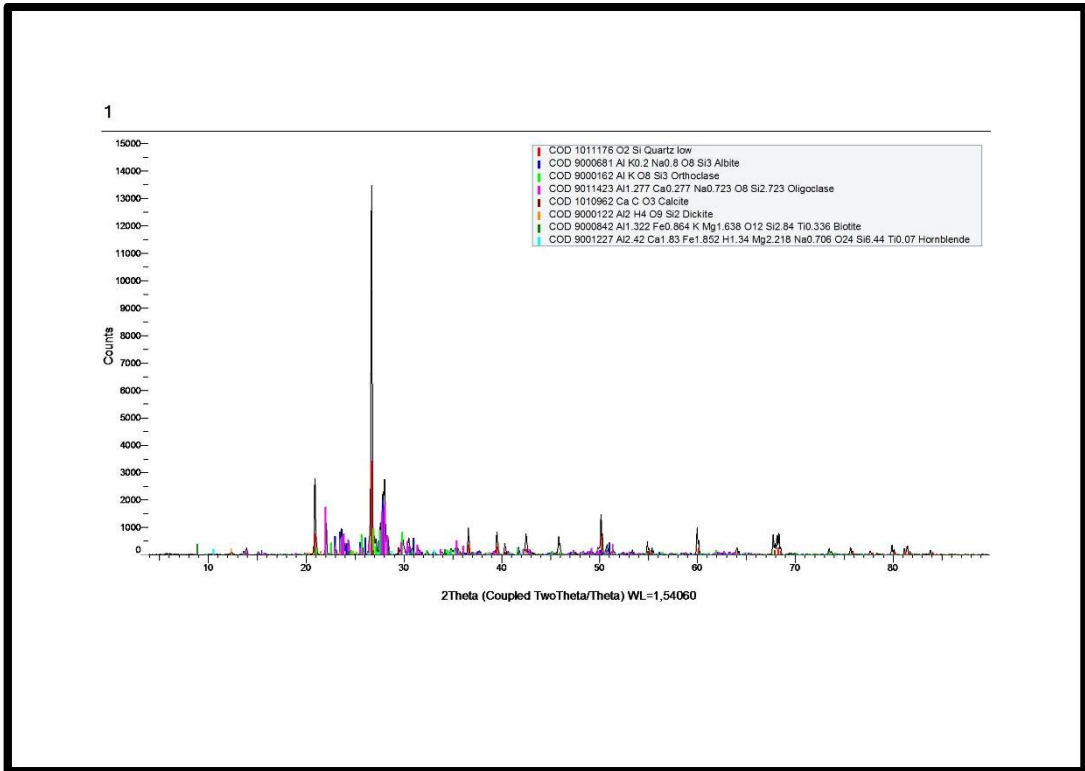
#### MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2

Elaborado por: Nestor Naula	Revisado por: Msc. José Arturo Guartán
Fecha Feb. 2018	
Escala 1:15000	
Fuente Capas de información geográfica IGM	

