

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

ESTUDIO DE LOS LAHARES SECUNDARIOS DE LA QUEBRADA JATABAMBA (VOLCÁN COTOPAXI) MEDIANTE DATOS SÍSMICOS Y PLUVIOMÉTRICOS

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA GEÓLOGA**

JOHANNA VANESSA CÁRDENAS TAMAYO

johanna.cardenas@epn.edu.ec

DIRECTOR: SANTIAGO DANIEL ANDRADE VARELA, PhD.

dandrade@igepn.edu.ec

Quito, Agosto 2022

CERTIFICACIONES

Yo, JOHANNA VANESSA CÁRDENAS TAMAYO, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



JOHANNA VANESSA CÁRDENAS TAMAYO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JOHANNA VANESSA CÁRDENAS TAMAYO, bajo mi supervisión.

DR. SANTIAGO DANIEL ANDRADE VARELA
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JOHANNA VANESSA CÁRDENAS TAMAYO

SANTIAGO DANIEL ANDRADE VARELA, PhD.

DEDICATORIA

A mi madre, Vanessa

A mi padre, John

A mis hermanos, Emily y Emilio

A mi abuelita, Narcisa.

AGRADECIMIENTO

A Dios. A las personas más importantes en mi vida, mis padres, John y Vanessa, porque sin su buen ejemplo, sin su apoyo en mis momentos duros nada de esto hubiera sido posible. El amor que me han brindado ha sido el más puro y sincero, dándome siempre las mejores enseñanzas para llegar a cumplir mis objetivos, no me alcanzaría la vida para agradecerles todas las cosas que me han dado y espero siempre hacerles sentir orgullosos de la mujer que soy. ¡Les amo!

A mis abuelitos, Javier y Narcisa por sus enseñanzas, su amor y sus mimos. Sobre todo, gracias abuelita por ser ese refugio en mis peores momentos porque su compañía sanadora llegaba a mí a pesar de la distancia, espero tenerle muchos años conmigo. ¡Le amo!

A mis tíos, Carlos y Alexandra, los mejores tíos que alguien puede tener, son esos ángeles en la tierra que estoy segura nunca me dejarán sola, en los que siempre podré confiar y que me apoyarán en cada paso que doy, les quiero.

A mí siempre tía Salo (mi madrina) por brindarme su hogar, hacerme sentir como en casa, por su atención y preocupación maternal. A mis primos Karen y Jeffer gracias por todo lo que han hecho por mí, les quiero mucho.

A cada uno de mis familiares que han formado parte de esta etapa de mi vida, la confianza que han puesto en mí ha hecho que siga adelante.

A mi director de tesis, Dr. Daniel Andrade, es difícil expresar lo agradecida que estoy con usted por su confianza en mí, su comprensión e inmensa paciencia, por sus enseñanzas y sobre todo por no dejarme sola en el desarrollo de este trabajo. ¡Gracias por todo!

Al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, especialmente a las personas que estuvieron siempre dispuestas a ayudarme para poder desarrollar mi tesis sin ningún percance.

A la Ing, Angelica Robles por fomentar ese amor a esta carrera, por enseñarme que la Geología es una ciencia que abarca un millón de cosas, se necesitan más profesores como usted, gracias. A cada uno de mis profesores de mi etapa universitaria, por impartir sus conocimientos y experiencias en mí, no solo en lo académico sino también en lo personal ayudando a formar la persona que soy.

A Mishell, por esos 8 años de amistad, por ser ese soporte que necesitaba en mi vida cuando me faltaban las fuerzas para seguir, por esos largos momentos de risas hasta más no poder, por la

compañía en esas noches de desvelo estudiando, pero también esas festivas noches de diversión; gracias por todoooooo mi mejor amiga. A mis amiguitos Henry y María P, gracias por formar parte de mi vida, por todas las experiencias vividas dentro y fuera de la universidad. Ustedes tres son las mejores personas que pudieron llegar a mi vida, les quiero.

A Martin, por apoyarme siempre en todo, a pesar de mi manera de ser, por estar siempre pendiente de mí, por la inmensa confianza que ha depositado en mí, por esas palabras acertadas en mis peores momentos para no rendirme, por todo el amor que me ha demostrado y por siempre consentirme; eres una de las personas más importantes en mi vida, sin ti muchas de las cosas que he logrado no hubieran sido posibles, te amo mucho.

A mis roomies, Karlita (peluzin) y Gaby, por ser ese soporte y compañía en una ciudad desconocida en que estábamos lejos de nuestras familias, porque sin ustedes tampoco hubiera podido llegar tan lejos.

A mi mejor amiga Sherly, le amo muchooo gracias por siempre sentirse orgullosa de mi, que, aunque la vida nos ha evitado el vernos con frecuencia, sé que siempre va a estar escuchándome y apoyándome en todo, le amo.

A esos buenos amigos que encontré en la Universidad, sobre todo a Cris, David y Jason por siempre cuidarme, apoyarme y confiar en mí, los llevaré siempre en mi corazón; gracias a todos por hacer tan divertida esta etapa.

A cada una de las personas que de una u otra forma fueron parte de esta etapa tan enriquecedora que me ha dejado grandes enseñanzas y experiencias en mi vida.

Y por último a la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, por cada momento vivido en sus instalaciones, por demostrarme que estaba equivocada en pensar que esta universidad era inalcanzable porque todo con perseverancia y esfuerzo se puede lograr. Gracias por todo.

Con cariño, Johanna.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificativos	3
1.2.1. Justificación teórica.....	3
1.2.2. Justificación metodológica.....	4
1.2.3. Justificación práctica.....	5
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4 Alcance	6
2 MARCO TEÓRICO	7
2.1. El Volcán Cotopaxi	7
2.2. Lahares.....	9
2.2.1. Clasificación	9
2.2.2. Condiciones para su formación.....	14
2.2.3. Peligros y riesgos asociados	14
2.3. Características sísmicas de los lahares.....	15
2.4. Fundamentos de pluviómetros.....	19
2.4.1. Principio operativo	20
2.4.2. Ventajas y limitaciones	21
3 METODOLOGÍA	23
3.1. Datos sísmicos	23
3.1.1. Obtención de datos.....	24
3.1.2. Tratamiento de los datos R-SAM	27

3.2.	Datos pluviométricos del IG-EPN.....	28
3.2.1.	Adquisición de datos.....	30
3.2.2.	Tratamiento de datos.....	30
3.3.	Datos pluviométricos del FONAG	31
3.3.1.	Extracción de datos FONAG	31
3.3.2.	Tratamiento de datos.....	34
3.4.	Datos meteorológicos del Cotopaxi	36
3.4.1.	Obtención de datos pluviométricos	38
3.4.2.	Tratamiento de datos pluviométricos	40
4	RESULTADOS.....	43
4.1.	Datos sísmicos	43
4.1.1.	Cuantificación de eventos.....	43
4.1.2.	Análisis estadísticos y clasificación de eventos	44
4.2.	Precipitación	50
4.3.	Correlación de datos	56
4.3.1.	Correlación a escala anual	56
4.3.2.	Correlación a escala semanal	58
5	DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
5.1.	DISCUSIÓN.....	65
5.1.1.	Influencia de la lluvia en la ocurrencia de lahares secundarios	65
5.1.2.	Conversión de la Magnitud de los eventos en unidades de medida	67
5.1.3.	Estudio previo realizado en la zona de interés	70
5.2.	Conclusiones	72
5.3.	Recomendaciones.....	74
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
7	ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación de la Quebrada Jatabamba, estación sísmica y pluviométrica en el volcán Cotopaxi.	2
Figura 2.1. Modelo digital del volcán Cotopaxi y ubicación de la quebrada Jatabamba junto con los Drenajes principales: RPt = río Pita, RTa = río Tambo, RCt = río Cutuchi, RAq = río Ataques, y RTy = río Tamboyacu.	8
Figura 2.2. Modelo esquemático de generación de lahares primarios durante una erupción explosiva que produce fusión glaciar. Tomado de Almeida et al., 2017.	10
Figura 2.3. Esquema de la formación de un lahar secundario durante un período de lluvias intensas, estas remobilizan el material piroclástico suelto depositado previamente. Tomado de Saltos, 2017.	11
Figura 2.4. Fotografía de los depósitos del lahar ocurrido el 3 de abril de 2019 en la quebrada de Cutzualo - Agualongo. Tomada de Vasconez et al., 2019.	11
Figura 2.5. Depósito de flujo de escombros frescos. Tomado de Pierson y Scott, 1985. .	12
Figura 2.6. Esquema de un flujo hiper-concentrado. Tomado de Suárez, 2012.	13
Figura 2.7. Infraestructura destruida por flujos laharicos que descendieron hacia el sur del volcán Calbuco (Chile) en 2015. Tomado de Vera, 2018.	15
Figura 2.8. Diagrama de flujo que indica las acciones del software en el proceso de adquisició de datos y el preprocesamiento de datos antes de la transmisión a una minicomputadora. Tomado de Murray y Endo (1993).	17
Figura 2.9. Gráficos de Amplitud producidos aplicando valores de umbral del evento ocurrido en el Rebaixader Torrent, el 4 de Julio, 2012. Tomado de Arattano et al., 2014).	17
Figura 2.10. Gráfico de Amplitud vs Tiempo de un flujo ocurrido en el 2015. Línea roja represente el umbral de amplitud de 1.8×110^{-3} mm/s propuesto. Tomado de Coviello et al., 2018.	18
Figura 2.11. Envoltente de la señal AFM-T (amplitud sísmica en conteos). Tomado de Vásquez et al., 2016.	19
Figura 2.12. Pluviómetro. Tomado de NovaLynx Corporation, s.f.	20
Figura 2.13. Registro pluviométrico del mes de junio del año 2016.	21
Figura 3.1. Localización de estaciones sísmicas de banda ancha e infrasónicas en el volcán Cotopaxi. Tomado de Kumagai et al., 2007.	23
Figura 3.2. Acceso al sistema SAM mediante el correo institucional del IG.	24
Figura 3.3. Menú Principal del sistema SAM. Observatorios volcánicos monitoreados constantemente en la parte izquierda (recuadro rojo).	25
Figura 3.4. Ventana que se abre al presionar el ítem tendencias (resaltado de amarillo en la parte izquierda).	25
Figura 3.5. Información que se necesita llenar para generar Datos para R-SAM (Recuadro rojo): Fecha inicial, Fecha final, Estación, Filtro y Ventana de tiempo.	26
Figura 3.6. Gráfica de la envoltente sísmica y opciones para descargar la imagen del evento (Download as) y guardar los datos en formato EXCEL (Save data), ver en recuadro en la parte derecha enmarcado de rojo.	27
Figura 3.7. Lahar del 6 de febrero del 2019 en el que se indica cómo obtener los valores de: Hora de Inicio, Amplitud de Inicio, Hora máxima, Amplitud máxima, Hora final, Amplitud final y Magnitud.	28
Figura 3.8. Localización del sensor pluviométrico VC1 en el volcán Cotopaxi.	29

