UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO

ACADÉMICO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TEMA:

ORIGEN GEOLÓGICO Y AFECTACIÓN DE LAHARES AL SUR-ESTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

AUTORAS: ROXANA KATHERINE TRIANA IBARRA

EVELYN JESSENIA VÁSQUEZ DELGADO

TUTORA: ING. CLELIA ISABEL NARANJO FREIRE, MSc.

GUAYAQUIL- ECUADOR

ABRIL – 2022

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO

ACADÉMICO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TEMA:

ORIGEN GEOLÓGICO Y AFECTACIÓN DE LAHARES AL SUR-ESTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

AUTORAS: ROXANA KATHERINE TRIANA IBARRA

EVELYN JESSENIA VÁSQUEZ DELGADO

TUTORA: ING. CLELIA ISABEL NARANJO FREIRE, MSc.

GUAYAQUIL- ECUADOR

ABRIL – 2022

ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE - TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

FACULTAD CIENCIAS NATURALES **CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA**

Guayaquil, marzo 18 de 2022
Sr. Ing. Geol. César Borja Bernal, M.Sc.
DIRECTOR DE CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación (ORIGEN GEOLÓGICO Y AFECTACIÓN DE LAHARES AL SUR-ESTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO) de las estudiantes, indicando que han cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del Trabajo de Titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de Trabajo de Titulación, CERTIFICO, para los fines pertinentes, que las estudiantes están aptas para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
CLELIA ISABEL NARANJO FREIRE

_____

Ing. Geól. Clelia Naranjo Freire, M.Sc.
TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
C.I.: 0923860803
FECHA: marzo 18 de 2022

ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado Clelia Isabel Naranjo Freire, tutora del Trabajo de Titulación certifico que el presente Trabajo de Titulación ha sido elaborado por **Roxana Katherine Triana Ibarra y Evelyn Jessenia Vásquez Delgado**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingenieras Geólogas.

Se informa que el Trabajo de Titulación: **ORIGEN GEOLÓGICO Y AFECTACIÓN DE LAHARES AL SUR-ESTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO,** ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio ORIGINAL-URKUND quedando el **0%** de coincidencia.

Curiginal

Document Information

Analyzed document	TESIS_TRIANA_VASQUEZ_PRESENTACION_FINAL.docx (D130913342)
Submitted	2022-03-20T14:34:00.0000000
Submitted by	Clelia Isabel Naranjo Freire
Submitter email	clelia.naranjof@ug.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	clelia.naranjof.ug@analysis.urkund.com

Sources included in the report

blob:https://secure.urkund.com/63ffb981-0236-4317-9f5a-e7c67d319d99

Firmado electrónicamente por:
CLELIA ISABEL NARANJO FREIRE

Ing. Geól. Clelia Naranjo Freire, M.Sc.
DOCENTE TUTORA
C.I.: 0923860803
FECHA: marzo 18 de 2022

ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR

Guayaquil, 4 de abril del 2022

Sr. Ing. Geol. César Borja Bernal, M.Sc.
DIRECTOR DE CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. –

De mis consideraciones:
Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación **ORIGEN GEOLÓGICO Y AFECTACIÓN DE LAHARES AL SUR-ESTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO** de las estudiantes **ROXANA KATHERINE TRIANA IBARRA, EVELYN JESSENIA VASQUEZ DELGADO**.
Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:
Cumplimento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 16 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 9 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.
Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
CESAR OSWALDO
FUENTES CAMPUZANO

Cesar Oswaldo Fuentes Campuzano
DOCENTE TUTOR REVISOR
C.I.: 0907591937
FECHA: 04/04/2022

ANEXO XI.- FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ORIGEN GEOLÓGICO Y AFECTACIÓN DE LAHARES AL SUR-ESTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO	
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	TRIANA IBARRA ROXANA KATHERINE, VASQUEZ DELGADO EVELYN JESSENIA	
TUTOR(ES)/REVISOR(ES) (apellidos/nombres):	NARANJO FREIRE CLELIA ISABEL / FUENTES CAMPUZANO CÉSAR OSWALDO	
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	
UNIDAD/FACULTAD:	CIENCIAS NATURALES	
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:		
GRADO OBTENIDO:	INGENIERÍA GEOLÓGICA	
FECHA DE PUBLICACIÓN:		**No. DE PÁGINAS:**117
ÁREAS TEMÁTICAS:	CIENCIAS GEOLÓGICAS	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Lahar, post-volcánico, flanco, fotogrametría, albedo/ lahar, post-volcanic, flank, photogrammetry, albedo.	

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

Eventos post-volcánicos se han desarrollado en el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo como los lahares, Quebrada Yambo Rumi, afectaron a la Comunidad de Santa Lucía de Chuquipogyo gravemente en 2015 y 2016.

Se utilizó fotogrametría para la elaboración de Ortomosaicos, Modelo de Elevación Digital y Red Hidrográfica; factores desencadenantes como: pendientes, geomorfología, precipitaciones, sismicidad, ceniza del Volcán Tungurahua, humedad, temperatura y viento.

Se registran lluvias fuertes en noviembre de 2015 con 39,2 mm y en abril de 2016 con 61,1 mm; vientos en 2015 con un promedio anual de velocidad de 3,4 m/s; pendientes de 0 a 70° con relieve llano y colinado; la ceniza mantuvo direcciones hacia el Oeste, con columnas de 311 Km, volumen de 1.830.000 m^3 y avance de <100 g/m^3de ceniza hacia el Chimborazo cambiando el albedo.

El derretimiento del Glaciar N°13 llenó y desbordó lagunas deslizando morrenas pendientes abajo, con aportación de lluvias constante.

Post-volcanic events have developed on the Southeast Flank of Chimborazo Volcano as lahars, Quebrada Yambo Rumi, affected the Community of Santa Lucia de Chuquipogyo severely in 2015 and

2016.
Photogrammetry was used for the elaboration of Orthomosaics, Digital Elevation Model and Hydrographic Network; triggering factors such as: slopes, geomorphology, precipitation, seismicity, ash from Tungurahua Volcano, humidity, temperature and wind.
Heavy rains were recorded in November 2015 with 39.2 mm and in April 2016 with 61.1 mm; winds in 2015 with an annual average speed of 3.4 m/s; slopes from 0 to 70° with flat and hilly relief; ash maintained westward directions, with columns of 311 km, volume of 1,830,000 m3 and advance of <100 g/m3 of ash towards Chimborazo changing the albedo.
The melting of Glacier N°13 filled and overflowed lagoons sliding moraines down slopes, with constant rainfall contribution.

ADJUNTO PDF:	[X] **SI**	[ ] **NO**
CONTACTO CON AUTOR/ES:	**Teléfono:** 0983323494 0968140022	**E-mail:** **roxy_111295@hotmail.com** **evasquezdelgado@gmail.com**
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	**Nombre:** Facultad de Ciencias Naturales	
	Teléfono: (04) 308-077	
	E-mail: info@fccnnugye.com	

ANEXO XII.- DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES ACADÉMICOS

FACULTAD CIENCIAS NATURALES **CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA**

LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES ACADÉMICOS

Nosotras, ROXANA KATHERINE TRIANA IBARRA y EVELYN JESSENIA VASQUEZ DELGADO, con C.I. No. 0929126563 y C.I. No. 0850257411 certificamos que los contenidos desarrollados en este Trabajo de Titulación, cuyo título es ORIGEN GEOLÓGICO Y AFECTACIÓN DE LAHARES AL SUR-ESTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO ORGÁNICODE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizamos la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

Roxana Katherine Triana Ibarra
C.I.: 0929126563

Evelyn Jessenia Vásquez Delgado
C.I.: 0850257411

DEDICATORIA

A mis padres, mis hermanas; Zoila y Patty, mis ángeles que siento que desde el cielo me cuidan y guían siempre; mi querida abuelita Zoilita (+) y mi ñaña Karoline (+); y a todas las personas que de alguna manera me apoyaron y nunca perdieron la fe en mí.

Roxana Triana Ibarra

AGRADECIMIENTO

A nuestro Padre Celestial, por darme la fuerza y valentía, que a pesar de los momentos difíciles, para persistir y no rendirme en este proceso, mis Padres que pusieron todo su esfuerzo y sacrificio para que siga adelante con mi carrera universitaria, mi tía Julita por brindarme siempre su apoyo y el amor de una segunda madre, mis hermanas; Patty y Zoila por ser mi apoyo incondicional todo el tiempo, son mi alma entera, y que junto a Margarita Zarsoza Mena, mejor amiga, han sido mi soporte emocional en cada momento.

Sin duda alguna, a mis maestros de la Carrera de Ingeniería Geológica de la Universidad de Guayaquil que me aportaron todo su conocimiento en las aulas y fuera de ellas, a mi futuro colega; el Ing. Geol. Miguel García por su colaboración en la parte metodológica en este proyecto; fotogrametría y explicación para la elaboración de algunos mapas.

A demás personas que me brindaron cualquier tipo de ayuda a lo largo de este camino, siempre estarán presentes para mí, y por supuesto a las Instituciones que brindaron información valiosa para esta investigación, Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Roxana Triana Ibarra

DEDICATORIA

El camino hasta hoy fue duro, por eso dedico mi tesis primordialmente a Dios, por llenarme de sabiduría y la fuerza suficiente para seguir adelante.

A mi padre Oswaldo Vásquez por su amor incondicional, sabias palabras y lucha por ayudarme a salir adelante, a mi madre María Delgado por hacer su mayor esfuerzo cada día para que continuara, por su amor y mucha compresión. Gracias a ambos por sus sabias palabras “las cosas más grandes llevan su tiempo”, los amo.

A mis hermanas y sobrino por llegar a comprender, que el ausentarme en fechas importantes valdría la pena.

A mi tía, Olga Delgado por brindarme apoyo y amor, a mi tío Eddy Gómez por sus sabios consejos, a ambos por acogerme en su hogar y quererme infinitamente, por no dejar que me rinda, pues sin ellos tampoco hubiera llegado a donde estoy.

A Diego Romero por haber llegado en una etapa muy dura de mi vida y carrera, su amor, sabios consejos, apoyo incondicional y sobre todo por incitarme a ser la mejor en todo lo que me proponga. Gracias.

A mi amiga María Fernanda Castro por siempre aconsejarme y hablarme francamente te quiero mucho, a mis amigos de la universidad, Arturo Bolaños, Denisse Cedeño, Tania Jama, Roxana Triana y demás, muchas gracias por estar ahí siempre que les necesite, los adoro infinito.

Evelyn Vásquez Delgado

AGRADECIMIENTO

A mis padres por ser el pilar fundamental a lo largo de mis estudios, los cuales no me dejaron rendir, de tal manera que me incitaron a alcanzar mis metas y propósitos. A mis tíos por brindarme apoyo incondicional.

Agradezco al Glgo. César Fuentes Campuzano, M.Sc. por los conocimientos impartidos en este trabajo.

A nuestra tutora la Ing. Geol. Clelia Naranjo Freire, M.Sc. por brindarnos su apoyo, consejos, conocimiento y optimismo.

A mis demás profesores de la Carrera de Ingeniería Geológica de la Universidad de Guayaquil, por toda la paciencia, conocimientos y consejos impartidos a lo largo de la carrera.

A mi futuro colega el Ing. Geol. Miguel García por su colaboración en la parte metodológica en este proyecto; fotogrametría y explicación para la elaboración de algunos mapas.

Finalmente agradezco a las Instituciones que aportaron con información fundamental, Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Evelyn Vásquez Delgado

ANEXO XIII.- RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)

FACULTAD CIENCIAS NATURALES **CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA**

ORIGEN GEOLÓGICO Y AFECTACIÓN DE LAHARES AL SUR-ESTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

Autoras: Roxana Katherine Triana Ibarra
Evelyn Jessenia Vásquez Delgado

Tutora: M.Sc. Clelia Isabel Naranjo Freire

Resumen

Eventos post-volcánicos se han desarrollado en el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo como los lahares, Quebrada Yambo Rumi, afectaron a la Comunidad de Santa Lucía de Chuquipogyo gravemente en 2015 y 2016.

Se utilizó fotogrametría para la elaboración de Ortomosaicos, Modelo de Elevación Digital y Red Hidrográfica; factores desencadenantes como: pendientes, geomorfología, precipitaciones, sismicidad, ceniza del Volcán Tungurahua, humedad, temperatura y viento.

Se registran lluvias fuertes en noviembre de 2015 con 39,2 mm y en abril de 2016 con 61,1 mm; vientos en 2015 con un promedio anual de velocidad de 3,4 m/s; pendientes de 0 a 70° con relieve llano y colinado; la ceniza mantuvo direcciones hacia el Oeste, con columnas de 311 Km, volumen de 1.830.000 m3 y avance de <100 g/m3 de ceniza hacia el Chimborazo cambiando el albedo.

El derretimiento del Glaciar N°13 llenó y desbordó lagunas deslizando morrenas pendientes abajo, con aportación de lluvias constante.

Palabras Claves: Lahar, post-volcánico, flanco, fotogrametría, albedo.

GEOLOGICAL ORIGIN AND IMPACT OF LAHARS TO THE SOUTHEAST OF THE CHIMBORAZO VOLCANO, GUANO CANTON, PROVINCE OF CHIMBORAZO

Authors: Roxana Katherine Triana Ibarra
Evelyn Jessenia Vásquez Delgado

Advisor: M.Sc. Clelia Isabel Naranjo Freire

Abstract

Post-volcanic events have developed on the Southeast Flank of Chimborazo Volcano as lahars, Quebrada Yambo Rumi, affected the Community of Santa Lucia de Chuquipogyo severely in 2015 and 2016.

Photogrammetry was used for the elaboration of Orthomosaics, Digital Elevation Model and Hydrographic Network; triggering factors such as: slopes, geomorphology, precipitation, seismicity, ash from Tungurahua Volcano, humidity, temperature and wind.

Heavy rains were recorded in November 2015 with 39.2 mm and in April 2016 with 61.1 mm; winds in 2015 with an annual average speed of 3.4 m/s; slopes from 0 to 70° with flat and hilly relief; ash maintained westward directions, with columns of 311 km, volume of 1,830,000 m3 and advance of <100 g/m3 of ash towards Chimborazo changing the albedo.

The melting of Glacier N°13 filled and overflowed lagoons sliding moraines down slopes, with constant rainfall contribution.

Keywords: Lahar, post-volcanic, flank, photogrammetry, albedo.

ÍNDICE GENERAL

	CÁPITULO I	1
	INTRODUCCIÓN	1
1.1	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	3
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3	OBJETIVOS	6
1.3.1	Objetivo General	6
1.4	UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO	7
1.4.1	ACCESO DEL ÁREA DE ESTUDIO	8
1.5	ACTIVIDAD DE LA POBLACIÓN	9
1.5.1	USO Y COBERTURA DE SUELO	10
1.6	CLIMA	10
1.7	DESGLACIACIÓN	12
1.7.1	Desglaciación del Volcán	12
1.8	GEOMORFOLOGÍA	13
1.9	HIDROGRAFÍA	14
1.10	ANTECEDENTES	15
	CAPÍTULO II	21
2.	MARCO TEÓRICO	21
2.1	MARCO CONCEPTUAL	21
2.1.1	Lahares	21
2.2	CENIZA VOLCÁNICA	25
2.2.1	Caída de ceniza	25
	CÁPITULO III	26
3.	MARCO GEOLÓGICO	26
3.1	GEOLOGÍA REGIONAL	26
3.2	GEOLOGÍA LOCAL	30

3.2.1. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA ESTRUCTURA DEL VOLCÁN CHIMBORAZO 30
3.2.2. HISTORIA ERUPTIVA RECIENTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO 33
3.2.3. UNIDADES GEOLÓGICAS CENOZOICAS 34
3.2.3.2 Depósito Glaciar 36
3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 37
3.4 Caracterización de los depósitos laharíticos de la Quebrada Yambo Rumi 39
CAPÍTULO IV 43
4. METODOLOGÍA 43
4.1 FOTOGRAMETRÍA 43
4.1.1 Estacas 43
4.1.2 Levantamiento de puntos con GPS Diferencial 44
4.1.3 Procesamiento de datos del GPS Diferencial 45
4.1.4 Plan de vuelo con Dron 46
4.1.5 Ortofotos u Ortomosaico 47
4.1.6 Modelo de Elevación Digital (MDE) 47
4.1.7 Materiales 47
4.1.8 Procedimiento 50
4.2 FACTOR ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN CHIMBORAZO 51
4.3 FACTOR PENDIENTE 53
4.4 FACTOR PRECIPITACIÓN 54
4.5 FACTOR CAÍDO DE CENIZA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA 55
CAPITULO V 57
5. RESULTADOS 57
5.1 PARÁMETROS AGROCLIMÁTICOS DE LA NASA 58
5.1.1 Temperatura a 2 m (°c) 58
5.1.2 Humedad Relativa a 2 m (%) 59
5.1.3 Velocidad del Viento (m/s) 60

5.1.4 Perfil de Humedad del Suelo (%)..... 60
5.1.5 Precipitación Promedio (mm/día)..... 61
5.2 Precipitaciones registradas por el INAMHI 62
5.2.1 Precipitación mensual durante 2015 y 2016 63
5.3 DATOS PROCESADOS DE EMISIÓN DE CENIZA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA POR EL IG-EPN 63
5.3.1 Dirección del Viento 64
5.3.2 Altura (m.s.n.m) de alcance de Ceniza 64
5.3.3 Velocidad del Viento: Mínima, Máxima y Promedio 65
5.3.4 Alcance Máximo de Nube de Ceniza (Km) 66
5.4 SISMICIDAD DE ORIGEN – VOLCÁN CHIMBORAZO 67
5.4.1 Eventos Volcano- tectónicos (VT)..... 67
5.4.2 Eventos de Largo Periodo (LP)..... 68
5.4.3 Eventos Híbridos 69
5.4.4 Sismicidad de Origen Tectónico 70
5.5 MAPA DE PENDIENTES GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO 71
5.6 MAPA GEOMORFOLÓGICO 72
5.7 ORTOMOSAICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO..... 73
5.7.1 Ortomosaico 75
Base Primera..... 75
5.7.2 Ortomosaico 78
Base Segunda..... 78
5.8 MODELO DE ELEVACIÓN (MED) DEL LAHAR EN LA QUEBRADA YAMBO RUMI 80
5.8.1 Modelo de Eevación Digital (MED): 80
Base Primera..... 80
5.8.2 Modelo de Eevación Digital (MED): 81
Base Segunda..... 81

CAPÍTULO VI 83
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 83
6.1 COMPARATIVA DE ORTOMOSAICOS 83
6.2 FACTORES DESENCADENANTES DE LOS EVENTOS LAHARÍTICOS. 85
6.3 MAPA MULTICRITERIO 88
6.4 CONCLUSIONES 90
6.5 RECOMENDACIONES 92
CAPITULO VII 93
7. REFERENCIAS 93
ANEXOS 102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio……...7

Figura 2. Mapa de acceso al área de estudio…….9

Figura 3. INAMHI (2021), Vista área de los deslizamientos en el Sector Santa Lucía de Chuquipogyo, Quebrada Yambo Rumi ruta del sobrevuelo realizada el día 23/12/2015. (http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Lotaip/2016/Mayo/n/DO- 634-2015_MAISINCHO_LUIS.pdf).....17

Figura 4. INAMHI (2021), Glaciar Chimborazo, zona de hielo muerto con configuración para formación de glaciares. (http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Lotaip/2016/Mayo/n/DO6342015_MAISINCHO_LUIS.pdf) 18

Figura 5. E. Telenchana-Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2021), Parte (https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1241- reconocimiento-en-campo-de-los-flujos-de-lodo-y-deslizamientos-producidos-en-las-faldas-del-volcan- chimborazo-comunidad-santa-lucia-de-chuquipogyo).....19

Figura 6. E. Telenchana-Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2021), Parte Lado Occidentaldel Volcán Chimborazo, donde se aprecian los deslizamientos y flujos de lodo. (https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1241-reconocimiento- en-campo-de-los-flujos-de-lodo-y- deslizamientos-producidos-en-las-faldas-del- volcan-chimborazo-comunidad-santa-lucia-de- chuquipogyo).....20

Figura 7. Almeida; Sierra y Andrade, (2017). Modelo esquemático de la generación de lahares primarios durante una erupción explosiva que produce fusión del glaciar..... 22

Figura 8. Almeida; Sierra y Andrade, (2017). Modelo de generación de lahares secundarios por intensas lluvias que removilizan material piroclástico depositado previamente..... 23

Figura 9. Marco Geomorfológico del Ecuador. (Baldock, 1982, como se citó en Núñez, 2003). https://pdfcookie.com/documents/pdfcookie- rv3187rex32d 27

Figura 10. Barba (2006), Se observa la construcción del Edificio Basal (CH I) y el Edificio Joven Occidental (CH III) 31

Figura 11. Barba (2006), Se observa al Chimborazo II, dividido en CH II- A y CH II – B. La línea roja presenta respectivamente el contacto geológico entre el edificio principal (Cumbre Politécnica) y uno pequeño sobre el Flanco Sureste (Cumbre Nicolás Martínez), tomando como referencia el espolón Piedra Negra 32

Figura 12. (Barba, 2006), Vista panorámica del Volcán Tungurahua y depresión del cráter del cono más joven (CH-III o Cumbre Whymper) del Volcán Chimborazo.....33

Figura 13. Mapa de Geología Local de la zona de estudio.....35

Figura 14. Mapa de Fallas a una proyección de 30 Km a la redonda de la zona de estudio.....39

Figura 15. Curva Granulométrica de la muestra tomada en la parte superior del evento laharítico.....40

Figura 16. Depósitos laharíticos en la parte superior (Primera base). Bloques de andesitas, tobas y arena compactada..... 41

Figura 17. Curva Granulométrica de la muestra tomada en la parte inferior del evento laharítico.....42

Figura 18. Depósitos laharíticos en la parte inferior (Segunda base). Granos tamaños gravas, arenas, limos y bloques..... 42

Figura 19. Colocación de estaca de madera como punto de anclaje del polígono de la zona de estudio..... 44

Figura 20. Trípode con Antena GNSS (GPS Diferencial), como estación base..... 45

Figura 21. Equipo de Dron utilizado para la realización de fotografías aéreas 46

Figura 22. Materiales utilizados para la colocación de estacas en campo 49

Figura 23. Materiales utilizados en campo 49

Figura 24. D'ERCOLE y DEMORAES (2001). Mapa de intensidad de amenazas sísmicas y tsunami de Ecuador 52

Figura 25. IG-EPN (2022). Red de Monitoreo Instrumental de Volcán Chimborazo (OVCHZ) 53

Figura 26. Escuela politécnica (2016), Dispersión de ceniza del volcán Tungurahua, periodo 2015.
https://www.researchgate.net/publication/310480740_Mapa_de_amenazas_potencial_por_lahares_secundarios_quebrada_Yambo_Rumi_-_volcan_Chimborazo.....55

Figura 27.IG-EPN (2022). Red de Monitoreo Instrumental de Volcán Tungurahua (OVT)https://www.igepn.edu.ec/tungurahua-red-de-monitoreo 56

Figura 28. Temperatura promedio a 2m en °C, durante 2005-2020..... 59

Figura 29. Humedad relativa en %, durante 2005-2020 59

Figura 30. Velocidad del viento en (m/s), durante 2005-2020 60

Figura 31. Perfil de humedad del suelo en %, durante 2005-2020 61

Figura 32. Precipitación promedio en (mm/día), durante 2005-2020..... 61

Figura 33. Precipitación media, máxima y mínima anual (mm), captada por la Estación de Guano (M0408), periodo 2005-2018 62

Figura 34. Precipitación media mensual (mm), captada por la Estación de Guano (M0408) 2015 – 2016 63

Figura 35. Dirección del viento (nudos), durante el mes de octubre del 2015..... 64

Figura 36. Altura de ceniza del Tungurahua en metros (m), durante octubre y noviembre del 2015..... 65

Figura 37. Velocidad: Min, Max, Promedio en metros sobre segundos (m/s), durante octubre y noviembre del 2015..... 66

Figura 38. Alcance Max. De nubes de ceniza en kilómetros (Km), durante octubre y noviembre del 2015 66

Figura 39. Número total diario de eventos volcánicos del Volcán Chimborazo, durante diciembre 2015 hasta abril 2016 67

Figura 40. Número total diario de eventos VT, durante diciembre 2015 hasta abril 2016 68

Figura 41. Número total diario de eventos LP, durante diciembre 2015 hasta abril 2016 69

Figura 42. Número total diario de eventos híbridos HB, durante diciembre 2015 hasta abril 2016…….....69

Figura 43. Sismicidad registrada y localizada por la RENSIG (Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional), durante el 1 de diciembre del 2015 al 30 de abril del 2016……71

Figura 44. Mapa de pendiente del área de estudio modificado…….…72

Figura 45. Mapa Geomorfológico del lahar en la Q. Yambo Rumi…….....73

Figura 46. Ortomosaico de la Quebrada Yambo Rumi (2014)…….....74

Figura 47. Área de estudio con la subdivisión. Base Primera y Base Segunda…....75

Figura 48. Ortomosaico del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Primera……76

Figura 49. Ortomosaico del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Primera……....76

Figura 50. Mapa de pendiente del área de estudio. Base Primera……..77

Figura 51. Ortomosaico del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Segunda……...78

Figura 52. Mapa de pendiente del área de estudio. Base Segunda……....79

Figura 53. Modelo de Elevación (MED) del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Primera…….....81

Figura 54. Modelo de Elevación (MED) del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Segunda……..82

Figura 55. (A) Ortomosaico tomada de Google Earth en el 2019 y (B) Ortomosaico realizado en este trabajo en el 2022 ……83

Figura 56. Red Hídrica de Base Primera (A), con sus tributarios de Primer Orden,Segundo Orden;Base Segunda (B) del área de estudio con sus tributarios de Primer Orden, Segundo Orden, Tercer Orden y Cuarto Orden 84

Figura 57. Zona de hielo muerto o fósil del Glaciar N° 13 del Volcán Chimborazo y agujeros de caldera……..……85

Figura 58. Mapa de Isomasas de emisión de ceniza del Volcán Tungurahua……87

Figura 59. Mapa Multicriterio de Zonas de Riesgo en el área de estudio sobrevolada……..……89

Figura 60. Vasconez, et., al. (2016). Mapa de amenazas potenciales por lahares secundarios de la Quebrada Yambo Rumi- Volcán Chimborazo……...109

Figura 61. Red Hidrográfica de la Base Primera del Área de Estudio…….....110

Figura 62. Red Hidrográfica de la Base Segundo del Área de Estudio…….110

Figura 63. Ruta del lahar Base Segunda……...113

Figura 64. Vista panorámica de la Parte Superior del lahar……...113

Figura 65. Colocación de base para toma de puntos GNSS en la Parte Inferior del lahar……...…..……..114

Figura 66. Preparación de dron para realizar sobrevuelo……114

Figura 67. Clasificando material para estacas……115

Figura 68. Casa Turista de la Comunidad Santa Lucia de Chuquipogyo (Carmerina Paca, ex-miembro del Comité e infante)……..115

Figura 69. Ruta del lahar, Base Primera…….116

Figura 70. Peso total de la muestra de material laharítico para……..116

Figura 71. Tamizado de material de lahar……..117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Google Earth (2021) Coordenadas del polígono del área de estudio 8

Tabla 2. Clasificación de la intensidad sísmica 52

Tabla 3. Categorización de los rangos de pendientes para la zona de estudio 54

Tabla 4. Fecha de inventario del evento laharitico en la quebrada yambo rumi 57

Tabla 5. Datos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, perfil de humedad del suelo y precipitación promedio anual de la comunidad santa lucía de chuquipogyo de agroclimatología de power data access de la nasa.....102

Tabla 6. Datos de precipitaciones y mensuales anuales de la estación pluviometrica de guano (m0408) del Inamhi, durante periodo 2005 – 2018…….104

Tabla 7. Datos de dirección del viento, altura, velocidad mín y máx, velocidad promedio y alcance máx de nube……..105

Tabla 8. Puntos de anclaje de sobrevuelo de lahar en q. Yambo rumi (gnss) 108

Tabla 9. Datos para análisis granulométrico por tamizado de la muestra tomada en la base segunda del área de estudio……111

Tabla 10. Datos para análisis granulométrico por tamizado de la muestra tomada en la base primera del área de estudio……112

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Factor Precipitación 102

Anexo 2. Datos Pluviométricos del INAMHI 104

Anexo 3. Factor caída de ceniza del Volcán Tungurahua..... 105

Anexo 4. Puntos de anclaje (GNSS)..... 108

Anexo 5. Mapa de amenazas potenciales por lahares secundarios de la Quebrada Yambo Rumi- Volcán Chimborazo……...109

Anexo 6. Red hidrográfica de Base Primera y Base Segunda del Área de Estudio. 110

Anexo 7. Análisis granulométrico..... 111

Anexo 8. Fotografías 113

SIGLAS Y ABREVIATURAS

Ka: Kilo año

AP: Antes del presente

Ha: Hectárea

t: Tonelada

m: Metro

Km: Kilómetro

IG-EPN: Instituto de la Escuela Politécnica Nacional

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

IGM: Instituto Geográfico Militar

MED: Modelo de Elevación Digital

m.s.n.m: Metros sobre el nivel del mar

PDOT: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

$l/s/km^2$: Litro por segundo por kilómetro cuadrado

Km/h: Kilometro por hora

m^3/s: Metro cubico por segundo

m^3: Metro cúbico

mm: Milímetros

m/s: Metro sobre segundo

g/m^3: Gramos por metro cúbico

Ma: Millones de años

CH I: Chimborazo primero

CH II: Chimborazo segundo

CH III: Chimborazo tercero

Km^3/ka: Kilometro cúbico por kilo año

cm: Centímetro

USGS: Servicio Geológico de Estados Unidos

NNE: Nornoreste

SSO: Sursuroeste

NE: Noreste

SO_2: Dióxido de azufre

CO_2: Dióxido de carbono

GNSS: Global Navegation Satellite System

VCHBZ: Monitoreo Instrumental del Volcán Chimborazo

OVT: Observatorio del Volcán Tungurahua

VT: Eventos Volcano- tectónicos

LP: Eventos de Largo Periodo

HB: Eventos Híbridos

MLv: Magnitud Local calculada en la componente Vertical de los sensores sísmicos

ML: Magnitud Local

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación se desarrolla a lo largo de la Quebrada Yambo Rumi, situada en la Comunidad Santa Lucía de Chuquipogyo,al Noreste de la Parroquia San Andrés, Cantón Guano, Provincia de Chimborazo.

Está enfocado a determinar causas y origen del evento producido en el Flanco Sureste del Chimborazo. El Volcán posee una altura de ~6.268 m.s.n.m., con un cono compuesto; situándose entre los más altos del Norte de los Andes ecuatorianos, originándose en la Cordillera Occidental del país.

El calentamiento global, cambios climáticos, albedo y demás, etc., han repercutido en el deshielo del Glaciar N° 13, llamado Debris o Escombros intensas lluvias, pendientes pronunciadas, sismicidad, inestabilidad y condiciones del edificio volcánico entre otros; han desencadenado una furia inminente en los alrededores de comunidades y sectores aledaños de dicho coloso, dejando afectaciones tan grandes como pérdidas de ganado, infraestructuras, pero aún más importante vulneración a la seguridad humana.

Se analizaron las causas que llevaron a generar los flujos de lodos y escombros o también llamados lahares en el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo, evaluándose daños e identificando el tipo de flujo de tal desplazamiento, con un área de afectación aproximada de 275 Ha y un perímetro de 10.885 Km.

La metodología que se utilizó fue dividida en tres partes; la cual comprendió el trabajo previo al levantamiento de campo: constituido por reconocimiento del área y delimitación previa de la afectación; trabajo de campo para el levantamiento fotogramétrico, recopilación de datos de sismicidad, precipitaciones, pendientes, ceniza del Volcán Tungurahua, culminando con la interpretación de resultados.

La utilización de la técnica fotogramétrica, llevada a cabo con el uso de dron, que permitió generar Ortomosaicos, Modelos de Elevación Digital y posteriormente

crear el Mapas de Pendientes genéricos, junto con el Mapa Geomorfológico y de Pendiente en base a hojas topográficas del IGM se delimitó el área de estudio con sus relieves, permitiendo la evaluación del deslizamiento.

1.1 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente trabajo de investigación recopila y pone en evidencia todos los conocimientos que adquirimos a lo largo de nuestra vida estudiantil en la carrera de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil. Como requisito previo a la obtención del título como profesional de la carrera ya mencionada.

Será un aporte de conocimientos a la comunidad científica, estudiantil, catedrática; también para las autoridades gubernamentales tanto locales como a nivel nacional y para la población que vive en zonas vulnerables cercanas a volcanes. Proporcionando información de lo que pueden llegar a provocar este tipo de eventos naturales, logrando prevenir, mitigar y creando alertas tempranas. Ya que se enfocará en analizar las causas que llevaron a generar eventos post-volcánicos, como son los lahares, también llamados flujos de lodos y escombros en el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo.

Mediante la aplicación de técnicas como la fotogrametría, con el uso de dron en campo, que nos permitirá evaluar en gabinete y laboratorio, el grado de afectación que provocó su desplazamiento; ya que estos representan una amenaza ambiental de origen geológico.

Además, conocer el tipo de lahar que produjo el edificio volcánico y de manera conceptual las formaciones geológicas que han constituido el área de estudio, producto de la actividad volcánica a lo largo de los años.

Debido a la amplitud de la investigación, las autoridades pertinentes autorizaron que sea desarrollada en conjunto para poder cumplir con las competencias ya mencionadas.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Volcán Chimborazo posee una altura de ~6.268 m.s.n.m., este coloso volcánico se encuentra entre las puntas más altas del mundo, tomado desde el punto más bajo de la tierra al punto más cercano al sol, deja muy por debajo al Everest por 2000 m de altura.

El Volcán se originó en la Cordillera Occidental del país, a 150 Km al Sur-Suroeste de Quito y a 28 Km al Noreste de Riobamba, posee en su cúpula un importante casquete glacial, que se encuentra rodeando todos sus flancos.

Para que se formara la cobertura glaciar que se encuentra rodeando al edificio volcánico, se encontró condicionado tanto por temperatura, precipitación, altura y morfología del macizo rocoso como también por la dirección del viento (Castillo & Paul, 2006); Aportando con agua dulce a varias comunidades y ciudades de la provincia de Chimborazo.

Los cambios climáticos, calentamiento global etc., han repercutido en el deshielo de dicho glaciar, intensas lluvias, pendientes pronunciadas, inestabilidad y condiciones del edificio volcánico entre otros. Siendo estos los principales factores por los que se podría estar visualizando, uno de los tantos peligros eminentes que se desarrollarían en los flancos del Volcán, afectando a comunidades y sectores aledaños, como es el caso de lahares.

Los lahares son avalanchas de material compuesto por roca volcánica, material sedimentario, agua y escombros. El daño y destrucción que los mismos pueda producir dependerá de la cantidad de agua y material con el que disponga el lahar.

Sin embargo, los problemas como la misma afectación que deja la furia y velocidad descontrolada de un lahar, no se encuentran tan alejados de la realidad,pues dicho evento ha venido desarrollándose y afectando el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo.

El área de afectación del lahar en estudio es de aproximadamente las 275 Ha con perímetro de 10.885 Km, dejando varias zonas afectadas a su paso y un descomunal daño.

Con un sistema de aeronaves no pilotadas conocido como dron se realizará un levantamiento fotogramétrico y mapeo, permitiendo identificar cuáles fueron las causas que originaron el evento producido en ese lado del edificio volcánico y así evaluar los efectos.

El estudio permitirá obtener una visión diferente ante el comportamiento del coloso, razones por las cuales se ha decidido realizar dicha investigación. Esperando concientizar a las personas que se encuentran viviendo en comunidades cercanas a las faldas del edificio volcánico. Explicarles el cómo y por qué de dicho evento natural a las comunidades y cuan riesgoso puede llegar a ser, de igual manera, llegar a plantearse una idea de la probabilidad ante otro evento similar en el área.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la afectación por flujos de lodo y escombros (lahares), al Sur-Este del Volcán Chimborazo, mediante la realización de un ortomosaico en comparativa con imágenes satelitales anteriores.

1.3.1.1 Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento fotogramétrico a lo largo de la Quebrada Yambo Rumi ubicada al Sur-Este del Volcán Chimborazo.

- Determinar las causas que originaron el desplazamiento de los lahares (flujos de lodos y escombros).

- Diagnosticar el desastre que causaron los lahares en la Comunidad Santa Lucía de Chuquipogyo; al Sur-Este del Volcán Chimborazo en el Cantón Guano.

1.4 UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

El Volcán Chimborazo, se encuentra localizado en la parte Norte de los Andes, sobre la Cordillera Occidental, en el Sur de ésta. Situado a ~6.268 m.s.n.m., siendo el punto más alto de la superficie terrestre a unos 150 km del Sur de Quito y a 145 km de Guayaquil. (Paca y Gavilánez, 2020)

El estudio se ubica en el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo, que abarca un área de afectación de 275 Ha y un perímetro de 10.885 Km aproximadamente (figura 1; y tabla 1).