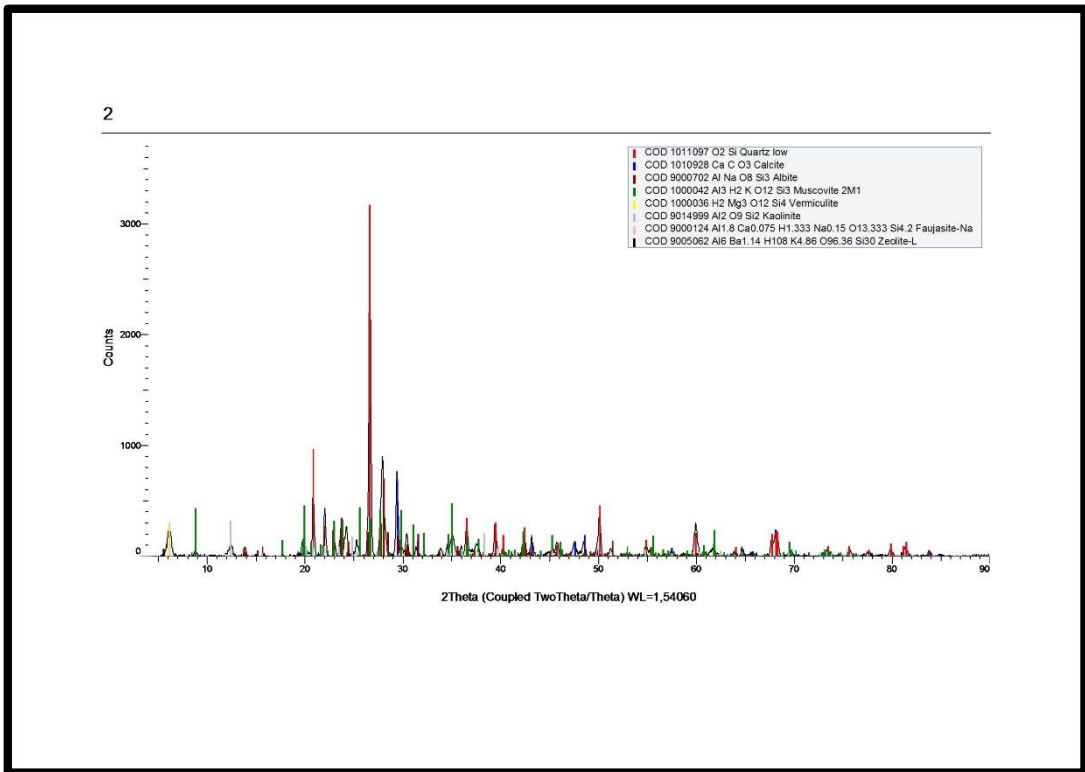
### LEYENDA

Podemos observar en el mapa los diversos puntos de muestreo en campo. Los puntos verdes corresponden al muestreo de núcleos a los cuales se les practicó ensayos FRX e ICP con el fin de determinar los PPM de los elementos planteados en los objetivos. En cuanto a los puntos de color rojo corresponden a las muestras de roca tomadas en las campañas de campo, a estas muestras se les practicó ensayos de FRX y DRX con el fin de corroborar las litologías de la zona de estudio. (1) Granito - (2) Toba riolítica - (21) Toba riolítica - (3) depósito de calcita - (4) Pórfido andesítico color verde claro - (41) (42) Pórfido andesítico color verde claro - (5) Pórfido andesítico color verde grisáceo - (6) (61) Pórfido andesítico color verde grisáceo.

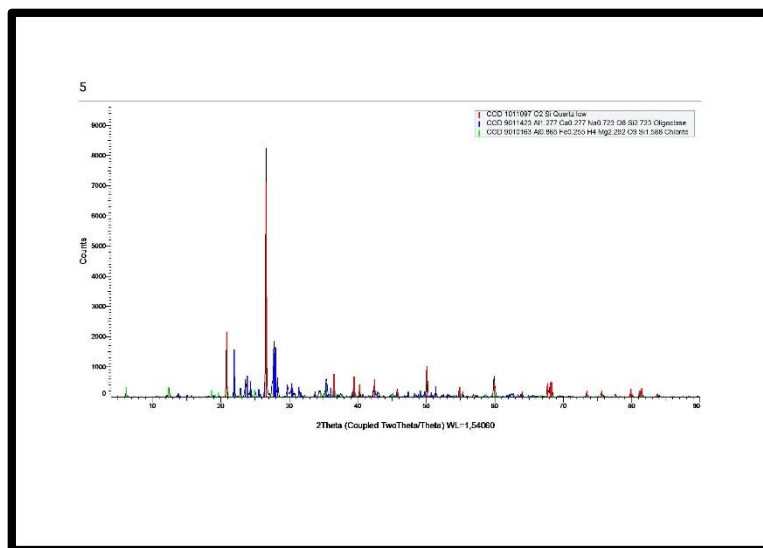
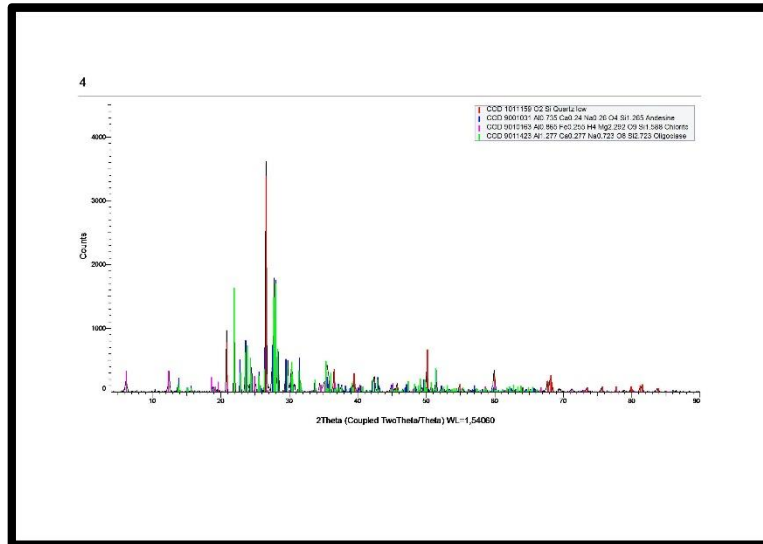
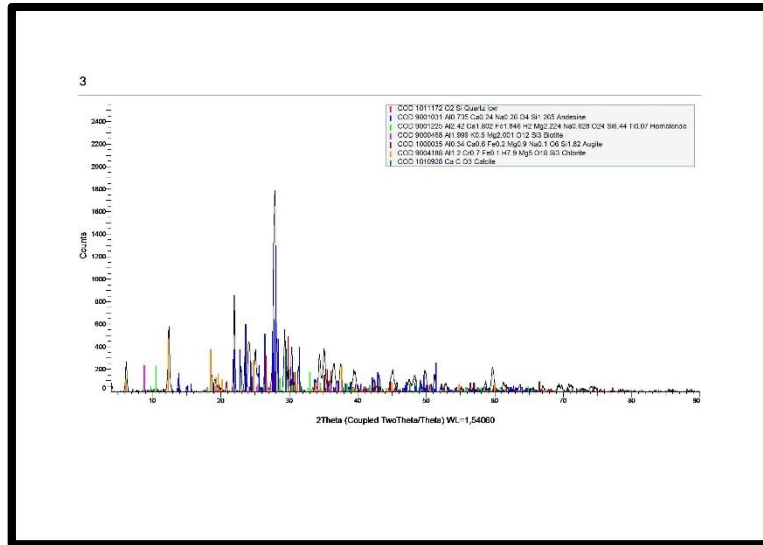
Anexo 14. Mapa de muestreo en campo