Figura 3.9. Archivo TSV del 1 de octubre de 2015 con la información de la pluviosidad cada 5 minutos.	30
Figura 3.10. Tabla con datos de pluviosidad diaria en mm.	31
Figura 3.11. Ubicación de la estación pluviométrica M5076 instalada por el FONAG con respecto a la quebrada Jatabamba.	32
Figura 3.12. Ingresar a la página web del FONAG. a. Seleccionar "Información Hidroclimática". b. Acceder al ítem "Consultas por período".	33
Figura 3.13. Ventana de Consultas por período, en la parte izquierda información para llenar y poder exportar los datos; y en la parte derecha mapa de ubicación de la estación M5076.	34
Figura 3.14. Pluviosidad diaria de la estación M5076 y gráfica de los valores diarios de cada año.	35
Figura 3.15. Pluviosidad acumulada semanalmente.	35
Figura 3.16. Pluviosidad acumulada mensualmente.	36
Figura 3.17. Ubicación del pixel que abarca el Volcán Cotopaxi y sus alrededores. Modificado de Google Earth	37
Figura 3.18. Data de las 4 zonas analizadas.	39
Figura 3.19. Series de temperatura y precipitación total de las cuatro zonas desde 1979 hasta junio del 2021.	39
Figura 3.20. Cálculo del acumulado de precipitación anual para las cuatro zonas desde 1979 hasta 2021 (valores en m y mm).	40
Figura 3.21. Precipitación acumulada mensual para los 42 años en m y mm.	41
Figura 3.22. Promedio de los valores de pluviosidad de todos los años para cada mes (valores en mm).	41
Figura 3.23. Valores de pluviosidad mensual para el período de tiempo de interés.	42
Figura 4.1. Número acumulado de lahares ocurridos mensualmente entre 2015 y 2020.	43
Figura 4.2. Cantidad de lahares secundarios producidos en los 5 años.	44
Figura 4.3. Amplitud vs Duración	45
Figura 4.4. Magnitud vs Duración (minutos).	46
Figura 4.5. Índice de aspecto vs Duración del evento (minutos).	47
Figura 4.6. Cantidad mensual de lahares tipo A.	48
Figura 4.7. Cantidad mensual de lahares tipo B, entre 2015 y 2020.	49
Figura 4.8. Precipitación (IG) del 2017.	51
Figura 4.9. Precipitación (IG) del 2020.	51
Figura 4.10. Pluviosidad promedio del FONAG.	52
Figura 4.11. Pluviosidad Mensual registrada por el pluviómetro del FONAG a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y f) 2020.	53
Figura 4.12. Pluviosidad Promedio del Cotopaxi en mm.	54
Figura 4.13. Pluviosidad mensual del Cotopaxi desde el 2015 hasta el 2020.	55
Figura 4.14. Comparación del promedio mensual de pluviosidad de los datos del FONAG y Cotopaxi_meteo.	55
Figura 4.15. Correlación de la pluviosidad promedio del FONAG y Cotopaxi_meteo con la cantidad acumulada de lahares tipo A.	56
Figura 4.16. Correlación de la pluviosidad promedio del FONAG y Cotopaxi_meteo con la magnitud acumulada de lahares tipo A.	57
Figura 4.17. Correlación de la pluviosidad promedio del FONAG y Cotopaxi_meteo con la cantidad acumulada de lahares tipo B.	57

Figura 4.18. Correlación de la pluviosidad promedio del FONAG y Cotopaxi_meteo con la magnitud acumulada de lahares tipo B.	58
Figura 4.19. Análisis semanal de Pluviosidad (FONAG) vs Cantidad de lahares tipo A. a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y f) 2020.	59
Figura 4.20. Análisis semanal de Pluviosidad (FONAG) vs Magnitud acumulada (Lahares tipo A). a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y f) 2020.	60
Figura 4.21. Análisis semanal de Pluviosidad (FONAG) vs Cantidad de lahares tipo B. a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y e) 2020.	62
Figura 4.22. Análisis semanal de Pluviosidad (FONAG) vs Magnitud acumulada (Lahares tipo B). a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y f) 2020.	63
Figura 5.1. Comparación de Magnitud de cada Lahar tipo A vs Pluviosidad acumulada.	66
Figura 5.2. Comparación de Magnitud de cada Lahar tipo B vs Pluviosidad acumulada.	66
Figura 5.3. Volumen (m ³) acumulado mensual de los 6 años.	68
Figura 5.4. Volumen total de lahares tipo A y B.	69
Figura 5.5. Área (m ²) vs Volumen (m ³) de los lahares secundarios registrados en la Q. Jatabamba.	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Resumen de parámetros físicos de tres lahares que ocurrieron en la quebrada Montegrande. Tomado de Vásquez et al., 2016.	19
Tabla 3.1. Datos a obtener para cada evento. Ejemplo del Lahar ocurrido el 6 de febrero del 2019 en la Quebrada Jatabamba en el volcán Cotopaxi.	28
Tabla 4.1. Cantidad de eventos totales ocurridos en la quebrada Jatabamba.	43
Tabla 4.2. Cuantificación de Lahares tipo A y B.	47
Tabla 4.3. Análisis estadísticos para los lahares tipo A.	48
Tabla 4.4. Análisis estadísticos para los lahares tipo B.	49
Tabla 5.1. Volumen total de lahares tipo A y B de cada año.	69
Tabla 5.2. Tabla de áreas y el volumen acumulado de los lahares secundarios en los intervalos de tiempo en la Q. Jatabamba. Modificado de Povea, 2020.	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Tabla general de los parámetros para los 135 lahares secundarios registrados en la Quebrada Jatabamba.....	81
ANEXO II. Tabla de los parámetros de lahares tipo A en la Quebrada Jatabamba.	86
ANEXO III. Tabla de los parámetros de lahares tipo B en la Quebrada Jatabamba.	87
ANEXO IV. Tabla de datos mensuales/ semanales de pluviosidad de la estación M5076 del FONAG.	92
ANEXO V. Tabla de datos meteorológicos que presenta los valores mensuales en m y mm de precipitación media, y precipitación acumulada en mm.	98
ANEXO VI. Tabla de promedios mensuales en mm de la pluviosidad de los datos meteorológicos del Cotopaxi en los 42 años.	109
ANEXO VII. Tabla del volumen calculado para cada lahar secundario presente en la quebrada Jatabamba.....	110

RESUMEN

El Cotopaxi con una altitud de 5.897 msnm es un estrato volcán cubierto por un glaciar con un área calculada en ~14 km². A partir de su última erupción ocurrida en 1877 este volcán en estado de inactividad está expuesto a diferentes procesos geológicos – externos, específicamente a la erosión, la misma que puede ser ocasionada por viento, derretimiento del glaciar y la lluvia; produciendo así lahares secundarios en los diferentes drenajes del edificio volcánico. La quebrada Jatabamba ubicada en el flanco nor-oriental del volcán es uno de los drenajes en los que ocurren este tipo de lahares, es por eso que se vio conveniente estudiar esta zona en el presente trabajo.

La ocurrencia de los lahares secundarios a lo largo de un período de 6 años desde octubre del 2015 hasta diciembre del 2020 en la quebrada Jatabamba se determina mediante el análisis de registros sísmicos R-SAM conjuntamente con datos pluviométricos de la zona. Los Datos sísmicos se encuentran disponibles en el Sistema de Administración y Monitoreo de Actividad Sísmica y Volcánica (IG-EPN) en los que se obtienen datos R-SAM para las señales sísmicas provenientes de la estación BVC2 en frecuencias > 10 Hz en ventanas de 1 minuto. Mientras que los datos pluviométricos proporcionados por el IG-EPN fueron considerados primordiales, sin embargo, por varias inconsistencias encontradas, se tomó la decisión de tomar los datos de lluvia del FONAG y de una base mundial del Cotopaxi.