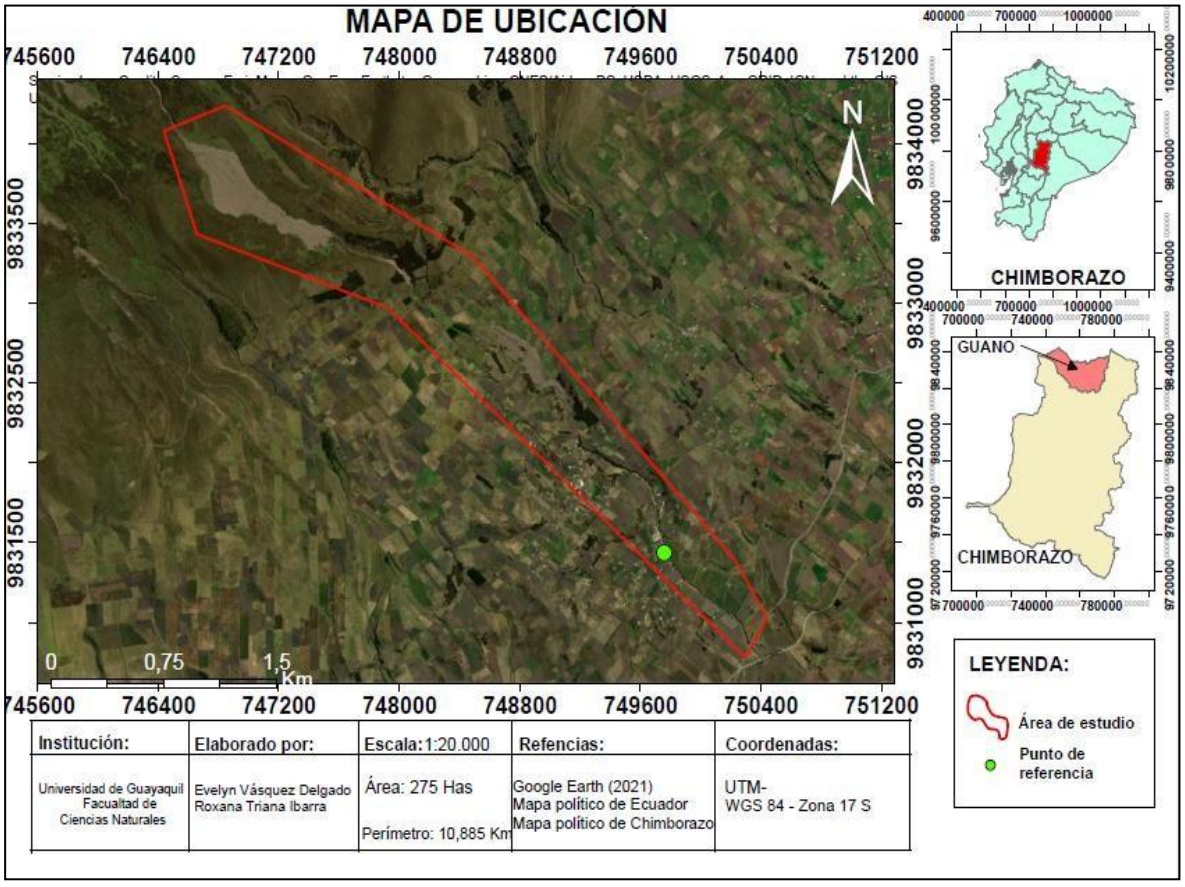

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

Vértices	X	Y
1	747338,25	9833144,8
2	748356,12	9832352,2
3	749253,92	9831707,1
4	749936,77	9831040,4
5	750160,31	9831192,1
6	750069,09	9831333,6
7	749946,65	9831531,9
8	749862,82	9831718,6
9	749530,97	9832149,6
10	749294,30	9832370,1
11	748975,74	9832805,9
12	748434,99	9833005,5
13	748161,92	9833414,3
14	747519,72	9833676,4
15	747338,25	9833144,8

Tabla 1. Google Earth (2021) Coordenadas del polígono del área estudio.

1.4.1 ACCESO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El acceso al área de estudio es desde el cantón Riobamba, capital de la provincia de Chimborazo, hacia el cantón Guano que se toma unos 16 minutos a lo largo de la carretera Riobamba-Guano a una distancia aproximada de 10.3 km, siendo una vía de primer orden con asfaltado.

Después desde el cantón Guano se toma una entrada a la Comunidad de Santa Lucía de Chuquipogyo, mediante la carretera de asfalto de segundo orden, Guano-San Andrés, a una distancia aproximada de 18,51 Km, ya que el evento laharítico está localizado en esa comunidad rural perteneciente a la Parroquia San Andrés del cantón.

El ingreso directo a la comunidad es una vía de tercer orden compuesta de lastrado y tierra que desde Riobamba marca aproximadamente 28,81 Km de distancia hasta llegara la zona de estudio (figura 2).

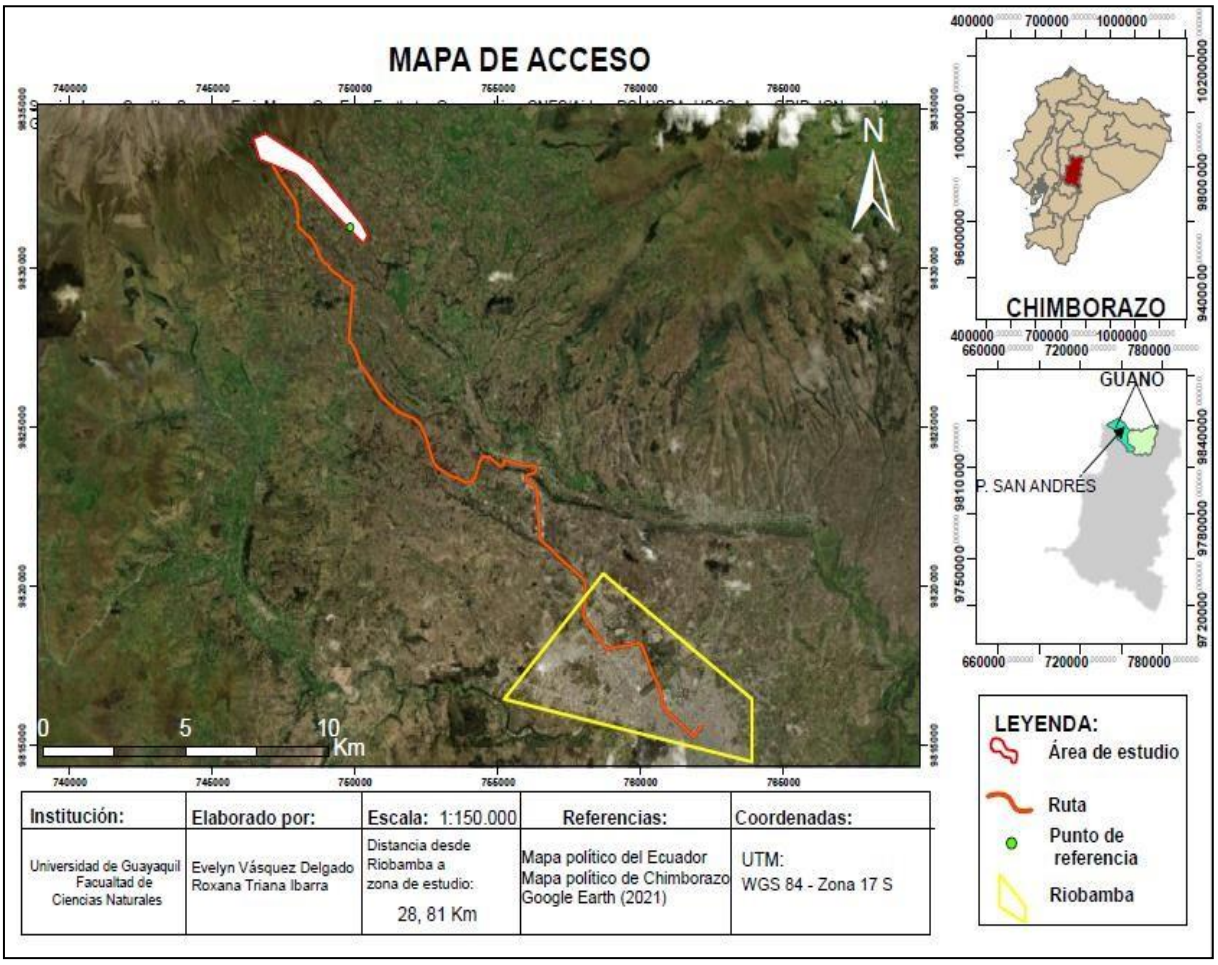

Figura 2. Mapa de acceso al área de estudio.

1.5 ACTIVIDAD DE LA POBLACIÓN

La población que se ubica a las faldas del Chimborazo, en el Flanco Sureste; en donde se encuentran ciertas comunidades, entre ellas: la comunidad Santa Lucía de Chuquipogyo de la Parroquia San Andrés perteneciente al cantón Guano, provincia de Chimborazo.

Las familias de la Parroquia San Andrés para sustentar sus necesidades se dedican a la agricultura; siendo un 34.51%, cultivando y cosechando productos como papas, habas, maíz, quinua, cebada y en un 50.37% aproximadamente a la crianza de animales para la producción de leche; es decir, a actividades pecuarias. En menor medida, un 15.12%, la población se dedica a la construcción de edificaciones y a la elaboración de artesanías como el tejido de artículos de lana; además del sector público y privado. (PDOT, San Andrés, 2014)

Las personas de la Comunidad Santa Lucía de Chuquipogyo que se asientan en el área de estudio, se dedican a las actividades antes mencionadas; comercializando sus productos tanto dentro como fuera de la localidad.

1.5.1 USO Y COBERTURA DE SUELO

El suelo es utilizado con fines de ganadería, agricultura y en efecto resulta rentable para la explotación del mismo, pues posee material pétreo (áridos), tales como: tobas, piedra pómez y dacitas, material que va con destino a construcción de obra civil. (Meléndrez, 2014)

La superficie del terreno se ve expuesto a altas cantidades de agroquímicos los mismos que mantienen los cultivos en perfectas condiciones, de la misma manera se ve expuesto a actividades como la labranza y el constante mantenimiento ya sea manual o con maquinarias, para mantenerlo en óptimas condiciones. El lugar se ve fuertemente afectado por lluvias intensas las que provocan la desertificación de varias zonas del cantón Guano, fenómeno que se da dos veces al año. (Meléndrez, 2014)

El cantón Guano tiene un aproximado del 45% del suelo afectado por algún proceso de degradación, afectando la presencia de flora y fauna nativa, provocando el desequilibrio del ciclo hidrológico, la producción de alimentos y la producción maderera. (Meléndrez, 2014, pag.43)

1.6 CLIMA

En la provincia de Chimborazo, los vientos se encuentran re-direccionados en base a la época del año; en verano toman direcciones que van de Sur a Norte a diferencia de épocas como en invierno, en donde se tienen vientos con dirección Suroeste a Noreste.

El clima ecuatorial meso térmico semihúmedo es característico por presentar precipitaciones anuales, variando entre los ~550 mm a ~2.000 mm, comprendiendo

los meses de febrero-mayo y de octubre-noviembre (PDOT, 2015), meses en los que hay mayor aporte de precipitación en el cantón, con temperaturas que oscilan entre 10°C a 12°C A 3000 m de altura; mientras que el clima Ecuatorial meso térmico seco, se encuentra variando con temperaturas anuales de 12°C a 22°C y 550 mm de precipitación anual. (Meléndrez, 2014, pág. 38)
Las temperaturas en las que se encuentra oscilando el clima, va desde los 18°C, llegando a alcanzar temperaturas de hasta 4°C. (GADPR, 2012,2021, pág. 14)

Los climas del Cantón Guano varían entre nivel frío seco de alta montaña, los cuales están a una altitud de 400 m; clima ecuatorial de alta montaña determinado por la altitud, estableciendo así la temperatura y las precipitaciones, siendo estas muy comunes ante la contaminación que se genera en la zona. (Meléndrez, 2014, pág. 37)

Los meses en los que se tiene una mayor precipitación oscilan entre marzo y mayo, teniendo así menos precipitaciones entre los meses de julio-agosto respectivamente. (Arce, 2015, pág. 55)

El clima está influenciado por varios factores, entre ellos: temperatura, nubosidad, evaporación, humedad del aire y presión atmosférica; causando casos de insolación a las personas que visitan el sector. (Pourrut, 1983, pág. 11)

1.7 DESGLACIACIÓN

El término desglaciación es atribuido al retroceso de los glaciares; los cuales se han venido desarrollando por procesos del cambio climático, calentamiento global y efecto invernadero; que con el inicio de la era industrial han empeorado la situación de los mismos.

1.7.1 Desglaciación del Volcán

El Volcán Chimborazo ha sufrido una transición producto del cambio climático que aqueja a la población mundial, retroceso que diariamente ha ocurrido en los 22 glaciares del coloso.

Los glaciares que componen al Volcán Chimborazo son: Spruce, Abraspungo, Hans Meyer, Reschreiter, Carlos Zambrano, Theodoro Wolf, García Moreno, Chuquipogyo, Boussignault, Nicolás Martínez, S/N, Debris o Escombros, Carlos Pinto, Suedost, Suedsuedost, Kleiner Sued, Grosser Sued, Totorillas, Thielmanin, Stuebel, Lea Hearn, Reiss. (Cáceres, 2010 y Clapperton, 1990)

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en sus estudios realizados revelaron que desde el año de 1962 se redujo en un 69% la superficie glaciar al año 2016, es decir, que en un rango de 54 años hubo un retroceso considerable de los glaciares del volcán Chimborazo. (IG-EPN, 2021)

Según Bolívar Cáceres especialista en glaciares, las principales causas de tal afectación fueron atribuidas al calentamiento global y a la ceniza del volcán Tungurahua. (El Comercio, 2021)

El Instituto reportó que el 2015 fue el año más caliente en el registro que va del 2005-2015, año en el cual se vio afectado por el Fenómeno del Niño, presente en el país desde el mes de junio de ese año, además de la ceniza del Tungurahua, amplificando los efectos climáticos sobre los glaciares. Logrando de tal manera que la superficie nieve-hielo se vea afectada acelerando el proceso de deshielo de los mismos. (IG-EPN, 2021)

El Volcán Chimborazo no ha tenido ningún incremento anormal en su actividad interna registrado, sin embargo, la ceniza del Volcán Tungurahua, el cual se encuentra a 40 km aproximadamente del Occidente del Chimborazo, pudo haberlo afectado, produciendo un albedo (porcentaje de radiación que el glaciar refleja), el cual ocurrió en el mes de noviembre de ese año, un mes antes de los primeros lahares. (IG-EPN, 2021)

Sin embargo, todos estos eventos de deshielo aportaron para que se produjeran los deslizamientos de escombros, los cuales comenzaron a desarrollarse en el mes de octubre de 2015 en 8 de las comunidades asentadas en las faldas del Volcán, siendo la comunidad de Santa Lucía de Chuquipogyo la más afectada; estimándose un aproximado de 10 min, para que el lahar llegase a la comunidad.

Estudios y sobrevuelos realizados por el INAMHI, determinaron que la proveniencia del material era del Glaciar N° 13, llamado Debris o Escombros, siendo así que en 2015 se captaron altas temperaturas llegando a sobrepasar los 25ºC; atribuyendo de tal manera una de las posibles consecuencias del deshielo de los lahares, el alza descontrolada de calor.

1.8 GEOMORFOLOGÍA

El relieve de la zona de estudio es muy característico de la Sierra, encontrándose constituida por mesetas, colinas, valles, depresiones u otras desigualdades en la superficie.

El cantón Guano perteneciente a la provincia de Chimborazo, posee un característico relieve montañoso; se encuentra siendo fuente principal de severas erosiones, trayendo consigo afectaciones a cultivos, ganadería, vías, agua potable, etc., a comunidades dedicadas a esta labor, dejando un área muy susceptible ante posibles deslizamientos de tierra.

Aunque este proceso es un ciclo natural, el relieve desproporcionado de la zona aumenta en gran medida la erosión, que con el pasar del tiempo se vuelve más

notorio; proceso que se acelera a causa de intensas lluvias, dirección del viento, movimiento del agua en el suelo, etc.

La geomorfología de la zona, es apta para que se produzcan dichos lahares, los cuales van movilizados en dependencia a la estructura del cono volcánico, pendiente y cantidad de material a disposición.

Las pendientes que presenta el cantón Guano varían entre muy bajas, bajas, moderadas, altas y muy altas; Las pendientes muy bajas oscilan entre los 0° a 8.5°, constituyendo la mayor parte del cantón, alrededor de 18.499 ha; las pendientes bajas oscilan entre 8.6° y 16.7° los cuales están dispersos en el cantón con cobertura de 11.244 Ha; mientras que las pendientes moderadas varían entre los 16.8° y 26.6° con una cobertura de terreno de 8.827 Ha también dispersas en el cantón. Las pendientes altas con cobertura de 6810ha con 26.78 y 45°; mientras que las pendientes muy altas con 45° y con cobertura de tan solo 501ha. (Arce, 2015, pág. 59)

1.9 HIDROGRAFÍA

El derretimiento de los casquetes del Chimborazo da origen a diversos afluentes que alimentan la red fluvial de la microcuenca del Río Guano, que atraviesa el volcán de Este a Oeste.

Se generan las descargas de quebradas que poseen recorrido corto y pendientes pronunciadas como la Quebrada Yambo Rumi o también llamada Chilcachaca; la cual atraviesa el evento natural en estudio. Además, a sus alrededores las Quebradas de primer, segundo y tercer orden como las Chuquipogyo, Muruchaca, Seca, Abras, Rocha Rumipamba, Quishquiña, Pungupala, Apontoda, Balsacón; (Segovia, 2017) que en las faldas de volcán crean un drenaje tipo dendrítico y forman parte de la red hidrográfica del Río Guano, siendo contribuyente de la subcuenca del Río Chambo y terminando en la Cuenca del Río Pastaza.

El Río Guano tiene un recorrido aproximado de 30,05 km, que al igual que el Río Chimborazo se encuentra en el lado Oeste del Volcán con sus tributarios. Abasteciendo del recurso hídrico a los cantones Riobamba, Guano y las parroquias San Isidro, San Gerardo, Cubijíes, La Matriz y El Rosario; ya que se encuentra presente en el sistema acuífero.

Los límites geológicos del río son; al Oeste los volcánicos Sicalpa, la cual es capa impermeable, al Este se encuentra parte del Río Guano y el Río Chambo que también atraviesa su parte Sureste; al Norte están las Lavas de los volcanes Chimborazo y Carihuairazo y en la parte Sur el Río Chibunga. (Tipán, 2018)

Se presenta un déficit en el aporte de agua a la población ya que el caudal del Río Guano va disminuyendo a medida que las altitudes van bajando; con un aproximado de 4.4 l/s//km^2**.** (Meléndrez, 2014)

Los principales causantes del déficit hídrico son las actividades antrópicas de alta demanda como la agricultura, crianza de ganado, actividades industriales artesanales presentes en la población; además de las aguas residuales domésticas que crean efluentes sin ningún tratamiento, descargadas en el mismo.(Meléndrez, 2014)

1.10 ANTECEDENTES

Gavilánez y Paca (2020), mencionaron en su estudio que ante el riesgo que presenta la Comunidad de Santa Lucía de Chuquipogyo de la Parroquia San Andrés del Cantón Guano a eventualidades post-volcánicas, como lo son los lahares o deslizamientos de escombros; se realizó un estudio para determinar zonas seguras mediante la realización de mapas de riesgos, que tomó como base el mapa de peligros volcánicos asociados al Volcán Chimborazo. Además del uso de líneas base y el mapeo de las zonas seguras.

La utilización de herramientas como ArcGis 10.6.1, Mapas: Textura de Suelo, Vial, Recorrido del Flujo del Lahar del 2016, Recursos, Pendientes e Imágenes Satelitales tomadas de Google Earth; aplicados a las extensiones de las zonas seguras, dio como resultado el Mapa de Delimitación de zonas seguras ante el flujo de lahares por derretimiento del glaciar del Volcán Chimborazo en la comunidad Santa Lucía de Chuquipogyo. (Paca y Gavilánez, 2020)

Además, con la información bibliográfica obtenida se pudo demostrar que se vio afectada y que es vulnerable a nuevos eventos del mismo tipo, esto debido a que la población está asentada muy cerca de los lechos de la Quebrada Yambo Rumi que se ha visto afectada sus viviendas, productividad ganadera y agrícola, sistema de agua y vías de acceso. (Paca y Gavilánez, 2020)

Al mapear las zonas seguras de la Comunidad se puso identificar puntos estratégicos para albergar a las personas en el caso nuevos deslizamientos de flujos de escombros, rutas de evacuación, sitios de encuentro; además con las imágenes de Google Earth se pudo observar los sectores afectados, la distancia entre la zona segura y la ruta del flujo del lahar. (Paca y Gavilánez, 2020)

La afectación se encuentra del lado Este de la Comunidad, cubriendo un 49% de la superficie. Se determinó que son lahares secundarios resultado de las precipitaciones frecuentes en la zona, que al caer en los casquetes glaciares derriten las capas superficiales del mismo y que con el cambio climático sederriten desapareciendo totalmente u ocasionan constantemente este tipo deflujos; debido a que descienden por las pendientes, arrastrando todo tipo de material volcánico. (Paca y Gavilánez, 2020)

El colapso de una laguna originada por el deshielo del Glaciar N° 13, provocó el deslizamiento de lahares en la parte Sureste del Volcán Chimborazo; a lo largo de la Quebrada Yambo Rumi de la Comunidad Santa Lucía de Chuquipogyo del Cantón Guano. (Paca y Gavilánez, 2020)

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), (2015); llevó a cabo un estudio en diciembre para salvaguardar el bienestar de la población que vive a

sus alrededores, por el funcionario MSc. Bolívar Cáceres Correa con la ayuda de la Secretaría de Riesgos de la Provincia de Chimborazo y la colaboración de la brigada de aviación del ejército ecuatoriano, realizó un informe en donde se explicó que se llevó a cabo un sobrevuelo en el Flanco Sureste; donde se observó un retroceso de las lenguas glaciares sin lagunas, debido al déficit de lluvias y elevación isotérmica 0°C por el incremento de la temperatura del aire (figura 3).

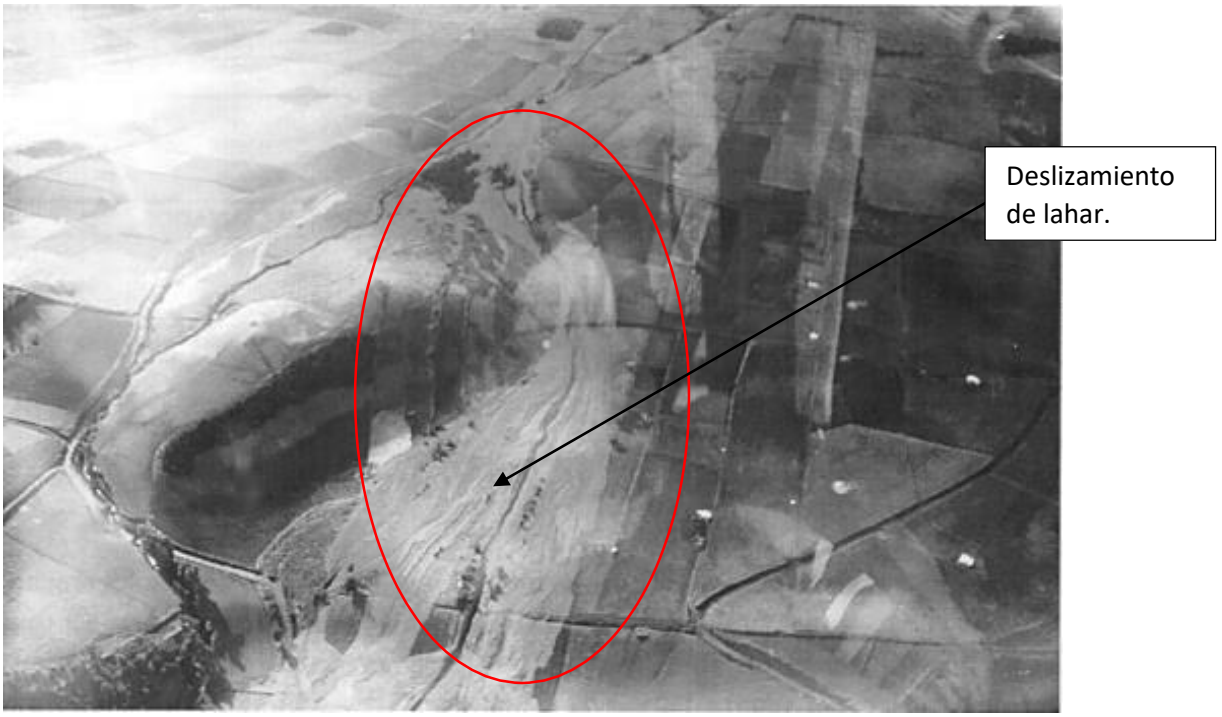

Figura 3. INAMHI (2021), Vista área de los deslizamientos en el Sector Santa Lucía deChuquipogyo, Quebrada Yambo Rumi ruta del sobrevuelo realizada el día 23/12/2015. (http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Lotaip/2016/Mayo/n/DO-634- 2015_MAISINCHO_LUIS.pdf)

A pesar de las dificultades suscitadas por el clima, por la presencia de fuertes vientos y neblina, el sobrevuelo prosiguió por el Flanco Oeste donde se constató la existencia de hielo muerto en el sector ‘El Arenal’; sin lagunas. (INAMHI, 2015)

Las morrenas tipo circo podrían provocar un represamiento del agua de derretimiento de los glaciares, dando lugar a lagunas. Lo cual sería de riesgo para el Flanco Suroeste que abarca las zonas de Chuquipogyo y la carretera que dirige a Guaranda (figura 4). (INAMHI, 2015)

Figura 4. INAMHI (2021), Glaciar Chimborazo, zona de hielo muerto con configuración para formación de lagunas glaciares. (http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Lotaip/2016/Mayo/n/DO- 634-2015_MAISINCHO_LUIS.pdf)

Debido a eventos naturales como los deslizamientos de lodo y escombros o lahares en el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo. El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional realizó un reconocimiento de campo en la localidad que atravesó la Comunidad Santa Lucía de Chuquipogyo con la colaboración de su presidente, Sr. Gustavo Paca y con la secretaria de Gestión de Riesgos a cargo del Ing. Biron Suqui para corroborar la afectación y de esta manera determinar cuál fue el origen. (IG-EPN, 2015)

El material sigue su paso por la quebrada cercana a la Comunidad Santa Lucía de Chuquipogyo, causando preocupación entre sus pobladores. Una vez terminado el reconocimiento, se dio a conocer que la fusión de los casquetes no es debido a la actividad volcánica y se dieron todas las recomendaciones para salvaguardar la seguridad de las personas que viven en el sitio y sepan cómo reaccionar ante este tipo de eventos naturales. (IG-EPN, 2015)

El recorrido prosiguió por las carreteras ubicadas al Noroeste, Suroeste y Oeste, donde se pudo comprobar, que también ocurrieron lahares de igual o mayor magnitud; presuntamente con el mismo origen, suceso corroborado por el personal de la Reserva de Producción Faunística del Chimborazo ubicado en el Flanco Oeste del volcán (figura 6). (IG-EPN, 2015)

Figura 5. E. Telenchana-Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2021), Parte alta dondese genera el derretimiento de los glaciares. (https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1241- reconocimiento-en-campo-de-los-flujos-de-lodo-y-deslizamientos-producidos-en-las-faldas-del-volcan- chimborazo-comunidad-santa-lucia-de-chuquipogyo)

Figura 6. E. Telenchana-Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2021), Parte Lado Occidental del Volcán Chimborazo, donde se aprecian los deslizamientos y flujos de lodo. (https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1241-reconocimiento-en-campo-de-los-flujos-de-lodo-y-deslizamientos-producidos-en-las-faldas-del-volcan-chimborazo-comunidad-santa-lucia-de-chuquipogyo)

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Lahares

(Rodolfo y Arguden, 1991, como se citó en Barnés, 2015, p. 3) La palabra lahar procede de Indonesia, el cual se utilizaba por los nativos del lugar para hacer referencia a las grandes cantidades de colada de lava que se desplazaban pendiente abajo de un volcán.

Barnés (2015, p. 2) Los lahares son flujos de materiales volcánicos generados cuando el agua meteórica, la de escorrentía superficial, la de deshielo parcial de glaciares, fusión de nieve o la acumulada en algunos cráteres formando lagos volcánicos que se mezclan con estos materiales.

Estos materiales son desplazados pendientes abajo y por los diversos cauces fluviales los cuales tienen conexiones directas a las cumbres del volcán.

Según Vinicio, los flujos que se mezclan con agua corren pendiente abajo, mezcla que es similar al concreto húmedo, entre los materiales que componen al flujo de lodo volcánico constan los bloques de lava, los cuales poseen un tamaño mucho mayor al tamaño de composición normal de un lodo. (Vinicio, 2000, p. 9)

La velocidad de los lahares dependerá tanto de volumen, estructura volcánica, pendiente y viscosidad del lodo con el cual se manejen, en dependencia de todos estos factores, este evento natural puede llegar alcanzar los 50 km/h y en casos mucho más favorables llegan a obtener los 100 Km/h. (Vinicio, 2000)

2.1.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS LAHARES SEGÚN SU ORIGEN

Los lahares se dividen en primarios y secundarios, dicha división dependerá principalmente si son a causa de un proceso erupción volcánico directo o indirecto, producido en la zona.

2.1.1.1.1 Los lahares primarios o Syneruptivos.

Son aquellos que se atribuyen a una acción directa por orígenes eruptivos, cuyo proceso se basa en el derretimiento de grandes cantidades de hielo y de la nieve que se encuentra en los glaciares; a causa de material piroclástico que surge a la superficie.

La combinación de material piroclástico, sedimentación y agua, forman lahares que caen producto de la gravedad por las pendientes de los edificios volcánicos. (Vallance, 2005; Vallance y Iverson, 2015)

Este tipo de lahares tienden a ser muy voluminosos oscilando entre los 107 a 109 m^3, registrando altas velocidades >20 m/s. Sus caudales máximos oscilan entre 103 - 105 m^3/s. (Mothes y Vallance, 2015)

El conjunto de características antes mencionadas, hacen que este tipo de lahares tengan la capacidad de lograr grandes velocidades, incluso alcanzar los cientos de kilómetros (figura 7).

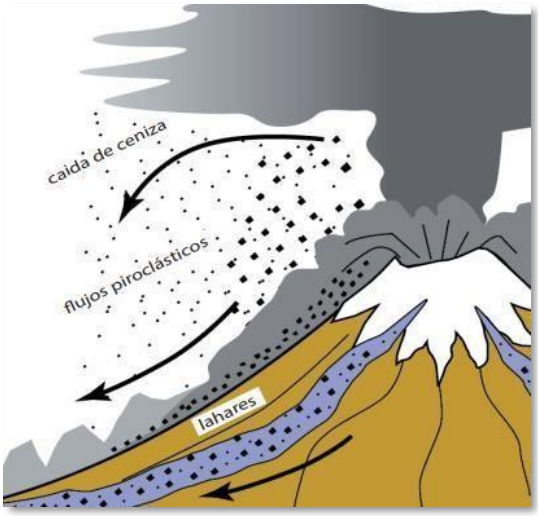

Figura 7. Almeida; Sierra y Andrade, (2017). Modelo esquemático de la generación de lahares primarios durante una erupción explosiva que produce fusión del glaciar.

2.1.1.1.2 Lahares Secundarios o Posteruptivos.

Este tipo de lahar comprende aquellos generados por precipitaciones; el material depositado producto de erupciones es retirado a causa de fuertes lluvias, son eventos que se dan en menor magnitud en comparación a los lahares primarios, los cuales son relativamente pequeños. (IGM, 2021; Saltos, 2017)

El peligro de estos lahares radica principalmente en lo impredecible de su tamaño y recurrencia, pues dependerá del tiempo, intensidad y cuan acumulada queden las lluvias, lo cual tampoco asegura que después de la erupción primaria se generen, pueden llegar a durar semanas o incluso meses para que se den tales eventos. (IG-EPN, 2021)

Su volumen oscila entre 104 a 106 m^3, con descargas que van de 102 a 103 m^3/s y distancias de recorrido menores a 10 km. (Mothes y Vallance, 2015)

Para evitar grandes estragos, se realizan constantes monitoreos, lo que conlleva a considerarlos una amenaza constante y complicados de predecir (figura 8). (Vallence y Iverson, 2005)

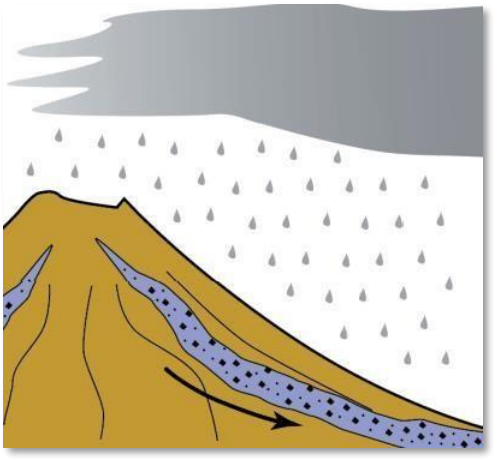

Figura 8. Almeida; Sierra y Andrade, (2017). Modelo de generación de lahares secundarios por intensas lluvias que removilizan material piroclástico depositado previamente.

Los lahares secundarios se dan también en menos frecuencia, estos se producen a causa de rupturas de lagos o represamientos, lo cual provoca que se remueva el material volcanoclástico depositado con anterioridad, siendo así mayores en volumen que los provocados por precipitaciones. (Almeida; Sierra y Andrade, 2017)

2.1.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS LAHARES SEGÚN SUS COMPONENTES

Los lahares tienden a tener cambios en dependencia del tiempo, distribución del tamaño de los sedimentos, agua y cantidad de material que lleve consigo a lo largo de su trayecto.

El porcentaje de sedimento con el que se llega a incorporar un lahar, regirá en la clasificación del tipo de flujo; los cuales se dividen en flujos de escombros con un porcentaje mayor al 60% de volumen, de sedimentos o flujos hiperconcentrados de 20 a 60% de volumen de sedimentos. (Vallence y Iverson, 2015)

2.1.1.2.1 Flujos de escombros

Son aquellos que poseen partículas desde arcillas hasta grandes bloques, caracterizándose por mezclarse uniformemente las fases liquidas y sólidas, siendo muy similar en consistencia al concreto acompañado de una viscosidad alta. (Almeida; Sierra y Andrade, 2017)

Estos son una mezcla saturada en agua con gran contenido de sedimentos, la fracción sólida y liquida son aproximadamente iguales en volumen, teniendo una mayor cantidad de la fracción sólida en un 60%. (Saltos, 2017, p.12, como se citó en, Vallance y Iverson, 2015; Mothes y Vallance).

Los flujos de escombros suelen ser de característica masiva, material totalmente heterogéneo y son menos erosivos en comparación a losflujos hiperconcentrados que poseen mayor cantidad de agua (Pierson y Costa, 1987; Vallance y Iverson, 2015)

2.1.1.2.2 Flujos hiperconcentrados

Son aquellos que poseen clastos de tamaño arena gruesa, grava y bloques, caracterizándose por ser una mezcla no uniforme constituida de agua y sedimento, tal mezcla a diferencia de los flujos de escombros se encuentra formados por una mayor cantidad de agua; la consistencia del material es similar al de aceite de motor sucio (Vallance, 2005).

Este tipo de flujo no tiene la capacidad de movilizar grandes bloques los cuales caen por acción de la gravedad al momento de desprenderse el material, el transporte dependerá de la cantidad de flujo con el que se disponga.(Fagents y Baloga, 2006).

2.2 CENIZA VOLCÁNICA

Se define ceniza volcánica aquel material piroclástico menor de 2mm que es expulsada del volcán, el mismo que empieza un en proceso eruptivo. (IG-EPN, 2015)

2.2.1 Caída de ceniza

La ceniza de partícula fina tiene un tamaño similar a la de los granos de harina de trigo, la de tamaño medio a granos de sal, mientras que la de tamaño grueso tiene un tamaño similar al tamaño de los granos de azúcar. (IG-EPN, 2015)

La ceniza volcánica tiende a recorrer largas distancias, esto en dependencia del tamaño de las partículas, las cuales entre más gruesas y por efecto de la gravedad se depositarán en las faldas del Volcán. (IG-EPN, 2015)

CAPÍTULO III

3. MARCO GEOLÓGICO

3.1 Geología Regional

El Ecuador se encuentra ubicado en el hemisferio occidental, específicamente al Noroeste de Sur América (IGM, 2010, pág. 5); limitando al Norte con Colombia, al Sur y Este con Perú y al Oeste con el Océano Pacífico.
Ecuador está dividido en cuatro regiones: Costa, Sierra, Amazonía e Insular.

La Región Costa, comprende la parte Occidental del país, constituida por extensas llanuras bajas, cubierto por sedimentos del Terciario y Cuaternario; cruzado por cordilleras de baja altura (200 a 600m), como los Cerros de Masvale, Taura y Boliche al sur, Chongón-Colonche en la parte Centro, Jama y Cuaque al Norte (Núnez, 2003, pág. 24)

La Región Sierra, comprende la parte intermedia del Ecuador, constituida por los Andes, emplazándose a lo largo del país con aproximadamente 100 km y con alturas que llegan sobre los 6000 m, tanto para la parte norte como para la central y con 4000 m al sur. (Núñez, 2003, pág. 24)

Se divide en dos cadenas montañosas: la Cordillera Occidental y la Cordillera Real u Oriental, así como una parte intermedia denominada valle o Callejón Interandino; que dio apertura a la formación de valles o cuencas intramontañosas con alturas que rodean los 2.500 a 3.000 m.s.n.m., en los cuales se depositó material volcánico del Cenozoico, depósitos sedimentarios de origen continental, etc. (Núñez, 2003, págs. 24-27)

En estas cordilleras prevalece la formación de dos filas de volcanes con dinamismo explosivo. (IGM, 2010, pág. 7)

El Oriente Ecuatoriano se caracteriza, por tener montañas con pendientes muy pronunciadas y espesa vegetación de difícil acceso.