**Anexo 15.** Difractograma de la muestra 1 – Monzogranito  
Fuente y elaboración: El autor



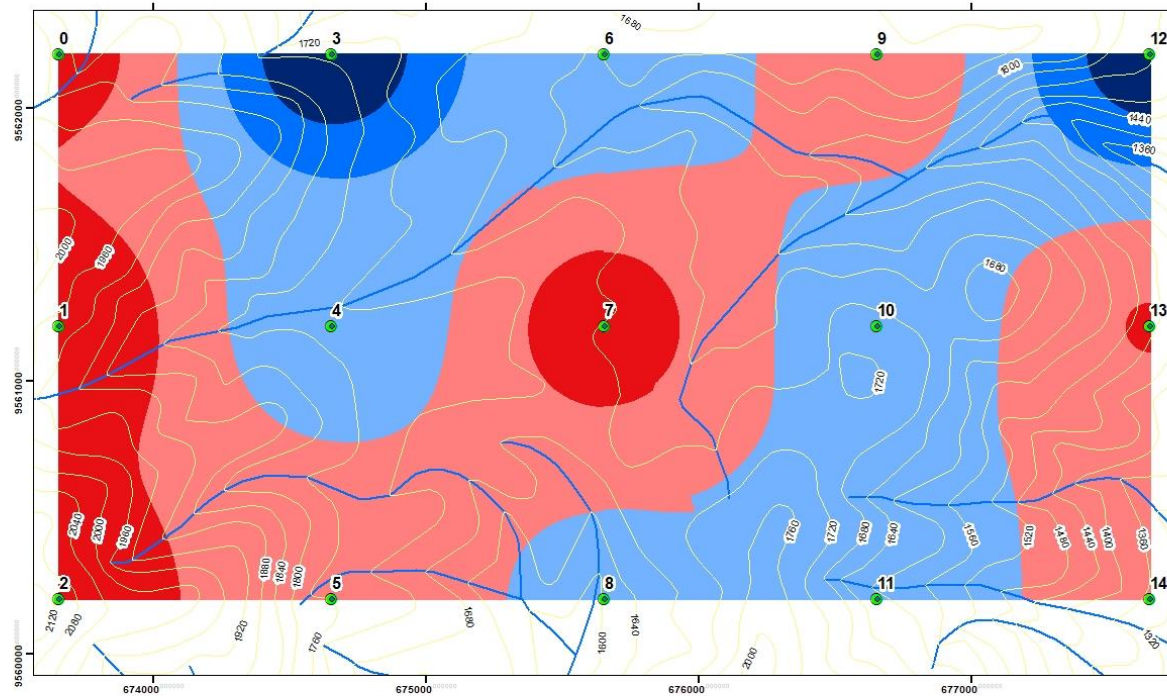
**Anexo 16.** Difractograma de la muestra 2 - Toba riolítica  
Fuente y elaboración: El autor



Anexo 17. Pórfido andesítico - verde claro - verde grisáceo - café claro.