Los registros sísmicos R-SAM sugieren que en la quebrada Jatabamba existe un total de 135 lahares secundarios desde 2015 hasta 2020 de los cuales se identificaron diferentes parámetros como Amplitud Relativa Máxima (cuentas), Magnitud (cuentas*s), Duración (min) e Índice de aspecto, los mismos que fueron relacionados y se obtuvo una clara distinción de dos tipos de eventos denominados como 1) Lahares tipo A y 2) Lahares tipo B; teniendo una mayor ocurrencia de Lahares tipo B. Al correlacionar a una escala anual y semanal los diferentes parámetros de los dos tipos de eventos con los datos de pluviosidad se tiene que: 1) A escala anual se puede ver cierta relación de ocurrencia con la cantidad de pluviosidad, mientras que a escala semanal esta relación es menos evidente; ya que existen períodos en los que la cantidad de eventos es grande pero la pluviosidad es baja, sobre todo para los lahares tipo A; 2) Se sugiere que existe un agente desencadenante adicional en los Lahares tipo A, que podría ser la acumulación de agua en las partes altas de la quebrada sea esta proveniente del derretimiento del glaciar o de lluvias muy localizadas, que el pluviómetro del FONAG no es capaz de medir.

ABSTRACT

Cotopaxi, with an altitude of 5,897 m.a.s.l is a stratum volcano covered by a glacier with an area calculated at $\sim 14\text{km}^2$. Since its last eruption in 1877, this in a state of inactivity is exposed to different geological – external processes, specially erosion, which can be caused by wind, glacial melting and rain; this producing secondary lahars in the different drainages of the volcanic edifice. The Jatabamba ravine located on the northeast flank of the volcano is one of the drainages in which this type of lahars occurs, that is why it was convenient to study this area in this work.

The occurrence of secondary lahars over a 6-year period from October 2015 to December 2020 in the Jatabamba ravine is determined by analyzing R-SAM seismic records together with rainfall data from the area. The seismic data are available in the Seismic and Volcanic Activity Monitoring and Administration System (IG-EPN) in which R-SAM data are obtained for the seismic signals coming from the BVC2 station at frequencies $> 10\text{Hz}$ in windows of 1 minute. While the rainfall data provided by the IG-EPN were considered essential, however, due to several inconsistencies found, it was made the decision to take the rainfall data from FONAG and from a global database of Cotopaxi.

The R-SAM seismic records suggest that in the Jatabamba ravine there are a total of 135 secondary lahars from 2015 to 2020, of which different parameters were identified such as Maximum Relative Amplitude (counts*s), Magnitude (counts*s), Duration (min) and aspect Index, the same ones that were related and a clear distinction was obtained between two types of events named as 1) Lahars type A and 2) Lahars type B; having a greater occurrence of type B lahars. When correlating on an annual and weekly scale the different parameters of the two types of events with the rainfall data, it follows that: 1) On an annual scale, a certain relationship can be noticed between occurrence with rainfall quantity, while on a weekly scale this relation is less notable; since there are periods in which the number of events is large but the rainfall is low, especially for type A lahars; 2) It is suggested that there is an additional triggering agent in type A lahars, which could be the water accumulation in the upper parts of the ravine, whether it comes from the glacier melting or from very localized rains, which the FONAG pluviometer is not able to measure.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Ecuador se encuentra ubicado en una zona de subducción, motivo por el cual existe una intensa actividad sísmica y volcánica en el país. Tomando en cuenta lo antes mencionado, los instrumentos para el monitoreo volcánico han ido avanzando con el desarrollo de la tecnología, sin embargo, el riesgo que los volcanes representan para las zonas aledañas siguen provocando preocupación; principalmente por las pérdidas humanas, materiales y económicas.

El volcán Cotopaxi es un gran estratovolcán activo ubicado en la Cordillera Real de los Andes del Ecuador, a 60 km al sureste de Quito y a 45 km al norte de Latacunga. Tiene una base de 16x19 km, un relieve que puede alcanzar entre 2000 a 3000 m desde la base hasta la cima, sus flancos altos tienen pendientes de hasta 30° de inclinación y se encuentran cubiertos por glaciares con un volumen estimado de 0,5 km³ (Ruiz et al., 1998; Andrade et al., 2005).

Sus primeras erupciones ocurrieron en el año 1534 d.C. y fueron seguidas por un período de tranquilidad de casi dos siglos de duración. Una serie de erupciones con nubes ardientes, flujos de lava, lahares extensos y deposición de cenizas que ocurrieron entre los años 1742 y 1768. El siguiente período de alta actividad volcánica ocurrió durante 1844-86. En 1877 ocurrió la última gran erupción explosiva y se produjo un flujo de lodo de un volumen estimado de 0.3km³ que produjo una gran afectación a la zona de Latacunga y del Valle de los Chillos, cubriendo un área de aproximadamente 170 km² en el N y NE de Cotopaxi con una capa de escombros de decenas de metros de espesor (Mothes et al., 2004). Las erupciones más recientes fueron reportadas a inicios del siglo XX y en el año 2015 (Hradecka et al. 1974, Hall 1977; Hidalgo et al, 2016).

En estado de inactividad el Cotopaxi está sometido a procesos geológicos - externos, específicamente a la erosión, que puede ser originada por el viento, glaciares y la lluvia. En especial, se asume que la lluvia es el agente más común de erosión en los volcanes continentales, (Povea, 2020; Jones R. J., 2016; Capra et al., 2010) y da lugar a la ocurrencia de flujos de lodo y escombros que se transportan por los principales drenajes de volcanes, los cuales son conocidos como lahares secundarios (Jones et al., 2017). Sin embargo, es poco conocida la frecuencia y la intensidad que tienen estos procesos en los volcanes del Ecuador, en especial en el Cotopaxi, ni sus posibles mecanismos y umbrales de formación (Barclay et al., 2007; Rodolfo y Arguden, 1991; Umbral y Rodolfo, 1996). Igualmente, no se conoce en detalle el aporte ni la influencia de un glaciar en los procesos erosivos de los volcanes ecuatorianos.

Una oportunidad especial ocurre en la Quebrada Jatabamba, ubicada en el flanco nor-oriental del Volcán Cotopaxi, en donde ya se ha observado la ocurrencia de lahares secundarios (Povea, 2020). El Instituto Geofísico de la EPN (IG-EPN) cuenta con una estación sísmica (BVC2) ubicada en la cuenca alta de dicha quebrada y un pluviómetro (VC1) a 3km de distancia de la cuenca alta, (ver Fig. 1.1). Ambos instrumentos proveen datos permanentes desde hace más de una década, la cual podría ayudar a entender los procesos de formación de lahares secundarios en el volcán Cotopaxi.