El Oriente se divide en dos regiones: Cuenca Amazónica superior o Cuenca Oriental conformada por la Cuenca Napo y la Plataforma de Tiputini al Norte y la Cuenca Pastaza al Sur, caracterizada por ser un área semi- accidentada con 800 a 2.000 m.s.n.m. (Núñez, 2003)

La zona Subandina comprende las estribaciones orientales de la Cordillera Real con 2.000 m, montañas con pendientes muy pronunciadas, difícil acceso, lo constituye el levantamiento Napo, la Cordillera de Lumbaquí y Galeras al Norte y las cordilleras de Cutucú y El Cóndor al Sur, en los cuales se hayan expuestos tanto sedimentos Mesozoicos cabalgados como plegados (Núñez, 2003, pág. 27)

La Región Insular, se forma por trece islas; las mismas que están ubicadas aproximadamente de 900 a 1.200 km del continente, constituidas por volcanes que emergen del mar con laderas suaves (figura 9). (IGM, 2010, pág. 7)

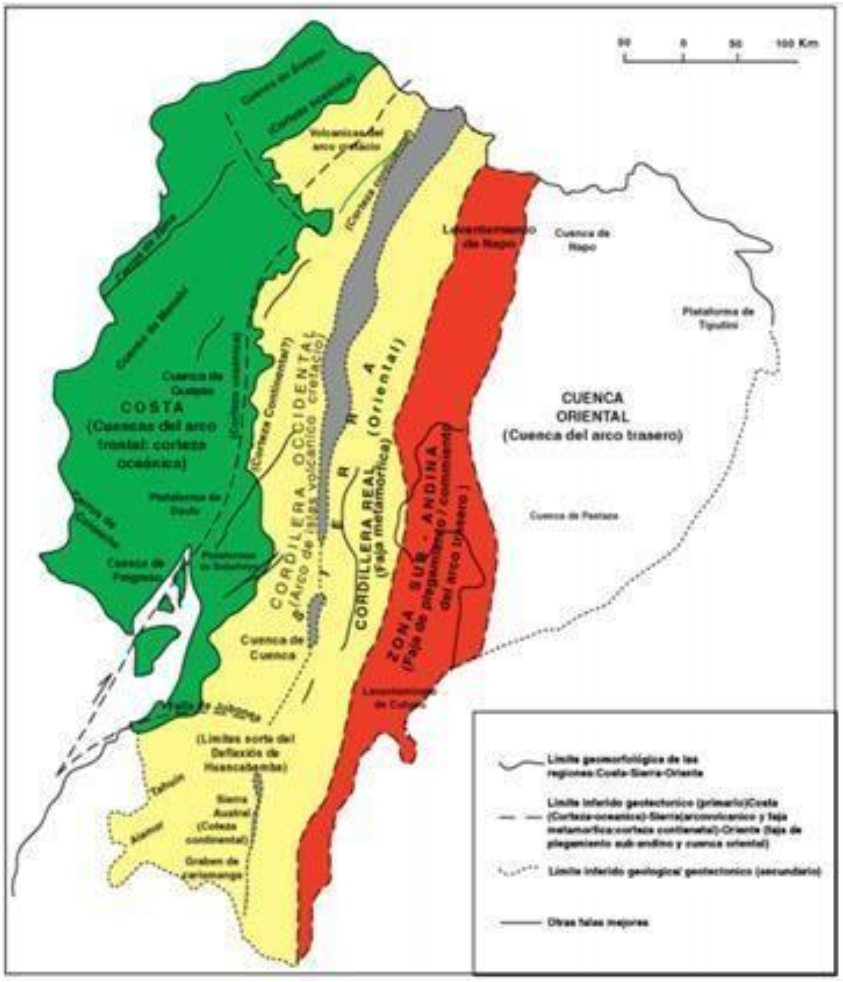

Figura 9. Marco Geomorfológico del Ecuador. (Baldock, 1982, como se citó en Núñez, 2003). https://pdfcookie.com/documents/pdfcookie-rv3187rex32d

La Región Sierra o también llamada Andes se construye de depósitos de origen vulcano-sedimentario que datan edad reciente, Cuaternario.

La Cordillera Occidental en la parte centro-norte está constituida por la Formación Piñón-Pallatanga de edad Cretácica Temprana-Tardía, la cual se considera un basamento oceánico que se adhiere a territorio continental mediante la sutura Calacalí-Pujilí-Palenque del Campanario; compuesta por rocas del Cretácico Temprano-Tardío como turbiditas marinas y rocas volcánicas oceánicas; además de secuencia de rocas vulcanosedimentarias formadas en el arco insular del Paleoceno. (Barba, 2006)

El basamento volcánico de la Cordillera Occidental según Vallejo, et. al, en 2007, está constituido por la Formación Pallatanga y la Unidad San Juan, de naturaleza alóctona; compuestas por cristales de rocas máficas y ultramáficas que con análisis geoquímicos datan de las siguientes edades: la hornablenda de plateau acrecionado de ~84.69±2.22 Ma; mientras que en rocas oceánicas del basamento Piñón data de ~88±1.6 Ma, el circón de ~87.1±1.66 Ma y demás secuencias del plateau oceánico en Colombia y el Caribe con edades de ~92-88 Ma.

Se considera que tanto el Plateau Oceánico de la Costa ecuatoriana y la Cordillera Occidental derivan su construcción del Plateau de la región del Caribe y Colombia; debido a su subducción resultaron las secuencias de arco de isla interoceánica de edad ~85-72 Ma como el Granito de Pujilí y lavas del Grupo Río Cala que coincide con el arco oceánico de la Costa de Ecuador y se relacionan con Arco Cretácico del Caribe. (Vallejo, et. al., 2007)

La Unidad Macuchi, de naturaleza autóctona, se localiza al borde la Cordillera Occidental, y limita al lado Este con la Falla Regional Chimbo-Toachi; está formada por rocas volcánicas y sedimentarias que fueron depositadas en arcos de islas, se acrecionó durante el Eoceno Tardío que coincide con grandes tasas de exhumación y enfriamiento durante ~43-30 Ma de la Cordillera Real en donde se depositaron rocas siliciclásticas de la Formación Saguangal y Grupo Angamarca. (Salguero, 2017 y Vallejo et. al., 2007)

Núñez (2003) y Constantine (2017), establecieron que la zona Norte Volcánica, corresponde al frente volcánico ecuatoriano, en el cual consta de un arco de estratovolcanes activos e inactivos a partir del Plioceno Tardío hasta el presente con dirección Nornoreste-Sursuroeste. Desde el Norte con el Volcán Chiles que se encuentra limitando con Colombia hasta el Sur con Chimborazo, con longitud de aproximadamente 360 kilómetros, 30 a 40 kilómetros de ancho y con alturas de ~4.500 a ~5.000 metros; sin embargo, Chimborazo es el más alto, alcanzando los ~6.310 metros sobre el nivel de mar.

Núñez (2003), sugirió que los demás volcanes que se localizaron en esta zona están atravesados por un sistema de fallas y fracturas con dirección Noreste-Suroeste, las más grandes y profundas han logrado que el magma generado ascienda a la superficie; estos son el Carahuirazo, , Razayacu, Quilotoa, Illiniza, Almas Santas, Corazón, Guagua y Rucu Pichincha, Casitagua, Ninahuilca, Pululagua, Cotacachi, Cuicocha, Píllaro, Huanquillaro, Yanaurcu, Iguin, Cifazón, Cerro Negro de Mayasquer; entre otros de menor tamaño.

3.2 GEOLOGÍA LOCAL

3.2.1. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA ESTRUCTURA DEL VOLCÁN CHIMBORAZO

Barba (2006), observó que en el lado Oeste del Volcán se reflejaba la existencia del cono joven de lado occidental y en el lado Este un Volcán más viejo. Estudios posteriores indican la existencia de dos edificios de edad diferente en el cono joven occidental, que está sobreyaciendo discordantemente a uno más antiguo, que se lo denominó edifico basal; dado esto se definen la presencia de tres edificios volcánicos nombrados a continuación.

3.2.1.1 El Chimborazo I o Volcán de base

El edificio volcánico está distribuido de forma radial, con un relieve invertido sin observarse su base. Los depósitos de flujo de lava se localizan hacia el Sur y Sureste en gran extensión y al Norte, Noreste y Oeste en menor proporción; con esto se demuestra que en sus inicios existió en el lado Sureste en elVolcán la paleo cuenca geológica o Formación Riobamba que provocó que los flujos de lava se extendieran en grandes distancias, observándose de esta manera fuertemente erosionados a causa de los continuos avances de los glaciares y sepultados por morrenas y cangahua.

Los flujos de lava del Volcán están constituidos por rocas de cristales de plagioclasas y piroxenos. Estos forman depósitos de gran potencia y de corta extensión como el de loma Huañuna. El cono en una segunda fase de crecimiento alcanzó una altura de aproximadamente de 6.200 m.s.n.m con flujos de lava con rocas porfiríticas a afaníticas conformando estratificaciones homogéneas.

La inclinación es de ~ 10° en la parte inferior y en la parte superior con ~ 25° con radio de dos kilómetros con forma semicircular con carácter de caldera en la antigüedad, cuyo borde era de aproximadamente 5.400 m y 5.200 m. Siendo uno de sus constituyentes la secuencia de lavas El Castillo al lado Oeste del Volcán.

El lado Norte de la caldera ha sido eliminado por un deslizamiento de escombros pequeños que afectó al cono del Chimborazo III y parte del primero. Los flancos Noreste y Sur están constituidos por una cobertura glaciar gruesa, la cual no permite observar su borde al igual que en los flancos Este y Sureste (figura 10).

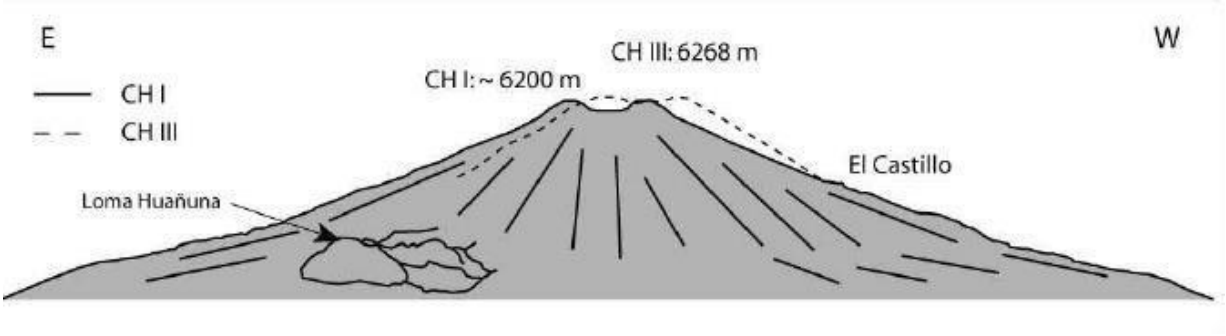

Figura 10. Barba (2006), Se observa la construcción del Edificio Basal (CH I) y el Edificio Joven Occidental (CH III).

3.2.1.2 Chimborazo II o Edificio Central

Luego de haber creado la caldera en la etapa inicial del Chimborazo, formando así su base, el vulcanismo del mismo se trasladó hacia el Este, lo que en la actualidad es la Cumbre Central o Politécnica; rellenada por flujos de lava en el lado Oeste. La cual provocó la constitución de un segundo volcán, CH II–A de aproximadamente 6.000 m.s.n.m., y en los lados Este, Sur, Noreste y Sureste se encuentran demás productos de lava con un espesor homogéneo, observado en la parte superior del Chimborazo I.

Después de la formación del edificio CH II-A, sobre lado Sureste se formó el CH II-B. Sus vestigios hoy en día forman la Cumbre Nicolás Martínez, donde probablemente se ubicó el cráter con altura de ~5700 m.s.n.m

En las partes distales tiene la misma inclinación que Chimborazo I y en el resto de su cono posee una pendiente de 10° a 12°, el flanco Noreste está formado por andesitas vidriosas; rocas que soportan grandes temperaturas, pero que se fracturan con facilidad y se han arrastrado pendiente abajo. Las lavas más antiguas han formado el corazón del volcán con rocas andesíticas de grano medioa fino, las cuales se manifiestan en los valles glaciares al Este y Sur (figura 11).

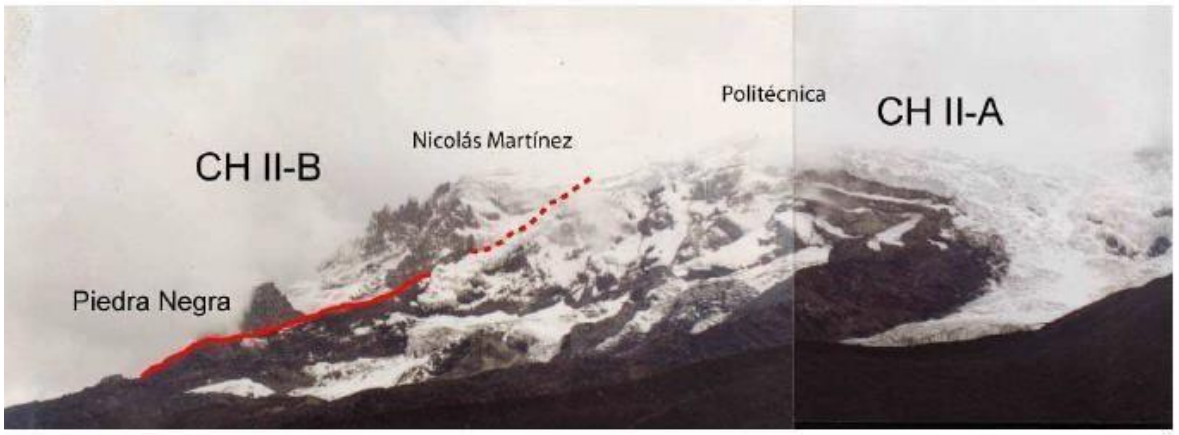

Figura 11. Barba (2006), Se observa al Chimborazo II, dividido en CH II- A y CH II – B. La línea roja presenta respectivamente el contacto geológico entre el edificio principal (Cumbre Politécnica) y uno pequeño sobre el Flanco Sureste (Cumbre Nicolás Martínez), tomando como referencia el espolón PiedraNegra.

3.2.1.3 Chimborazo III o Edificio Joven Occidental

Esta parte del Volcán es más visible a simple vista, y se puede decir que está constituido por flujos de escoria, caídas de trefas y flujos piroclásticos que le dan una forma simétrica de estrato-volcán con una altura ~ 6.268 m.s.n.m que hacia el Norte se encuentra partido por una caldera de avalancha abierta pequeña, también se observa el Glaciar de Spruce; el cual se haya hundido y sus paredes desplomadas por los cambios climáticos actuales.

La inclinación es de manera constante en todos sus flancos con unos 30° a 33° aproximadamente.

En la cumbre se puede observar un cráter formado por dos domos separados por una depresión leve, lo cuales están llenos de nieve y casquetes de hielo. La morfología actual del Volcán Chimborazo es de una extensa planicie formada por depósitos en la parte Occidental de piroclastos caídos por las cadenas eruptivas (Figura 12), (Barba, 2006)

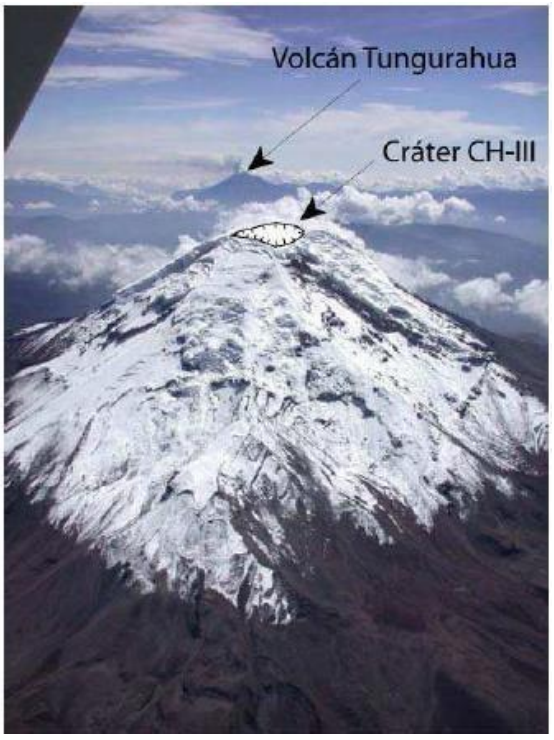

Figura 12. (Barba, 2006), Vista panorámica del Volcán Tungurahua y depresión del cráter del cono más joven (CH-III o Cumbre Whymper) del Volcán Chimborazo.

3.2.2. HISTORIA ERUPTIVA RECIENTE DEL VOLCÁN CHIMBORAZO

Como lo mencionaron Samaniego, et al., 2012, la última erupción del volcán Chimborazo se registró por el siglo V hasta finales del siglo VII. Se lo considera potencialmente activo por la amenaza inminente a los sectores de Riobamba, Guano y Ambato con un promedio de erupción con intervalos de cada 1000 años.

Lo más probable es que por los milenios pasados su próxima erupción sea de magnitud leve del tipo vulcaniano o freatomagmáticas con la expulsión de magma tipo andesítico por el deshielo de sus casquetes glaciares mezclándose con el magma; descubrimientos realizados por el grupo franco-suizo; quienes perforaron la superficie del glaciar a una profundidad de 10 a 20 m en entre los años 1999 al 2000.

El Instituto Geofísico en 2021, estima en su historia, tasas eruptivas de ~0,8 km^3/ka en promedio; pero en sus tres edificios se observa una disminución, del basal al actual un aproximado de 0,1 km^3/ka

El volumen de estos depósitos de agua provenientes del glaciar, podrían provocar lahares al mezclarse con material producto de la erupción ya que la pendiente del volcán favorece al ser muy empinada. (Samaniego, et al., 2012)

3.2.2.1 Actividad desde el Pleistoceno Tardío al Holoceno

Según observaciones realizadas en el Flanco Occidental del coloso, se manifiesta en los afloramientos de Totorillas con espesores consecutivos de tefras de dacitas y andesitas entre 5 a 25 cm. Lo que indica actividad eruptiva de carácter explosivo durante el Pleistoceno Tardío que con magnitudes de ~33 – 27 ka, 20 – 18 ka y 16 – 14 ka; se interpretan separaciones de los ciclos magmáticos-eruptivos. (Guzmán, 2018)

Durante el Pleistoceno Tardío al Holoceno se receptó caídas de material de una posible actividad muy violenta como la pliniana tanto del Chimborazo, en el lado Norte, como del Volcán Pululahua. (Samaniego, et al., 2012 y Guzmán, 2018) Los depósitos son de coloración roja por efectos climáticos, con edades de 10 a 5 ka AP, que se diferencian de los retrabajados que se estima son de edades 18 a 15 ka AP en base a su estratigrafía. (Guzmán, 2018)

En el Holoceno fue caracterizado por siete eventos eruptivos que se aproxima entre los ~8.000 a ~1.000 años atrás con eventos de intervalos irregulares y poca explosividad. (Guzmán, 2018 e IGE-PN, 2021) Depósitos de surges, de caída y flujos piroclásticos, que en la actualidad conforman los Flancos Norte y Este. (Guzmán, 2018)

3.2.3. UNIDADES GEOLÓGICAS CENOZOICAS

El suelo en el que se encuentra asentada la comunidad de Santa Lucía de Chuquipogyo se constituye de roca andesítica la cual se forma por Lavas jóvenes del Chimborazo de edad Pleistocénica y tobas volcánicas pertenecientes a la Formación Cangagua (Figura 13). (Gavilánez y Paca, 2020)

Los lahares por lo general suelen seguir el recorrido de una quebrada, siendo este el caso de la de Yambo Rumi, presentándose a simple vista material de producto volcánico como ceniza, lapilli y bombas.

Los suelos de la zona se encuentran dominados por el tipo inceptisol, caracterizándose por poseer un horizonte débilmente definido, originarios de eventos volcánicos recientes y característicos de zonas que han sufrido una desglaciación reciente. (PDOT, San Andrés, 2014)

El tipo de suelo inceptisol, suele adaptarse a cualquier tipo de clima, se presentan en depresiones o en fuertes pendientes, relieves abruptos o en superficies geomorfológicamente recientes. Son suelos fértiles utilizados para agricultura y pastizales para alimentar algunos tipos de ganado como se observa en el sector. (PDOT, San Andrés, 2014)

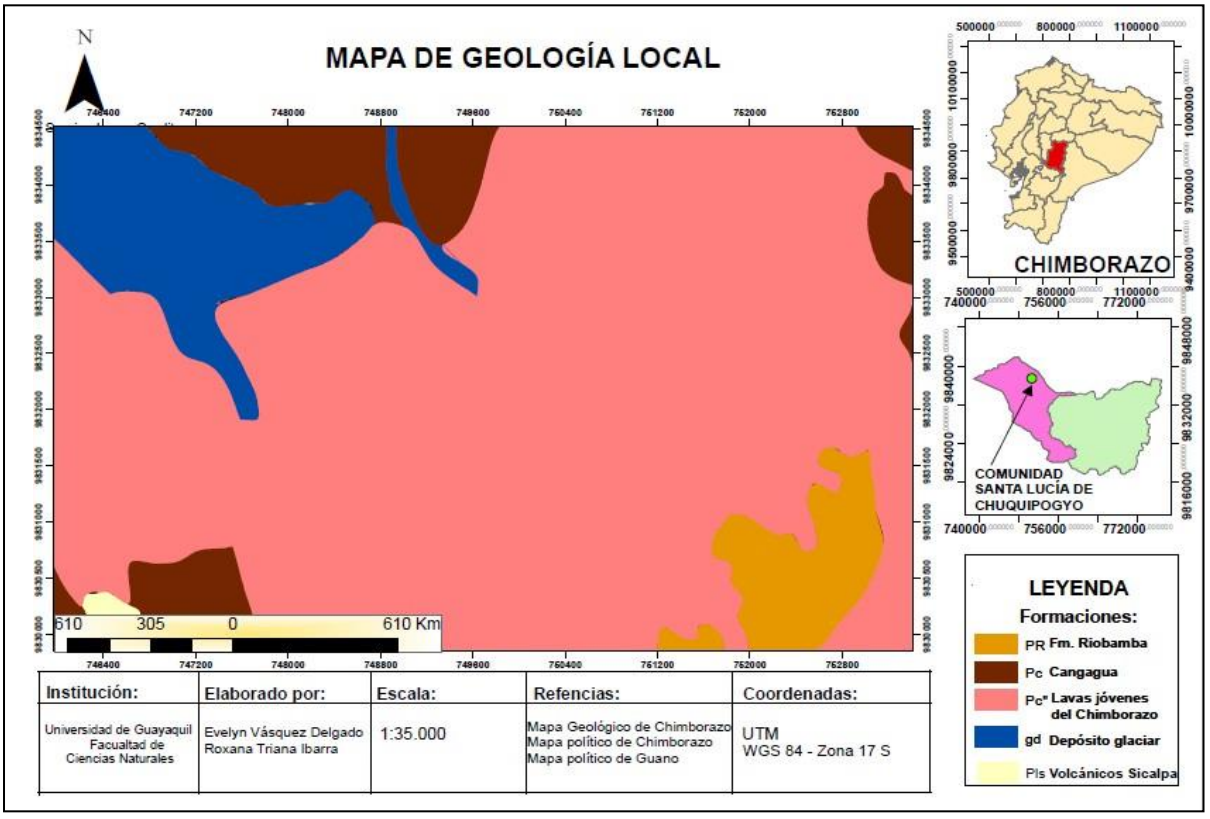

Figura 13. Mapa de Geología Local de la zona de estudio.

3.2.3.1 Lavas jóvenes del Chimborazo (Pleistoceno)

La montaña se encuentra constituida en sus lados tanto al Sur como al Suroriente por flujos de lava; estas son de composición andesítica piroxénicas, mesocráticas, porfiríticas, afaníticas, vesiculares, de gano fino (Randel y Lozada, 1973); su flujo llega hasta la población de Guano con edad Pleistocénica. (Chamorro, 2007,pág. 37)

3.2.3.2 Depósito glacial

Los depósitos glaciares se hacen presentes tanto en las cúspides del Chimborazo como del Carihuairazo, habiendo evidencia anterior de tales depósitos de tamaño fino, encontrados a una distancia de hasta 3.200 m. (Randely Lozada, 1973)

En campo se pueden observar las siguientes Formaciones, debido a las diversas deposiciones a lo largo de los años, cambios geomorfológicos, cambios estructurales, actividad humana o antrópica; ya que el mapa antes expuesto fue tomado del Mapa Geológico de Chimborazo creado en el año 1974.

3.2.3.3 Formación Riobamba (Pleistoceno) (?)

La Formación está constituida por un conglomerado volcánico cuya composición radica en una mezcla de cantos rodados angulares y redondos de diferentes texturas de andesítica, depositadas en una matriz de grano fino, de igual manera se encuentran bancos interestratificados de ceniza de grano fino. (Randel y Lozada, 1973)

La Formación Riobamba constituye la facie laharítica del Chimborazo, esto a consecuencia del arrastre del material piroclástico desde las faldas del volcán por las corrientes de los deshielos, aquellos flujos de lodos cubren amplias superficies, dando apertura a planicies; sus finas capas de arcillas y sedimento

tipo tobas, componen su base con potencias de hasta 40 m. (Chamorro, 2007, pág. 37)

3.2.3.4 Formación Cangagua

La Formación Cangagua de edad Pleistocénica Tardía, trata de cobertura de toba volcánica poco consolidada color gris clara a café, se construye de granos finos en mayor proporción, y con una menor de granos gruesos con espesores que van entre uno a cinco metros. Se le cataloga de edad reciente, depositada en la superficie. (Randel y Lozada, 1973 y SENPLADES, 2012)

Los sedimentos poco firmes de esta Formación pueden llegar a un espesor de hasta 100 metros, constituido por ceniza retrabajada y volcánica por efecto del viento, suelo sin horizontes formados o jóvenes, sedimentos lacustres y fluviales; además en su mayoría está formada por polvo volcánico, vidrio volcánico, ceniza, cristales minerales de procedencia volcánica, fragmentos líticos presentes pero muy escasamente. (Núñez del Arco, 2003)

3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las estructuras geológicas que afectan al sector de estudio que son visibles, se encuentran a una proyección de 30 Km, tomando como base la hoja de Fallas y Pliegues Cuaternarios y Regiones Oceánicas adyacentes; realizado en el año 2003 por U.S. Geological Survey, Denver, Colorado (USGS) y la Escuela Politécnica Nacional a escala 1: 1.250.000 (Figura 14).

El mapa se editó localizando el área de estudio a una escala de 1: 300.000 en donde se observa que está afectada por las siguientes fallas:

La Falla de Guaranda o también conocida como Falla Illangama-Guaranda que se ubica al Oeste de la Cordillera Occidental del tipo inversa-dextral y de orientación paralela a la Cordillera de Chimbo. (Castro, 2013)

El sistema de fallas más predominante en el Complejo Vulcanológico Chimborazo

es el de Pallatanga, en el sector de estudio específicamente; es la sección Norte debido a su mayor extensión. Tiene una dirección NNE – SSO, NE (Moreta, 2017, p. 18) y orientación N45° (Núñez del Arco, 2003); se correlaciona al Norte con la Falla Calacali-Pujulí y se conecta al perfil costanero con segmentos del Sistema de Falla Puná que se origina en la Isla con el mismo nombre. (Barba, 2006 y Salguero, 2017)

Corresponde de manera regional a las rocas Cretácicas oceánicas que constituyen el límite Oriental de la Cordillera Occidental y lo corta con la activación de fallas profundas que son consideradas suturas con movimientos dextrales ocurridos probablemente durante el Mio-Plioceno y en el Cuaternario. (Barba, 2006)

Otra que afecta al sector es la Falla Candelaria tiene movimientos de desplazamiento según su dirección N6° E± 8° con una orientación paralela al Río Chambo. Es afectada por el Sistema de Fallas Pallatanga o también considerado parte de este. (Salguero, 2017)

Finalmente, se observa las secciones Norte y Sur de Falla del Río Salinas influyen en la proyección del sector, esta es una continuación de la Falla del Río Chimbo con rumbo Norte-Sur y con movimientos desconocidos en su primer sección e inversa(?) en su segunda; a su vez, también es considerada un ramal del Sistema de Fallas Puná-Pallatanga. -Riobamba. (Castro, 2013)

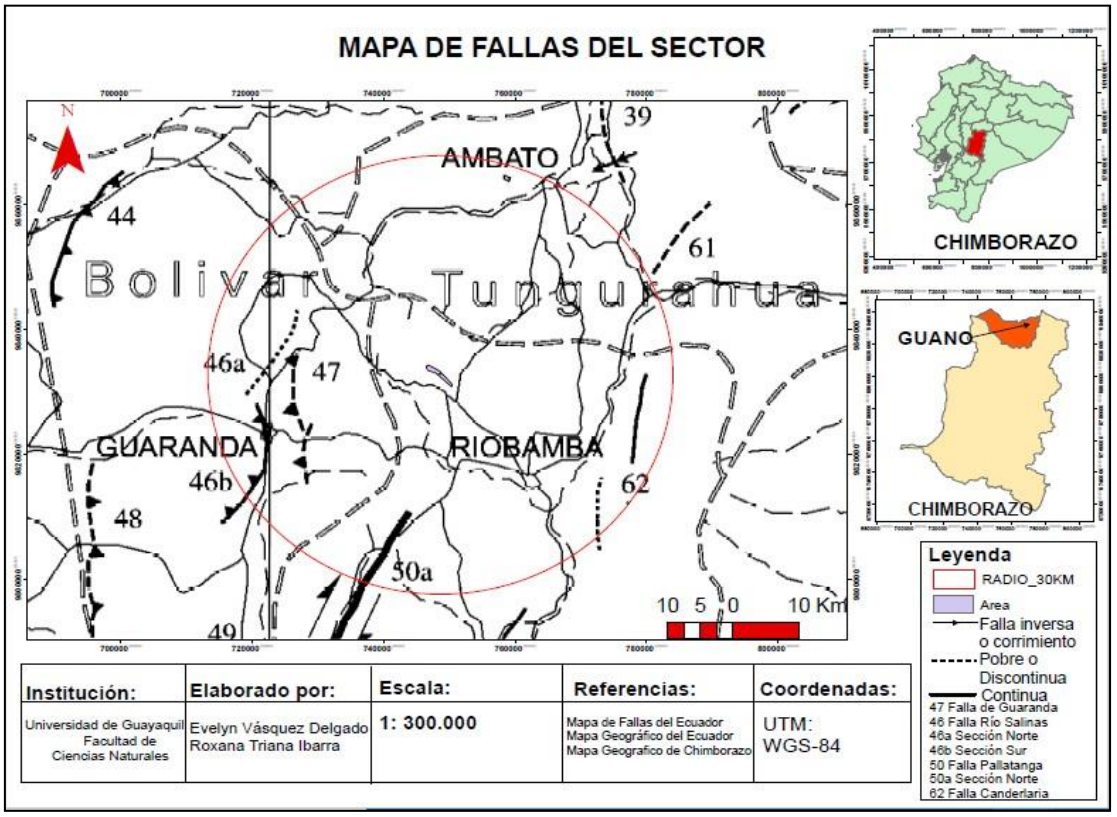

Figura 14. Mapa de Fallas a una proyección de 30 Km a la redonda de la zona de estudio.

3.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS LAHARÍTICOS DE LA QUEBRADA YAMBO RUMI

Los depósitos de origen laharítico que descendieron por la Quebrada Yambo Rumi que cuenta con una orientación de N 335° O en la parte superior o primera estación, a una altura aproximada de 3.889,48 m.s.n.m. en la cual existe ausencia de caudal de la misma.

Los materiales observados que los constituyen a esta altura los cuales se acercan más al Volcán Chimborazo son partículas tamaño tipo arena, gravas y bloques desde 80 cm hasta 1 m, mezclados con agua que aporta a su compactación (Figura 15). Lo que le da como característica, ser un flujo hiperconcentrado. Con facies no definidas y con espesor aproximado de dos a cuatro metros. (Vasconez et. al., 2021)

Mediante la utilización de una curva granulométrica (Figura 15) se pudo determinar un 30% de granos tamaño grava, mayores a dos milímetros; un 62,39% de arena

media a fina con tamaños hasta 0,075 mm y un 7,61% de fondo que se consideran tamaños limos y arcillas, partículas menores a 0,075.

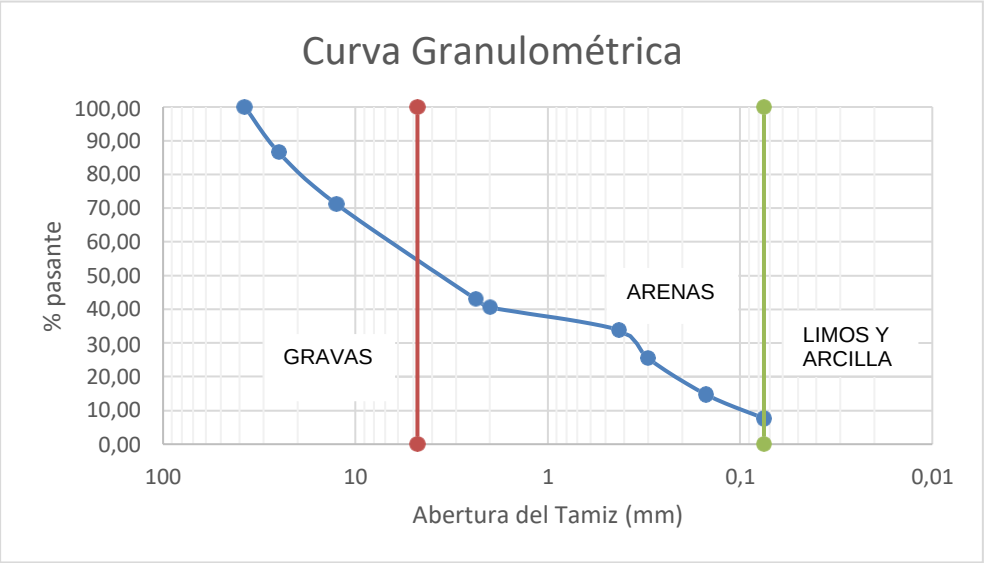

Figura 15. Curva Granulométrica de la muestra tomada en la parte superior del evento laharítico.

Las gravas (lapilli) y bloques (bombas) mediante observación macroscópica cumplen con las cualidades de una andesita color gris oscuro (Figura 16). Roca ígnea de origen extrusivo, catalogada como dura, posee una textura afanítica; por tener dos tamaños de cristales, uno ~1mm claros con una matriz de coloración oscura y más fina, por lo que se presume está compuesta por minerales como plagioclasas o cuarzo y ferromagnesianos, respectivamente. Con una estructura química intermedia de un 52 a 63% de SO_2. Se forma por el rápido enfriamiento del magma en la superficie, lava, que se genera en vulcanismo de arcos continentales como el de los Andes ecuatorianos. (Geología web, 2022)

También se puede observar rocas grises claras, semi-dura, apariencia porosa y con textura piroclástica (Figura 15), características de una toba volcánica; que se forman por la agregación de ceniza, lapilli y otros materiales volcánicos, con composición química de más del 55 % de SO_2 por lo que es intermedia a ácida. (Francis, 2021 y Geología web, 2022)

En ambas rocas se observa pigmentación naranja oscura, probablemente por oxidación producto de la meteorización que se origina por las constantes lluvias, alta humedad en el ambiente y por la degradación de las plantas existentes en el sitio.

Figura 16. Depósitos laharíticos en la parte superior (Primera base). Bloques de andesitas, tobas y arena compactada.

En la parte baja o segunda estación, existe un cambio de orientación con N 310° O a una altura de ~3574.02 m.s.n.m. con la presencia de flujo de cuerpo de agua.

Los materiales que se observan en el lahar son de tamaños más pequeños; partículas tipo gravas, arena de tamaño grueso, medio, fino, probablemente limos y con menos frecuencia bloques o bombas de hasta 1 m. Los depósitos son de un aspecto más suelto, con menor contención de agua (Figura 18).

En este sitio se tomó muestras que con la aplicación de una curva granulométricas (Figura 17) de una masa total, da un 27% de contenido de grava hasta un tamaño mínimo de dos milímetros, 71,94 % de arena gruesa a fina con tamaños hasta 0,075 mm y el fondo que son los tamaños limos y arcillas con 1,06% de granos menores a los 0,075 mm.

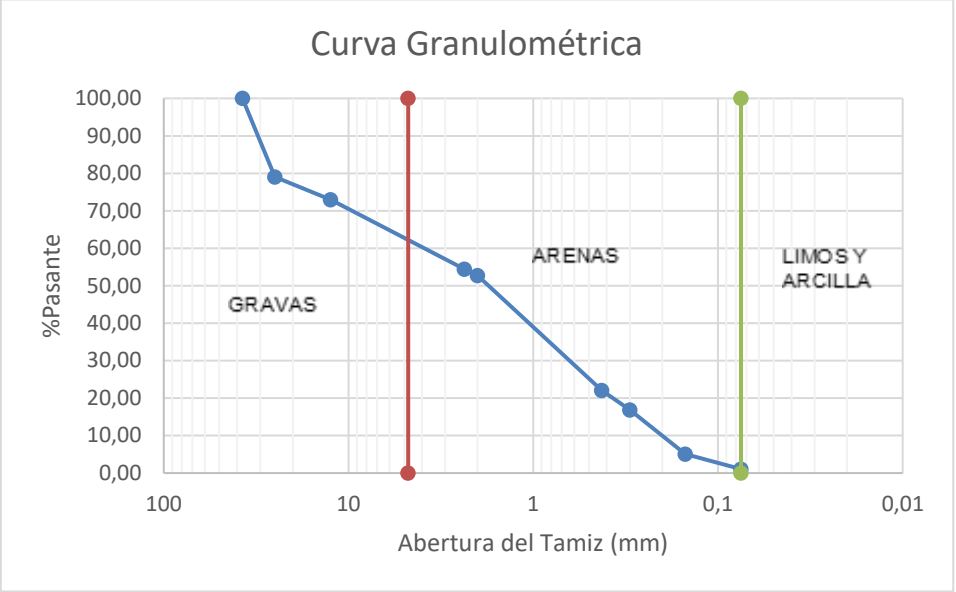

Figura 17. Curva Granulométrica de la muestra tomada en la parte inferior del evento laharítico.

Se puede observar una facie sedimentaria poco definida, a diferencia de la parte superior, con un espesor menor de ~ 0,5 a 0,7 metros. (Vasconez et. al., 2021)

Figura 18. Depósitos laharíticos en la parte inferior (Segunda base). Granos tamaños gravas, arenas, limos y bloques.