Fuente y elaboración: El autor

## MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS - SiO<sub>2</sub>



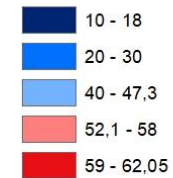
### SIMBOLOGÍA

● Puntos de muestreo

— Topografía

— Drenaje

### Anomalia SiO<sub>2</sub>%



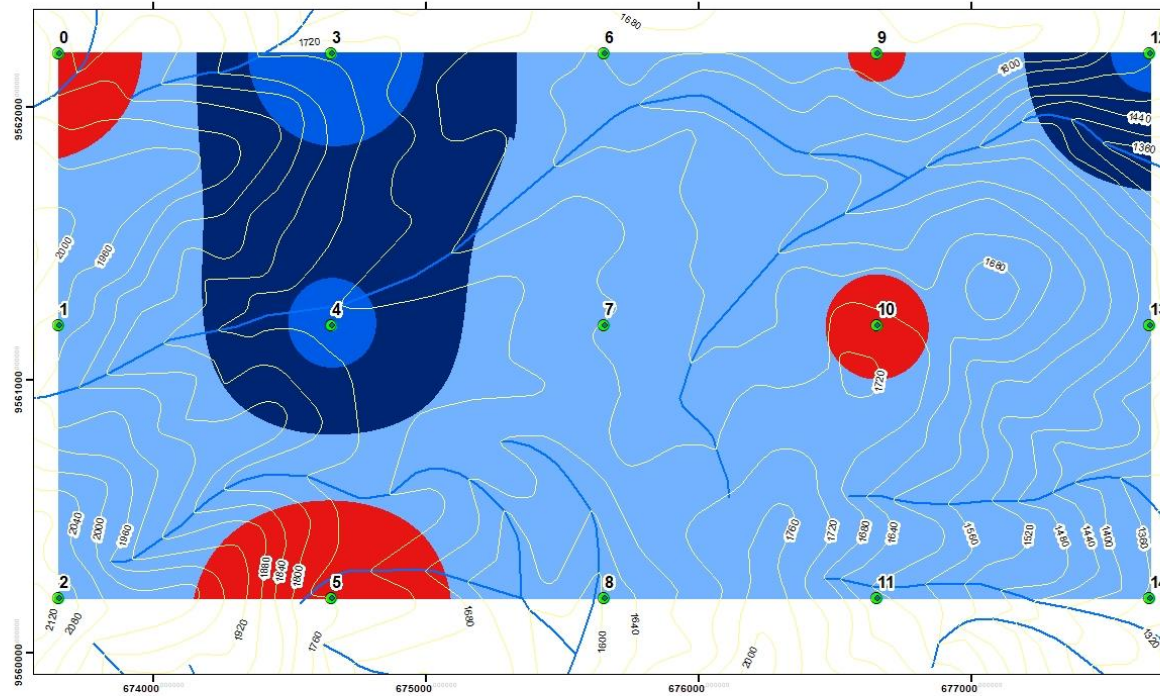
	SiO <sub>2</sub>
Background	47,3
Umbral	62,05
Subanomalia	76,8
Anomalia	91,55
A. Definid	106,3

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	Departamento de Geología y Minas	
<b>MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2</b>		
Elaborado por:	Nestor Naula	Revisado por:
		Msc. José Arturo Guartán
Fecha	Feb. 2018	
Escala	1:15000	
Fuente	Capas de información geográfica IGM	

En el mapa podemos observar como el valor correspondiente al umbral se ubica en los puntos mas altos del polígono, específicamente en los puntos 0, 1, 2, 7 y 13.

**Anexo 18.** Mapa de anomalías geoquímicas SiO<sub>2</sub>  
Fuente y elaboración: El autor

## MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



### SIMBOLOGÍA

- Puntos de muestreo
  - Topografía
  - Drenaje
- Anomalías Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%**
- 1,5 - 5
  - 6 - 10
  - 11 - 14,5
  - 16 - 18,1

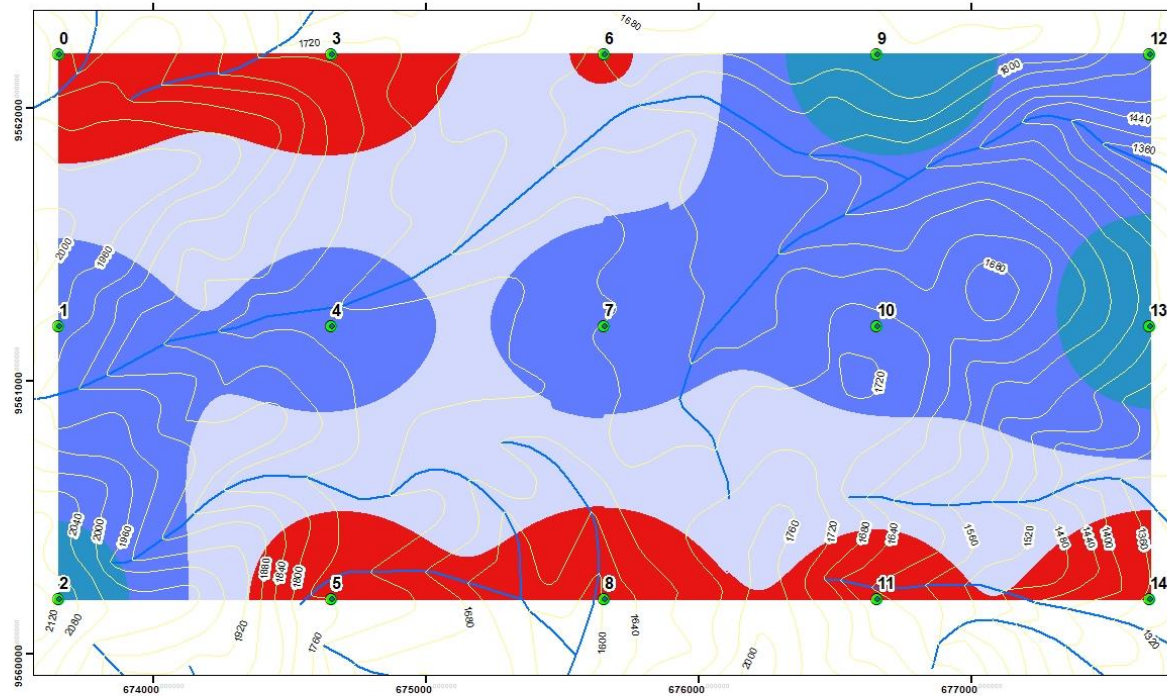
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Background	14,5
Umbral	18,1
Subanomalía	21,7
Anomalía	25,3
A. Definid	28,9