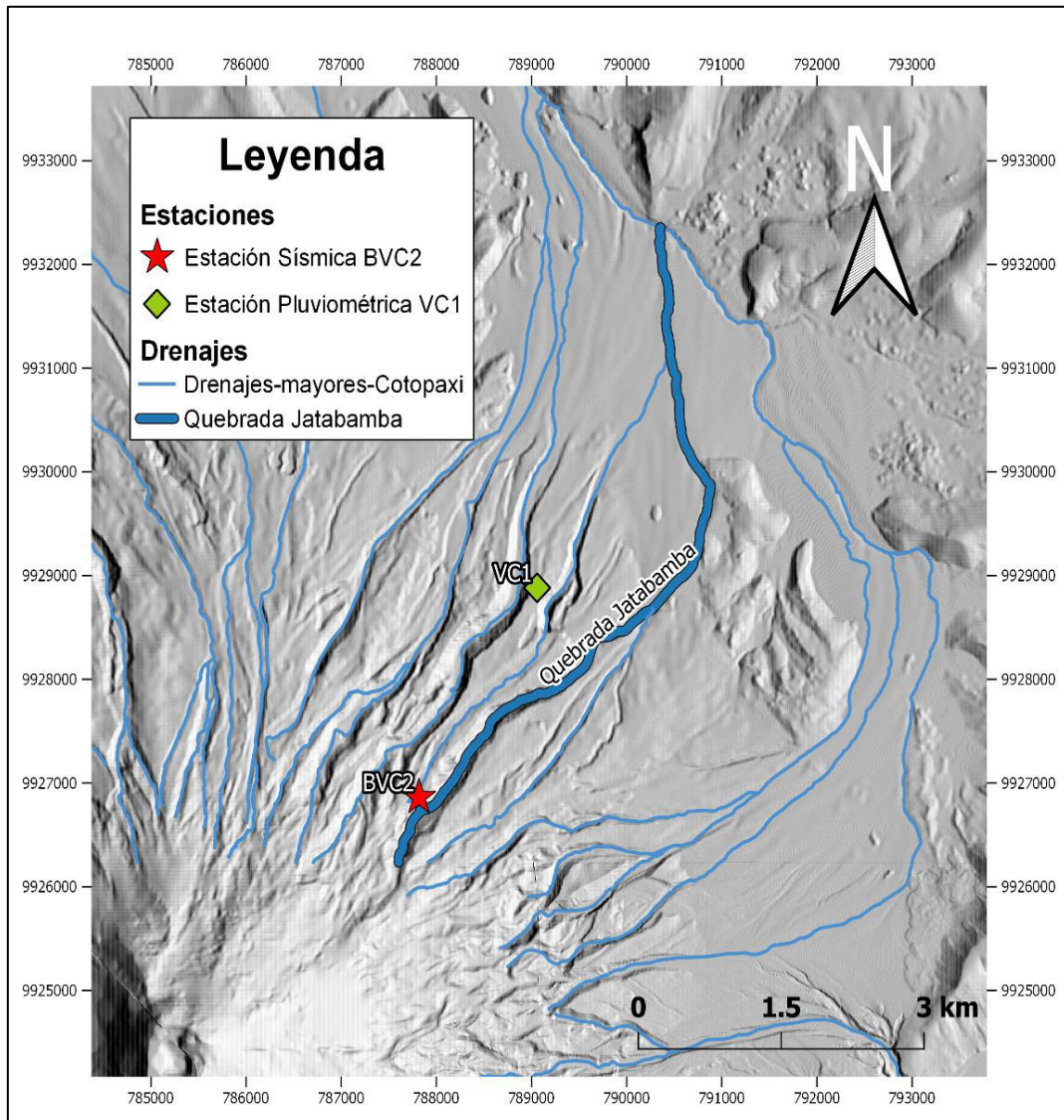


Figura 1.1. Ubicación de la Quebrada Jatabamba, estación sísmica y pluviométrica en el volcán Cotopaxi.

1.2 Justificativos

1.2.1. Justificación teórica

El estudio de lahares secundarios es relevante ya que estos representan una de las amenazas volcánicas más comunes debido a que pueden movilizar grandes volúmenes de sedimentos depositados en los flancos de edificios volcánicos, por lo que sus efectos pueden ser significativos para las poblaciones asentadas en sus zonas de inundación. Por lo tanto, conocer los mecanismos de generación, su magnitud, distribución y frecuencia en diferentes volcanes es indispensable para realizar una adecuada evaluación de su peligro (Zaragoza et al., 2020). Varios análisis han determinado que los lahares secundarios generalmente tienen como mecanismo de formación las grandes precipitaciones. Estudios volcanológicos, sedimentológicos y probabilísticos han demostrado que la iniciación del lahar secundario es una función de los parámetros de lluvia, las características del material fuente y el tiempo transcurrido desde la actividad eruptiva (Jones et al., 2017), que es lo que controla la cantidad de material disponible que será removilizada. Sin embargo, estudios recientes de lahares secundarios en las quebradas del volcán Cotopaxi (Povea, 2020), muestran que la correlación entre la lluvia y la ocurrencia de un lahar no se cumple en muchas ocasiones y que el glaciar podría tener un papel importante en los procesos erosivos.

Varios estudios ya han demostrado la utilidad de estaciones sísmicas para detectar y cuantificar lahares (Vasquéz et al., 2016), así como metodologías para determinar los umbrales de precipitaciones necesarios para formar un lahar (Barclay et al., 2007). El presente proyecto utilizará instrumentos instalados para monitorear la actividad del Cotopaxi en tiempo real (ver Fig. 1.1). La estación sísmica BVC2, ubicada a 4600 msnm y al pie de un glaciar está conformada por un sismómetro de banda ancha que provee información permanente desde el año 2006 a tasas de 50 muestras por segundo. El pluviómetro, por su lado, fue instalado hace más de dos décadas y envía muestras cada dos minutos o cada vez que se registre un giro del sensor (equivalente a 0.1mm de agua). Ambos sets de datos se encuentran disponibles en las bases de datos del IG-EPN. El análisis e interpretación de los datos obtenidos de estos instrumentos, permitirán conocer diferentes características de los lahares secundarios, así como la magnitud, amplitud, duración, el período en el que ocurren, la correlación entre la lluvia y la ocurrencia de los eventos, estos parámetros ayudaran a comprender de una mejor manera el/los verdaderos mecanismos de formación de estos lahares en la Quebrada Jatabamba.

1.2.2. Justificación metodológica

Los métodos de estudio que se utilizarán para comprender la ocurrencia de lahares secundarios y sus mecanismos de formación se basarán en el análisis de datos sísmicos y pluviométricos.

Las señales sísmicas asociadas a lahares se caracterizan por contener la gran mayoría de su energía en frecuencias superiores a los 10Hz (Vásquez et al., 2016), lo que las diferencia claramente de otras fuentes como eventos tectónicos o volcánicos profundos que se caracterizan por energías en frecuencias inferiores a los 5 Hz. Adicionalmente, las ondas sísmicas producidas por lahares en movimiento son registradas solamente por sensores ubicados en las cercanías de los cauces por donde se mueven los flujos, dado que las ondas producidas son superficiales. Una de las formas más utilizadas de representar la señal sísmica de un lahar es la envolvente de la amplitud (Marchi et al., 2002), que es una representación equivalente al RSAM para las señales sísmicas provenientes de la estación BVC2 en frecuencias > 10 Hz. Por su ubicación, por las características del sensor y por la calidad de los datos producidos por BVC2, se espera identificar, clasificar y cuantificar cada uno de los flujos que hayan descendido por la quebrada Jatabamba a partir de esas señales sísmicas.

Asimismo, el IG-EPN ha instalado y mantenido desde hace más de 2 décadas un pluviómetro en la estación VC1 del volcán Cotopaxi, la misma que se encuentra a 3 km de distancia de la cuenca alta de la quebrada Jatabamba. Los datos de este pluviómetro ayudarán a entender el rol de la lluvia como agente disparador de lahares secundarios que ocurren en la quebrada Jatabamba a comparar los registros de precipitación con los registros sísmicos.

Finalmente, los umbrales definidos por métodos empíricos o estadísticos están basados en datos históricos de lluvias y de movimientos en masa (lahares), estos métodos relacionan la ocurrencia del evento con la intensidad, la duración de la lluvia o la lluvia que ha sido acumulada en la zona (Terlien, 1998). Se tomarán dos escalas de tiempo para el análisis de los datos. La primera será una escala anual que permitirá identificar comportamientos a largo plazo y estacionales. La segunda será una escala semanal a diaria, donde se seleccionarán eventos específicos para tratar de identificar posibles umbrales de disparo de lahares secundarios. Se trabajará con datos de seis años, desde enero de 2015 hasta diciembre de 2020.

1.2.3. Justificación práctica

La evaluación de la peligrosidad de los lahares ocurridos en el volcán Cotopaxi, está determinada por el volumen de agua disponible (tamaño del glaciar) y de los materiales sueltos disponibles, de las pendientes y del encañonamiento de los valles por donde fluyen (Mothes, 1992; Aguilera, Pareschi et al., 2004). Los principales estudios de peligro en el Cotopaxi se enfocan en lahares primarios, pues estos pueden llegar a ser tan devastadores al mover y aun arrastrar objetos de gran tamaño y peso, tales como puentes, vehículos, grandes árboles, entre otros (Andrade et al., 2005). El presente estudio del origen de lahares secundarios, en la quebrada Jatabamba en el volcán Cotopaxi, ayudará a entender los procesos que controlan la erosión en volcanes activos con glaciar.

Además, el estudio propuesto proveerá informaciones muy importantes que permitirán mejorar los sistemas de alerta temprana de lahares, los cuales están basados en señales sísmicas. Estos sistemas de alerta permiten a las autoridades de protección civil el diseño de estrategias de mitigación de riesgos en las zonas aledañas a los mayores drenajes del Cotopaxi. También con estos planes posiblemente se reducirá el peligro de los ciudadanos que habitan en los sectores cercanos al lugar por donde pasarían los lahares secundarios.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar el rol de las precipitaciones en los procesos erosivos del volcán Cotopaxi mediante un estudio sobre la formación y ocurrencia de lahares secundarios en la Quebrada Jatabamba.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Generar una base de datos de lahares ocurridos entre enero de 2015 y diciembre de 2020 en la quebrada Jatabamba a partir de datos sísmicos de la estación BVC2.
2. Compilar los datos de precipitaciones del pluviómetro VC1 para determinar la cantidad de lluvia entre enero de 2015 y diciembre de 2020.
3. Realizar análisis estadísticos de cada set de datos por separado para identificar tipologías y características generales.

4. Realizar análisis estadísticos de los dos juegos de datos en conjunto con el fin de identificar las correlaciones entre la cantidad de lluvia y la ocurrencia de lahares secundarios en la parte oriental del volcán Cotopaxi, tanto a escala anual como a escala semanal.

1.4 Alcance

El presente estudio mediante análisis de registros sísmicos RSAM y datos pluviométricos, pretende determinar la influencia de la lluvia en la ocurrencia de lahares secundarios en un lapso de tiempo de 6 años, desde enero del 2015 hasta diciembre del 2020, en la quebrada Jatabamba, ubicada en el flanco nor-oriental del volcán Cotopaxi. Los datos sísmicos se toman de la base de datos del Sistema de Administración y Monitoreo de Actividad Sísmica y Volcánica (IG-EPN) de donde se obtienen datos RSAM para las señales sísmicas provenientes de la estación BVC2 en frecuencias > 10 Hz en ventanas de 1 minuto. Los datos pluviométricos considerados son suministrados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador y son utilizados con una frecuencia durante el intervalo de tiempo en el que se han tomado los datos sísmicos.