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGÍA

4.1 FOTOGRAMETRÍA

Varios autores (Claros, R., A., Guevara, A., E. y Pacas, N., R., 2016, pág. 40) establecen que la fotogrametría es una técnica de medición indirecta que permite obtener las propiedades geométricas mediante el procesamiento de dos o más imágenes fotográficas aéreas que en este caso fueron tomadas con dron, con un previo plan de vuelo; dando como producto ortofotos u ortomosaicos con su respectiva corrección geométrica y balance idóneo de color.

Lo cual nos permitió describir de manera cualitativa y cuantitativa el terreno donde sucedió el lahar; forma del terreno, cálculo volumétrico, pendientes y orientaciones. Que comparando con imágenes anteriores del evento se pudo interpretar la afectación en la superficie del lugar.

4.1.1 Estacas

Luego de una previa verificación de mapas bases del sector, tales como los mapas topográficos de Guano, Guaranda, Quero y Chimborazo con el sistema WGS-84 que unidos cubren el área de estudio. Se colocaron en el mapa base los puntos de anclaje de la superficie del terreno, llevados a cabo en campo; los cuáles fueron guía para realizar la planificación de vuelo con dron. Divididos en la parte superior e inferior del polígono de la zona de estudio, siendo estos la parte de optimización de nuestro proyecto y de fácil acceso; completándose así 11 puntos, situados con estacas (Figura 19).

Con los puntos antes mencionados se tomaron coordenadas topográficas con GPS Diferencial, generando una nube de puntos, con ello situar con exactitud la cámara del dron y de esa manera captar las imágenes.

Figura 19. Colocación de estaca de madera como punto de anclaje del polígono dela zona de estudio.

4.1.2 Levantamiento de puntos con GPS Diferencial

El GPS Diferencial es un instrumento para captar coordenadas, que en nuestro caso fue en el Sistema UTM (Universal Transversor Mercator) con el Datum WGS-84, utilizando una estación base establecida por el Instituto Geográfico Militar de nuestro país que se encuentra en el antiguo Aeropuerto de Riobamba. Se realizó un levantamiento de puntos de control GNSS (Global Navegation Satellite System) con la utilización de modelo dinámico-estacionario; el cual aplica una antena estática en un punto con posicionamiento fijo para recibir la señal que se receptará a una antena Rover o móvil en cada uno de los puntos puestos por las estacas (Figura 20).

Las lecturas o coordenadas son obtenidas en la aplicación EMLID en un dispositivo móvil con un margen de error de alrededor de 0,2 a 0,5 metros tanto vertical como horizontal que depende de las buenas condiciones climáticas y ambiente despejado; es decir, sin edificios o árboles de gran volumen.

Los puntos se exportaron y fueron procesados para su respectiva corrección en el programa SURVEY, que se los comparó con los datos ya almacenados en la

estación base de referencia y así se trazaron dichos puntos en un plano topográfico.

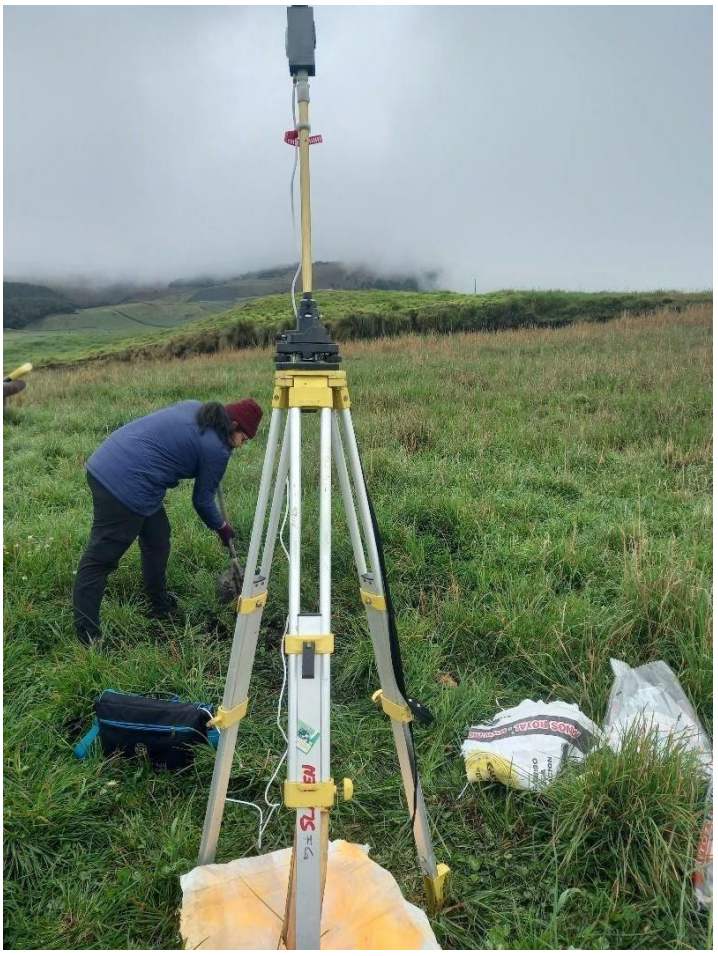

Figura 20. Trípode con Antena GNSS (GPS Diferencial), como estación base.

4.1.3 Procesamiento de datos del GPS Diferencial

Los datos obtenidos de la primera y segunda base así clasificado para realizar el trabajo de tesis, en el cual se utilizó el programa Survey Office (programa utilizado para procesar y analizar datos GNSS), en los cuales se importaron los datos obtenidos, más la información descargada de la base situada en Riobamba perteneciente al Instituto Geográfico Militar (IGM). Se colocaron ambas informaciones ya que la base del instituto sirve para corregir la diferencia de los datos tomados en campo, por ejemplo, si se comparará en campo con la antena base del instituto geofísico generaría un error de 30 mm y al realizar este proceso se corregiría dicho error generando exactitud.

Realizando dicho proceso la información obtenida sería trasportada al programa

AgiSoft o Pix4d Mapper, para usarla de anclaje en las fotografías.

4.1.4 Plan de vuelo con Dron

Esta planificación se realizó con el fin de tomar todas las fotografías aéreas necesarias para llevar a cabo el proyecto propuesto con el uso de nave no pilotada con el Dron (Figura 21).

Proporcionó imágenes de muy alta calidad y minimizó costos, permitiendo ingresar a lugares de difícil acceso, de tal manera, redujo el tiempo de adquisición de información, permitiendo así realizar las ortofotos.

La planificación de vuelo permitió calcular el número de fotografías deseadas para poder restablecer el terreno, obteniendo un adecuado cubrimiento visual de la superficie.

Figura 21. Equipo de Dron utilizado para la realización de fotografías aéreas.

4.1.5 Ortofotos u Ortomosaico

Un mosaico se obtiene como producto de un conjunto de fotografías tomadas simultáneamente que, entre sí, cubren total o parcialmente un área. Las cuales se unen o combinan en una sola imagen ampliando de esa manera el rango de visión del terreno. Cuando es corregido por las distorsiones causadas por el relieve y los objetos en él, se denomina ortomosaico u ortofotos. (Hernández, 2017, pág.34)

En los ortomosaicos se corrigen tanto los errores por desplazamiento como también por elevación, los cuales se encuentran unidos a un sistema de referencia. El proceso de unión entre imágenes es más rápido y el mosaico resultante corresponde a una proyección horizontal del terreno. (Ojeda; Flores y Ontiveros, 2016, pág. 69)

4.1.6 Modelo de Elevación Digital (MDE)

El Modelo de Elevación Digital es una demostración de la superficie terrestre que se diseñó en softwares SIG (Sistema de Información Geográfica) como ArcGIS 10.6.1: AgiSoft, para el cual utilizó ortofotos u ortomosaicos que se construyeron a partir de imágenes áreas tomadas por el Dron, permitiendo observar las características morfológicas del terreno.

El MDE es tipo ráster donde se aprecian características como orientaciones geométricas, pendientes, red hidrológica y la visibilidad del terreno de manera digitalizada.

4.1.7 Materiales

Los materiales utilizados en el respectivo levantamiento fotogramétrico son (Figura 22 y 23):

1. Chaleco
2. Combo
3. Cincel
4. Spray de pintura
5. GPS Diferencial (Antena GNSS)

6. Nivelador
7. Dron
8. Flexómetro
9. Sacos
10. Estacas
11. Navegador GPS Gamin etrex 10
12. Libreta
13. Esferos
14. Lápiz
15. Brújula Geológica
16. Clavos
17. Trípode
18. Mapas base
19. Computadora
20. Software ArcGis 6.1: ArcGis Soft
21. EMLID
22. SURVEY
23. Teléfono móvil
24. Estadía
25. Batería Power Bank
26. Pendrive
27. Impresor

Figura 22. Materiales utilizados para la colocación de estacas en campo.

Figura 23. Materiales utilizados en campo.

4.1.8 Procedimiento

En la primera salida se definió la zona de estudio, dejando analizado y coordinado el lugar para empezar el proyecto; en una segunda salida de campo, se procedió a colocar las estacas en donde se definieron anteriormente los puntos seleccionados de acuerdo con la planificación antes realizada en gabinete; los cuales tienden a variar en comparación a fotografías anteriores. Así como también lo realizaron Serna y López en 2010.

Una vez situados los puntos en campo se regresó a gabinete en donde se analizó el lugar fijo de las estacas para poder generar la técnica y toma de puntos con GNSS o GPS Diferencial.

Percatándose de que estos puntos tomados sean lo más simétricos posibles, teniendo en cuenta factores como el cambio del terreno. Observando previamente imágenes satelitales y de sobrevuelos realizados por el IG-EPN, INAMHI, y Secretaría de Riesgos, el mismo tiende a modificarse, ya sea por procesos geológicos naturales o antrópicos. Datos que no son actualizados por estas entidades con estudio nuevos.

Una vez que se tuvo el mapa topográfico del sector, se definió el área de estudio y se obtuvo una imagen satelital de Google Earth; procediendo inmediatamente a la colocación de puntos con GNSS.

Aplicando para este trabajo un modelo dinámico estacionario, el cual consiste en colocar la Antena Base Fija o Estacionaria y la antena Rover la cual se va a encontrar en movimiento.

Una vez obtenidos los puntos GNSS, se procesaron para así obtener altura en X y Y, en donde se encuentran las estacas ubicadas, para proceder a realizar el plan de vuelo y la ruta a seguir y así elaborar el sobrevuelo con el Dron. (Santamaría y Sanz, 2011)

Una vez analizada la altimetría se realizó el esquema para el sobrevuelo, como producto final la generación de una Ortofoto u Ortomosaico usándose una sola dirección de toma de fotos.

La generación del Ortomosaico surge del posicionamiento previo del área de las estacas; una vez obtenidas las fotográficas se procesan en el software AgiSoft para que se alineen junto a los puntos de anclaje (estacas), para que tanto el relieve y la calidad de la fotografía no se vean afectados y tengan una mejor orientación. Procesando así la nube de puntos densa y el mallado.

Al tener todos los datos se realizó la comparativa con la actual información del evento, analizando las condiciones para evaluar el daño que causó el suceso y así deducir si en un futuro habría uno similar.

4.2 FACTOR ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN CHIMBORAZO

La sismicidad del Volcán Chimborazo está estrechamente relacionada con actividad volcánica del mismo; y el origen de todo es la subducción de placas tectónicas.

Ecuador se encuentra en una zona sísmica activa con la subducción de la Placa Nazca por debajo de la Continental Sudamericana, que al existir movimiento libera energía que en el caso del vulcanismo funde rocas que provienen del manto terrestre interno, mediante fracturas y movimientos sísmicos que se dan a lo largo de Los Andes Septentrionales que a nivel de Ecuador se encuentran tres regiones sismo-tectónicas; al Norte de un arco ancho de 1° S, un arco estrecho de 2.5 °S y 1°S y al Sur de 2.5°S con la ausencia de un vulcanismo reciente. (Gutscher et. Al., 1999 como se citó en Barba, 2006)

El Volcán Chimborazo actualmente se encuentra monitoreado por tres estaciones sísmicas de banda ancha con un nivel de vigilancia dos, para observarsu actividad sísmica, deformación de flancos y de fluidos geoquímicos ocasionales por su caracterización de potencialmente activo. A través de lo cualse pueden obtener sus registros sísmicos y analizar su vulnerabilidad. (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2008)

La intensidad sísmica se mide por las escalas de Ritcher y Mercalli (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de la Intensidad Sísmica

Intensidad Mercalli Modificada	Calificativo	Magnitud Richter (estimada)
I	Leve	Menos de 3,5
II	Muy bajo	
III	Bajo	
IV	Moderado	3,5- 5.4
V	Medio	
VI	Elevado	5,5- 6,0
VII	Fuerte	
VIII	Bastante fuerte	7,0 – 7,9
IX	Muy fuerte	8,0 o mayor
X	Extremadamente fuerte	
XI		
XII		

Fuente: Servicio Geológico Mexicano (2021)
https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion_complementaria/Escalas-sismos.html

La zona geográfica donde se ubica el Volcán, provincia de Chimborazo, se encuentra en un nivel III y IV de manera sísmica en el país, como se demuestra en el siguiente mapa (Figura 24):

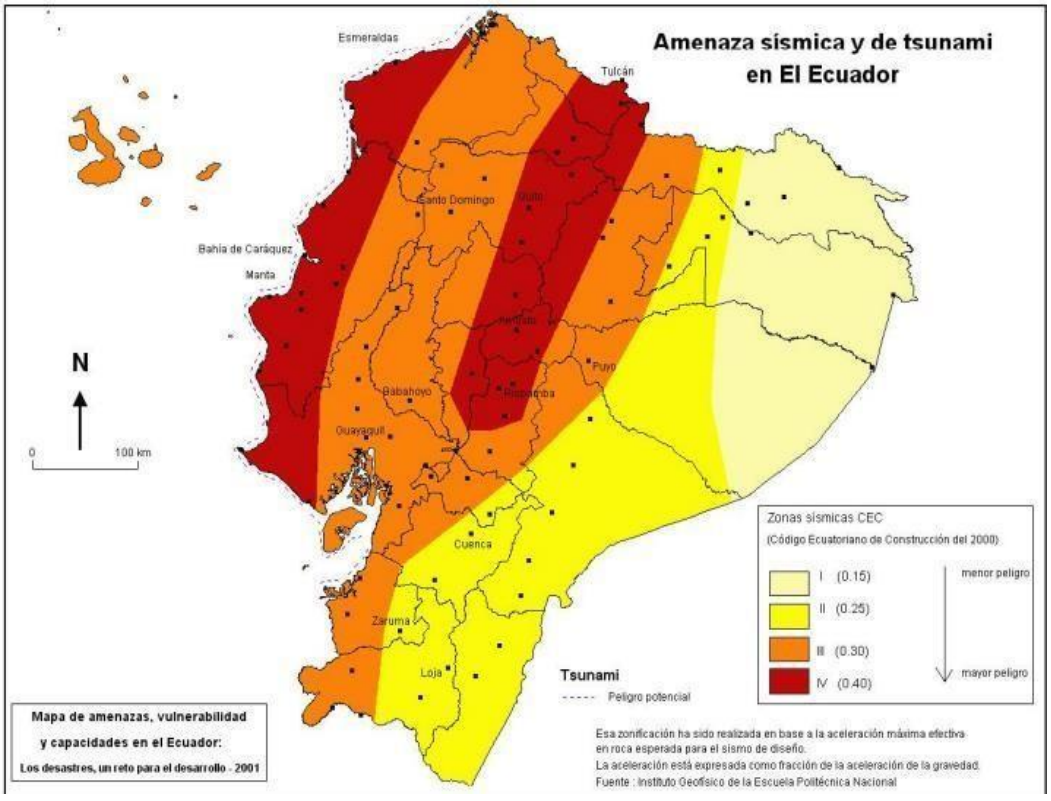

Figura 24. D'ERCOLE y DEMORAES (2001). Mapa de intensidad de amenazas sísmicas y tsunami de Ecuador.

Con los datos obtenidos de los registros de la actividad sísmica realizadas por la red de Monitoreo Instrumental del Volcán Chimborazo (VCHBZ), (Figura 25), del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) en el periodo de 1 de diciembre de 2015 al 29 abril del 2016 se identificó la intensidad de los sismos, epicentros y profundidad. De esta manera se puede determinar si aquello incidió para que suceda el evento del deslizamiento del lahar.

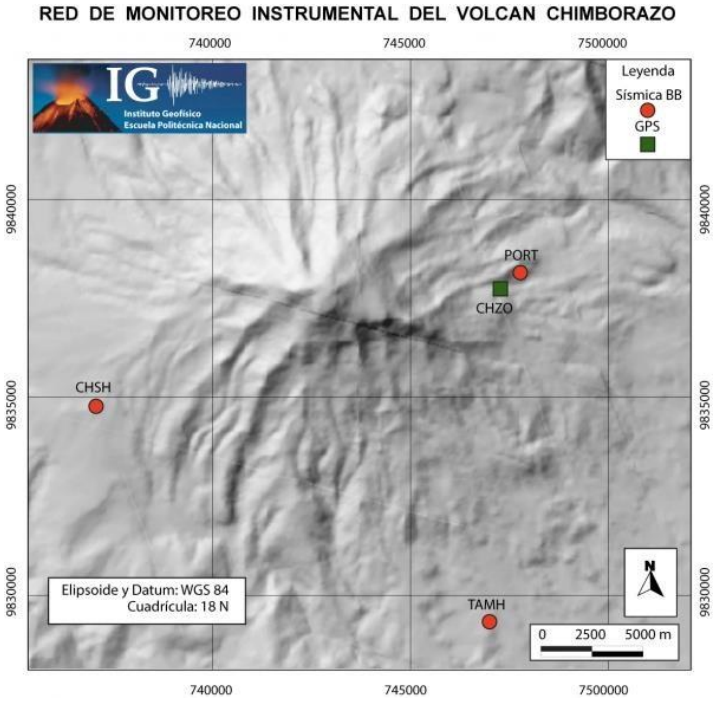

Figura 25. IG-EPN (2022). Red de Monitoreo Instrumental de Volcán Chimborazo (OVCHZ) https://www.igepn.edu.ec/chimborazo-red-de-monitoreo

4.3 FACTOR PENDIENTE

Según lo aplicado en la investigación de Arroyo (2015) sobre las susceptibilidades de los suelos. El factor pendiente del terreno de estudio se lo puede representar elaborando un mapa de pendientes a partir de las hojas topográficas de la zona que lo construyen como lo son la de Guaranda, Chimborazo, Guano y Quero; realizados por el Instituto Geográfico Militar en el año 1991 a escala 1:50000 que se los editaron en un software SIG (Sistema de Información Geográfica) como en este caso, ArcGis 10.6.1.

Con los rangos de pendientes que se propusieron en el año 1986 por VanZuiman, expuestos en la (Tabla 3), dando, así como resultado un mapa de pendientes.

Tabla 3. Categorización de los rangos de pendientes para la zona de estudio

Rango de pendientes %	Descripción de Pendiente	Categorización
0-5	Plana a casi plana.	1
5-12	Suave a ligeramente ondulado.	2
12-25	Moderadamente ondulada.	3
25-50	Colinada	4
50-70	Escarpada	5
>70	Montañosa	6

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial del GAD de San Andrés de Guano (2015)

En un programa SIG (Sistema de Información Geográfica) como ArcGis 10.6.1 con los datos, shapefiles, obtenidos de los mapas topográficos de Chimborazo, Quero, Guano y Guaranda realizados por el Instituto Geográfico Militar, 1991; en coordenadas WGS-84 y a escala 1:50.000; donde se localizó el área de estudio. O en su defecto, con las tomas fotográficas que se realizaron con el Dron que se procesaron en software AgiSoft para obtener el mapa de pendientes con los valores de la inclinación de las curvas de nivel.

Haciendo una comparativa con un mapa de pendientes actualizado, y con los generados con las fotografías aéreas, se pueden identificar los cambios morfológicos en el terreno desde el suceso del evento.

4.4 FACTOR PRECIPITACIÓN

Es importante incluir este factor externo ya que las condiciones climáticas en función de la temperatura media y de altitud del área podría ocasionar el deslizamiento de lahares. Las precipitaciones en forma de lluvia se presentan durante todo el año por su característica de ser un clima de alta montaña, la morfología con pendientes muy inclinadas y con la recarga de agua en el suelo pueden provocar desprendimientos.

Además, las frecuentes precipitaciones pueden originar el derretimiento de los glaciares; el agua producto de ello se acumula y toma camino por las morrenas o zona de hielo muerto, cuyos cúmulos son empujados y se deslizan rápidamente por inclinaciones muy pronunciadas del estratovolcán. Que en este caso tomó paso por la Quebrada Yambo Rumi, naciente del mismo.

En un programa de Sistema de Información Geográfica como ArcGis 10.6.1 con los datos durante el 2005 al 2022 tanto del INAMHI, AGROCLIMA de la NASA, shapefiles de los mapas geológicos, geomorfológicos, zona de estudio se graficaron sobre los mapas con la herramienta ArcMap las intensidades de precipitación, humedad, temperatura, dirección e intensidad del viento presente en la zona de estudio. Además, se realizaron gráficos con dicha información para obtener resultados y proceder a realizar el análisis como desencadenante del evento.

4.5 FACTOR CAÍDA DE CENIZA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA

El Volcán Tungurahua con una ubicación de 40 km al Oriente del Volcán Chimborazo, empezó un proceso eruptivo muy violento, el cual viene ocurriendo desde 1999, siendo así, que en el mes de noviembre del 2015 se registraron mayores emisiones de ceniza volcánica, provocando a su vez un cambio en el albedo (porcentaje de radiación que el glaciar refleja); este proceso junto a los eventos que se dieron en ese año, como el Fenómeno del Niño con altas temperaturas y el Fenómeno de la Niña con fuertes lluvias, perturbaron a su vez el clima tanto local como regional.

Dichos fenómenos dieron apertura para la formación de varias lagunas superficiales e interglaciares, las cuales, con la continua acumulación, acompañado de fuertes pendientes del edificio volcánico y morfología del mismo, tendieron a desbordarse (Figura 26).

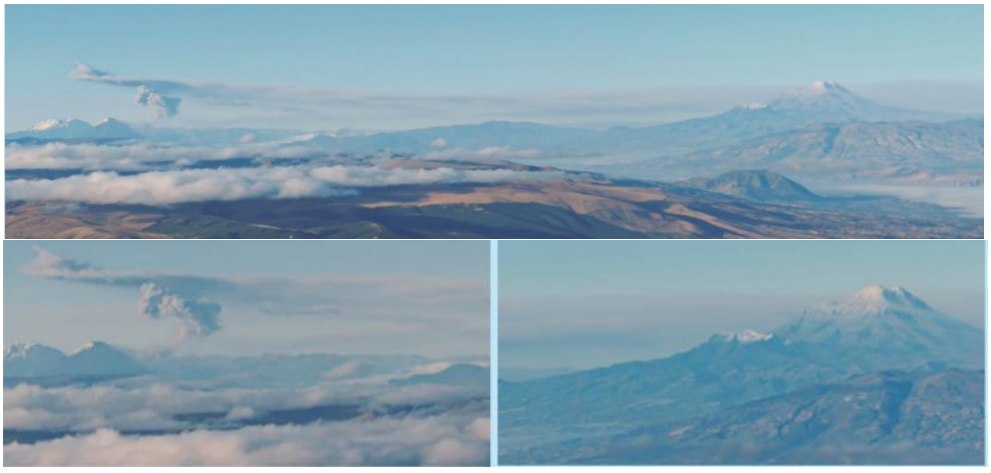

Figura 26. Escuela politécnica (2016), Dispersión de ceniza del volcán Tungurahua, periodo 2015. https://www.researchgate.net/publication/310480740_Mapa_de_amenazas_potenciales_por_lahares_secundarios_quebrada_Yambo_Rumi_-_volcan_Chimborazo

Después de obtener los datos de la columna de ceniza hacia la atmósfera y la dirección de dispersión durante octubre y noviembre de 2015, otorgados por el Observatorio del Volcán Tungurahua (OVT), (Figura 27) del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), se graficó sobre los mapas de ubicación del área de estudio, mapa geológico, geomorfológico y de pendientes en la aplicación ArcMap del programa ArcGis 10.6.1. Y se plasmaron en diagramas para evaluar y determinar el alcance de difusión del material piroclástico hacia el Volcán Chimborazo.

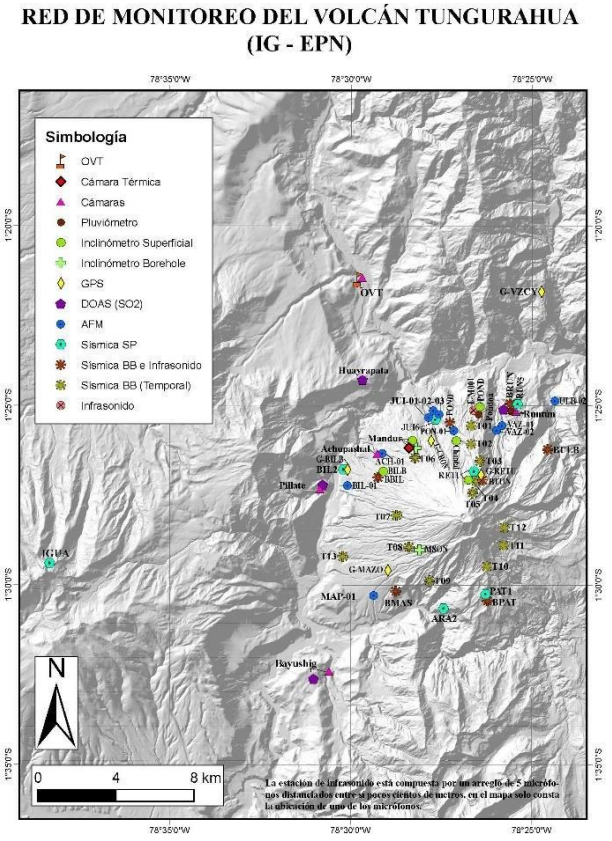

Figura 27. IG-EPN (2022). Red de Monitoreo Instrumental de Volcán Tungurahua (OVT) https://www.igepn.edu.ec/tungurahua-red-de-monitoreo

CAPITULO V

5. RESULTADOS

Los parámetros a evaluar fueron determinados en base a las necesidades para la elaboración de este proyecto de investigación. El cual se ubica en el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo, que abarca un área de afectación de 275 Ha y un perímetro de 10.885 km aproximadamente, donde se evalúa el grado de afectación y origen del lahar en la Quebrada Yambo Rumi.

Información del portal Web de la NASA; la cual representa temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, perfil de humedad del suelo y precipitación promedio. Además, analizando datos promedios o medios, mensuales y anuales de precipitación, humedad, temperatura y viento. Así mismos datos pluviométricos de INAMHI durante el periodo 2005 al 2018. Además, se examina el registro de sismicidad relacionado al Volcán Chimborazo en el lapso de 1 de diciembre del 2015 al 29 de abril del 2016. Los volúmenes de ceniza y dirección de dispersión del Volcán Tungurahua que afectó durante noviembre del 2015 en el área de estudio.

Parámetros que se utilizaron para evaluar las condiciones en las que se desarrolló el evento laharítico, las cuales se expresan a continuación (Tabla 4):

Tabla 4. Fecha de inventario del evento laharitico en la quebrada yambo rumi.

FICHA DE INVENTARIO		
FECHA DEL EVENTO	**VOLUMEN**	**DAÑOS**
1/12/2015	611.000 m3	Vías de comunicación, infraestructuras, poliducto Petro-Ecuador, red ferroviaria, daños en sistema de agua.
6/12/2015	305.000 m3	Vías de comunicación, infraestructuras.
17/12/2015		Ninguno
9/3/2016	408.000 m3	Vías de comunicación cerradas.
29/4/2016	713.000 m3	Infraestructuras, áreas de cultivos y ganadería, vías de comunicación, un tramo de la vía del tren y el tramo 146,5 del poliducto de Petro-Ecuador, afectación al sistema de agua de las comunidades Calshi, Silveria, Sanjapamba.
18/5/2016		Afectación en cultivos

19/8/2016		Vías de comunicación, red vial del ferrocarril.
11/1/2017		Vías de comunicación, red vial del ferrocarril.
1/3/2017		Infraestructura, áreas de cultivo.
21/3/2017		Infraestructura, áreas de cultivo, arrastramiento de un vehículo.
19/11/2021		Ninguno
VELOCIDAD PROMEDIO:	10 km	
ANCHO DEL LAHAR:	200m	
POBLACIÓN:	700 (Paca y Gavilanes, 2020)	357 (PDOT, 2015)
DENSIDAD	186.27 Hb/Km2	95 Hb/km2
SUPERFICIE:	3.758 Km2	
TIPO DE FLUJO:	Secundario	
ACTIVIDAD ECONÓMICA:	Agricultura, ganadería, contrucción, artesanal.	
CAUSAS:	Deshielo de los glaciares del Chimborazo, cambio climático, fenómeno de El Niño, la ceniza del Tungurahua y desbordado y/o colapsado proporcionando grandes cantidades de agua	

Fuente: Paca y Gavilanes (2020)

5.1 PARÁMETROS AGROCLIMÁTICOS DE LA NASA

5.1.1 Temperatura a 2 m (°C)

Se realizó una evaluación desde 2005 al 2020 de la temperatura del área de estudio con datos obtenidos de POWER DATA ACCESS DE LA NASA, el cual determinó en un promedio anual, valores con temperaturas más altas en 2005, 2006,2007, 2009, 2010,2015, 2016 y 2020, los cuales presentaban temperaturas que oscilaban entre los 11°C a 11,8 °C, presentándose temperaturas más bajas con valores que fluctuaban entre los 10,5°C y 10,7°C entre 2008, 2011 y 2012 (Figura 28)

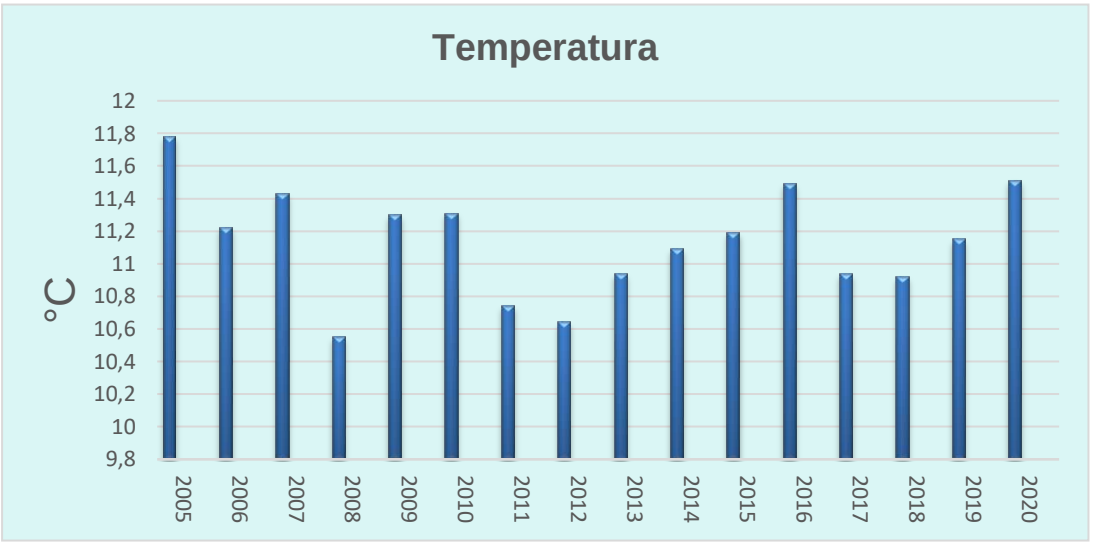

Figura 28. Temperatura promedio a 2m en °C, durante 2005-2020
Fuente. Power data access de la NASA (2022).

5.1.2 Humedad Relativa a 2 m (%)

Tomada a 2 m con la cual se realizó una evaluación desde el 2005 al 2020 de la humedad relativa del área de estudio con datos obtenidos de POWER DATA ACCESS DE LA NASA y expresada en porcentaje (%), registró un promedio anual en 2005 al 2007, valores de 80,5% a 82%, presentando en el 2008 el valor más alto registrado dentro del rango de años a estudiar con 86,6%, considerando que valores cercanos al 100% significarían presencia de precipitaciones tales como nieve o lluvias (Figura 29).

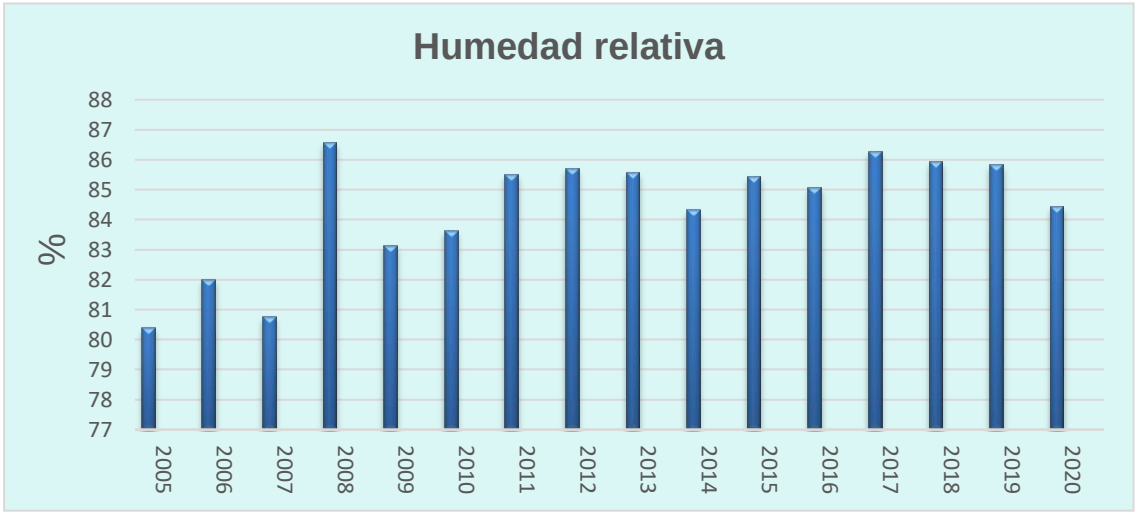

Figura 29. Humedad relativa en %, durante 2005-2020.
Fuente. Power data access de la NASA (2022).

5.1.3 Velocidad del Viento (m/s)

Se realizó una evaluación desde el 2005 al 2020 de la velocidad del viento del área de estudio con datos obtenidos de POWER DATA ACCESS DE LA NASA la cual se expresa en metros sobre segundos (m/s), mantuvo velocidades constantes con valores de 3 (m/s), a diferencia del 2015 que registraron un promedio anual de 3,4(m/s), (Figura 30).

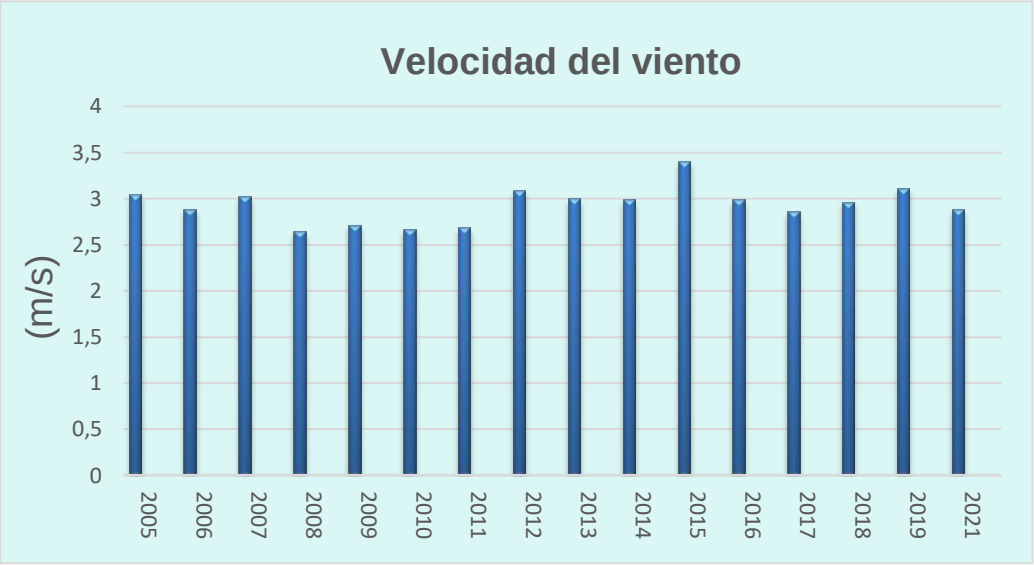

Figura 30. Velocidad del viento en (m/s), durante 2005-2020. Fuente. Power data access de la NASA (2022).

5.1.4 Perfil de Humedad del Suelo (%)

El perfil de humedad del suelo fue evaluado desde 2005 al 2020 con datos obtenidos de POWER DATA ACCESS DE LA NASA, valores tomados del área de estudio que expresan menor cantidad de agua retenida en el terreno entre 2005 al 2010, teniendo mayor captación de la misma desde el 2011 al 2020 (Figura 31).