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	Departamento de Geología y Minas	
<b>MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2</b>		
Elaborado por:	Nestor Naula	Revisado por: Msc. José Arturo Guartán
Fecha	Feb. 2018	
Escala	1:15000	
Fuente	Capas de información geográfica IGM	

*En el mapa podemos observar como el valor correspondiente al fondo se extiende abarcando la mayor parte del polígono*

**Anexo 19.** Mapa de anomalías geoquímicas Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
Fuente y elaboración: El autor

## MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



### SIMBOLOGÍA

- Puntos de muestreo
  - Topografía
  - Drenaje
- Anomalia Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%**
- 1,5 - 2,5
  - 3,5 - 4,5
  - 4,5 - 6,5
  - 6,5 - 8,3

	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Background	6,09
Umbral	8,17
Subanomalia	10,25
Anomalia	12,33
A. Defind	14,41

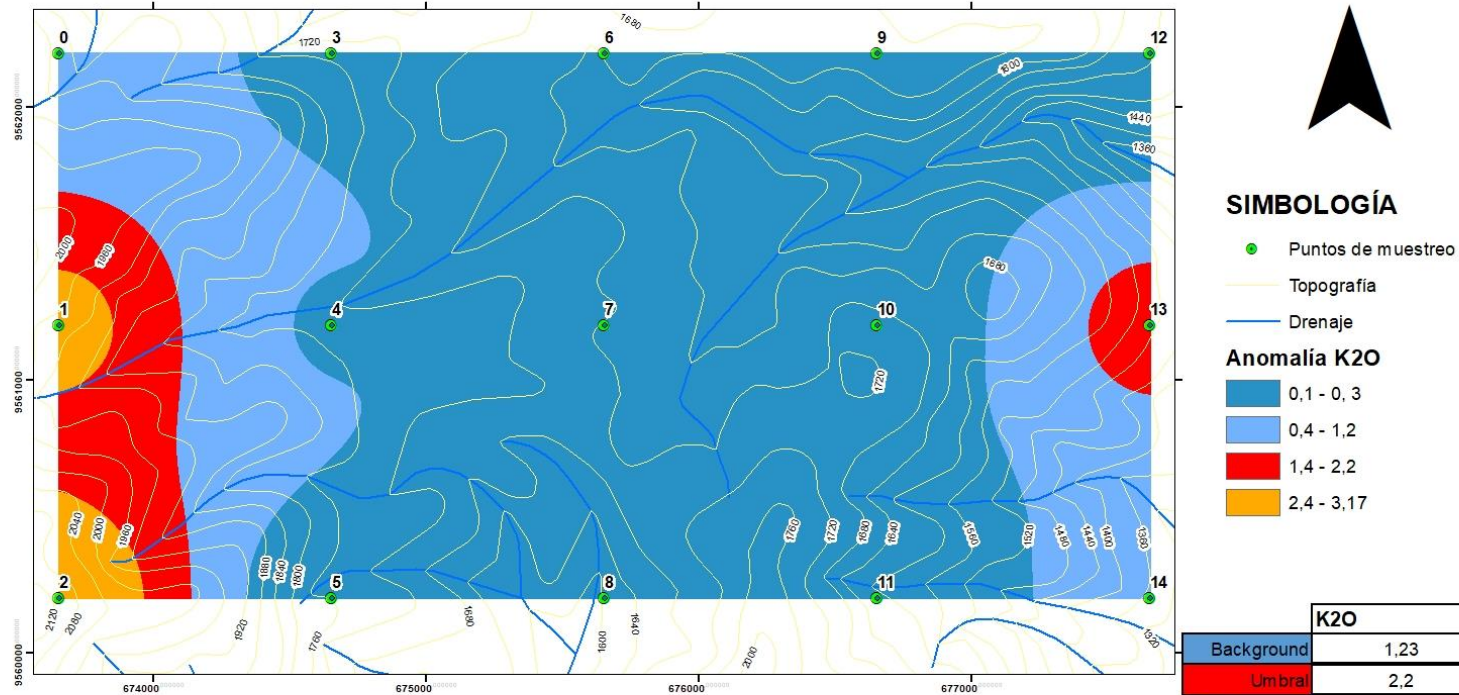
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	Departamento de Geología y Minas	
<b>MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2</b>		
Elaborado por:	Nestor Naula	Revisado por: Msc. José Arturo Guartán
Fecha	Feb. 2018	
Escala	1:15000	
Fuente	Capas de información geográfica IGM	

*En el mapa podemos observar como los valores correspondientes umbral se ubican en los extremos Nor Oeste y Sur Este del polígono; además los valores de fondo se ubican en los extremos Nor Este y Sur Oeste del polígono.*

**Anexo 20.** Mapa de anomalías geoquímicas Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
Fuente y elaboración: El Autor



## MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS - K2O

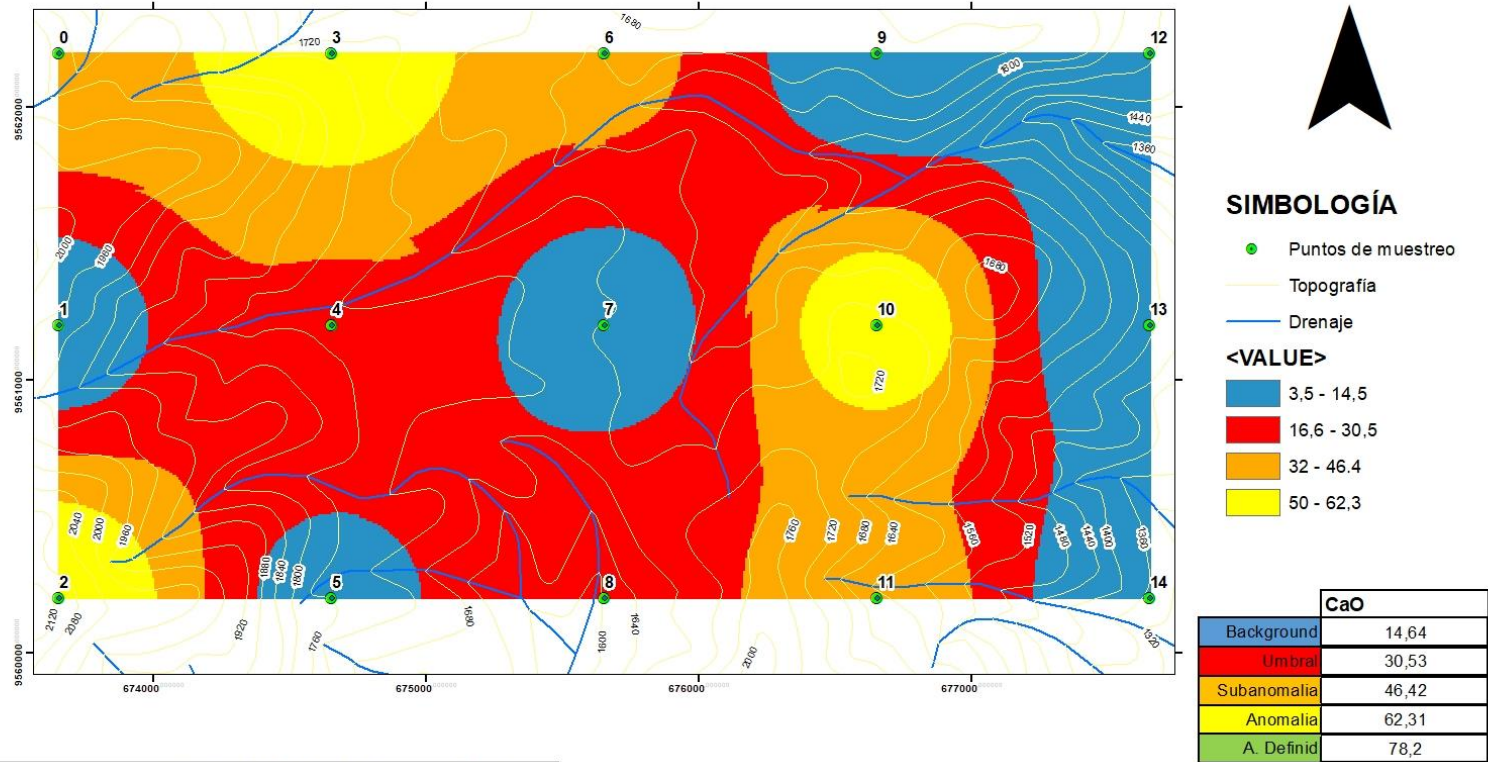


	<b>UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	Departamento de Geología y Minas	
<b>MALLA DE MUESTREO ICP - POLIGONO 2</b>		
Elaborado por:	Nestor Naula	Revisado por:
		Msc. José Arturo Guartán
Fecha	Feb. 2018	
Escala	1:15000	
Fuente	Capas de información geográfica IGM	

*En el mapa podemos observar como el valor correspondiente a la subanomalia se ubica en los dos extremos Oeste y Este separados por los valores correspondientes al fondo.*