2 MARCO TEÓRICO

2.1. El Volcán Cotopaxi

El volcán Cotopaxi (Latitud 0°38' Sur; Longitud 78°26' Oeste; 5 897 msnm) forma parte del Arco Volcánico Ecuatoriano ubicándose en la Cordillera Real de los Andes del Ecuador, a 60 km al sureste de Quito y a 45 km al norte de Latacunga (Andrade et al., 2005). Con una altitud de 5.897 msnm es considerado uno de los volcanes más peligrosos del mundo debido a la frecuencia de sus erupciones, su estilo eruptivo, su relieve y cobertura glaciar. Actualmente más de 300.000 personas viven cerca del volcán o cerca de los drenajes importantes (ríos y quebradas) que nacen en sus flancos (Ordoñez et al., 2013). Así también está rodeado por páramos que bordean los 3000 msnm y por otros volcanes como Sincholahuá, Quilindaña, Rumiñahui y Chalupas (Fig. 2.1).

El cráter del Cotopaxi tiene una forma casi circular, con un diámetro de ~800 m y una profundidad superior a los ~200 m. En el interior del cráter, así como en sus bordes, se constata la presencia de continuas emisiones fumarólicas (Andrade et al., 2005).

El edificio está cubierto con un casquete glaciar cuya área actual está calculada en ~14 km² y su volumen estimado en ~0.7 km³ (Cáceres et al., 2004; Cáceres, 2005). A causa de los vientos húmedos predominantes que vienen de la cuenca amazónica, los glaciares del Cotopaxi descienden hasta la cota de ~4600 m en el sector oriental del cono, mientras que en la zona occidental llegan solamente hasta la cota de 5 100 m (ver Fig. 2.1) (Andrade et al., 2005).

En los últimos 4.000 años, el volcán experimentó varios ciclos eruptivos que estuvieron caracterizados por erupciones recurrentes de tamaños moderados a grandes. Desde la llegada de los conquistadores españoles en 1.534 DC, el Cotopaxi experimentó en promedio un ciclo eruptivo cada siglo, con un período de reposo desde 1535 - 1742, incluidos varios episodios explosivos muy violentos con un VEI entre 3 y 4 (Andrade et al., 2005). Los cinco períodos más importantes ocurrieron entre 1532 – 1534, 1742 – 1744, 1766 – 1768, 1853 – 1854 y 1877 – 1880; en cada uno de estos períodos de actividad fueron frecuentes los flujos piroclásticos, las caídas de ceniza a nivel regional, pequeños flujos de lava y grandes lahares muy destructivos (Andrade et al., 2005; Hall y Mothes, 2007).

El siglo XX no fue testigo de ninguna erupción de este volcán, y ya se han cumplido 145 años desde la última gran erupción, ocurrida el 26 de junio de 1877, donde se produjeron flujos piroclásticos que derritieron partes del glaciar, desencadenando en la ocurrencia

de grandes lahares primarios. El fenómeno ocasionó pérdidas de vidas humanas y materiales (Sodiro, 1877; Mothes et al., 2004).

En las últimas décadas se ha observado un retroceso de los glaciares que cubren éste volcán; es un fenómeno lento pero constante, asociado al recalentamiento global del clima en la Tierra. Los deshielos del Cotopaxi son drenados por numerosas quebradas, las cuales alimentan tres sistemas fluviales principales: 1) el río Cutuchi al occidente y al sur; 2) el río Tambo, al oriente; y 3) el río Pita que corre hacia el norte (ver Fig. 2.1) (Andrade et al., 2005).

Cada uno de esos sistemas fluviales principales es alimentado por varias quebradas que descienden de los flancos medios del volcán. El presente estudio se concentrará en la quebrada Jatabamba, ubicada en el flanco nor-oriental del Cotopaxi, la cual alimenta al río Pita (Fig. 2.1). En esta quebrada se ha observado la ocurrencia común y reciente de abundantes lahares secundarios (Povea, 2020).

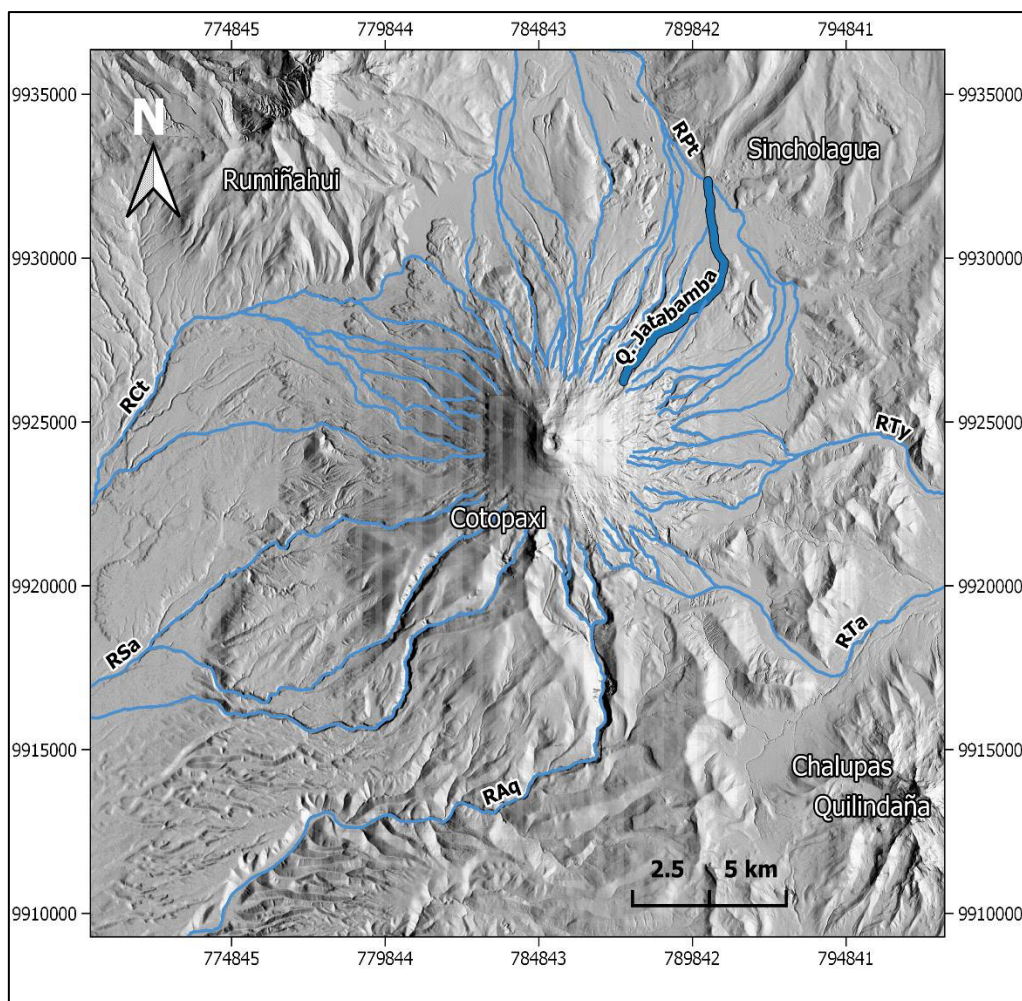


Figura 2.1. Modelo digital del volcán Cotopaxi y ubicación de la quebrada Jatabamba junto con los Drenajes principales: RPt = río Pita, RTa = río Tambo, RCt = río Cutuchi, RAq = río Ataques, y RTy = río Tamboyacu.

2.2. Lahares

Los lahares son fluidos acuosos con una alta concentración de sedimentos y escombros de rocas volcánicas en suspensión, los cuales se desplazan pendiente abajo por los drenajes de un volcán, influenciados por la gravedad (Vallance e Iverson, 2015). Debido a su naturaleza son muy erosivos, generalmente se desplazan por los drenajes a grandes velocidades (incluso mayores a 70 km/h), y pueden alcanzar grandes distancias (hasta cientos de kilómetros) lejos de su fuente (Almeida et al., 2017).

2.2.1. Clasificación

Por su origen

Se clasifican en primarios y secundarios, dependiendo si la fuente de agua que los forma está relacionada directa o indirectamente a las erupciones volcánicas.

Lahares primarios (Syneruptivos): Estos lahares se forman en los flancos de un volcán cuando los flujos incandescentes se mezclan vigorosamente con el hielo y la capa de nieve que cubren a un volcán, que se derriten para generar flujos saturados de agua (Fig. 2.2). Estos flujos iniciales luego se combinan con materiales juveniles sueltos o volcanoclásticos preexistentes en las laderas y en los canales para formar lahares que fluyen río abajo bajo la influencia de la gravedad (Mothes y Vallance, 2015). Así también pueden generarse por ruptura o expulsión del agua de lagos cratéricos durante las erupciones.

Los lahares primarios tienden a ser voluminosos ($10^7 - 10^9 \text{ m}^3$), con velocidades de hasta 20m/s y volúmenes de miles de m^3/s . Son capaces de viajar grandes distancias, a veces cientos de kilómetros río abajo (Mothes y Vallance, 2015).