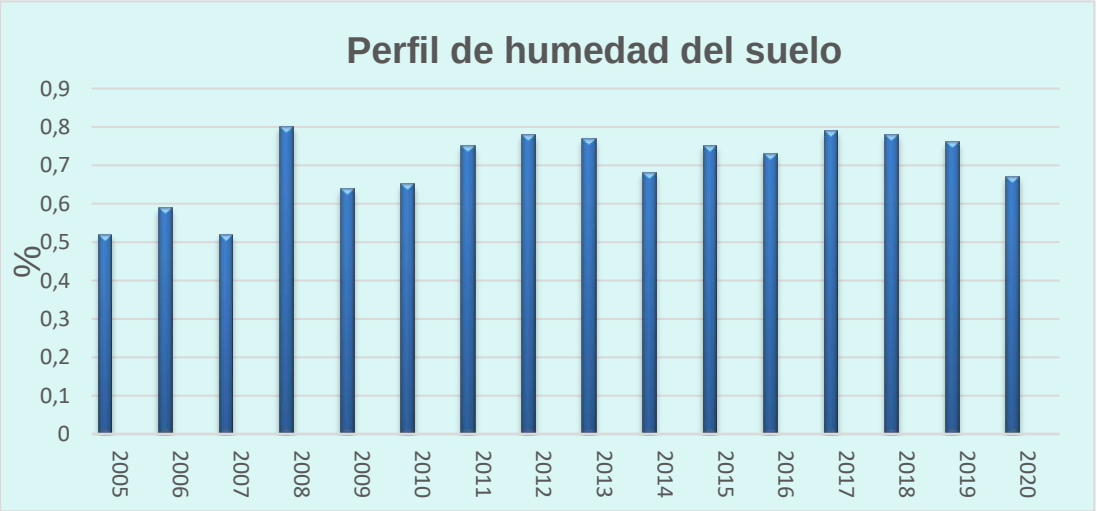

Figura 31. Perfil de humedad del suelo en %, durante 2005-2020. Fuente. Power data access de la NASA (2022).

5.1.5 Precipitación Promedio (mm/día)

La precipitación promedio registrada y evaluada desde 2005 al 2020 con datos obtenidos de POWER DATA ACCESS DE LA NASA, la misma que se expresa en milímetros por día (mm/día), presenta una notoria baja de lluvias en el 2005 (época del fenómeno del niño), tendiendo a incrementarse en los años posteriores (época del fenómeno de la niña), datos que reflejan un incremento considerable en año 2017 en donde empieza la baja de precipitaciones en el área (Figura 32).

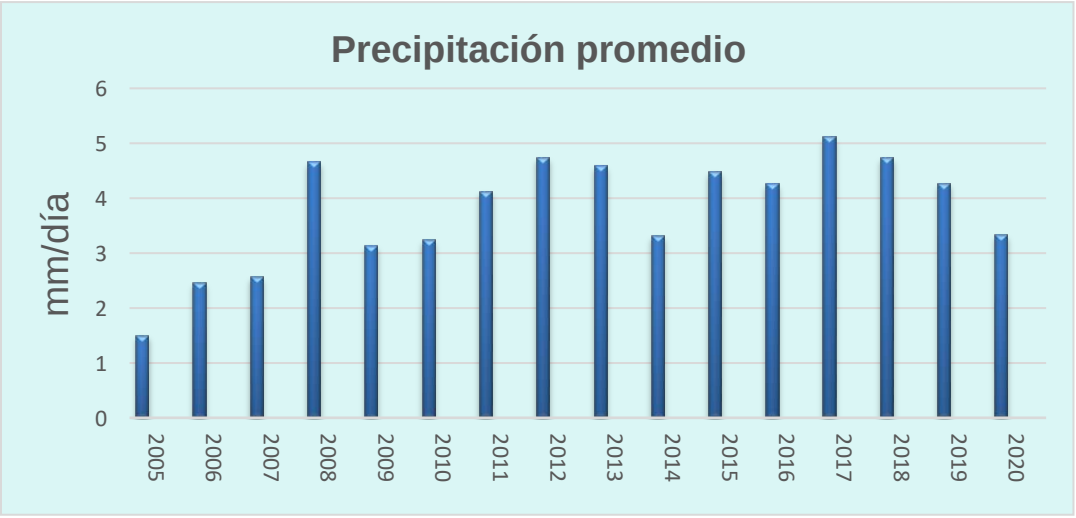

Figura 32. Precipitación promedio en (mm/día), durante 2005-2020. Fuente: Power data access de la NASA (2022).

5.2 PRECIPITACIONES REGISTRADAS POR EL INAMHI

Los datos de precipitación de la Estación Pluviométrica de Guano del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) con código M0408 ubicada en coordenadas X=763106,3 y Y=9821924,3 a una altura de 2.620 m.s.n.m., se registran del periodo 2005 al 2018. Con valores irregulares en algunos meses y solo hasta último de año mencionado, debido a que ha dejado de funcionar, razón por lo que hay información inexistente.

La información obtenida (Tabla 6) muestra en el siguiente grafico (Figura 33) la precipitación promedio anual del cantón Guano con valores poco contantes, habiendo 27,30 mm en 2005 con un aumento en 2008 con 78,20 mm, variando en 2011 con 10,30 mm en teniendo un incremento en 2014 con 48,70 mm y 2015 con 49,00 mm; y posteriormente teniendo un cambio abrupto de 444,40 en 2017.

Las precipitaciones mínimas anuales durante ese periodo en el cantón han tenido picos muy elevados en 2006 y 2013 con valores de 19,3mm y 29,7mm respectivamente, habiendo información inexistente entre los periodos 2010 – 2012 y 2015 – 2018.

Mientras que en precipitaciones máximas anuales se observa un mayor valor en 2008 con 323,9 mm con una disminución drástica en 2009 con 93,7 mm.; bajando aún más a 33,20 mm en 2011; luego tuvieron un aumento en 2012 de 60,80 mm. Manteniéndose poco variables en los siguientes años.

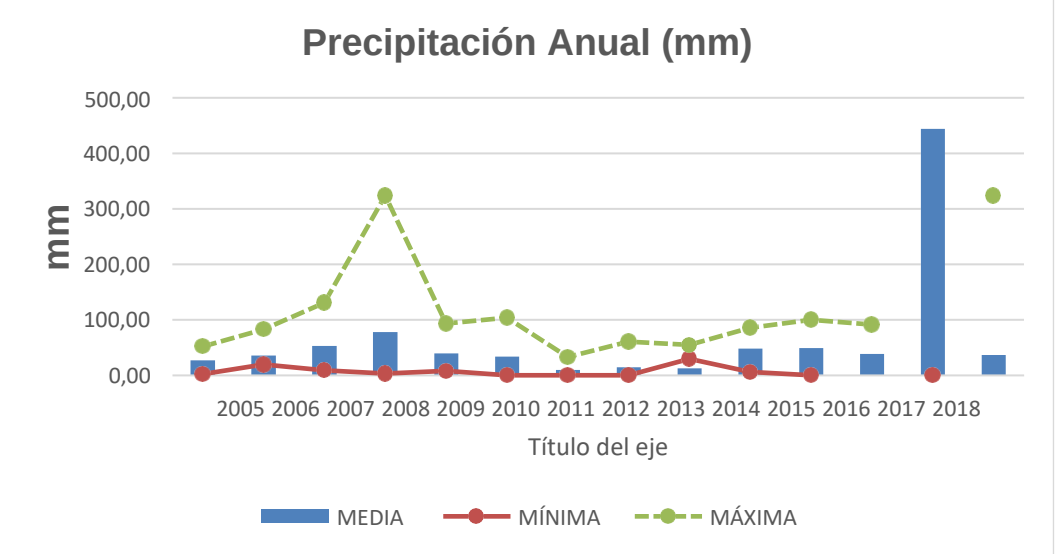

Figura 33. Precipitación media, máxima y mínima anual (mm), captada por la Estación de Guano (M0408), periodo 2005-2018.

Fuente: INAMHI, 2022.

5.2.1 Precipitación mensual durante 2015 y 2016

Durante 2015, tomando la precipitación media de todos los meses del año (Figura 34), se puede observar que en enero tuvo un valor de 39,2 mm, bajando a 12,8 mm en febrero; continuando en los próximos meses con valores poco variables y en noviembre habiendo un cambio abrupto de 45,8 mm. Mientras que en abril del 2016 se registra precipitaciones más fuertes con un valor de 61,1 mm, cambiando a menores en el siguiente mes de 17,5 mm; teniendo carencia de datos en los siguientes meses ya que se registran valores de 0 mm.

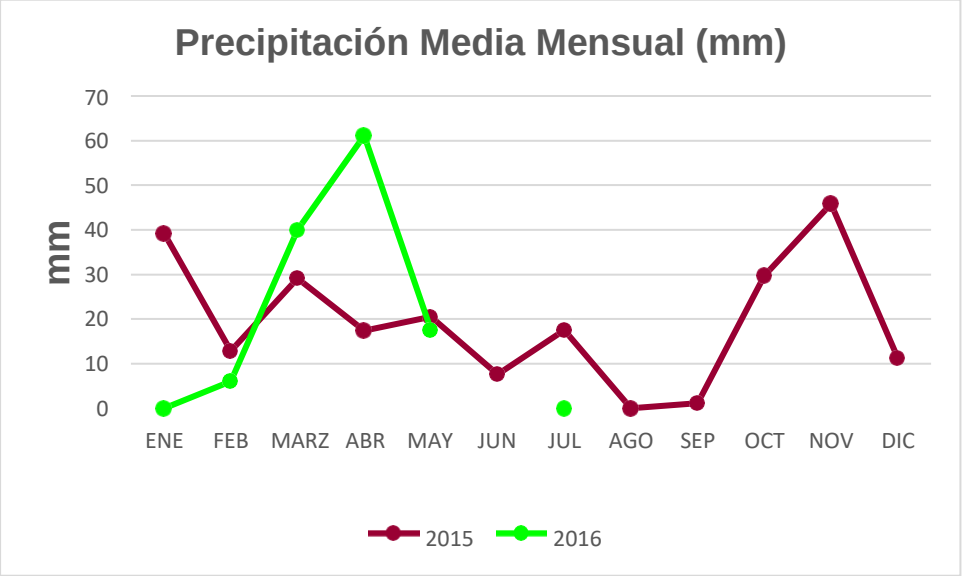

Figura 34. Precipitación media mensual (mm), captada por la Estación de Guano (M0408) 2015 – 2016.
Fuente: INAMHI, 2022.

5.3 DATOS PROCESADOS DE EMISIÓN DE CENIZA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA POR EL IG-EPN

Los datos que se presentan (Tabla 7) en las figuras 32- 35 son los emitidos por el IG-EPN, los cuales reflejan las fechas más significativas de producción de ceniza para el trabajo, tomando noviembre de 2015, fecha que en cual afectó al Flanco Sureste del Volcán Chimborazo.

Permitiendo evaluar datos de dirección del viento, altura, velocidad mínima y máxima, velocidad promedio y alcance máximo de nube que tuvo la ceniza del Volcán Tungurahua.

5.3.1 Dirección del Viento

La información que se refleja en la figura 35, la cual se realizó con datos otorgados por el Instituto Geofísico (IG-EPN), muestra la dirección del viento durante las emisiones de ceniza del Volcán Tungurahua durante los meses de octubre y noviembre de 2015, en donde se reflejan vientos direccionados en función de los puntos cardinales Norte, Sur, Este, Oeste y sus derivados Noreste, Sureste, Suroeste y Noroeste; en los que se visualizan direcciones predominantes NO-SO en el mes de octubre y noviembre en un 50% del tiempo, con velocidades del viento calculado en nudos de 17 a 21, equivalente a 8.75 m/s – 10.80m/s.

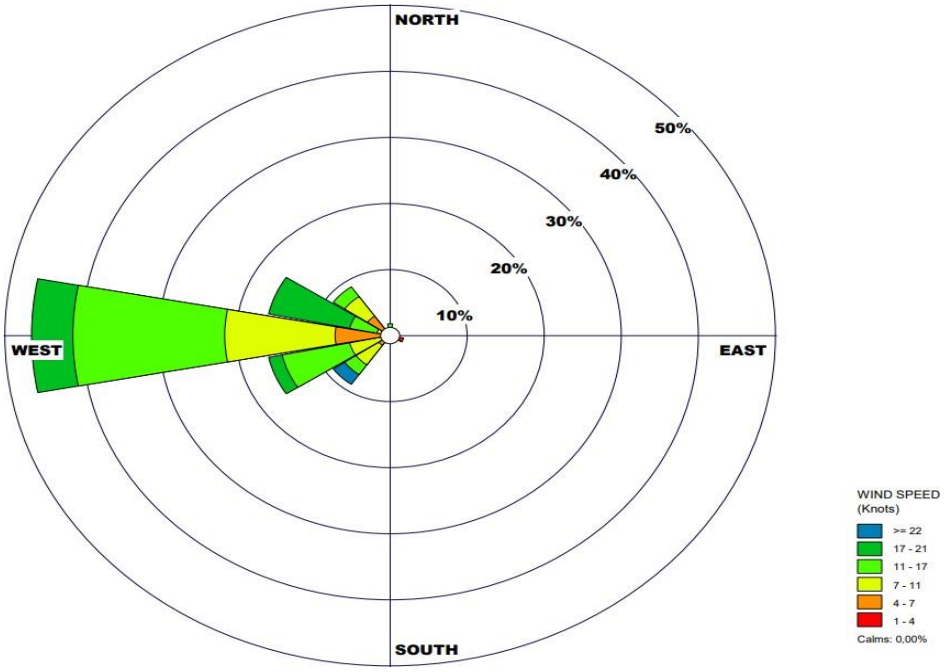

Figura 35. Dirección del viento (nudos), durante el mes de octubre del 2015.
Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN), 2022.

5.3.2 Altura (m.s.n.m) de alcance de Ceniza

La información que se refleja en la figura 36 la cual fue dada por el Instituto Geofísico (IG-EPN), para comparar los meses de octubre y noviembre de la altura que tuvo la ceniza del Volcán Tungurahua, muestran un notorio cambio entre estos dos meses claves para la investigación. Octubre de muestra valores casi constantes

de la altura de la ceniza a excepción de los primeros días en los que mantuvo una altura de 9.144 m para terminar el mes con aproximadamente 3.000 metros por debajo del inicio.

Noviembre, muy por el contrario, refleja valores muy variados siendo así, que los días en los que se mantuvo a menor altura la ceniza fueron los días 8,11,13,17,18 y 24 de ese mes a ~5000 m llegando a ~9.144 m.

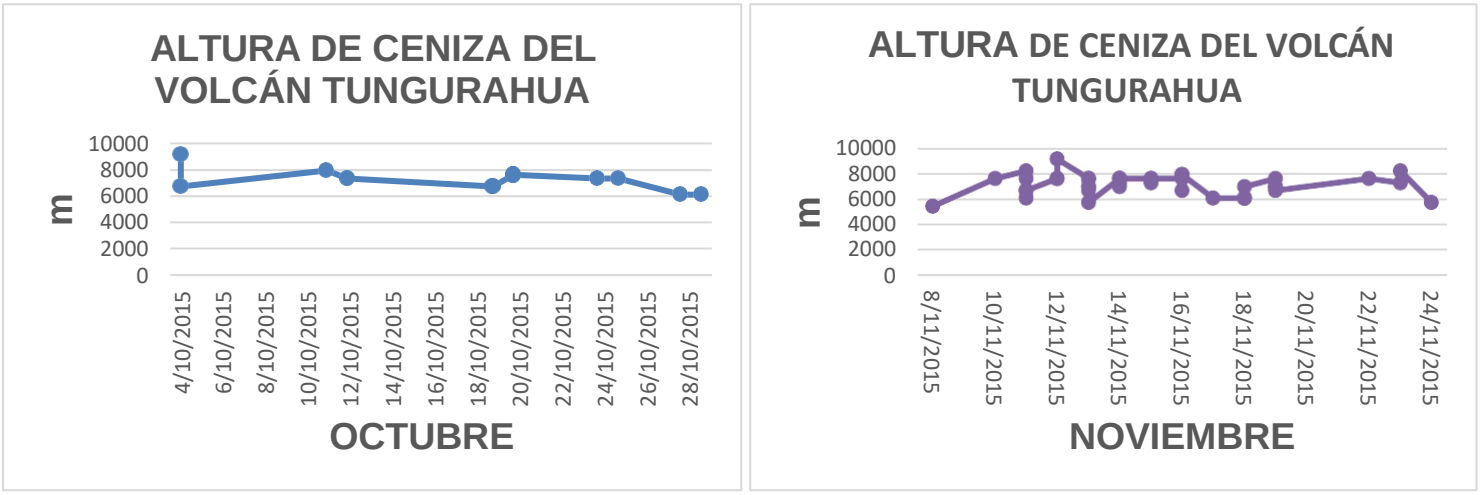

Figura 36. Altura de ceniza del Tungurahua en metros (m), durante octubre y noviembre del 2015.
Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN), 2022.

5.3.3 Velocidad del Viento: Mínima, Máxima y Promedio

La información que se refleja en las figuras 37, otorgada por el Instituto Geofísico (IG-EPN), de los meses entre octubre y noviembre de la velocidad mínima, máxima y promedio de expulsión de la ceniza que mantuvo el Volcán Tungurahua. Demostró valores muy variados de un mes al otro.

Octubre de 2015 con un valor promedio de velocidad de 10,3 m/s, el día 12; un mínimo de 0 m/s 20 de este mes; mientras que, en noviembre se observa una velocidad máxima de 12,9 m/s y una mínima de 0 m/s, considerando que sus valores fluctuantes todo el mes.

Noviembre con valores altos el día 12 de velocidad del viento máxima y promedio; de 12,9 m/s y 7.7 m/s respectivamente; además de velocidad mínima más alta para el 18 de 10,3 m/s; con datos variables el resto de ese mismo mes de 2015.

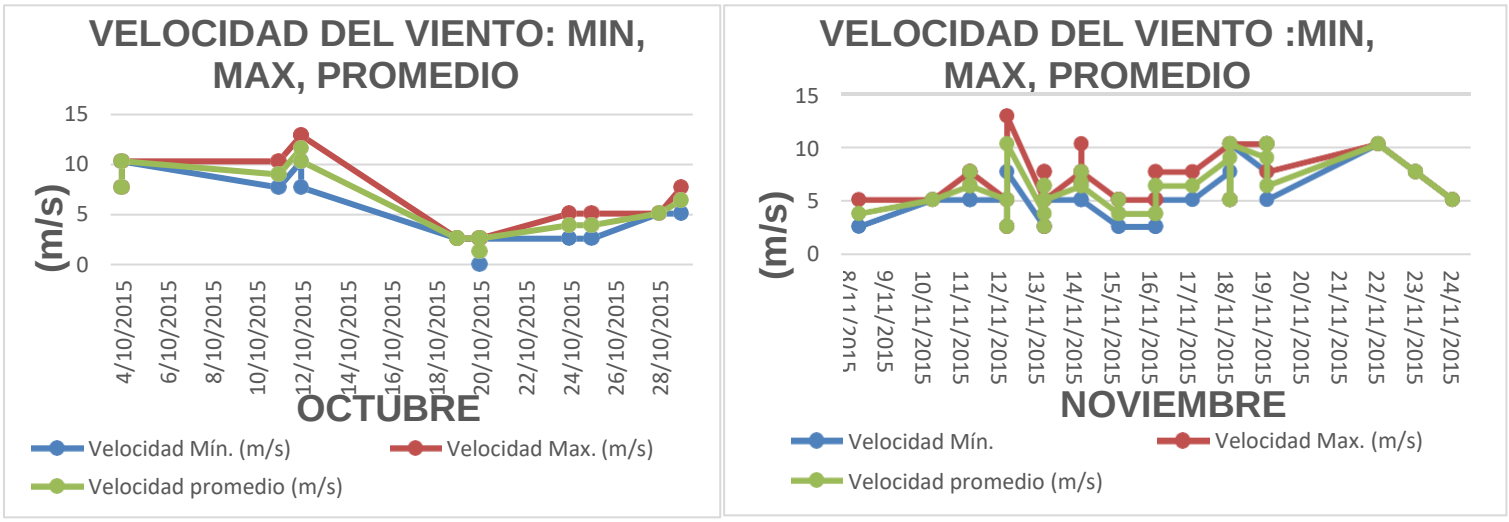

Figura 37. Velocidad: Min, Max, Promedio en metros sobre segundos (m/s), durante octubre y noviembre del 2015.

Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN), 2022.

5.3.4 Alcance Máximo de Nube de Ceniza (Km)

La información que se refleja en la figura 38 la cual fue emitida por el Instituto Geofísico (IG-EPN), entre octubre y noviembre de 2015 del alcance máximo que tuvieron las nubes en esos meses, reflejan valores de 85 y 83 Km siendo estos los más altos en el primer mes. Mientras que, en noviembre, se reflejaron números poco constantes, con un máximo de 311 Km en los días 14 y 15, considerados altos, llegando hasta la termosfera.

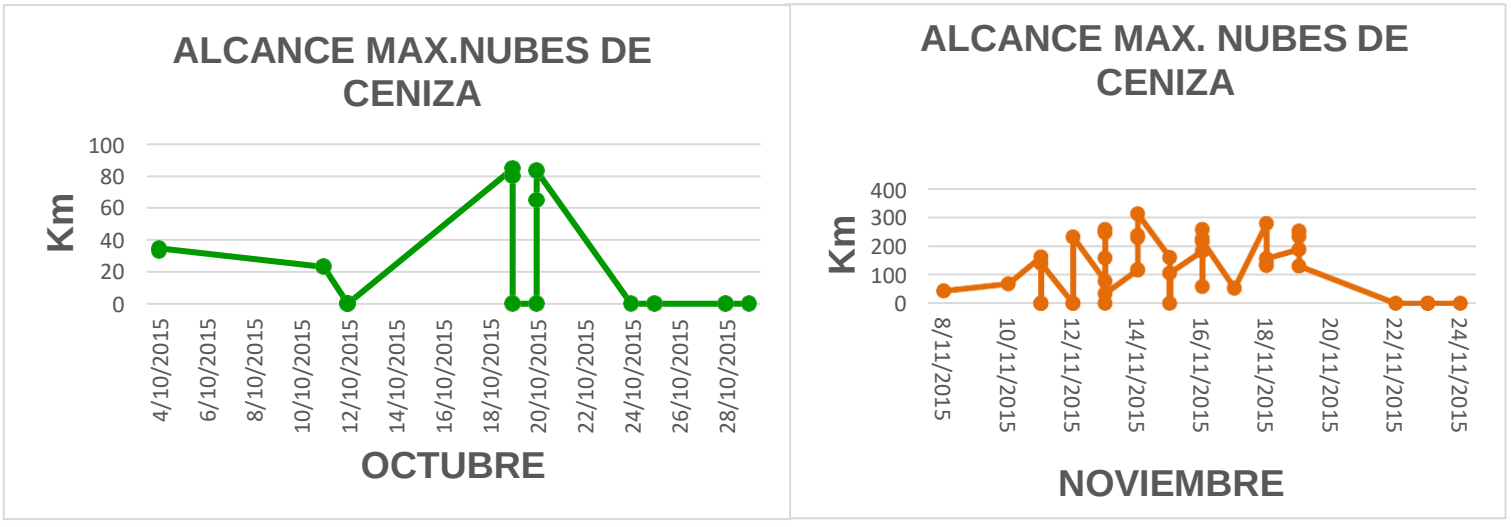

Figura 38. Alcance Max. De nubes de ceniza en kilómetros (Km), durante octubre y noviembre del 2015.

Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN), 2022.

5.4 SISMICIDAD DE ORIGEN – VOLCÁN CHIMBORAZO

La información que se presenta en la figura 39 indica el número total de eventos volcánicos por día identificados en las estaciones que conforman la red de vigilancia del Volcán Chimborazo.

De igual manera se presenta información expresada en tablas estadísticas, de eventos diarios para el periodo diciembre de 2015 y abril de 2016, información que representa el número total diario de eventos volcano- tectónicos, eventos de largo periodo y eventos híbridos. El Volcán Chimborazo registra el día cuatro y ocho de diciembre de 2015, siete sismos (dislocación de la corteza sacudiendo la superficie), disminuyendo en el transcurso de los días y meses posteriores, obteniendo de cinco a un sismo diario, volviéndose a presentar dicha anomalía el 8 de marzo del 2016, con cinco sismos al día. (Información proporcionada mediante correo electrónico por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022)

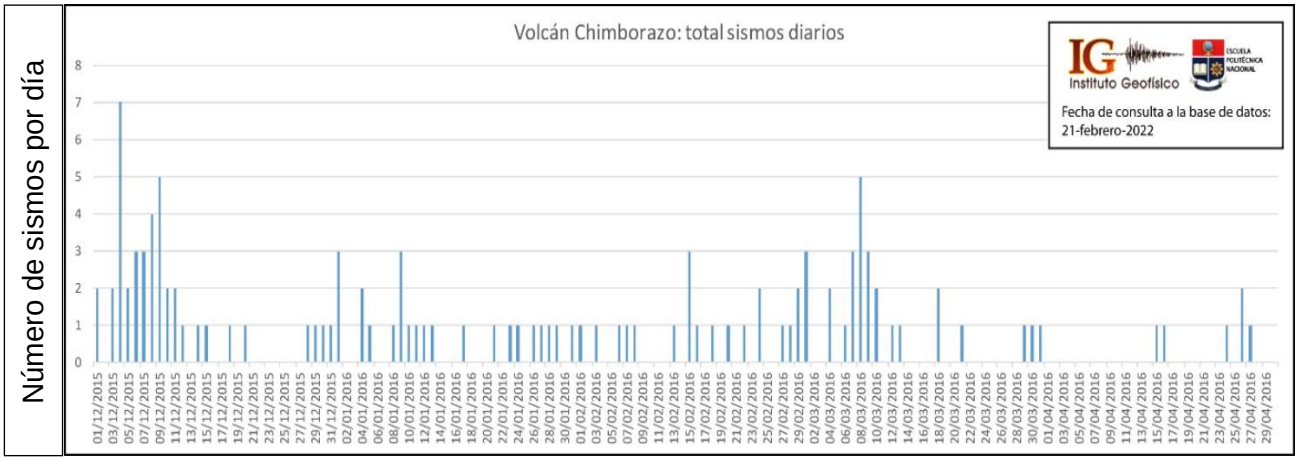

Figura 39. Número total diario de eventos volcánicos del Volcán Chimborazo, durante diciembre 2015 hasta abril 2016.

Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN), 2022.

5.4.1 Eventos Volcano- tectónicos (VT)

Este tipo de evento se asocia a la fractura de la roca, esto provocado por la intrusión de magma y alteración de esfuerzos al interior del edificio volcánico. (IG-EPN, 2022)

La figura 40 representa valores de uno a dos sismos diarios registrados en el periodo del 1 de diciembre del 2015 hasta el 7 de marzo del 2016, con un alza en la cantidad de sismos que se registraron el 8 de marzo de 2016 con un total de cinco sismos, llegando a normalizarse a un sismo diario hasta ya no registrar ninguno hasta el mes de abril. (Información proporcionada mediante correo electrónico por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022)

Figura 40. Número total diario de eventos VT, durante diciembre 2015 hasta abril 2016.
Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN), 2022.

5.4.2 Eventos de Largo Periodo (LP)

Este tipo de evento registra sismos asociados al movimiento de fluidos magmáticos caracterizados por ser menos viscosos. (IG-EPN, 2022)

La figura 41 expresa una cantidad de sismos constantes que oscilan de uno a tres sismos diarios en el periodo de diciembre de 2015 hasta abril de 2016, a excepción de diciembre 4 que registra un total de siete sismos. (Información proporcionada mediante correo electrónico por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022)

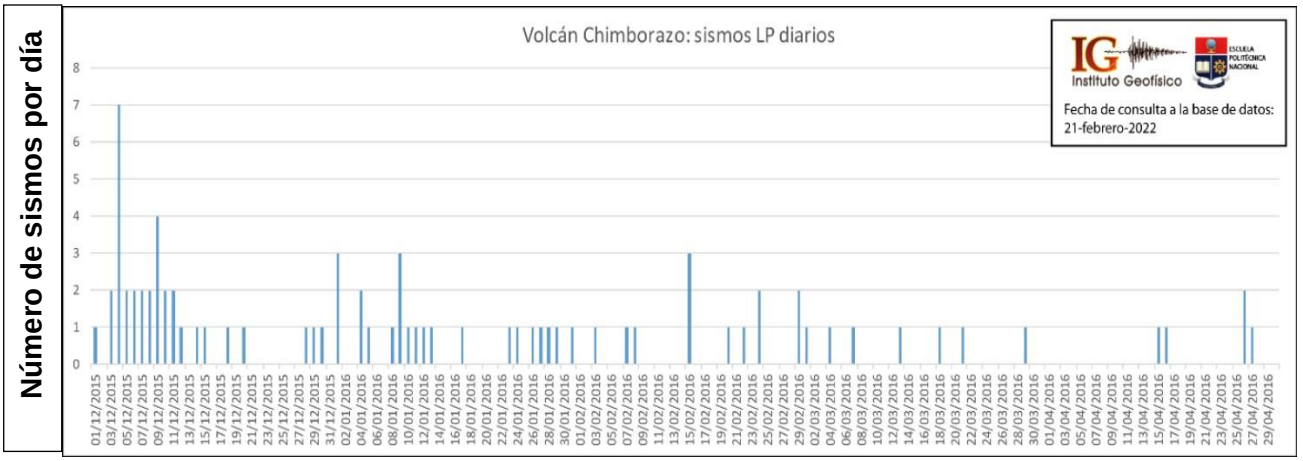

Figura 41. Número total diario de eventos LP, durante diciembre 2015 hasta abril 2016.
Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN), 2022.

5.4.3 Eventos Híbridos (HB)

El evento Híbrido, se caracteriza por registrar sismos que ocurren por la fracturación de rocas, producto de la fluctuación en la presión de fluidos y su posterior movimiento.

La figura 42 muestra que ocurrieron un total de cuatro sismos en el periodo diciembre del 2015 a abril de 2016, por causas de eventos híbridos, del 5 al 7 de diciembre de 2015, 21 de enero de 2016 y un último sismo en el lapso de periodo del 29 de febrero al 2 de marzo. Todos estos sismos registrados con un total de uno diario. (Información proporcionada mediante correo electrónico por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022)

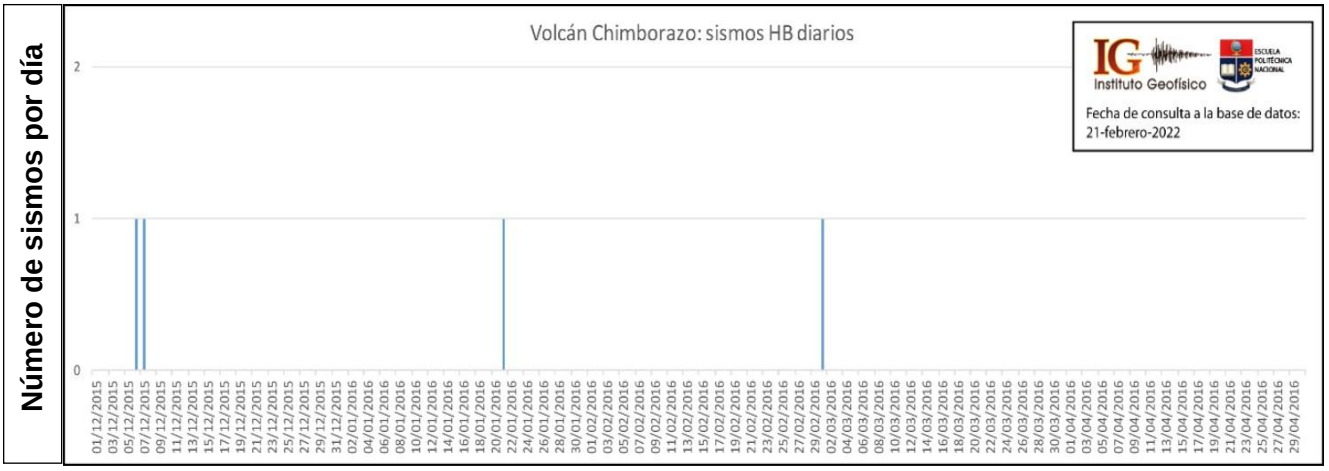

Figura 42. Número total diario de eventos híbridos HB, durante diciembre 2015 hasta abril 2016.
Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN), 2022.

Los tipos de eventos antes presentados de la sísmica del Volcán Chimborazo carecen de locación específica y con intensidades no definidas, ya que son menores a 3 MLv de magnitud, por tal razón se puede catalogar como datos de baja calidad. Por ende, la red del Observatorio solo puede detectar el día y número de los mismos. (Información proporcionada mediante correo electrónico por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022)

5.4.4 Sismicidad de Origen Tectónico

Dentro del periodo establecido (diciembre de 2015 hasta abril de 2016) en el área de interés, no se registraron sismos de origen tectónico en fallas activas cercanas.

Se representa en la figura 43 la sismicidad de todo el país durante el periodo establecido, dando como resultado un total de 2.891 eventos sísmicos registrados; se logra visualizar en el acercamiento, el área de estudio representado en un polígono de color rojo, el cual establece 323 eventos sísmicos, siendo el de mayor magnitud con valor de 3.78 MLv (magnitud local calculada en la componente vertical, usando una corrección para adecuarla a la ML estándar de Richter (1953) ocurriendo el 6 de abril de 2016 a las 04:05 am a 58 km de distancia de la zona de interés. (Información proporcionada mediante correo electrónico por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022)

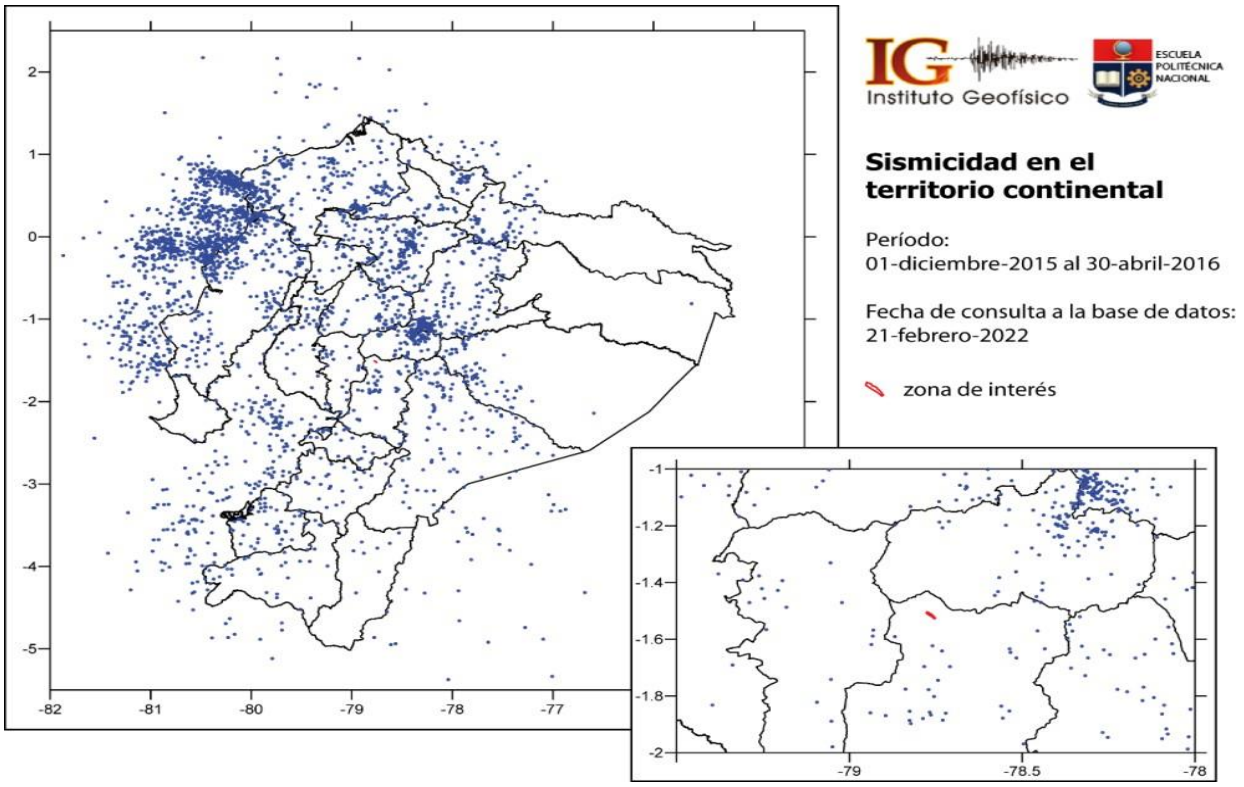

Figura 43. Sismicidad registrada y localizada por la RENSIG (Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional), durante el 1 de diciembre del 2015 al 30 de abril del 2016.

Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN), 2022.

5.5 MAPA DE PENDIENTES GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio que se encuentra plasmado en el siguiente mapa de pendientes (Figura 44), modificado de las hojas topográficas de Guaranda, Chimborazo, Guano y Quero, del Instituto Geográfico Militar (IGM) en el año 1991. Expresa las diversas inclinaciones que esta posee, la misma que da a conocer si el terreno es llano, o nos encontramos en presencia de pendientes pronunciadas.

Las curvas de nivel en el mapa de pendientes, tienen una equidistancia de 10 m. El área que se encuentra encerrada en el polígono refleja el sitio de estudio, el cual posee en la parte superior o cabecera, curvas más alejadas determinando así, que el área es más llana con pendientes de 0 a 12°, a diferencia de la parte media que posee mayor pendiente de 12 a 49° y por último en la parte inferior las curvas de nivel son más separadas, reflejando así que el lugar posee menos pendiente que en la parte media de 0 a 25°.

Es así que las pendientes del área de estudio reflejan diferencias muy notorias en la superficie del terreno y cambios abruptos en el mismo; las curvas de nivel que se encuentran en el mapa poseen formas de ***u*** en la parte superior o cabecera y formas de ***v*** en la parte media y final del polígono o zona representada.