**Anexo 21.** Mapa de anomalías geoquímicas K<sub>2</sub>O  
Fuente y elaboración: El autor

## MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS - CaO

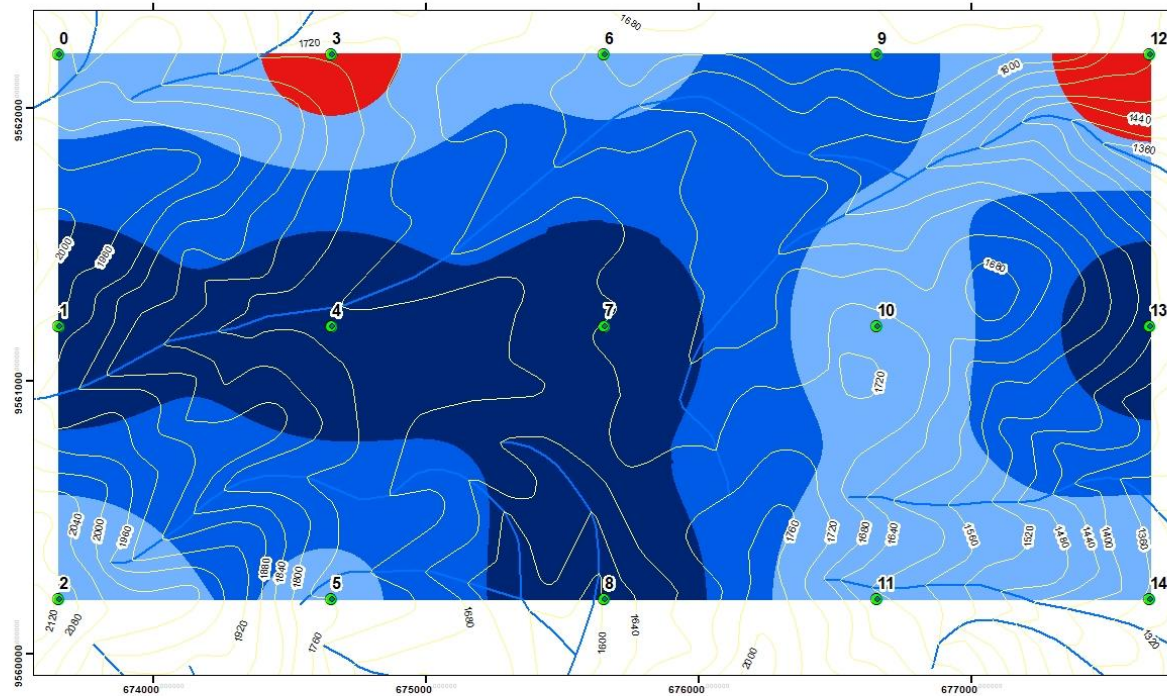


	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	Departamento de Geología y Minas	
<b>MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2</b>		
Elaborado por:	Revisado por:	
Nestor Naula	Msc. José Arturo Guartán	
Fecha	Feb. 2018	
Escala	1:15000	
Fuente	Capas de información geográfica IGM	

*En el mapa podemos observar como los valores correspondientes a la anomalía se ubican en los puntos en donde se encontraron los filones de calcio*

**Anexo 22.** Mapa de anomalías geoquímicas CaO  
Fuente y elaboración: El autor

## MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS - MgO



### SIMBOLOGÍA

- Puntos de muestreo
  - Topografía
  - Drenaje
- Anomalia MgO**
- 0,5 - 1
  - 1,3 - 1,8
  - 1,9 - 2,18
  - 3 - 4,23

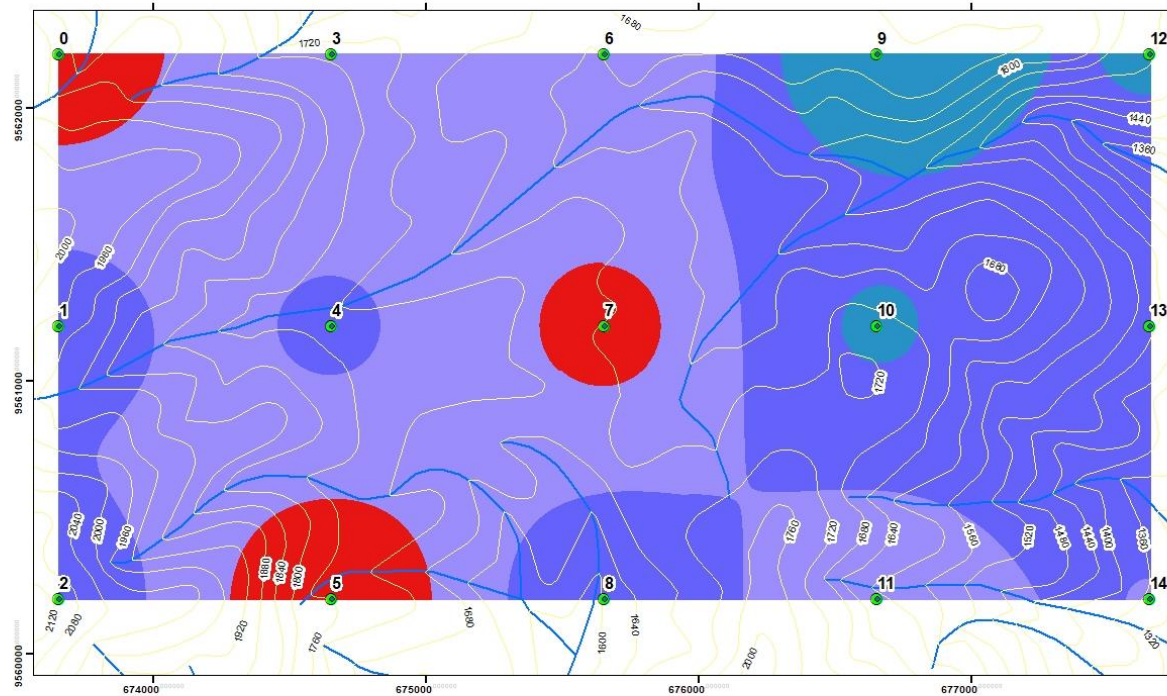
	MgO
Background	2,18
Umbral	4,23
Subanomalia	6,28
Anomalia	8,33
A. Definid	10,38