En el Volcán Cotopaxi en 26 de junio de 1877 los flujos piroclásticos producidos dieron lugar a lahares (flujos de lodo y escombros) que ocurrieron en los ríos Pita, Cutuchi y Tamboyacu, sobre todo por la gran destrucción que provocaron a todo lo largo de los tres drenajes (Andrade et al., 2005).

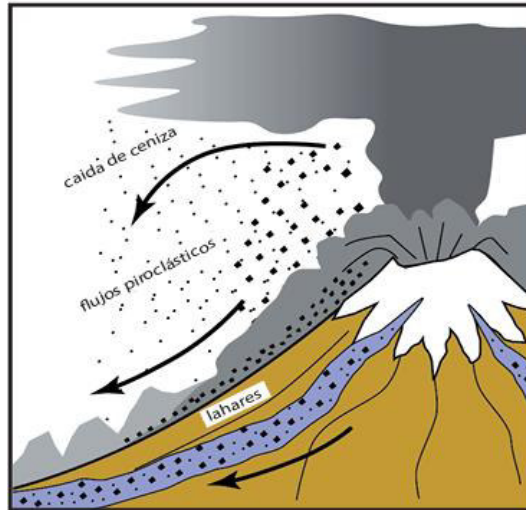


Figura 2.2. Modelo esquemático de generación de lahares primarios durante una erupción explosiva que produce fusión glaciar. Tomado de Almeida et al., 2017.

Lahares secundarios (posteruptivos): Los más comunes son los “inducidos por lluvia”, que se forman después de que la actividad volcánica ha disminuido cuando las fuertes lluvias o la ruptura de un lago, removilizan cenizas y otros escombros volcánicos en las laderas, plataformas o valles radiantes del volcán para formar flujos potentes cargados de sedimentos que se concentran en las quebradas (ver Fig. 2.3) (Mothes y Vallance, 2015). Pueden formarse incluso cuando un volcán se encuentra dormido o extinto. Los lahares inducidos por la lluvia tienen caudales y volúmenes relativamente pequeños, y están limitados por la intensidad, la acumulación y la duración de la lluvia, además de la incorporación de material que se erosiona fácilmente (Vallance y Iverson, 2015).

Aunque los volúmenes suelen ser pequeños ($10^4 - 10^6 \text{ m}^3$), sus caudales pueden llegar al orden de decenas a cientos de m^3/s , y las distancias que alcancen suelen ser inferiores a 10 km (Mothes y Vallance, 2015).

Los lahares secundarios también pueden producirse, con menos frecuencia, debido a rupturas de lagos o represamientos provocando la removilización de material volcanoclástico que se encuentra concentrado en las laderas de los volcanes y sus drenajes (Almeida et al., 2017). Este tipo de flujos pueden llegar a ser mucho más voluminosos ($0,1 \text{ km}^3$ o más) y viajar más lejos (distancias de 10 a 100 km) que los lahares inducidos por lluvia (Mothes y Vallance, 2015).

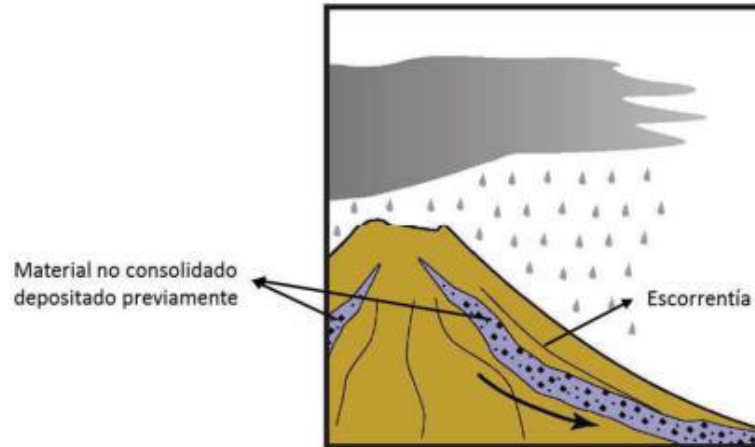


Figura 2.3. Esquema de la formación de un lahar secundario durante un período de lluvias intensas, estas removilizan el material piroclástico suelto depositado previamente. Tomado de Saltos, 2017.

En el volcán Cotopaxi el 3 de abril de 2019, se registró un lahar secundario en el flanco noroccidental, con un volumen aproximado de 40 mil m^3 , caudal pico de 18-20 m^3/s y una duración de poco más de 120 minutos; este lahar fue producto de las fuertes lluvias. El flujo descendió por la quebrada Cutzualo hasta unirse a la quebrada Agualongo colapsando su drenaje como se puede observar en la Figura 2.4 (Vasconez et al., 2019). El camino afectado fue la vía principal de ingreso al Parque Nacional Volcán Cotopaxi.

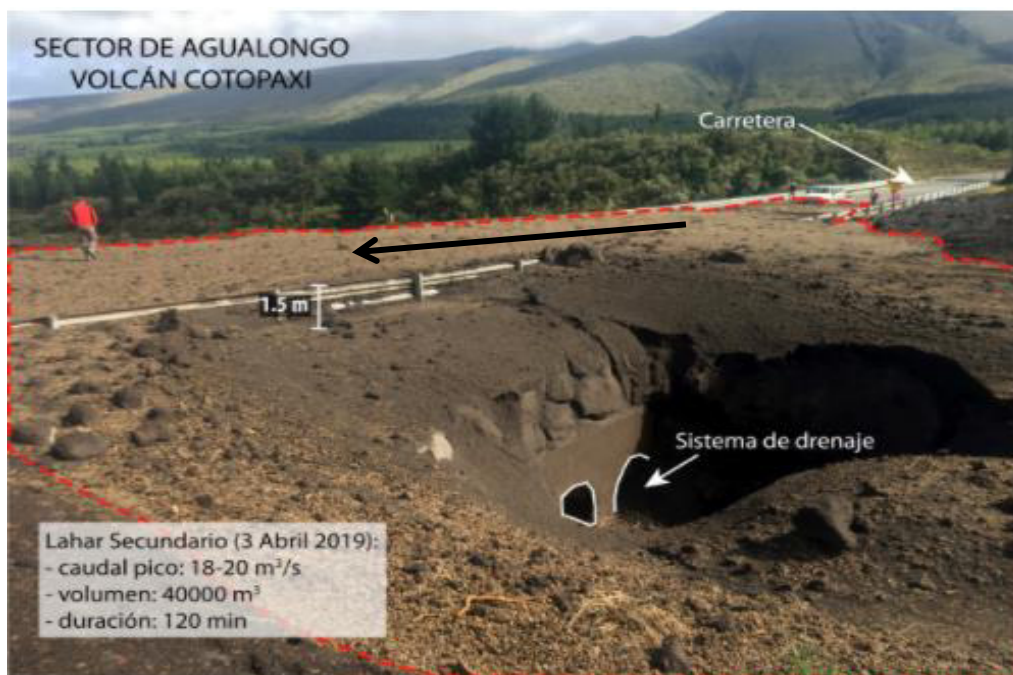


Figura 2.4. Fotografía de los depósitos del lahar ocurrido el 3 de abril de 2019 en la quebrada de Cutzualo - Agualongo. Tomada de Vasconez et al., 2019.

Por su contenido de sedimentos

Dependiendo del porcentaje de sedimento que incorporan se clasifican en *flujos de escombros* (debris flow) si contienen > 60% en volumen de sedimento y en *flujos hiperconcentrados* con 20 – 60% en volumen de sedimento (Vallance e Iverson, 2015). Los mismos que serán descritos de forma más detallada a continuación:

Flujos de escombros (debris flow): Es una mezcla de escombros saturada de agua que se mueve pendiente abajo, bajo la influencia de la gravedad, en la que las fracciones sólida y líquida son aproximadamente iguales en volumen y en la que las dos fracciones se mueven corriente abajo aproximadamente al unísono (Vallance e Iverson, 2015). La magnitud y el carácter de las interacciones sólido – líquido pueden variar de un flujo a otro y dentro de un flujo individual, pero las interacciones siempre juegan un papel mecánico determinante. Típicamente los granos sólidos y el líquido intergranular constituyen ~ 30 – 70 % del volumen de un flujo de escombros (Iverson, 2005).

Este flujo se comporta de manera coherente, uniforme, presenta alta viscosidad y un flujo laminar (o casi laminar). Estos flujos generalmente son menos erosivos que los que poseen mayores contenidos de agua (flujos hiperconcentrados) (Vallance e Iverson, 2015). Sus depósitos son típicamente masivos, matriz soportados y pobremente sorteados (Fig. 2.5) (Fagents y Baloga, 2006).



Figura 2.5. Depósito de flujo de escombros frescos. Tomado de Pierson y Scott, 1985.

Shanmugam (2021), menciona que “el origen de estos flujos de escombros puede ser por terremotos, volcanismo, impacto de meteoritos, tsunamis, ciclones, inestabilidad de taludes en abanicos aluviales y sobreabastecimiento de sedimentos”.

Flujos hiperconcentrados: Es un flujo que transporta una gran cantidad de sedimento, en suspensión o de fondo, aunque todavía es aceptable asumir que puede darse como flujo permanente y uniforme; sin embargo, la concentración de sedimentos modifica las características de flujo, de tal modo que no es factible ignorar la fase sólida en el cálculo de la fase líquida (López, 2003). Se considera un flujo de este tipo cuando la concentración del volumen de sólidos en el flujo, es mayor de 0.2 (20%) pero no supera 0.6 (60) (Suaréz, 2012).