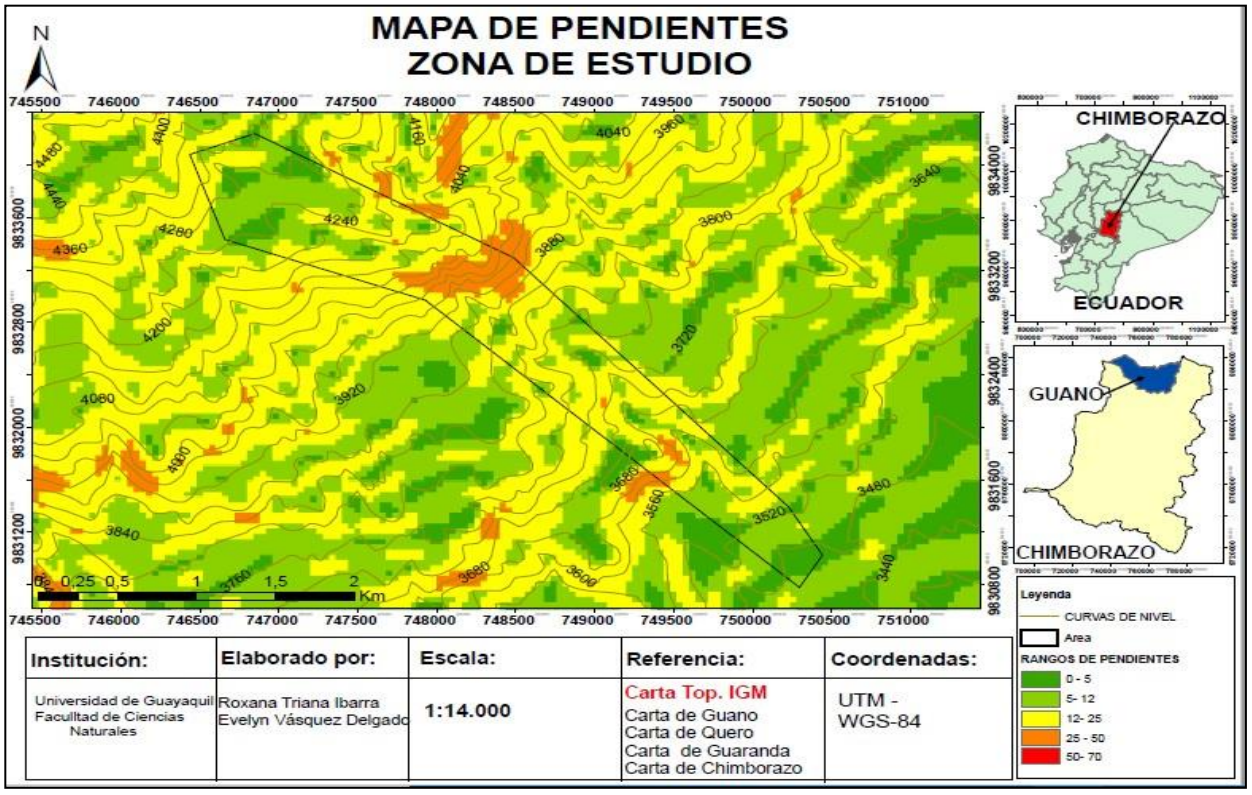

Figura 44. Mapa de pendiente del área de estudio modificado.
Fuente: Instituto Geográfico Militar (1991).

5.6 MAPA GEOMORFOLÓGICO

El área de estudio ubicado en el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo, que abarca 275 ha con un perímetro de 10.885 km, compuesto por la respectiva información altimétrica (curvas de nivel) e información planimétrica (escala y coordenadas); representa el área estudiada en un polígono, la leyenda refleja tanto vías, tributarios, senderos, curvas de nivel y unidades geomorfológicas.

En el mapa se visualizan llanuras (planicies), las cuales conforman un 50% del polígono, el 50% restante del área estudiada se encuentra representada por relieves ondulados es decir terreno que anteriormente ha sido modelado por una

red fluvial dejando como resultado un terreno alternante entre colinas y pequeños cerros (Figura 45).

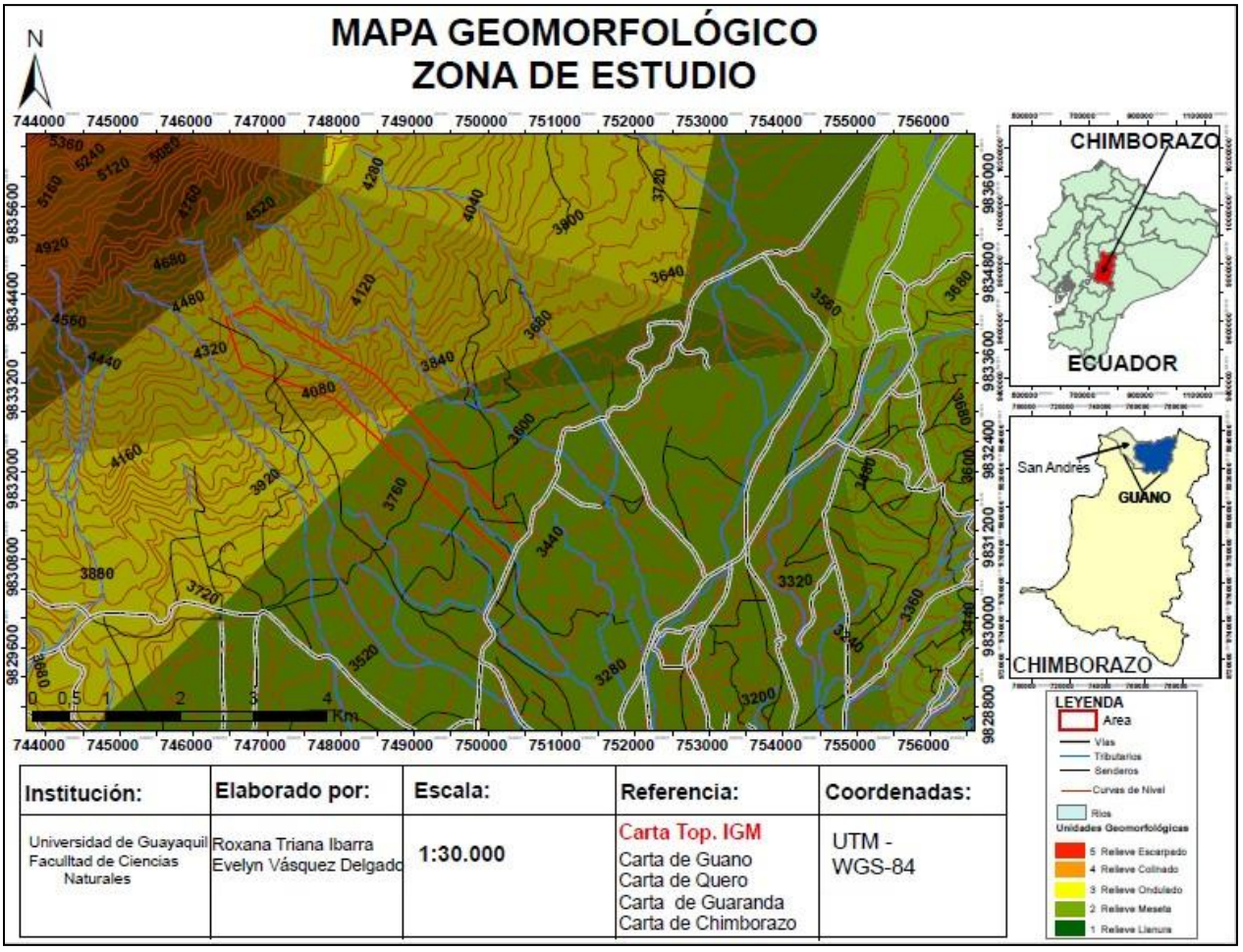

Figura 45. Mapa Geomorfológico del lahar en la Q. Yambo Rumi.

5.7 ORTOMOSAICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el ortomosaico de la Quebrada Yambo Rumi tomada del 2014, se visualiza la formación del deslave en la parte superior o cabecera del polígono el cual encierra el área de estudio, presentándose a su vez los primeros avistamientos del mismo.

En la parte media y final del área se diferencian cultivos y caminos empíricos para acceder a los mismos (Figura 46).

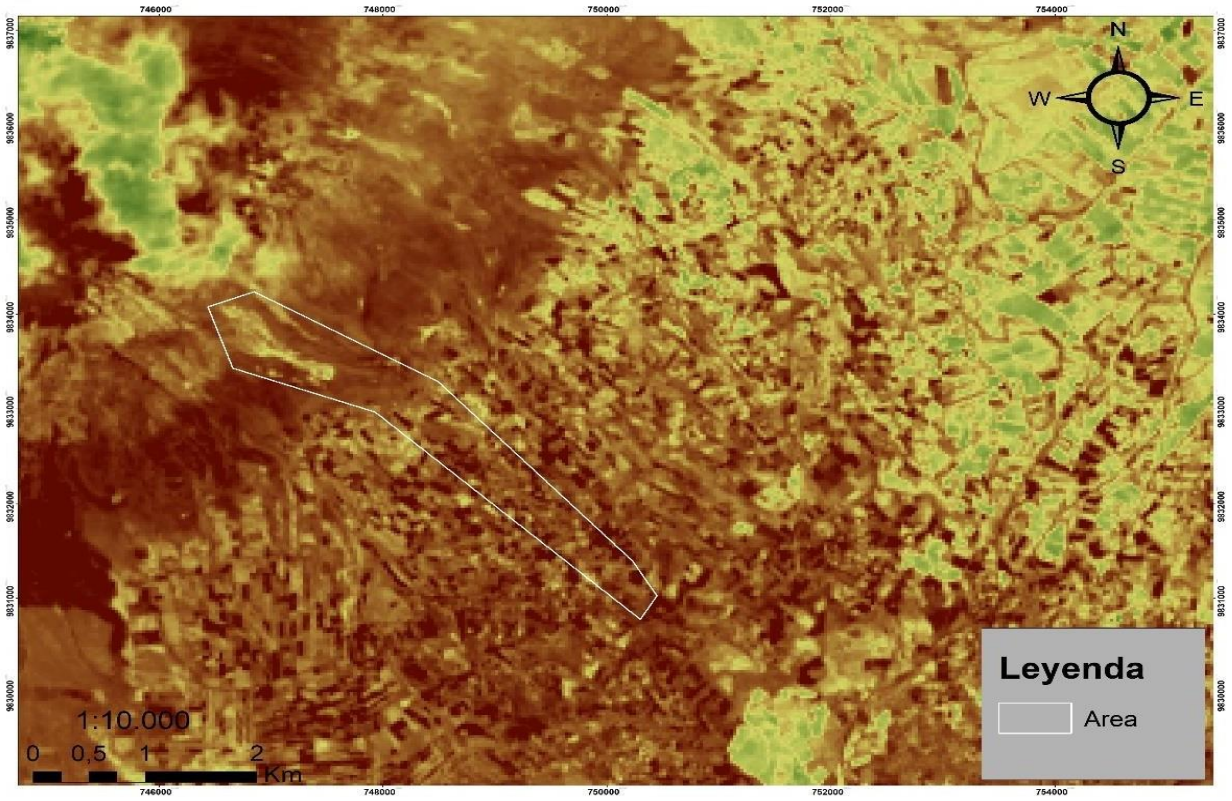

Figura 46. Ortomosaico de la Quebrada Yambo Rumi (2014).
Fuente: Earth- Explorer (2022).

Para llevar a cabo la elaboración de los ortomosaicos u ortofotos en el área de estudio se realizó un análisis, en donde se determinó la subdivisión de la misma en dos partes: Base Primera en la zona con mayor altitud y más cercana a la cúspide del Volcán Chimborazo y Base Segunda, zona baja del polígono.

En las subáreas (Figura 47) se tomaron seis puntos de anclaje (GNSS) en la parte superior y cinco en la inferior para hacer el sobrevuelo.

Se realizó la optimización del área debido a la dificultad para el acceso al terreno en la parte superior y la peligrosidad al presenciarse caída material; también por la necesidad de abaratar costos y menor tiempo para su realización. Además, de igual manera, aporta a una mejor observación de la diferencia de afectación en la Comunidad donde se localiza el evento y las características de los depósitos laharíticos.

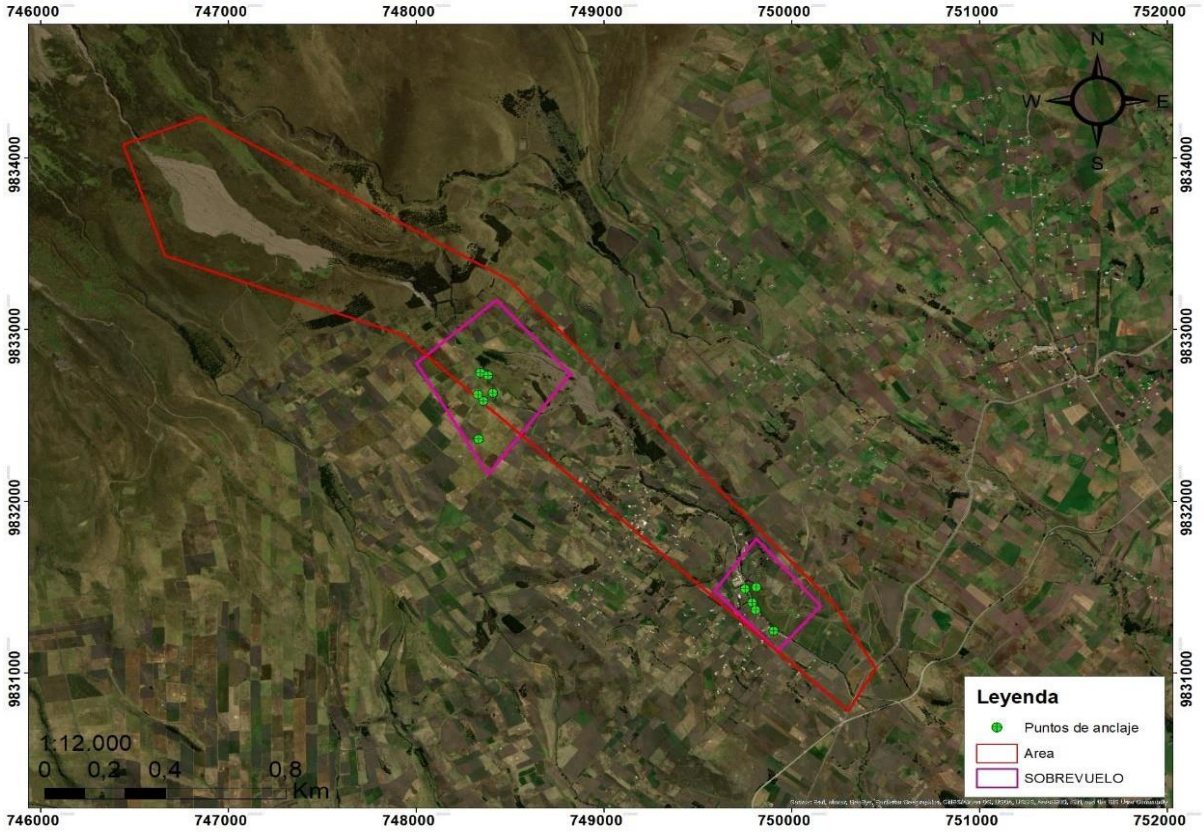

Figura 47. Área de estudio con la subdivisión. Base Primera y Base Segunda.

5.7.1 ORTOMOSAICO:

Base Primera

El ortomosaico que cubre la Base Primera (lugar de toma de puntos de anclaje) la cual se encuentra cubriendo el evento laharítico ubicado a lo largo de la Quebrada Yambo Rumi, logra presentar el actual estado del área, visualizándose material, a una altura fotográfica realizada por el dron de 35 metros, volcano-sedimentario a lo largo de su trayecto, con aproximadamente 200 m de ancho y una extensión de aproximadamente 220 m.

El área cubre un ~ 104.847,63 m^2 y un volumen de material laharítico de ~6.120.370,07 m^3 o 6.022.444,14888 t con respecto a la cota más baja sobre el nivel del mar, a una altura superficial menor a los 3.822, 36 m.

Los daños y el área de afectación son tales que se observan en la imagen, el terreno con diversas depresiones a lo largo del recorrido del lahar, casas cubiertas por el material sedimentario rocas de diversos tamaños y la gran cantidad de material

sedimentario que presenta la superficie del terreno (Figuras 48 - 49).

Figura 48. Ortomosaico del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Primera.

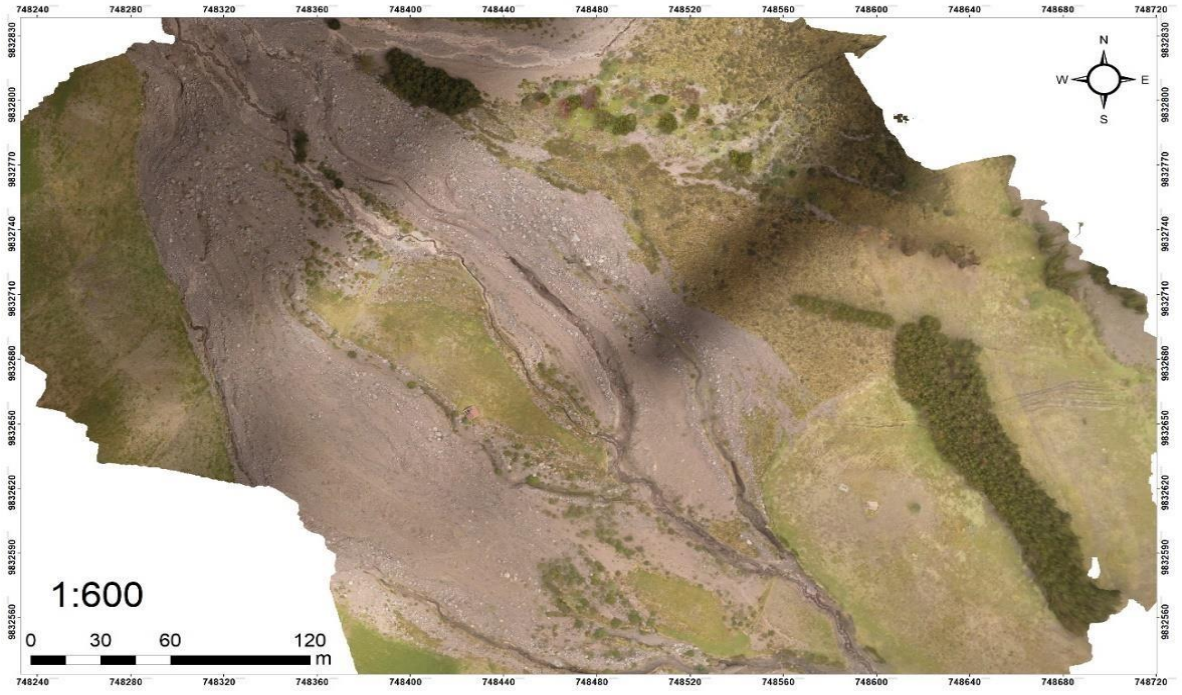

Figura 49. Ortomosaico del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Primera.

5.7.1.1 Mapa de Pendientes:

Base Primera

El mapa de pendientes generado del Ortomosaico y posteriormente del Modelo de Elevación Digital (DEM) que se muestra en la figura 50 de la base primera (lugar de toma de puntos de anclaje) que refleja curvas de nivel muy separadas entre sí, demostrando a su vez que se trata de una superficie de terreno plano, esto al Oeste del mapa; mientras que al Este presenta curvas de nivel más unidas entre sí, determinado que el área posee pendientes más abruptas.

Las pendientes que se observan en el lugar, oscilan en mayor cantidad entre 0 a 40°, en menor proporción entre 40 a 70° y en muy pocos sectores con pendientes abruptas que van de 70 a 240° todo esto reflejado al Oeste del mapa, muy por el contrario, es lo que se visualiza en la parte Este, observándose pendientes muy abruptas con rangos de 40 a 240°.

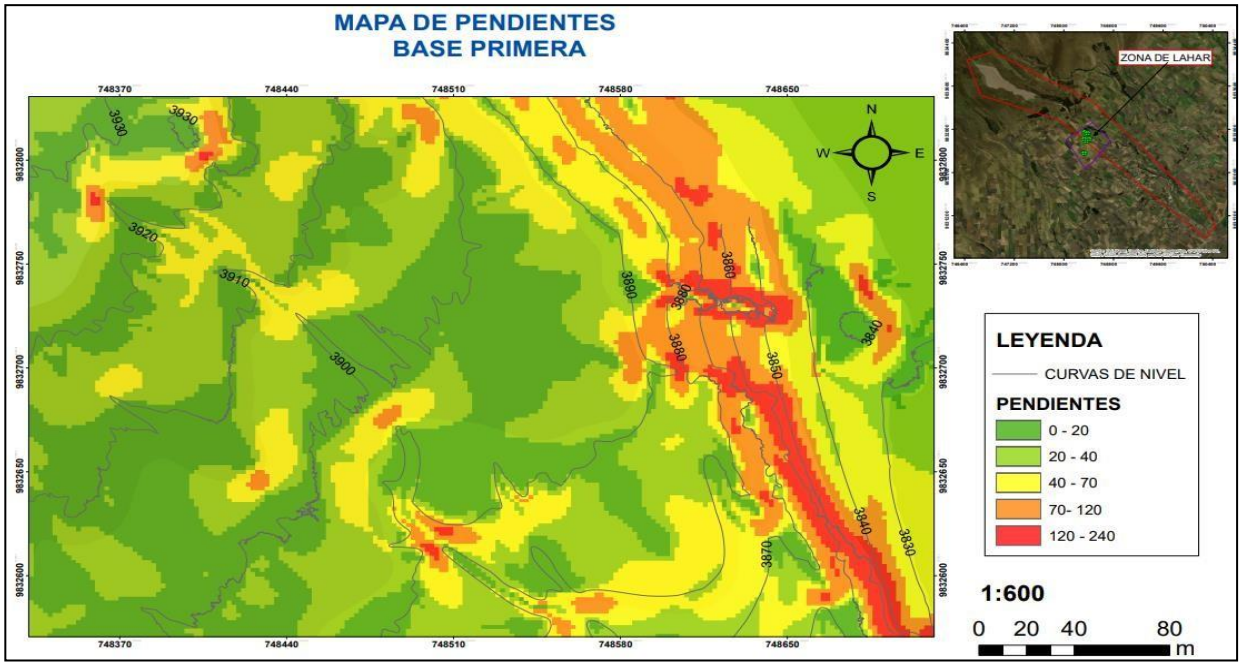

Figura 50. Mapa de pendiente del área de estudio. Base Primera.

5.7.2 Ortomosaico:

Base Segunda

El ortomosaico que cubre la base segunda (lugar de toma de puntos de anclaje) la cual se encuentra cubriendo el evento laharítico ubicado a lo largo de la Quebrada Yambo Rumi, demuestra el actual estado del área, visualizándose material volcano-sedimentario a lo largo de su trayecto a una altura fotográfica captada por el dron de 40 metros, mostrando aproximadamente 15 m de ancho y una extensión próxima a 125 m.

Cubre un área menor de aproximadamente 6.980,28 m^2 y un volumen de material laharítico de ~ 207.151, 26 m^3 o 203.836,83984 t con respecto a la cota más baja sobre el nivel del mar en la base establecida, a una altura superficial menor a los 3.539, 72 m.

El evento laharítico dañó significativamente el camino de principal acceso a viviendas, vía de carretera principal, cultivos y vía ferroviaria; se visualiza una gran depresión de aproximadamente seis metros de profundidad en todo el largo del camino afectado por el lahar (Figura 51).

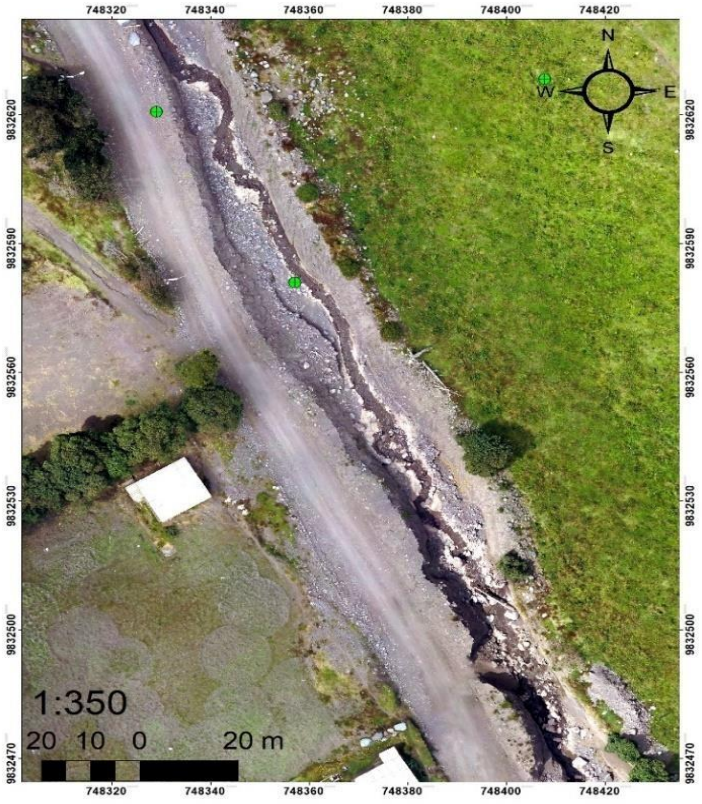

Figura 51. Ortomosaico del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Segunda.

5.7.2.1 Mapa de pendientes:

Base Segunda

El mapa de pendientes que se muestra en la figura 52, representa la base segunda (lugar de toma de puntos de anclaje) del Ortomosaico y posteriormente del Modelo de Elevación Digital (DEM). Refleja curvas de nivel muy unidas entre sí, las cuales se visualizan en el centro del mapa, demostrando a su vez que se trata de una superficie de terreno con pendientes pronunciadas de 25 a 30°; se observan pocos sectores con pendientes de 0 a 18°, concluyendo que se está en presencia de una elevación, la cual se encuentra conformando la base segunda de toma de puntos.

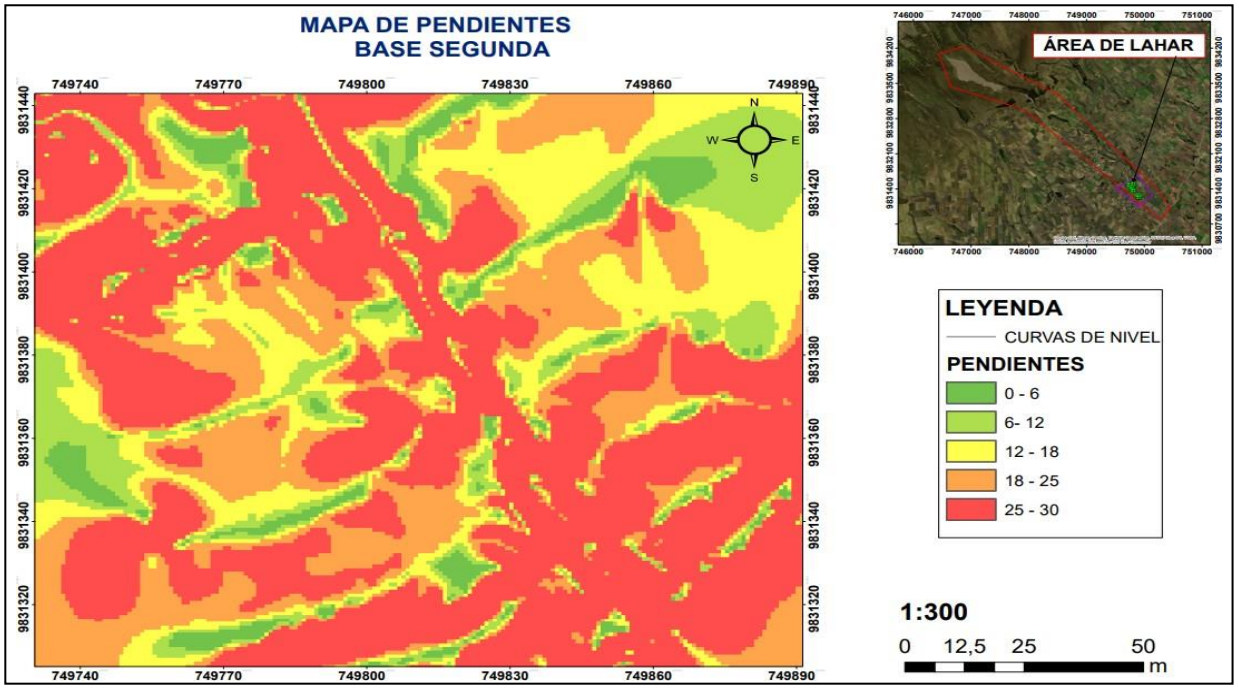

Figura 52. Mapa de pendiente del área de estudio. Base Segunda.

5.8 MODELO DE ELEVACIÓN (MED) DEL LAHAR EN LA QUEBRADA YAMBO RUMI

5.8.1 Modelo de elevación Digital (MED):

Base Primera

El Modelo de Elevación Digital presenta en la figura 53, la base primera (lugar de toma de puntos de anclaje) del área de estudio, en el cual se utilizan varias fotografías obtenidas por sobrevuelo de dron (Figuras 48 y 49), corregidas y procesadas en el software Agisoft; posteriormente realizado en ArcGis 10.6.1 con la aplicación Arcmap. Donde permite tener una visión más amplia de la superficie del terreno tanto en altitud, geoformas del sitio y red hídrica.

Las partes que se tornan de naranja a amarillo representan a las zonas de mayor altura sobre el nivel del mar, mientras; que las zonas que se tornan con coloración turquesa a morado representa las áreas con una menor.

El Modelo de Elevación permite visualizar el relieve del área, las depresiones que se distinguen en forma de ramificaciones que ha dado paso violento al lahar a lo largo del camino recorrido, la cual es determinada como primera base. Teniendo precepción del daño ocurrido, como las vías, casas, pastizales de terreno y el propio ganado.

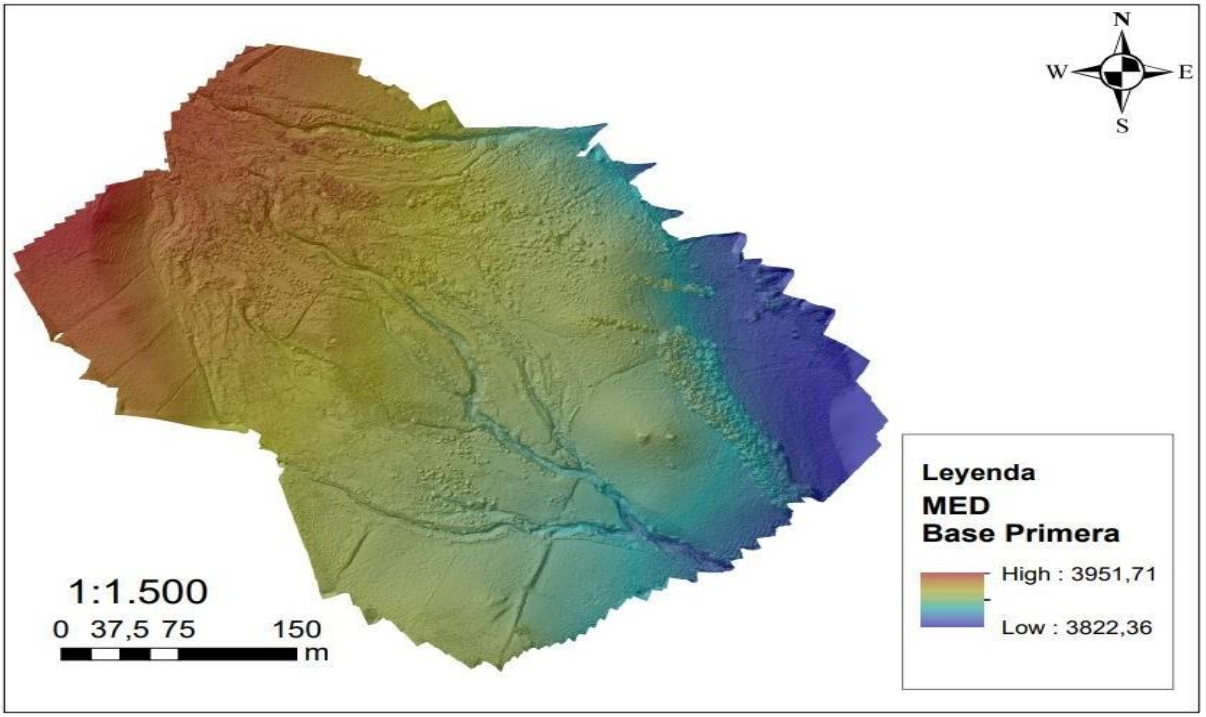

Figura 53. Modelo de Elevación (MED) del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Primera.

5.8.2 Modelo de elevación Digital (MED):

Base Segunda

El siguiente Modelo de Elevación Digital que se expone en la figura 54, representa la base segunda (lugar de toma de puntos de anclaje) del área de estudio, en el cual se utilizan varias fotografías obtenidas por sobrevuelo de dron, que corrigieron y procesaron en el programa Agisoft; tomando dicho mosaico (Figura 51) en Arcmap del programa ArcGis 10.6.1 se lo llevó a cabo.

Los sitios que se tornan de naranja a amarillo representan a las zonas de mayor altitud, mientras que las zonas que se tornan azules representan las áreas de menor.

En la base segunda se logra tener una visión y mejor apreciación en cuanto al daño del terreno como del relieve mismo, considerando que está al margen de viviendas, carretera, colegio y cultivo.

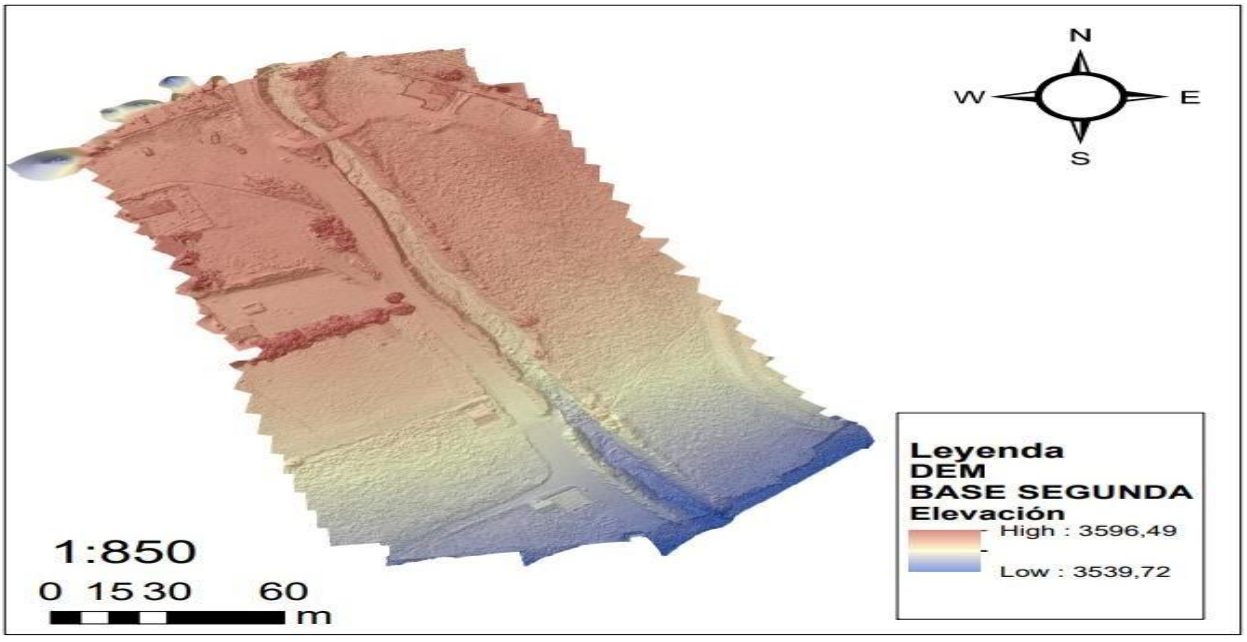

Figura 54. Modelo de Elevación (MED) del lahar en la Q. Yambo Rumi. Base Segunda.

Finalmente, se constató que en los depósitos de lahar en la zona de estudio existen tobas volcánicas semi-duras con textura porosa color gris; pertenecientes a la Formación Cangagua de edad Pleistocena y andesitas duras color gris oscuro, textura afanítica con cristales de cuarzo de 1mm claros y los otros más pequeños coloración oscura, ferromagnesiano; correspondientes según a la hoja geológica de Chimborazo a la Formación Lavas Jóvenes del Chimborazo, Pleistoceno. Ambas formaciones de edad reciente, Cuaternario. Además, el suelo que recubre estás es un inceptisol que es utilizado para labor agrícola y ganadera del sector.

CAPÍTULO VI

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 COMPARATIVA DE ORTOMOSAICOS

En la Quebrada Yambo Rumi se puede presenciar una diferencia notable en el ortomosaico (Figura 55 **A**) con un área de ~ 104.847,63 m^2 que ha sido cubierta por depósitos de lahar (Figura 55 **B**); lo que evidencia más caída de material laharítico, extendiéndose el mismo cubriendo un ancho 200 m y una extensión de aproximadamente 220 m.

Dada esta circunstancia, se ha vuelto un área erosionada por el curso del agua de la vertiente, los vientos fuertes, constantes lluvias y la existencia de bombas de hasta dos metros de diámetro; lo que ha ocasionado la falta de accesibilidad al terreno.

Poniendo en peligro a un poco más de ~500 habitantes de la Comunidad Santa Lucia de Chuquipogyo; que rodea este sector del Volcán Chimborazo, destrucción de una vivienda situada en medio del evento, perdida de dos cabezas de ganado y ocupación de pastizales que les sirve de alimento. Además, del daño de la vía de carretera secundaria que conectaba con la Parroquia Rural Cuatro Esquinas del Cantón Guano, dirección al camino de los Hieleros del Chimborazo.