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	Departamento de Geología y Minas	
	<b>MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2</b>	
Elaborado por:	Nestor Naula	Revisado por: Msc. José Arturo Guartán
Fecha	Feb. 2018	
Escala	1:15000	
Fuente	Capas de información geográfica IGM	

*En el mapa podemos observar como los valores mas altos de este elemento se concentran en el extremo Noroeste del polígono, en puntos bajos.*

**Anexo 23.** Mapa de anomalías geoquímicas MgO  
Fuente y elaboración: El autor

## MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS - MnO



### SIMBOLOGÍA

- Puntos de muestreo
  - Topografía
  - Drenaje
- Anomalia MnO**
- 0.01 - 0.02
  - 0.03 - 0.06
  - 0.08 - 0.16
  - 0.17 - 0.25

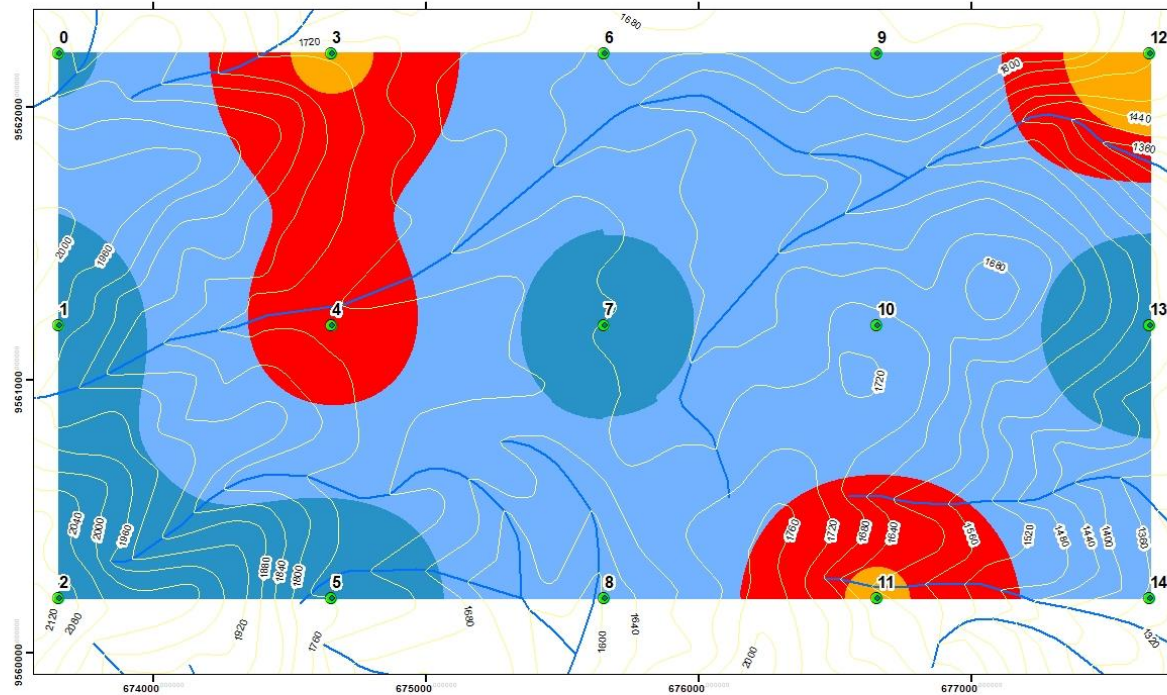
	MnO
Background	0,15
Umbral	0,2
Subanomalia	0,25
Anomalia	0,3
A. Definid	0,35

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	Departamento de Geología y Minas	
<b>MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2</b>		
Elaborado por:	Nestor Naula	Revisado por: Msc. José Arturo Guartán
Fecha	Feb. 2018	
Escala	1:15000	
Fuente	Capas de información geográfica IGM	

*En el mapa podemos observar como los valores correspondientes al umbral se ubican en los puntos mas altos del polígono y los valores correspondientes al background se concentran al Este del polígono.*

**Anexo 24.** Mapa de anomalías geoquímicas MnO  
Fuente y elaboración: El autor

## MAPA DE ANOMALÍAS GEOQUÍMICAS - S



### SIMBOLOGÍA

● Puntos de muestreo

— Topografía

— Drenaje

### Anomalia S%

■ 0,05 - 0,12

■ 0,15 - 0,2

■ 0,23 - 0,25

■ 0,27 - 0,31

S	
Background	0,15
Umbral	0,23
Subanomalia	0,31
Anomalia	0,39
A. Definid	0,47

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	Departamento de Geología y Minas	
<b>MALLA DE MUESTREO ICP - POLÍGONO 2</b>		
Elaborado por:	Nestor Naula	Revisado por:
		Msc. José Arturo Guartán
Fecha	Feb. 2018	
Escala	1:15000	
Fuente	Capas de información geográfica IGM	

*En el mapa podemos observar como los valores mas altos de este elemento se concentra en un solo punto ubicado al Nor Este del poligono, cerca del Neck Rioltico.*

**Anexo 25.** Mapa de anomalías geoquímicas del S  
Fuente y elaboración: El autor