Aunque la velocidad de flujo puede ser muy alta, la superficie de la corriente aparece suave y calmada; el flujo posee cierto grado de plasticidad y se forman patrones similares a los de las nubes dentro del flujo, los cuales se deforman y se tuercen al moverse a lo largo de la corriente (Suaréz, 2012).

Además, Suarez (2012), menciona que, “si la concentración aumenta en forma exagerada, el espacio entre partículas se vuelve tan pequeño que éstas no pueden moverse, produciéndose un fenómeno de frenado, en la cual la concentración es tan alta, que se bloquea totalmente el tránsito del flujo; previamente a la ocurrencia de este fenómeno se genera un período de inestabilidad en el cual el flujo trata de moverse en períodos de frenado y movimiento” (ver Fig. 2.6).

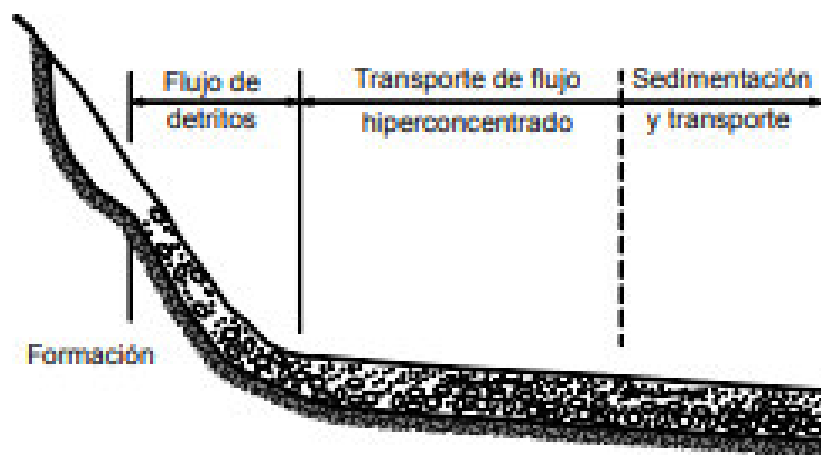


Figura 2.6. Esquema de un flujo hiper-concentrado. Tomado de Suaréz, 2012.

2.2.2. Condiciones para su formación

Los lahares se pueden formar por diversas causas, independientemente de esto cada caso requiere:

Una fuente adecuada de agua: los lahares presentan un gran porcentaje de agua, la misma que puede estar almacenada en el subsuelo, hielo y nieve, agua subglacial, lagos de cráter o lagos adyacentes, agua de las lluvias e incluso agua del sistema hidrotermal o freático del volcán (Almeida et al., 2017).

Abundante material no consolidado: fragmentos de rocas volcánicas de todos los tamaños de grano, provenientes generalmente de la ocurrencia de erupciones explosivas o de procesos de erosión. Los flujos y/o caídas piroclásticas depositan abundantes escombros que pueden ser fácilmente removidos (Almeida et al., 2017). También los suelos volcánicos pueden representar una abundante fuente de sedimentos.

Pendientes acentuadas: para que el flujo de lahar discurra, tiene que existir una pendiente que, por gravedad, provoque el descenso del flujo; estas pendientes son muy comunes en los conos volcánicos (Bordino, 2021).

Mecanismo desencadenante: aquí entra en juego un agente que provoque el desplazamiento del flujo. Algunos de ellos son: erupciones volcánicas, sismos, lluvias intensas y deslizamientos o movimientos en masa de cualquier tamaño que ocurren en las laderas de volcanes (Bordino, 2021).

2.2.3. Peligros y riesgos asociados

La ocurrencia de un lahar y la magnitud que estos llegarían a tener es difícil de predecir, por lo que pueden ser muy peligrosos. Por su alta densidad pueden ser muy erosivos, transportando grandes bloques en suspensión (tamaños métricos); adicionalmente, por las grandes velocidades con las que se mueven y la energía que poseen la probabilidad de sobrevivir a un impacto de esta magnitud es mínima (Almeida et al., 2017).

La peligrosidad de estos fenómenos está determinada por el volumen de agua disponible y de los materiales rocosos sueltos disponibles, de las pendientes y del encañonamiento de los valles por donde fluyen. Las personas alcanzadas por un lahar tienen muy pocas probabilidades de sobrevivir, por lo cual, durante una crisis volcánica se recomienda la evacuación de las zonas pobladas susceptibles de ser impactadas por estos flujos (Andrade et al., 2005).

Adicionalmente, los lahares que han ocurrido a lo largo de la historia han demostrado su capacidad de impacto en la infraestructura expuesta, ya que el fluido arrasa con todo lo que hay a su paso por sus características físicas (ver Fig. 2.7). Finalmente, los peligros que prevalecen después de su ocurrencia se asocian a períodos de hambruna y desabastecimiento y presencia de enfermedades (Bordino, 2021).



Figura 2.7. Infraestructura destruida por flujos laharios que descendieron hacia el sur del volcán Calbuco (Chile) en 2015. Tomado de Vera, 2018.

2.3. Características sísmicas de los lahares

Cuando un flujo pasa por la sección transversal donde se coloca un sensor sísmico, se produce un aumento significativo de la señal detectada por el propio sensor; por lo general este aumento está por encima del ruido ambiente que está presente antes de que ocurra el flujo, lo que ayuda a reconocer el fenómeno (Arattano et al., 2014).

Es por eso que dentro de las principales características se tiene que, Arattano (1999), menciona que “un flujo es una fuente móvil de vibraciones del suelo, por lo que hay dos velocidades involucradas en el proceso: 1) velocidad de la mezcla del agua y escombros; y 2) velocidad de propagación de las vibraciones en el suelo. En este tipo de flujos se generan los dos tipos de onda P y S”. La velocidad del fluido alcanza su punto máximo a 15 – 30 km/h y la viscosidad disminuye a medida que la velocidad se incrementa (Jones, 2016). Y el mayor contenido de energía de una señal producida por un flujo de escombros usualmente está en rangos de frecuencia desde 10 hasta 100 Hz (LaHusen, 1996; Huang et al., 2007; Abancó et al., 2014; Comiti et al., 2014; Arattano et al., 2014).

Al ser tan grande la cantidad de datos derivados de estas altas velocidades de muestreo que serían necesarias para registrar estas señales, el procesamiento se vuelve esencial; para ellos, *método de amplitud*, es uno de los más usados y requiere la transformación de la señal analógica de voltaje que sale del geófono en una señal digitalizada de los datos de ciertas frecuencias y luego calcula la media de los valores absolutos obtenidos por cada segundo de registro (Arattano et al., 2014).

Esté denominado *Sistema de Medida de la Amplitud Sísmica en Tiempo Real (RSAM)* es muy bien explicado en el trabajo de Endo y Murray (1991), en el que mencionan que para adquirir este tipo de datos la computadora calcula la amplitud promedio de la señal una vez por minuto para cada entrada, simplemente dividiendo la suma de cada una de las muestras digitalizadas de las entradas por el número de muestras; usando el promedio sobre un promedio de un minuto permite que se pare momentáneamente la adquisición de datos para que estos puedan ser procesados. El procesamiento de datos requiere ~ 0.5 s por cada dos segundos de adquisición de datos a 60 muestras/segundo. La mayoría del tiempo de procesamiento es usado por la rutina de detección de eventos.

Al principio de cada minuto, una llamada al subprograma de adquisición de datos causa que la computadora digitalice 125 muestras por cada entrada sísmica a una frecuencia ~ 60 muestras/segundo/entrada y devuelve las sumas de los valores digitalizados, las mismas que son sumadas a los totales corrientes para el minuto entero. En este punto los valores son revisados para determinar si ha ocurrido un evento RSAM; entonces, llama nuevamente al subprograma de adquisición de datos y el ciclo continúa durante el resto del minuto. Así el proceso simplificado se muestra en la Figura 2.8 (Endo y Murray, 1991).

Dependiendo de la configuración, los promedios pueden ser enviados a una computadora más poderosa a través de un enlace RS-232C para su análisis y almacenamiento o meramente enviados a una impresora (Endo y Murray, 1991).

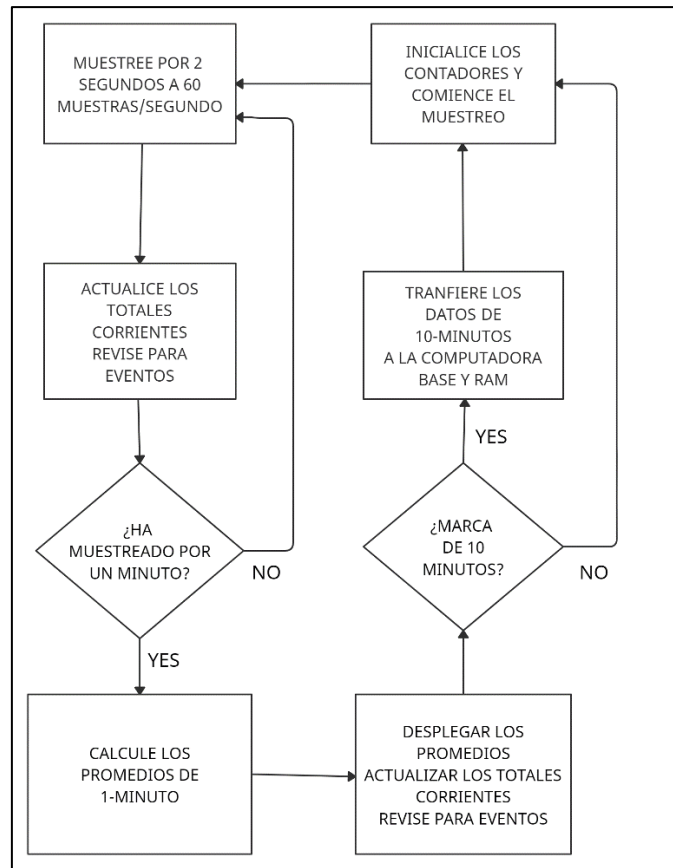


Figura 2.8. Diagrama de flujo que indica las acciones del software en el proceso de adquisición de datos y el preprocesamiento de datos antes de la transmisión a una minicomputadora. Tomado de Murray y Endo (1993).