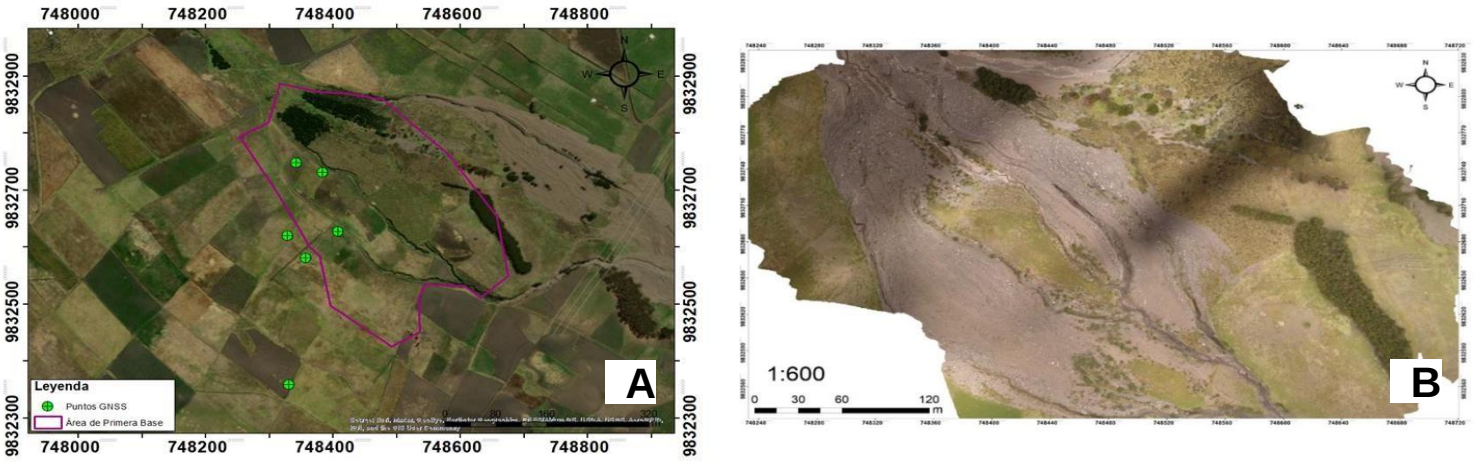

Figura 55. (A) Ortomosaico tomada de Google Earth en el 2019 y (B) Ortomosaico realizado en este trabajo en el 2022.
Fuente: Google Earth, 2022.

Los eventos laharíticos han sucedido desde hace algunos años atrás, como se puede observar en la ortofoto satelital de Earth- Explorer en el 2014 (Figura 46), en donde se ven indicios de la existencia del deslizamiento del material; sin embargo, el 1 de diciembre de 2015 y 29 de abril de 2016 se presentaron eventos de mayores proporciones y afectación; cubriendo mayor área y depositando más material.

Siguiendo el camino del lahar, en la parte baja, a una altura de ~3.574,02 m.s.n.m. donde se estableció una segunda base, se observa el daño de la vía principal de la carretera San Andrés – Guano, las vías de ferrocarril Riobamba – Urbina, sistema eléctrico de la Comunidad, líneas de telefonía móvil y del poliducto Quito – Ambato - Riobamba de combustibles fósiles de la empresa estatal petrolera, Petroecuador.

En esta parte, desde el 2019 a la actualidad no se observan cambios notorios del curso del lahar a lo largo y ancho de la quebrada, que ocasionó gran impacto en 2015 y 2016.

La Red Hídrica existente ha tenido un persistente deterioro, presenciándose un constante socavamiento provocado por el evento laharítico, ya que éste sigue su curso por los tributarios que la constituyen. Los cuales son de primer y segundo orden en la Base Primera (Figura 56. **A**) y de primer, segundo, tercer y cuarto orden de un río en Base Segunda (Figura 56. **B**).

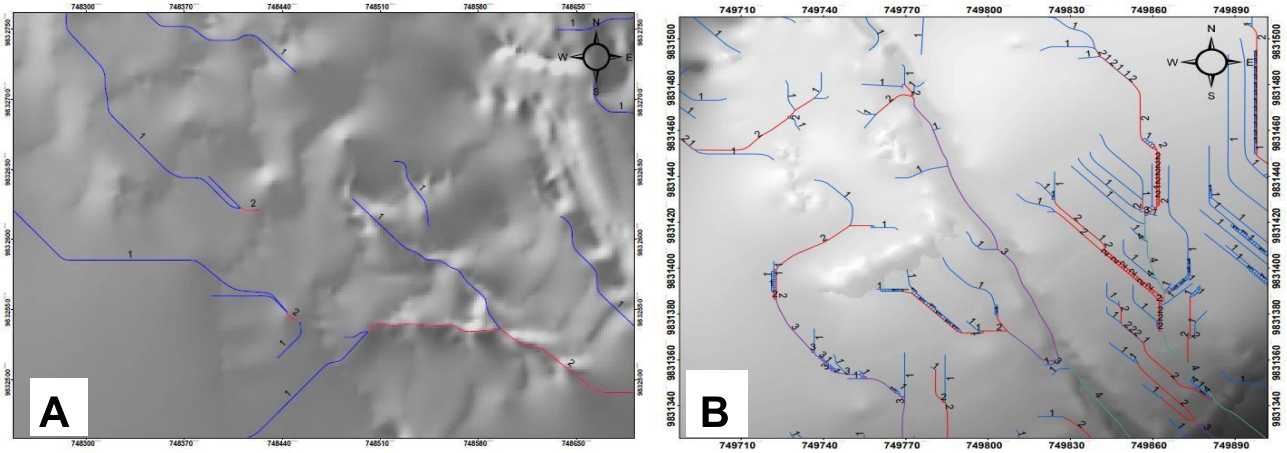

Figura 56. Red Hídrica de Base Primera (A), con sus tributarios de Primer Orden , Segundo Orden ; Base Segunda (B) del área de estudio con sus tributarios de Primer Orden , Segundo Orden , Tercer Orden y Cuarto Orden .

.

El Sistema Hidrológico obtenido de los DEM de la Base Primera (Figura 53) y Base Segunda (Figura 54) de este trabajo, demuestran el recorrido de lahar en parte de sus ramificaciones, ayudados por sus pronunciadas pendientes de hasta 40° (SE) y

flujo permanente de cuerpo de agua.

6.2 FACTORES DESENCADENANTES DE LOS EVENTOS LAHARÍTICOS

El aumento de la temperatura desde 2008 al 2012 fue de 10.5° C a 10.7° C provocó el comienzo del derretimiento del Glaciar N° 13 o Escombros que ahora es zona de hielo muerto o fósil a una altura de ~4.912 m. s. n. m (Figura 57); en 2013 hubo un ascenso que llegó a 10.9° C y fue subiendo a 11.1° C en 2014 que fue ocasionado por las Corrientes del fenómeno del Niño.

Esto se puede evidenciar, pues en 2014 ocurrió un deslizamiento de flujos de escombros o lodos en el mismo Flanco del Chimborazo, producto del desbordamiento de las lagunas de agua de glaciares acumuladas y que llevó consigo los sedimentos de morrenas hacia la Quebrada Yambo Rumi y sus tributarios, esto contribuido por relieve colinado con pronunciadas pendientes de hasta 25°. En la parte más próxima al edificio volcánico se acumuló el material en una planicie de 0 a 5°.

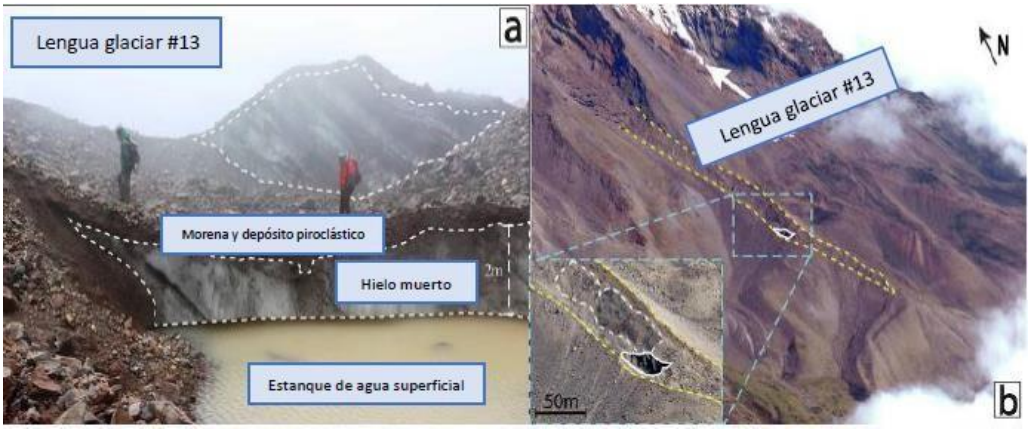

Figura 57. Zona de hielo muerto o fósil del Glaciar N° 13 del Volcán Chimborazo y agujeros de caldera cubiertos por los depósitos de morrenas.
Fuente: Vasconez et. al., (2021)

En los sucesos más violentos del 1 de diciembre de 2015 y 29 de abril del 2016 donde hubo más caída de material piroclásticos a lo largo de la Quebrada Yambo Rumi, con una temperatura en ascenso de 11.2° C a 11.5° C respectivamente.

En el 2015 los vientos fueron 3.4 m/s de velocidad, más alto con respecto al periodo

2005 – 2021.

Según datos pluviométricos del INAMHI para noviembre del 2015 hubo un aumento de las precipitaciones media mensual de 48 mm registrada por la Estación de Guano (M0408) lo cual pudo recargar de agua a los sedimentos de morrenas y colapsar en diciembre de este mismo año. Lo mismo se observó en marzo y abril del 2016, con precipitaciones media mensual de hasta 6,1 mm; lo que desencadenó el otro evento de mayor relevancia en el trayecto de la quebrada, favorecido por las pendientes elevadas que van hasta los 70° de inclinación.

Identificándose como el deslave como un flujo rápido de lodo, ya que contiene un material detrítico muy fino y humedades muy altas, por su esfuerzo de estructuras grandes que dependen de velocidad y caudal; además de la morfología escarpadas o colinadas con pendientes prominentes. (Suárez, 1998)

En noviembre del 2015 se registró por el Observatorio de Volcán Tungurahua (OVT) una gran expulsión de material piroclástico por la actividad volcánica del mismo, compuesto por vapor de agua con bajo contenido de ceniza, SO_2, CO_2, ceniza de granulometría muy gruesa a muy fina, lapilli, bloques/bombas. (Acuña, 2017)

Dichos materiales se dispersaron con dirección Oeste, Noroeste y Suroeste en mayor proporción con velocidades del viento máxima de 12,9 m/s, promedio 7,7 m/s y mínima de hasta 10.3 m/s, con un volumen máximo liberado a la atmosfera de 1.830.000 m^3 y con un alcance máximo de ceniza de 311 km, llegando a la termosfera; además según el IG-EPN determinó, un avance de <100 g/m^3 de ceniza (Figura 58) hacia la parte oriental del Volcán Chimborazo, ~40 km de distancia de este. (Vasconez et. al.,2021)

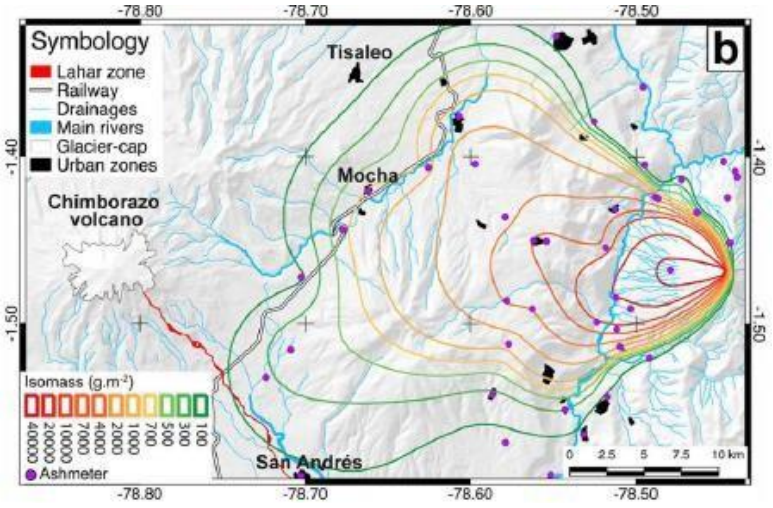

Figura 58. Mapa de Isomasas de emisión de ceniza del Volcán Tungurahua esparcida hacia el Volcán Chimborazo (septiembre- diciembre del 2015).

Fuente: Vasconez et. al., (2021)

Como respuesta a estos sucesos y sumándoles el calentamiento global y variaciones climáticas se produjo un cambio de albedo en el Volcán Chimborazo justo en esta época, ya que, al caer la ceniza sobre el nevado se incrementa la radiación solar que se refleja en el glaciar, esta es absorbida por el hielo y la nieve; acelerando su proceso de derretimiento, alimentando las lagunas glaciares que al desbordarse ocasionó el derrumbe de los depósitos laharíticos.

Durante este periodo solo se registró por el Observatorio del Volcán Chimborazo (OVCHZ) un solo sismo de 3.78 MLv a 58 km de distancia de la zona de estudio que en la escala de Ritcher estimada como moderada el día 6 de abril de 2016 a las 04:05 am, descartándose así que el deslave del 29 de abril de 2016, así como los otros eventos mayores como el del 1 de diciembre de 2015 ya que la actividad volcánica interna en cuanto a la sísmica es de baja magnitud y poco detectable por ser menor a 3 MLv.

Sin embargo, el IG-EPN registra una elevación de los diferentes eventos sísmicos y anomalía térmica del edificio volcánico, lo podría ser otro detonante de la fusión del Glaciar °13 o Escombros. (Vasconez et. al., 2021)

6.3 MAPA MULTICRITERIO

La figura 59 es la recopilación del Mapa Geológico del Chimborazo, datos de precipitación media mensual (2016) del portal web Ventusky y Mapa topográfico de Quero, Guano, Riobamba y Chimborazo del IGM; Mapa de pendientes, Mapa geomorfológico y el Mapa de suelos del área de sobrevuelo. La cual, en conjunto, alberga información valiosa para realizar una evaluación del área de estudio. Determinando así las zonas consideradas riesgosas, esto con el fin, de seleccionar los lugares que a largo, mediano y corto plazo serian afectados por un evento laharítico, vulnerando a la población, ganados, cultivos e infraestructura cercana.

Basándose en un detallado estudio, se determinan cinco zonas consideradas riesgosas, cuyos puntos críticos se encuentran clasificados en: Riesgo bajo, medio y alto; representados con color verde, amarillo y rojo; respetivamente, dichas zonas fueron evaluadas en consideración al tipo de suelo, geología, precipitación, geomorfología y pendiente.

Al norte del área de estudio, se encuentra el primer punto (color rojo) considerada zona de alto riesgo, evaluándose la pendiente del área y el tipo de material, el lugar marcado como zona de alto riesgo posee una pendiente abrupta, al reflejarse curvas de nivel muy unidas. Siendo estas agrupadas de menor a mayor representándose la vaguada, en donde el escurrimiento superficial pasa en medio de ellas, drenando el agua del punto más alto al punto más bajo que siguen el curso de la Quebrada Yambo Rumi. El lugar posee material limoso con arena muy fina, limitando con material gravo- areno- limoso; volviéndose un material capaz de captar y sobresaturarse de agua, además la cobertura vegetal en dirección al Este del lahar son pastizales lo cual lo vuelve incapaz de producir un buen soporte, lo que provocaría el desprendimiento de suelo que seguiría el trayecto del cauce.

Los dos puntos de color amarillo, representan las zonas determinadas como riesgo medio, los puntos se encuentran ubicados en el curso del cauce. El material que se concentra en el área es areno-gravoso y a considerar por la pendiente y ubicación de los puntos, el material que se desprende desde arriba, caería, siguiendo el cauce del río.

Los dos puntos representados de color verde, determinan zonas de bajo riesgo, pero no dejan de representar peligro en el área; entre las dos zonas señaladas como de riesgo bajo, el punto verde superior ubicado a la izquierda representa

peligro, ya que el material que se desprende se llevaría consigo la Escuela “Nevado Chimborazo”. El punto verde inferior al estar ubicado en un área de menor pendiente considerada casi plana, está expuesto a tener otra clase de evento geológico, como es el socavamiento; esto a causa del desprendimiento de las paredes del cauce producto del material laharítico que se desplaza continuamente, poniendo en riesgo el puente que conecta a viviendas ubicadas a pocos metros del evento.

Es así que se evalúan cinco puntos críticos en el área de estudio, detallando y aseverándose futuros eventos en base a los factores ya mencionados.

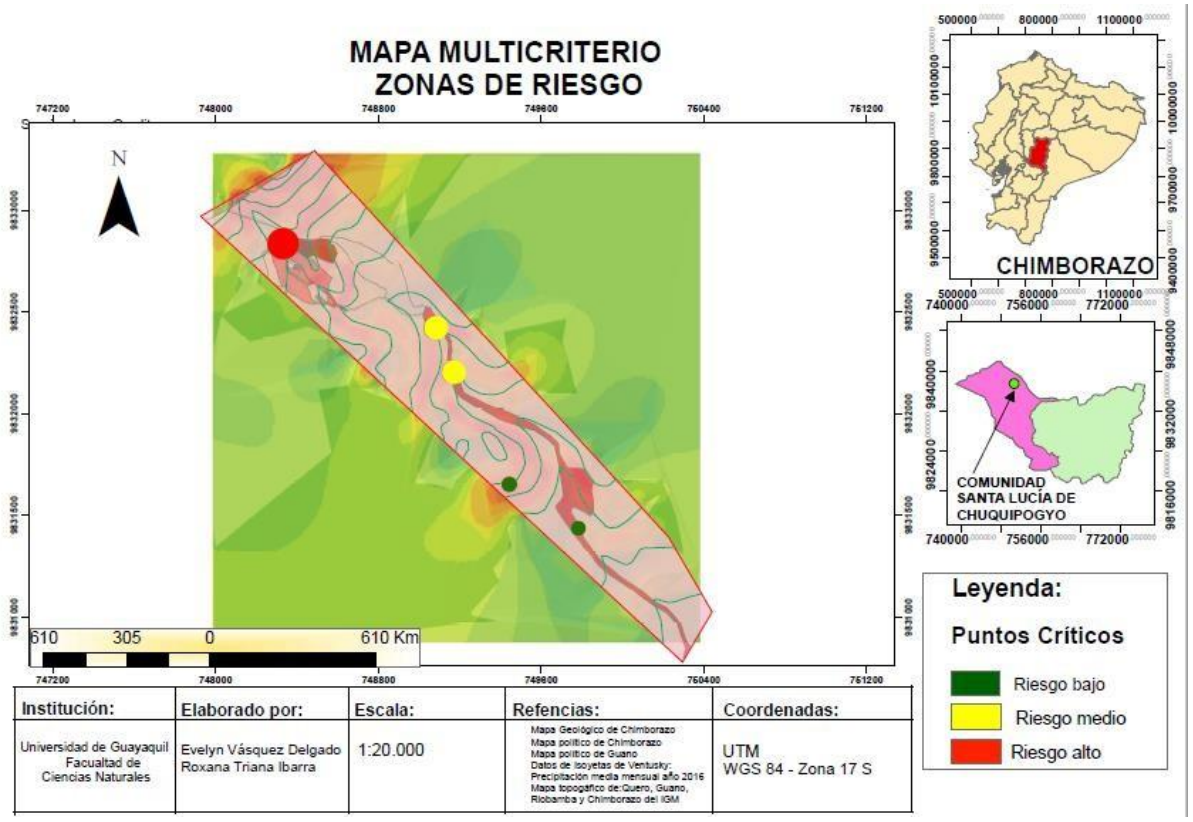

Figura 59. Mapa Multicriterio de Zonas de Riesgo en el área de estudio sobrevolada.

6.4 CONCLUSIONES

- Algunos de los factores desencadenantes de los eventos laharíticos presentes en la Quebrada Yambo Rumi son: pendientes muy pronunciadas del sector de hasta 70° de inclinación con morfología colinada, facilitando el trayecto del material laharítico. La fusión del casquete N° 13 o Escombros, que ahora es zona de hielo muerto o fósil a ~4.912 m. s. n. m, producto del cambio de albedo por la caída de ceniza que se dio en noviembre de 2015 del Volcán Tungurahua, formó una laguna glaciar que, al desbordarse, se llevó a su paso material volcano-sedimentario, siguiendo el trayecto del cauce.

- La caída de ceniza del Volcán Tungurahua con dirección de vientos Oeste, Noroeste y Suroeste, afectaron a la parte Oriental del Volcán Chimborazo ubicado a 40 Km, dispersando <100 g/m^3 de ceniza de un volumen total de 1.830.000 m^3, con un alcance máximo de 311 Km, llegando a la cuarta capa de la atmosfera, termosfera, provocando derretimiento del glaciar N°13 y del propio nevado.

- La alta precipitación media mensual durante noviembre de 2015 y abril de 2016 pudo sobresaturar el suelo de agua facilitando el deslizamiento del material laharítico a lo largo de la Quebrada, sumándose a esto vientos de 3.4 (m/s) para el año 2015; siendo los más altos durante el periodo 2005 al 2021.

- La Comunidad Santa Lucia de Chuquipogyo de ~500 habitantes que alberga la Quebrada Yambo Rumi ha sido afectada por los eventos lahariticos mayores del 1 de Diciembre de 2015 y 29 de abril de 2016 en el Flanco Sureste del Volcán Chimborazo, que sufrieron perdida de dos cabezas de ganado vacuno, perdidas de cultivos de pastizales en el terreno ya que su extensión cubre en la Base Primera un ancho de 200 m, daño de vías de carretera principal San Andrés – Guano, vía de carretera de segundo orden que conectaba con la Parroquia Rural Cuatro Esquinas del Cantón Guano, vía férrea Riobamba – Urbina.

- Avería de las líneas telefónicas, sistema eléctrico, infraestructura (una vivienda) y del poliducto de combustibles fósiles Quito – Ambato - Riobamba de la empresa pública, Petroecuador.

- Las zonas de mayor y media peligrosidad, propensas a suceder nuevos eventos laharíticos, son tres, las mismas que se encuentran en la parte media y alta del área señalada para este estudio; debido a su pronunciada pendiente, geoforma, geología, constantes precipitaciones del sector y suelo con cobertura vegetal, siendo pastizales; mantienen un pobre soporte, lo que causaría el desprendimiento del mismo, llevándose consigo el material laharítico, siguiendo el trayecto del cauce.

- Las zonas de baja peligrosidad con efectos a largo plazo son dos, ubicadas en la parte inferior del área en estudio, ya que a pesar de ser una planicie está expuesta a socavamiento de las paredes de la ruta del lahar, poniéndose en riesgo viviendas alrededor y la Escuela “Nevado Chimborazo” ubicada a pocos metros del suceso.

- Los materiales que constituyen los depósitos laharíticos son de origen de flujo secundario, debido a que se trata de un evento post-volcánico. En la Base Primera, se manifiestan flujos hiperconcentrados ya que existen partículas de tamaño limo o arcillas, arenas finas a medias, gravas y bloques mezcladas con agua. En la Base Segunda se presentan arenas medias a gruesas y gravas sueltas en mayor proporción que los limos o arcillas.

- El área de estudio se asienta sobre la Formación Lavas jóvenes del Chimborazo de edad Pleistocénica constituida de roca andesítica y tobas volcánicas pertenecientes a la Formación Cangagua.

6.5 RECOMENDACIONES

- Desalojar a las personas que se encuentran viviendo en los puntos delimitados como zonas de alta peligrosidad del deslizamiento de lahares.

- Suspender las actividades agrícolas y ganaderas definitivamente en el área delimitado con peligros laharíticos en el lado Flanco Sureste del Volcán Chimborazo.

- Evitar la construcción de infraestructuras (viviendas, vías) a lo largo del trayecto de la Quebrada Yambo Rumi.

- Realizar un estudio de la actividad interna del Volcán Chimborazo, dado que el IG-EPN, hace mención de que existe un incremento de anomalías térmicas y microsismos del coloso, que no son detectables en magnitud y ubicación exacta.

- Colocar una estación meteorológica que permita detectar, temperatura, clima, humedad relativa, humedad promedio en la Reserva Faunística del Chimborazo.

- Instalar una Red Laharítica alrededor del Volcán Chimborazo que detecten el movimiento del suelo, ya que así se puede revelar de manera rápida un deslizamiento, emitiendo una alerta temprana a la población.

CAPITULO VII

7. REFERENCIAS

Aguilera, R. A., 2018, Petrogénesis de los afloramientos de la FMPiñón (Cretáceo), ubicados en el sector sur, Cerro la Alemania, provincia delGuayas. Guayaquil.

Almeida, S., Sierra, D., y Andrade, D., (2017), Lahares- flujos de lodo-tríptico informativo del Instituto Geofísico, p. 3

Amaya, M, A., 2019, Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia FDR, en el cultivo de banano. Método gravimétrico: Machala, Universidad de Machala, 65p.

Arce, G. M., 2015, Vivienda bioclimática de interés social para la urbanización "Diosesis de Riobamba" del Cantón Guano: Quito., Universidad Central del Ecuador, 136 p.

Barba, D. P., 2006, Estudio vulcanológico del complejo volcánico Chimborazo-Ecuador: Quito, Escuela Politécnica Nacional, 14-15 p.

Barba, D. P., 2006, Estudio vulcanológico del complejo volcánico Chimborazo-Ecuador: Clima, Cobertura Glaciar, Flora y Fauna: Quito., Escuela Politécnica Nacional, 217 p.

Barba, D. P., 2006, Estudio vulcanológico del complejo volcánico Chimborazo-Ecuador: Quito, Escuela Politécnica Nacional, 59p.

Barba, D. P., 2006, Estudio vulcanológico del complejo volcánico Chimborazo-Ecuador: Clima, Cobertura Glaciar, Flora y Fauna: Quito., Escuela Politécnica Nacional, 217, 44 p.

Barba, D. P., 2006, Estudio vulcanológico del complejo volcánico Chimborazo-Ecuador: Quito, Escuela Politécnica Nacional, 216, 57-58p.

Bernés, B., (2015). Modelización de lahares y diseño de estructuras de contención en el volcán Popocatépetl. Concepto de lahar: Madrid, Universidad politécnica Madrid.

Cabrera, L. J, Determinación de la vulnerabilidad hídrica del río guano de la provincia de Chimborazo, en cantidad y calidad y su disponibilidad frente alcambio climático: Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo, 21 p.

Cárdenas, A, R; Donoso, A, E., 2008, Proposición de una metodología particular para obtener la capacitación de soporte para suelos granulares sin curva Proctor definida. Determinación de la granulometría: Punta Arena, Universidad de Magallanes, 190p.

Castro, J. A., 2013, Evaluación y zonificación de los Procesos Geodinámicos que influyen en el área urbana del cantón Guaranda: Quito, Universidad Central del Ecuador, 113, 19p.

Chamorro, A., 2007, Definición de Prioridades de Manejo del Recurso Hídrico por Microcuencas en la Provincia de Chimborazo: Geología: Sangolquí, Escuela Politécnica del Ejercito, 119 p.

Clapperton, C.,1990, Glacial and volcanic geomorphology of the Chimborazo-Carihuairazo Massif, Ecuadorian Andes: Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 28 p.

Claros, R., A., Guevara, A., E. y Pacas, N., R., 2016, Levantamiento topográfico mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados, Fotogrametría: El Salvador, Universidad del Salvador, 294 p.

Componente 2. Geopedología y Amenazas Geológicas, 2012, Análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa, cantón Guano: IEE y SIGAGRO – 44, 12 p.

D'ERCOLE, R., DEMORAES, F., 2001, Cartografía de las amenazas de origen

natural por cantón en el Ecuador: Université de Savoie – 65, 28 p.

Earth Explorer, 2014, Science for a Changing Word: https://earthexplorer.usgs.gov/. (Accedido en enero de 2022).

El Comercio, 2021, Un mapa definió los riesgos por volcán Chimborazo: https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/mapa-riesgos-volcanchimborazo-lahares.html

Fagens, S.A., Baloga, S. M. (2006). Toward a model for the bulking and debulking of lahars. J Geophys Res Solid Earth, p. 111.

GADPR., 2012;2021, Gobierno autónomo descentralizado rural de San Andrés Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial: Riobamba.

Gavilánez, E., Paca, D., 2020, Delimitación de las zonas seguras ante el flujo de lahares por derretimiento del glaciar del Chimborazo, en la comunidad Santa Lucia de Chuquipogyo, parroquia San Andrés, Cantón Guano. Geología: Guaranda, Universidad Estatal de Bolívar.

Guzmán, A., 2018, Dinamismos eruptivos de los periodos de actividad pertenecientes al Pleistoceno Tardío del volcán Chimborazo, en base a las características de los piroclastos de caída del corte de Totorillas: Quito., Escuela Politécnica Nacional, 101, 19-20 p.

Hernández, E, B., 2020, Rendimiento de calidad de Naranjo en Veracruz bajo dos prácticas culturales para la retención de humedad. Métodos para medir la humedad: Torreón, Tecnológico Nacional de México, Instituto tecnológico de Torreón división de estudios de posgrados e investigación, 36 p.

Hernández, S., 2017, Generación de imágenes usando vehículos aéreos no tripulados aplicado a la agricultura. Ortomosaico: Medellín, Escuela de Ciencias Departamento de Ciencias Físicas - Universidad EAFIT, 80 p.

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2021, Chimborazo: https://www.igepn.edu.ec/chimborazo (Accedido en septiembre 2021)

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2021, Entrega oficial de mapa de amenazas potenciales por lahares secundarios Quebrada Yambo Rumi del volcán CHIMBORAZO: https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1372-entrega-oficial-del-mapa-de-amenazas-potenciales-por-lahares-secundarios-quebrada-yambo-rumi-del-volcan-chimborazo.

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2021, RED NACIONAL DE SISMÓGRAFOS (RENSIG): https://igepn.edu.ec/red-nacional-de-sismografos (Accedido en septiembre 2021).

Instituto Geofísico de la escuela Politécnica Nacional, 2022, Glosario: https://www.igepn.edu.ec/glosario

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022, Red Monitoreo del Volcán Chimborazo: https://www.igepn.edu.ec/chimborazo-red-de-monitoreo

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022, Red Monitoreo del Volcán Tungurahua: https://www.igepn.edu.ec/tungurahua-red-de-monitoreo

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INHAMI, (2022): Registro de datos Meteorologicos de la Estación Guano, M0408

Meléndrez, S. V, 2014, Estudio de los rasgos culturales representativos de guano y su presencia en las artesanías actuales. Propuestas alternativas: Riobamba, EscuelaSuperior Politécnica de Chimborazo, 47 p.

Meléndrez, S. V, 2014, Estudio de los rasgos culturales representativos de guano y su presencia en las artesanías actuales. Propuestas alternativas. Geología

económica del Cantón Guano: Riobamba, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 42-43 p.

Meléndrez, S. V, 2014, Estudio de los rasgos culturales representativos de guano y su presencia en las artesanías actuales. Propuestas alternativas. Uso y ocupación del suelo: Riobamba, EscuelaSuperior Politécnica de Chimborazo, 43 p.

Meléndrez, S. V., 2014, Estudio de los rasgos culturales representativos de Guano y su presencia en las artesanías actuales propuestas alternativas: Tipos de cimas del Cantón Guano: Riobamba., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,192 p.

Moreta, D. J., 2017, Análisis de riesgo en el cantón Riobamba, frente a lahares y flujos de lodo asociados al volcán Chimborazo: Quito, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 152, 18p.

Mothes, P., Vallance, J. (2015). Lahars at Cotopaxi and Tungurahua Volcanoes, Ecuador: Highlights from Stratigraphy and Observational Records and Related Downstream Hazards. En: Volcanic Hazards, Risks, and Disasters. Elsevier, p. 141-168.

Núñez, E., 2003, Geología del Ecuador. Marco Geomorfológico: Guayaquil, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 102 p.

Núñez, E., 2003, Geología del Ecuador. Marco Geomorfológico: Guayaquil, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 275.

Núñez, E., 2003, Geología del Ecuador. Rasgos Estructurales Dominantes: Guayaquil, Escuela Superior Politécnica del Litoral 275, 12 p.

Obtenido de Francis, Minerales y rocas – francis Toba volcánica:

http://.redjaen.es/francis/?m=c&o=25275. (Accedido en enero de 2022).

Obtenido de Geología Web, Andesita ROCAS: https://geologiaweb.com/rocas/andesita/. (Accedido en enero de 2022).

Obtenido de Geología Web, Toba Volcánica ROCAS: http://www.redjaen.es/francis/?m=c&o=25275. (Accedido en enero de 2022).

Obtenido de Instituto Geofisico: https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-vulcanologia/bibl-chimborazo/18843-samaniego-p-barba-d-robin-c-fornari-m-bernard-b-2012/file

Ojeda, W; Flores, J; Ontiveros, R., 2016, Uso y manejo de drones con aplicaciones al sector hídrico. Ortomosaico: México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 430 p.

PDOT., 2014, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Andrés, Cantón Guano, Provincia de Chimborazo: Riobamba, 166p.

PDOT., 2014, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Andrés, Cantón Guano, Provincia de Chimborazo: Riobamba, 166, 15 p.

PDOT., 2014, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Andrés, Cantón Guano, Provincia de Chimborazo. Fisiografía y Suelos: Riobamba, 166.

PDOT., 2015, Versión preliminar del contenido del plan de desarrolloy ordenamiento territorial de la Parroquia de San Andrés: Riobamba.

Pierson, T., y Costa, J.(1987). A rheologic classification of subraerial sediment wáter flows, Geological Society of America, Vol. VII, p. 1-12.

Pourrut, P., 1983, Estudio realizado en el marco de un convenio entre la ORSTOM y PRONAREG (Programa Nacional de Regionalización Agraria delMinisterio de Agricultura y Ganadería: Elementos y factores del clima: Quito, 37 p.

Ramos, I., A., 2012, Estudio de la dinámica de los lahares recientes del flanco oeste del Complejo Volcánico Nevados de Chillán (36º50’ s), Andes del Sur: Santiago de Chile, Universidad de Chile, 93 p.

Randel, R. P. y Lozada, F., 1973, Mapa Geológico de Chimborazo, Londres: Dirección General de Geología y Minas, Overseas Development Adminitration, escala 1:100.000

Salguero, D, A., 2017, Levantamiento Geológico-Estructural de la zona comprendida por la Hoja Topográfica Guano, escala 1:50.000, Provincia de Chimborazo: Quito, Escuela Politécnica Nacional, 190, 121 y 130p.

Salguero, D., A., 2017, Levantamiento Geológico-Estructural de la zona comprendida por la Hoja Topográfica Guano, escala 1:50.000, Provincia de Chimborazo: Quito, Escuela Politécnica Nacional, 31 p.

Saltos, R. E. (2017). Estimacion de los caudales de los lahares del 26 de junio de 19877 en cuatri quebradas mayors del volcan Chimborazo: Quito, Escuela Politecnica Nacional, p. 107.

Samaniego, P., Barba, D., Robin, C., Fornari, M., & Bernard, B., 2012, Eruptive History of Chimborazo volcano (Ecuador): A large, ice-capped and hazardous compound volcano in the northern Andes: Quito, Ecuador, Clermont Université, Université Blaise Pascal, Laboratoire Magmas et Volcans, Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Géosciences Azur, Université Nice-Sophia Antipolis, Parc Valrose, Nice, France f Universidad San Francisco de Quito, Diego deRobles y vía Interoceánica, p. 48.

Santamaría, J y Sanz, T., 2011, Fundamentos de fotogrametría. Plan de vuelo: Logroño, Universidad de la Rioja, 70p.

Schweizer, S., 2011, Muestreo y Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Toma de muestras: San José, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, 18p.

Segovia, F., X., 2017, Zonificación y evaluación de amenazas por deslizamientos y caídas de roca en el cantón Guano - Provincia de Chimborazo, escala 1: 25 000: Quito, Universidad Central del Ecuador, 99, 12 p.

Serna, A y López, R., 2010, La fotogrametría aplicando al catastro. Fases de un Proyecto Fotogramétrico: México, D.F., Instituto Politécnico Nacional, 138p.

Servicio Geológico Mexicano, 2017, Escalas de los sismos: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion_complementaria/Escalas-sismos.html

Suárez, J., 1998, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales: Universidad Industrial de Santander: Cucaramanga, Colombia, 22 p.

Tipán, D. N, Estudio hidráulico del Río Guano para la determinación de la Conductancia entre río- acuífero y zonas de inundación: Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo, 19-20 p.

Ugalde, M. F., Constantine, A, R., 2017, Volcanes, ceniza y ocupaciones antiguas en perspectivas geoarqueológicas en América Latina: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 85 p.

Vallance, J.W., Iverson, R. M. 2015. Lahars and their deposits. En: Sigurdsson, H., Houghton, B.F., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. Second Edition, Encyclopedia of Volcanoes. Academic Press, London, p. 649-664.

Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R., Leonard L., 2007, Evolución Geodinámica de la Cordillera Occidental (Cretácico Tardío-Paleógeno): Zurich, Suiza, Geological Institute,ETH, Departamento de Mineralogía, Universidad de Ginebra, Reino Unido, Escuela de Geociencias, Universidad de Aberdeen, 112 p.

Vasconez, F., Maisincho, L., Andrade, S., Cáceres, B., Bernard, B., Argoti, C., Telenchana, E., Almeida, M., Almeida, S., Lema, V., 2021, Secondary Lahars Triggered by Periglacial Melting at Chimborazo Volcano, Ecuador: Escuela

Politécnica Nacional, Instituto Geofísico, Quito, Ecuador; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, Ecuador; Universidad Regional Amazónica IKIAM, Tena, Ecuador; Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito, Ecuador, 19 – 30 p.

Vasconez, F., Maisincho, L., Andrade, D., Cáceres, B., Bernard, B., Argoti, C., Telenchana, E., Almeida, M., Almeida, S., Lema, V., Mothes, P., Marrero, J., Hidalgo, S., 2016, Mapa de amenazas potenciales por lahares secundarios quebrada Yambo Rumi - volcán Chimborazo: Escuela Politécnica Nacional, Instituto Geofísico, Quito, Ecuador; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, Ecuador.

Vinicio, M., 2000. Clasificación de lahares Volcán de Santiaguito. Flujo de lodo volcánico- lahares: Guatemala: http://desastres.usac.edu.gt/documentos/guias_kaqchikel/guias/pdf/doc213/doc213%20-contenido.pd

Acuña, K. E, 2017, Análisis de las cenizas del Tungurahua (granulométrico, de componentes y químico) en la primera fase eruptiva de 2010 (Enero - Marzo): Quito, Escuela Politécnica Nacional, 144 p.

ANEXOS

Anexo 1. Factor Precipitación

Tabla 5. Datos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, perfil de humedad del suelo y precipitación promedio anual de la comunidad santa lucía de chuquipogyo de agroclimatología de power data access de la nasa.

PARÁMETRO	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
TEMPERATURA A 2 m °C	2005	11.79	12.45	12.12	11.9	11.75	11.62	11.3	11.55	12.39	11.85	11.52	11.15	11.78
	2006	11.42	11.49	11.29	11.51	10.87	10.15	9.92	10.37	11.05	12.13	12.23	12.17	11.22
	2007	13.0	11.97	11.91	12.1	12.25	10.64	11.3	10.61	10.69	10.94	11.14	10.64	11.43
	2008	11.0	10.6	10.45	10.79	10.69	10.07	9.5	9.98	10.46	10.98	11.05	11.03	10.55
	2009	11.15	11.05	11.16	11.31	11.19	10.94	10.74	10.98	11.37	11.83	11.94	11.88	11.3
	2010	12.32	12.54	12.17	12.06	12.0	10.41	10.7	10.37	10.91	11.18	10.61	10.57	11.31
	2011	10.73	10.8	10.84	11.05	11.13	10.64	10.01	10.34	10.58	10.86	10.87	11.06	10.74
	2012	10.96	10.53	10.87	10.9	10.69	10.14	9.81	9.65	10.33	11.08	11.51	11.19	10.64
	2013	12.03	11.02	11.55	11.6	11.05	9.9	9.68	10.15	10.62	11.14	11.12	11.41	10.94
	2014	11.44	11.37	11.28	11.77	11.56	10.5	10.16	10.01	10.93	11.15	11.54	11.47	11.09
	2015	11.39	11.41	11.26	11.23	11.33	10.1	10.32	10.62	10.78	11.8	12.11	11.94	11.19
	2016	12.73	12.6	12.66	12.33	11.73	9.94	9.96	10.41	10.91	11.43	11.73	11.49	11.49
	2017	10.99	11.0	11.08	11.53	11.21	10.69	9.43	10.34	10.66	11.64	11.28	11.48	10.94
	2018	11.03	11.9	11.45	10.83	11.08	10.06	9.96	9.7	10.7	11.51	11.87	11.08	10.92
	2019	11.4	11.98	11.6	11.9	11.27	10.55	9.79	9.83	10.75	11.2	11.74	11.95	11.15
	2020	11.93	12.31	12.35	11.98	11.73	10.67	10.12	10.74	11.12	11.77	11.69	11.81	11.51
HUMEDAD RELATIVA A 2 m (%)	2005	84.19	83.5	84.44	84.0	82.25	79.81	76.06	75.0	74.25	78.19	79.75	83.06	80.38
	2006	82.88	87.88	87.88	86.62	84.69	83.81	81.06	80.0	76.5	75.62	77.88	79.88	82.0
	2007	80.12	79.31	82.0	81.69	80.44	80.31	77.62	77.38	77.69	82.44	84.44	85.19	80.75
	2008	87.94	88.81	89.56	89.31	88.88	87.06	85.88	84.06	84.31	84.44	84.12	84.31	86.56
	2009	86.31	88.25	89.0	86.94	84.25	82.94	79.62	79.12	76.0	81.25	80.06	84.25	83.12
	2010	83.38	85.38	85.5	88.0	86.25	84.31	83.31	78.69	77.25	79.88	84.75	86.69	83.62
	2011	87.06	88.5	87.81	89.19	86.75	86.12	85.88	81.75	81.06	82.56	83.38	86.25	85.5
	2012	89.06	90.12	89.75	89.19	88.06	85.94	83.69	80.44	79.5	83.25	84.94	84.88	85.69
	2013	86.88	89.0	89.0	86.56	87.81	85.06	85.25	84.06	81.12	83.0	84.12	84.81	85.56
	2014	87.5	89.19	88.12	85.12	86.38	83.94	81.94	80.0	79.12	82.19	84.19	84.31	84.31
	2015	85.81	88.19	88.81	88.31	88.5	86.5	84.94	82.75	80.06	82.69	84.44	84.25	85.44
	2016	86.81	87.31	87.62	88.38	86.62	86.0	84.94	81.44	81.88	82.12	82.94	85.12	85.06
	2017	88.06	89.31	89.69	88.94	88.25	86.94	83.25	82.94	82.62	84.25	84.38	86.38	86.25
	2018	86.94	89.44	89.12	88.44	88.31	85.88	84.5	82.81	80.06	83.62	86.06	86.25	85.94

	2019	87.44	89.25	89.5	88.88	87.69	86.5	84.12	81.94	79.88	83.19	85.81	85.56	85.81
	2020	85.56	87.12	87.5	86.81	87.0	85.88	84.94	80.19	80.12	80.0	82.0	86.0	84.44
VELOCICDAD DEL VIENTO (m/s)	2005	2.51	2.27	1.65	3.16	2.88	3.8	5.02	4.85	4.0	2.03	2.27	1.96	3.04
	2006	2.47	1.54	1.73	2.16	3.21	3.97	4.56	4.59	3.58	2.69	1.81	2.02	2.88
	2007	2.15	2.92	2.08	2.07	2.88	4.75	4.0	4.27	4.16	2.12	2.29	2.48	3.02
	2008	2.26	2.2	1.94	2.25	2.38	3.72	3.99	3.46	3.29	2.14	2.02	2.05	2.64
	2009	1.65	2.01	1.59	2.28	2.59	3.56	4.39	3.85	3.98	2.46	2.32	1.84	2.71
	2010	2.15	2.34	2.52	2.18	2.41	3.7	2.84	4.21	3.05	2.64	1.98	1.93	2.66
	2011	1.84	1.93	2.29	1.64	3.21	3.3	4.01	4.01	3.65	2.14	1.95	2.12	2.68
	2012	1.71	1.84	2.75	2.05	3.34	4.29	5.21	4.65	4.25	2.05	2.0	2.7	3.08
	2013	2.17	2.03	2.19	2.5	2.37	4.48	4.99	3.88	3.73	2.55	2.52	2.41	2.99
	2014	1.86	1.56	2.11	2.66	2.16	4.66	5.37	4.43	3.25	2.89	2.3	2.48	2.98
	2015	2.59	2.66	2.17	3.23	3.23	5.96	4.61	4.62	3.8	2.61	2.26	3.05	3.4
	2016	1.67	2.59	2.22	2.29	3.4	4.82	4.53	4.31	3.24	2.3	2.45	1.97	2.98
	2017	2.22	2.3	1.6	2.59	2.66	3.45	5.62	3.66	3.38	2.62	2.13	2.05	2.86
	2018	2.04	2.02	2.46	2.48	2.57	4.2	4.43	4.83	3.59	2.09	1.95	2.83	2.96
	2019	2.93	1.93	2.06	2.26	2.82	4.77	4.49	5.5	3.66	2.32	2.14	2.32	3.11
	2020	2.95	2.29	1.98	2.43	3.3	3.47	3.85	3.55	3.49	3.38	1.91	1.97	2.88
PERFIL DE HUMEDAD DEL SUELO	2005	0.66	0.58	0.59	0.58	0.57	0.52	0.48	0.43	0.41	0.43	0.49	0.53	0.52
	2006	0.52	0.63	0.69	0.7	0.7	0.69	0.66	0.62	0.55	0.48	0.44	0.44	0.59
	2007	0.45	0.46	0.45	0.48	0.45	0.51	0.49	0.49	0.54	0.59	0.68	0.7	0.52
	2008	0.73	0.8	0.88	0.91	0.91	0.88	0.85	0.8	0.74	0.73	0.7	0.62	0.8
	2009	0.59	0.7	0.77	0.81	0.71	0.61	0.55	0.56	0.55	0.58	0.59	0.62	0.64
	2010	0.62	0.63	0.71	0.8	0.77	0.7	0.64	0.56	0.53	0.55	0.6	0.66	0.65
	2011	0.73	0.78	0.8	0.86	0.86	0.8	0.77	0.72	0.65	0.66	0.68	0.73	0.75
	2012	0.77	0.85	0.9	0.91	0.87	0.85	0.8	0.73	0.66	0.68	0.69	0.69	0.78
	2013	0.69	0.74	0.8	0.85	0.84	0.84	0.8	0.77	0.7	0.7	0.7	0.71	0.77
	2014	0.73	0.77	0.77	0.67	0.66	0.67	0.66	0.64	0.62	0.62	0.66	0.66	0.68
	2015	0.66	0.73	0.77	0.84	0.86	0.84	0.8	0.76	0.67	0.65	0.67	0.69	0.75
	2016	0.67	0.67	0.75	0.84	0.85	0.84	0.8	0.73	0.68	0.68	0.67	0.67	0.73
	2017	0.73	0.8	0.86	0.91	0.91	0.88	0.82	0.76	0.73	0.68	0.7	0.73	0.79
	2018	0.77	0.81	0.84	0.85	0.86	0.85	0.8	0.76	0.68	0.67	0.7	0.75	0.78
	2019	0.74	0.78	0.82	0.85	0.87	0.86	0.81	0.75	0.66	0.63	0.67	0.68	0.76
	2020	0.7	0.7	0.7	0.73	0.77	0.77	0.77	0.67	0.6	0.55	0.55	0.59	0.67
PRECIPITACIÓN PROMEDIO (mm/día)	2005	0.58	0.79	3.38	2.57	1.16	0.7	0.24	0.25	0.44	2.58	3.58	1.69	1.5
	2006	2.53	6.41	3.96	3.47	2.88	3.5	2.14	2.17	0.29	0.49	0.34	1.62	2.46
	2007	1.92	0.33	1.95	1.03	1.39	2.63	0.57	3.4	2.62	5.13	5.75	3.9	2.56
	2008	5.6	6.74	7.11	8.47	6.47	4.88	3.72	3.56	3.79	3.63	1.26	0.86	4.66
	2009	3.3	7.13	5.48	3.06	0.41	0.4	1.72	3.39	2.02	4.43	2.29	4.19	3.13

	2010	2.06	5.52	5.25	6.9	1.86	1.44	1.11	0.58	2.07	3.16	4.42	4.78	3.24
	2011	4.38	6.87	3.89	8.36	3.44	2.61	3.7	2.2	2.33	3.52	5.15	3.35	4.12
	2012	7.35	7.77	7.69	6.12	4.66	3.86	3.32	2.61	2.48	4.1	4.28	2.68	4.73
	2013	4.26	6.19	7.11	6.02	4.78	3.87	4.41	3.69	3.01	4.36	3.75	3.69	4.59
	2014	5.6	4.26	2.44	0.76	4.11	3.37	2.87	2.87	2.63	3.99	3.27	3.54	3.31
	2015	4.57	4.91	6.73	7.15	5.26	4.62	3.69	2.4	1.93	3.85	4.77	3.98	4.48
	2016	2.99	4.52	7.33	7.49	4.57	5.52	2.6	2.29	3.95	3.43	3.5	3.11	4.26
	2017	6.96	5.96	7.96	6.73	6.25	5.07	3.26	3.09	3.06	2.93	4.94	5.22	5.11
	2018	4.8	8.54	4.45	5.75	5.53	6.11	3.4	3.28	1.59	4.1	5.43	4.15	4.73
	2019	4.52	6.29	5.17	6.38	5.4	4.92	2.84	2.68	1.17	3.65	4.08	4.3	4.27
	2020	3.89	3.75	2.6	6.21	5.55	4.76	2.91	1.07	1.48	1.56	1.83	4.37	3.33

Fuente: POWER DATA ACCESS VIEWER (2022)
https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

Anexo 2. Datos Pluviométricos del INAMHI

Tabla 6. Datos de precipitaciones y mensuales anuales de la estación pluviometrica de guano (m0408) del Inamhi, durante periodo 2005- 2018.

Precipitación Total Mensual (mm)																
AÑOS	MESES															
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA	MÍNIMA	MÁXIMA
2005	9.9	35.7	64.1	34.6	25.6	38.1	6.5	0.0	0.0	85.7	19.5	91.2	355.4	27.3	2.5	51.7
2006	26.3	31.7	60.4	85.4	4.1	42.2	0.0	14.2	32.1	76.6	39.6	424.4	471.9	36.3	19.3	83.1
2007	20.6	21.0	21.0	55.1	45.9	50.4	7.8	60.8	0.0	51.1	52.2		691.6	53.2	8.7	131.0
2008	49.8	79.1	79.1	94.3	79.4		16.5	27.3	2.0	82.3	66.3	62.5	1017.5	78.2	3.5	323.9
2009	51.7	55.5	24.5	17.8	14.3	56.3	5.3	3.2	5.2	34.1	13.9	28.1	562.7	40.1	7.6	93.7
2010	2.5	17.7	19.3	52.6	85.0	46.8	33.2	13.5	25.6	39.7	100.5	91.6	408.6	34.0	0.0	104.2
2011	42.1	83.1	41.3	131.3	33.7	14.1	7.9	6.7	33.6	41.7	96.1	59.7	134.5	10.3	0.0	33.2
2012	36.4	31.1	30.5	54.3	3.5	12.3	5.6	8.8	0.0	67.0	47.1	0.0	192.4	14.8	0.0	60.8
2013	18.3	69.8	31.8	8.7	52.2	19.1	6.2	0.0	3.6	46.3	6.5	0.9	158.6	13.2	29.7	55.1
2014	12.6	7.7	83.7	83.7	56.3	8.5	4.5	20.1	20.1	55.1	40.7	31.3	584.9	48.7	6.5	85.7
2015	39.2	12.8	29.1	17.4	20.5	7.6	17.5	0.0	1.2	29.7	45.8	11.3	588.6	49.0	0.0	100.5
2016	23.6	6.0	40.0	61.1	17.5								427.9	38.9		91.6
2017			323.9	11.5	104.2	11.5	36.9	20.5	34.5	32.8	40.3		5594.6	444.4	0.0	
2018	22.4	20.7	80.8		31.0	9.0	12.0	0.9					466.2	37.0		323.9

Anexo 3. Factor caída de ceniza del Volcán Tungurahua

Tabla 7. Datos de dirección del viento, altura, velocidad mín y máx, velocidad promedio y alcance máx de nube.

Fecha de observación	Hora de observación (UTC)	Dirección del viento VA(o)	Altura (m s.n.m)	Velocidad Mín. (m/s)	Velocidad Max. (m/s)	Velocidad promedio (m/s)	Alcance Max. Nube (km)
3/7/2015	22:15:00	251,356	5181,0	10,3	10,3	10,3	46,038
14/7/2015	23:15:00	253,934	6400,0	10,3	10,3	10,3	34,692
31/7/2015	18:15:00	270,0	6096,0	10,3	12,9	11,6	0
15/8/2015	13:45:00	270,0	7010,0	10,3	12,9	11,6	0
25/8/2015	12:45:00	270,0	9144,0	10,3	10,3	10,3	0
30/8/2015	13:45:00	283,129	6705,0	10,3	10,3	10,3	82,092
2/9/2015	20:15:00	301,024	8077,0	5,1	7,7	6,4	22,099
11/9/2015	20:15:00	248,646	5791,0	10,3	10,3	10,3	31,207
11/9/2015	12:15:00	257,13	7315,0	10,3	10,3	10,3	49,03
12/9/2015	2:15:00	247,5	5791,0	10,3	10,3	10,3	0
13/9/2015	12:15:00	287,64	7620,0	7,7	7,7	7,7	26,488
19/9/2015	18:15:00	315,0	6096,0	5,1	5,1	5,1	0
20/9/2015	0:15:00	292,5	6096,0	5,1	5,1	5,1	0
27/9/2015	4:15:00	269,727	5486,0	7,7	10,3	9,0	78,124
28/9/2015	11:45:00	298,826	7315,0	2,6	2,6	2,6	20,699
4/10/2015	17:15:00	254,816	9144,0	7,7	7,7	7,7	32,964
4/10/2015	16:45:00	257,254	6705,0	10,3	10,3	10,3	34,752
11/10/2015	19:15:00	282,91	7924,0	7,7	10,3	9,0	22,967
12/10/2015	1:15:00	225,0	7315,0	10,3	12,9	11,6	0
12/10/2015	7:15:00	270,0	7315,0	7,7	12,9	10,3	0
19/10/2015	13:45:00	317,43	6705,0	2,6	2,6	2,6	84,603
19/10/2015	19:15:00	271,144	6705,0	2,6	2,6	2,6	79,775
19/10/2015	10:41:00	225,0	6705,0	2,6	2,6	2,6	0
20/10/2015	17:45:00	315,0	7620,0	2,6	2,6	2,6	0
20/10/2015	7:15:00	110,906	7620,0	0	2,6	1,3	64,844
20/10/2015	12:45:00	268,08	7620,0	2,6	2,6	2,6	83,085
24/10/2015	20:15:00	315,0	7315,0	2,6	5,1	3,9	0
25/10/2015	2:15:00	315,0	7315,0	2,6	5,1	3,9	0
28/10/2015	21:15:00	270,0	6096,0	5,1	5,1	5,1	0
29/10/2015	3:15:00	315.0	6096,0	5,1	7,7	6,4	0
8/11/2015	13:15:00	244,817	5486,0	2,6	5,1	3,8	44,643
10/11/2015	22:45:00	268,421	7620,0	5,1	5,1	5,1	68,732
11/11/2015	21:15:00	297,751	8229,0	5,1	7,7	6,4	162,299
11/11/2015	3:15:00	270,0	7620,0	5,1	7,7	6,4	0
11/11/2015	9:45:00	270,0	6096,0	7,7	7,7	7,7	0
11/11/2015	18:45:00	270,0	6705,0	5,1	7,7	6,4	0
11/11/2015	12:45:00	271,136	6705,0	5,1	7,7	6,4	139,318
12/11/2015	14:45:00	270,0	7620,0	5,1	5,1	5,1	0

12/11/2015	19:15:00	270,0	7620,0	2,6	2,6	2,6	0
12/11/2015	3:15:00	295,148	9144,0	7,7	12,9	10,3	230,867
13/11/2015	1:15:00	244,081	7620,0	2,6	5,1	3,8	76,563
13/11/2015	12:15:00	268,168	7010,0	5,1	7,7	6,4	256,859
13/11/2015	18:15:00	257,592	7010,0	5,1	7,7	6,4	157,562
13/11/2015	23:45:00	263,497	7620,0	2,6	2,6	2,6	245,731
13/11/2015	7:15:00	270,0	6705,0	5,1	7,7	6,4	0
13/11/2015	8:45:00	224,017	5791,0	5,1	5,1	5,1	34,786
14/11/2015	17:45:00	0	7620,0	5,1	7,7	6,4	117,599
14/11/2015	17:45:00	254,352	7010,0	5,1	7,7	6,4	116,508
14/11/2015	22:45:00	245,406	7315,0	6,7	6,7	6,7	229,201
14/11/2015	5:45:00	232,133	7620,0	5,1	10,3	7,7	236,644
14/11/2015	11:45:00	262,469	7620,0	5,1	7,7	6,4	311,108
15/11/2015	18:15:00	274017	7620,0	2,6	5,1	3,8	159,951
15/11/2015	4:45:00	247,5	7315,0	5,1	5,1	5,1	0
15/11/2015	12:45:00	272,844	7620,0	2,6	5,1	3,8	106,478
16/11/2015	6:45:00	270,713	7620,0	2,6	5,1	3,8	182,91
16/11/2015	10:45:00	271,209	7924,0	2,6	5,1	3,8	257,581
16/11/2015	10:45:00	221,895	6705,0	2,6	5,1	3,8	58,473
16/11/2015	16:15:00	268,413	7924,0	5,1	7,7	6,4	224,555
16/11/2015	22:15:00	270,144	7924,0	5,1	7,7	6,4	215,463
17/11/2015	22:15:00	290,86	6096,0	5,1	7,7	6,4	53,606
18/11/2015	15:45:00	280,769	6096,0	7,7	10,3	9,0	277,818
18/11/2015	4:00:00	271,318	6096,0	5,1	5,1	5,1	138,151
18/11/2015	9:45:00	282,608	6096,0	5,1	5,1	5,1	131,286
18/11/2015	21:45:00	284,56	7010,0	10,3	10,3	10,3	156,9
19/11/2015	15:45:00	284,385	7620,0	7,7	10,3	9,0	187,142
19/11/2015	9:45:00	285,228	7010,0	10,3	10,3	10,3	232,555
19/11/2015	3:15:00	295,937	7010,0	10,3	10,3	10,3	251,58
19/11/2015	21:45:00	280,193	6705,0	5,1	7,7	6,4	129,12
22/11/2015	21:45:00	270,0	7620,0	10,3	10,3	10,3	0
23/11/2015	15:07:00	270,0	7315,0	7,7	7,7	7,7	0
23/11/2015	19:45:00	247,5	8229,0	7,7	7,7	7,7	0
24/11/2015	22:10:00	270,0	5791,0	5,1	5,1	5,1	0
26/2/2016	20:45:00	344,579	13411,0	7,7	10,3	9,0	183,235
26/2/2016	20:45:00	297,354	7315,0	0	0,0	0	50,726
26/2/2016	20:45:00	296,735	7315,0	7,7	10,3	9,0	197,793
26/2/2016	18:15:00	327,246	11277,0	5,1	7,7	6,4	40,592
26/2/2016	18:15:00	265,833	7315,0	5,1	7,7	6,4	37,925
27/2/2016	12:45:00	252,04	6705,0	2,6	5,1	3,8	95,418
27/2/2016	12:45:00	236,723	6705,0	2,6	10,3	6,5	61,148
27/2/2016	16:15:00	247,014	8534,0	2,6	5,1	3,8	171,164
27/2/2016	16:15:00	243,948	7010,0	5,1	5,1	5,1	66,208
27/2/2016	20:15:00	269,339	7010,0	2,6	5,1	3,8	47,868
27/2/2016	1:15:00	293,467	7924,0	2,6	5,1	3,8	35,069

27/2/2016	6:45:00	208,717	7010,0	5,1	5,1	5,1	24,01
28/2/2016	2:15:00	270,0	8229,0	5,1	7,7	6,4	0
28/2/2016	19:45:00	270,0	6705,0	10,3	10,3	10,3	0
28/2/2016	7:45:00	269,441	8229,0	5,1	5,1	5,1	31,962
28/2/2016	14:15:00	245,341	8534,0	5,1	7,7	6,4	43,309
29/2/2016	7:45:00	247,5	6705,0	10,3	10,3	10,3	0
1/3/2016	7:15:00	270,0	6705,0	10,3	10,3	10,3	0
1/3/2016	13:15:00	247,5	6705,0	7,7	10,3	9,0	0
1/3/2016	18:15:00	270,0	6705,0	10,3	10,3	10,3	0
2/3/2016	6:15:00	270,0	6400,0	7,7	10,3	9,0	0
2/3/2016	22:15:00	265,282	6096,0	7,7	10,3	9,0	180,913
3/3/2016	4:15:00	265,548	6096,0	7,7	10,3	9,0	309,027
3/3/2016	10:15:00	270,0	6096,0	7,7	10,3	9,0	0
3/3/2016	14:45:00	315,0	7010,0	7,7	10,3	9,0	0
3/3/2016	20:15:00	270,0	7010,0	5,1	10,3	7,7	0
4/3/2016	12:45:00	307,989	7315,0	7,7	10,3	9,0	189,722
4/3/2016	18:45:00	293,733	7315,0	7,7	10,3	9,0	132,217
4/3/2016	2:15:00	270,0	5486,0	7,7	10,3	9,0	0
4/3/2016	7:45:00	270,0	5486,0	5,1	7,7	6,4	0
5/3/2016	18:15:00	227,371	7315,0	2,6	5,1	3,8	194,293
5/3/2016	0:45:00	292,5	6705,0	5,1	7,7	6,4	0
5/3/2016	6:15:00	270,0	6705,0	5,1	5,1	5,1	0
5/3/2016	12:15:00	239,67	6705,0	5,1	7,7	6,4	81,187
5/3/2016	22:15:00	241,299	9144,0	2,6	5,1	3,8	61,883
6/3/2016	4:45:00	210,848	7315,0	7,7	10,3	9,0	46,118
6/3/2016	13:45:00	277,016	8534,0	5,1	5,1	5,1	104,682
6/3/2016	10:45:00	227,381	7315,0	2,6	5,1	3,8	53,258
6/3/2016	19:45:00	269,182	8534,0	2,6	5,1	3,8	144,65
7/3/2016	1:45:00	270,0	8534,0	5,1	5,1	5,1	0
8/3/2016	4:45:00	188,47	6096,0	2,6	5,1	3,8	12,693
8/3/2016	13:45:00	283,57	10972,0	5,1	7,7	6,4	40,06
8/3/2016	13:45:00	144,315	8534,0	2,6	5,1	3,8	107,876
8/3/2016	10:15:00	211,93	6096,0	2,6	5,1	3,8	296,68
9/3/2016	6:45:00	187,1	7010,0	2,6	5,1	3,8	296,68
10/3/2016	13:15:00	304,451	8534,0	2,6	5,1	3,8	63,391
15/3/2016	10:45:00	162,935	7010,0	2,6	5,1	3,8	25,495

Anexo 4. Puntos de anclaje (GNSS)

Tabla 8. Puntos de anclaje de sobrevuelo de lahar en q. Yambo rumi (gnss)

PUNTOS DE ANCLAJE	X	Y	Z
AP1	748330,8469	9832358,698	3889,48
AP2	748357,0181	9832580,916	3863,66
AP3	748407,6892	9832628,296	3851,33
AP4	748342,0738	9832748,103	3875,97
AP5	748383,9903	9832731,334	3871,43
AP6	748328,9627	9832620,723	3864,01
BP1	749751,8820	9831486,901	3579,39
BP2	749810,1436	9831496,713	3579,39
BP3	749787,8057	9831405,861	3574,02
BP4	749807,6520	9831361,998	3566,26
BP5	749903,3017	9831241,189	3557,09

Anexo 5. Mapa de amenazas potenciales por lahares secundarios de la Quebrada Yambo Rumi- Volcán Chimborazo

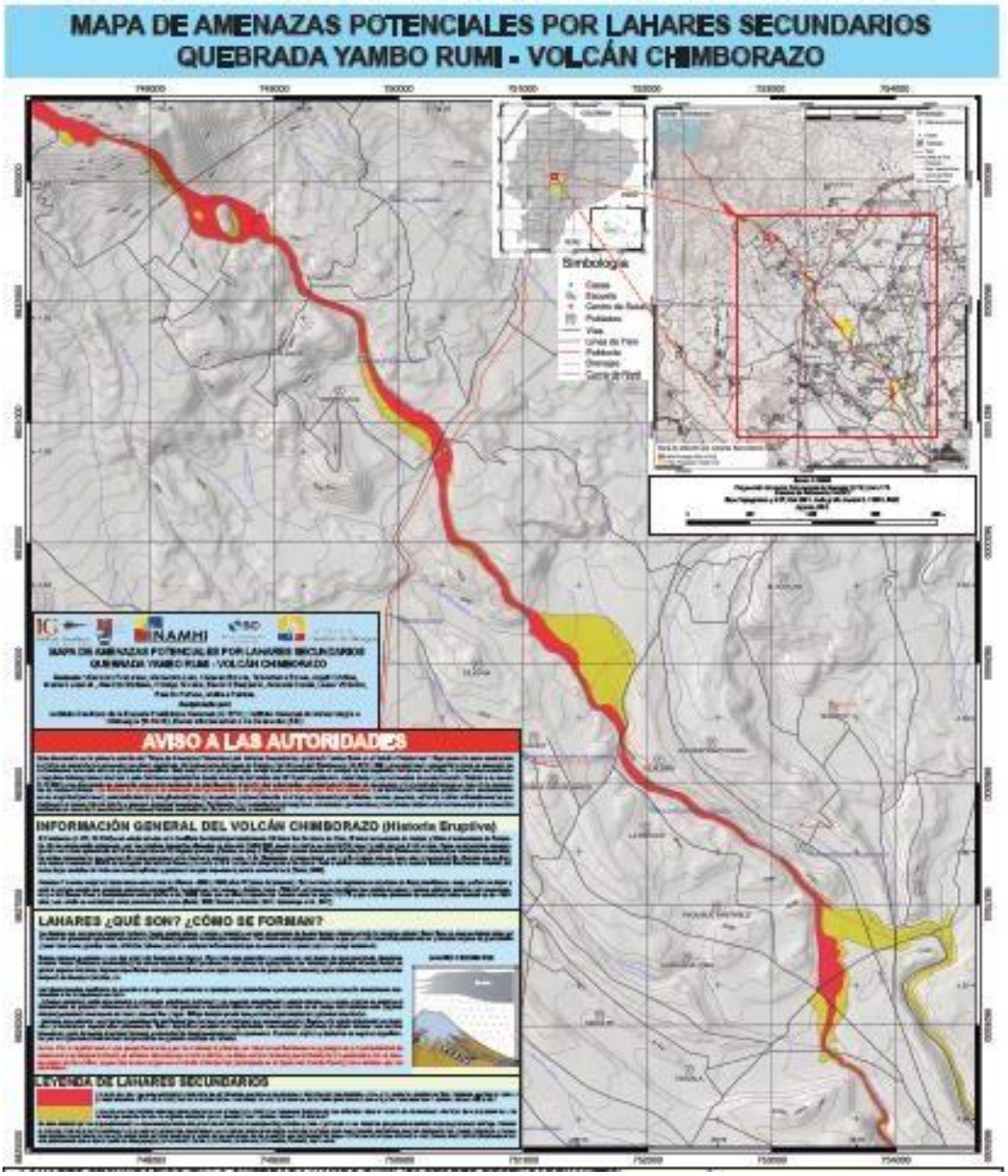

Figura 60. Vasconez, et., al. (2016). Mapa de amenazas potenciales por lahares secundarios de la Quebrada Yambo Rumi- Volcán Chimborazo.

Anexo 6. Red hidrográfica de Base Primera y Base Segunda del área de estudio

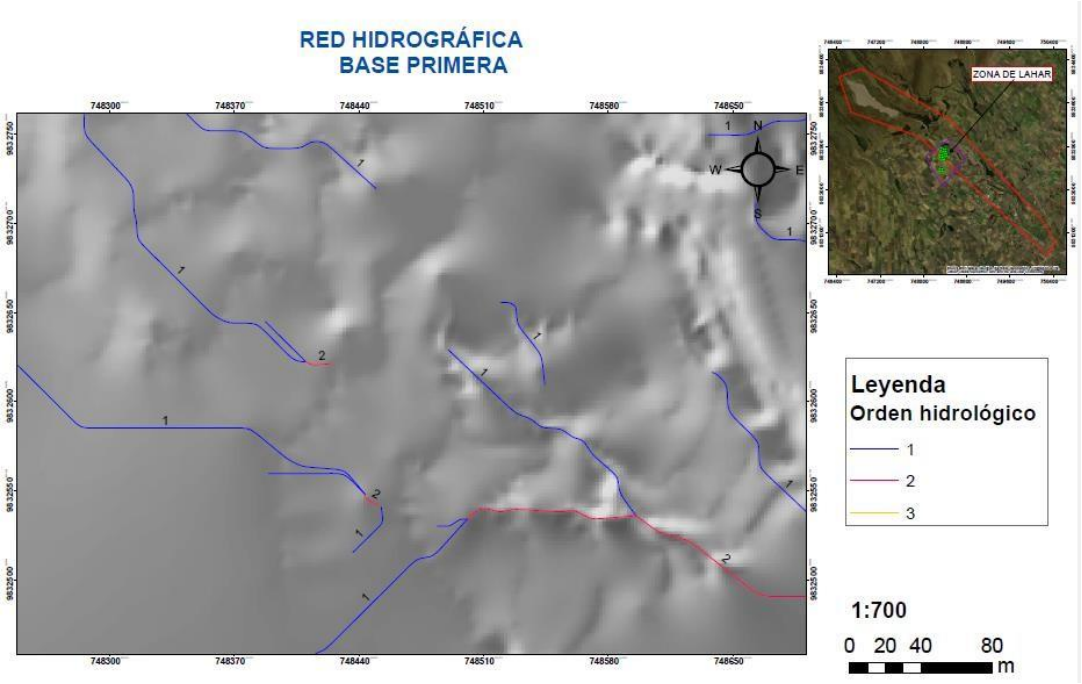

Figura 61. Red Hidrográfica de la Base Primera del Área de Estudio.

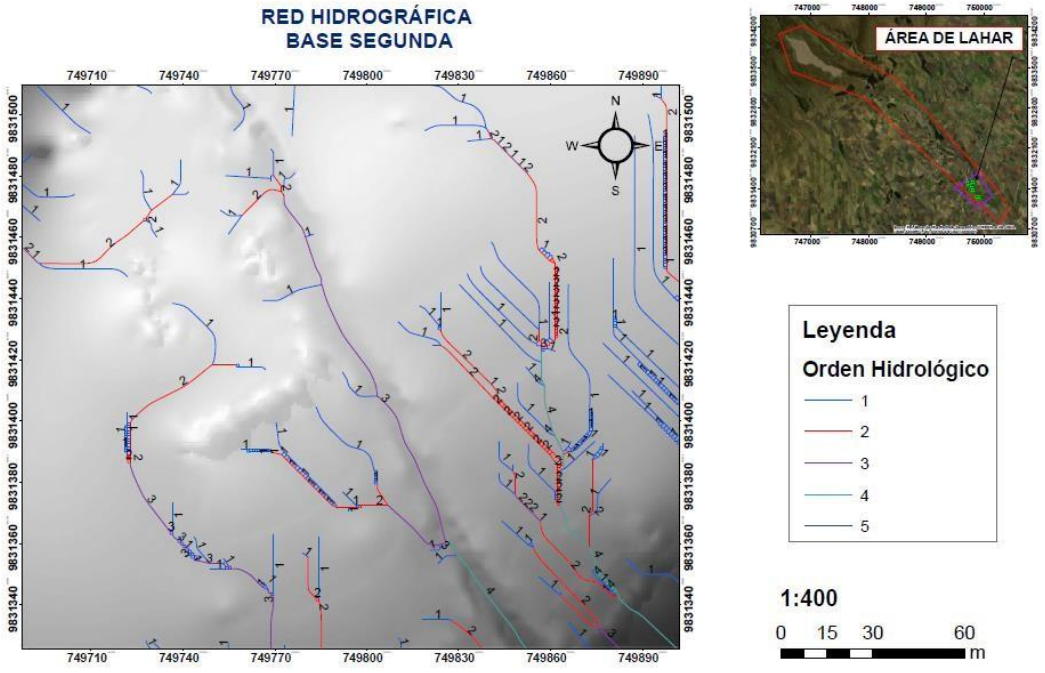

Figura 62. Red Hidrográfica de la Base Segundo del Área de Estudio.

Anexo 7. Análisis granulométrico

Tabla 9. Datos para análisis granulométrico por tamizado de la muestra tomada en la base segunda del área de estudio.

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Laboratorio de Geotécnia				Técnico : Ing, Patricio Borja Bernal, Msc.	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO				Código	MER #6
				Versión	
				Fecha	8/3/2022
Descripción		**Informe No.**			
		Muestra No.			**6**
Fuente	**Flanco Sur-Este del Volcán Chimborazo**				
Fecha de toma		**18-nov-21**	**Fecha de ensayo**	**8-mar-22**	
Localización	**Flanco Sur-Este del Volcán Chimborazo**				
Peso inicial (g)	174,774 g				

Tamiz		**Peso retenido (g)**	**% Retenido**		**% Pasa**
mm	**No.**		**Total (%)**	**Acumulado (%)**	
37,5	1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
25	1"	36,65	20,97	20,97	79,03
12,5	0,5"	10,55	6,04	27,01	72,99
2,36	0,0937"	32,4	18,54	45,54	54,46
2	0,078"	2,97	1,70	47,24	52,76
0,425	0,0165"	53,6	30,67	77,91	22,09
0,3	0,0117"	9,11	5,21	83,12	16,88
0,15	0.0059"	21	11,81	94,93	5,07
0,075	0.0029"	7	4,01	98,94	1,06
Fondo		1,85	1,06	100,00	0,00
Peso total (g)		174,774	100,00		
Error					

Tabla 10. Datos para análisis granulométrico por tamizado de la muestra tomada en la base primera del área de estudio.

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL **FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES** **Laboratorio de Geotécnia**				Técnico : Ing, Patricio Borja Bernal, Msc.	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO				Código	MER #4
				Versión	
				Fecha	08/03/2022
Descripción			**Informe No.**		
			Muestra No.		**4**
Fuente	**Flanco Sur-Este del Volcán Chimborazo**				
Fecha de toma		**18/11/2021**	**Fecha de ensayo**	**8-mar-22**	
Localización	**Flanco Sur-Este del Volcán Chimborazo**				
Peso inicial (g)	174,774 g				

Tamiz		**Peso retenido (g)**	**% Retenido**		**% Pasa**
mm	**No.**		**Total (%)**	**Acumulado (%)**	
37,5	1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
25	1"	22,1	13,54	13,54	86,46
12,5	0,5"	25,02	15,33	28,87	71,13
2,36	0,0937"	46	28,18	57,05	42,95
2	0,078"	3,872	2,37	59,42	40,58
0,425	0,0165"	11,0011	6,74	66,16	33,84
0,3	0,0117"	13,78	8,44	74,60	25,40
0,15	0.0059"	17,465	10,70	85,30	14,70
0,075	0.0029"	11,56	7,08	92,38	7,62
		12,44	7,62	100,00	0,00
Peso total (g)		163,2381	100,00		
Error					

Anexo 8. Fotografías

Figura 63. Ruta del lahar Base Segunda.

Figura 64. Vista panorámica de la Parte Superior del lahar.

Figura 65. Colocación de base para toma de puntos GNSS en la Parte Inferior del lahar.

Figura 66. Preparación de dron para realizar sobrevuelo.

Figura 67. Clasificando material para estacas.

Figura 68. Casa Turista de la Comunidad Santa Lucia de Chuquipogyo (CarmerinaPaca, ex-miembro del Comité e infante).

Figura 69. Ruta del lahar, Base Primera.

Figura 70. Peso total de la muestra de material laharítico para determinar su granulometría.

Figura 71. Tamizado de material de lahar.