En los estudios que se presentaran a continuación se explica de una manera más práctica cómo funciona este método:

- **Rebaixader Torrent (Pirineos Centrales, España) el 4 de Julio del 2012:** mediante el procesamiento de los datos se obtuvieron tres gráficos de la Amplitud vs Tiempo (segundos) de diferentes geófonos instalados a lo largo del torrente (ver Fig. 2.9) en los que se evidencia la presencia de tres picos principales que alcanzan amplitudes de hasta $100 \mu\text{m/s}$ (Arattano et al., 2014).

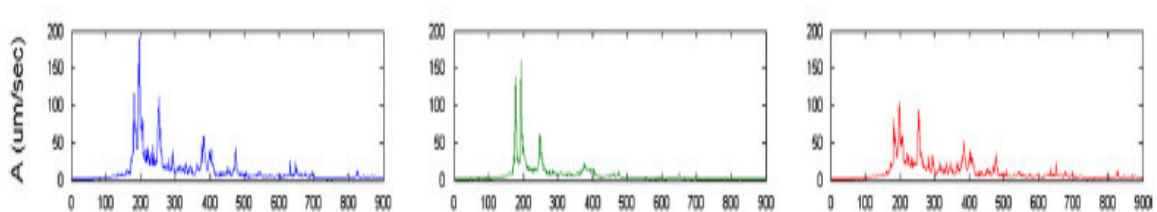


Figura 2.9. Gráficos de Amplitud producidos aplicando valores de umbral del evento ocurrido en el Rebaixader Torrent, el 4 de Julio, 2012. Tomado de Arattano et al., 2014).

- **Quebrada La Lumbre del Volcán Colima, México el 8 de octubre del 2015:** las características se infirieron del análisis de la señal en el dominio del tiempo, como su duración (~ 1.5 h en total), número de pulsos y su intensidad decreciente. En este caso se muestra como la energía principal de la señal se distribuye en un rango de frecuencia de 10 – 110 Hz (Coviello et al., 2018). Este flujo evolucionó sucesivamente en un gran lahar que produjo picos de amplitud de 0.7 mm/s (Capra et al., 2017). En este estudio se encontró una relación directa entre la señal sísmica y la concentración de sedimentos, se puede usar un umbral de 1.8×10^{-3} mm/s para reconocer la fase hipercontrada del flujo (Fig. 2.10) (Coviello et al., 2018).

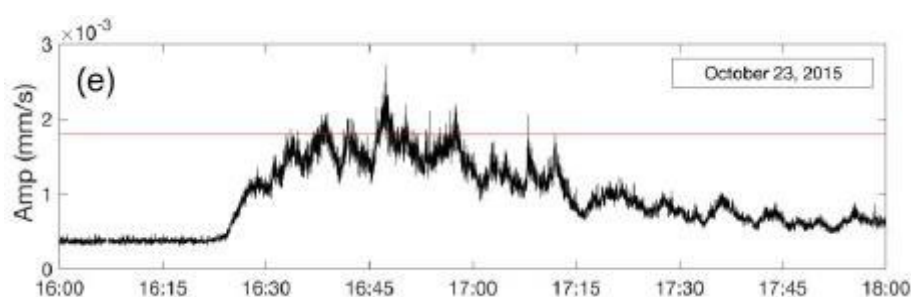


Figura 2.10. Gráfico de Amplitud vs Tiempo de un flujo ocurrido en el 2015. Línea roja represente el umbral de amplitud de 1.8×10^{-3} mm/s propuesto. Tomado de Coviello et al., 2018.

- **Quebrada Montegrando del Volcán de Colima, México:** Vásquez y sus colaboradores (2016) describen que en esta quebrada, el análisis y cuantificación de señales sísmicas generadas por lahares se ha realizado mediante sistemas de monitoreo acústico de flujo (AFM) (Marcial et al., 1996; Tuñgol y Regalado, 1996; Lavigne et al., 2000; Cole et al., 2009), sismómetros de banda ancha (Doyle et al., 2010) o una combinación de ambos (Cole et al., 2009; Cole, 2011).

Mediante la estación sísmica RESCO instalada en el 2007 que era ideal para la detección sistemática de lahares; sin embargo, en 2011 se instaló un nuevo sitio de monitoreo ~100m fuera del canal principal que consta de un sismómetro de banda ancha de tres componentes (0.03 – 100 Hz de frecuencia natural); los datos se registran a una frecuencia de muestreo de 100 Hz (Vásquez et al., 2016). Asimismo, es importante recalcar que el AFM-T tiene una frecuencia de muestreo de 1 Hz para proporcionar una buena estimación de la energía vibratoria global de los lahares (Cole, 2011).

La sección de las señales sísmicas correspondientes al flujo principal de cada evento se determinó fijando un umbral límite inferior de amplitud de 1×10^{-8} m/s para los datos

RESCO. Para los registros de AFM - T, el umbral se estableció en 5 recuentos. Se consideró las señales con amplitudes por encima de estos umbrales de interés para el estudio de los lahares como se puede ver en la Figura 2.11. (Vásquez et al., 2016).

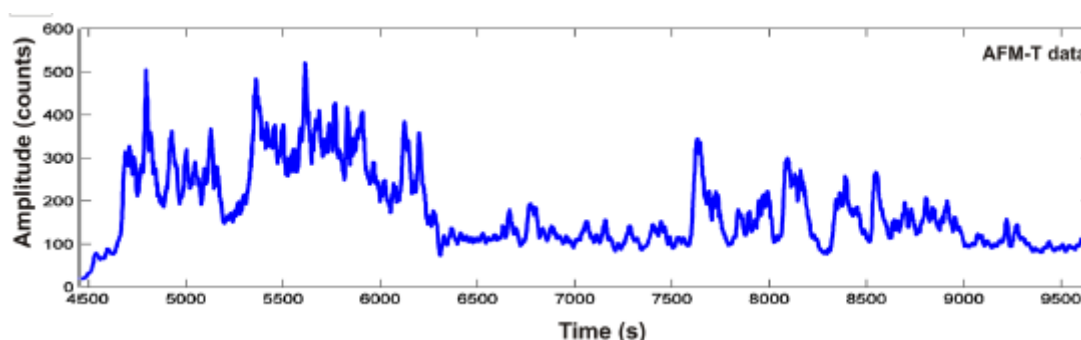


Figura 2.11. Envoltura de la señal AFM-T (amplitud sísmica en conteos). Tomado de Vásquez et al., 2016.

Después del procesamiento de los datos, los lahares analizados se clasificaron de acuerdo con sus características físicas (velocidades y flujo pico de descarga en el sitio de monitoreo), tipo (simple o multipulso) y duración (ver Tabla 2.1). Por tanto, se definieron dos eventos de pulso único o pequeño (SPEs) y un evento grande o multipulso (MPE) (Vásquez et al., 2016).

Tabla 2.1. Resumen de parámetros físicos de tres lahares que ocurrieron en la quebrada Montegrande. Tomado de Vásquez et al., 2016.

Parameters	Events		
	25 June 2012	11 June 2013	24 July 2013
Duration (h)	1	3	1.5
Type	SPE or UNIPULSE	MPE or MULTIPULSE	SPE or UNIPULSE
Accumulated rainfall (mm)	45	117	25
Rainfall intensity (mm/h)	67	131	56
Mean front velocity in m/s, estimated by cross-correlation	2.2	4.5	2
Time lag between seismic signals in seconds (determined by cross-correlation)	227	110	250
Peak discharge (m ³ /s)	20	26 and 60, for the first and second FEB, respectively	28

FEB front enriched in blocks, *SPE* single-pulse event, *MPE* multi-pulse event

2.4. Fundamentos de pluviómetros

Un pluviómetro es un instrumento que sirve para recolectar una cierta cantidad de agua y conocer de esa manera qué tanto pudo llover; se usa sobre todo en las estaciones del año donde las precipitaciones son muy fuertes (Castro, s.f) Sin embargo, es importante mencionar que en estos artefactos no solo se encuentran en estaciones meteorológicas, sino también muchos científicos las utilizan en estaciones sísmicas.

Ayuda a medir y recoger las precipitaciones (lluvia, llovizna, granizo, nieve y aguanieve) que caen en determinado lugar (Calderón, 2018).

2.4.1. Principio operativo

El agua que se recoge en depósito se introduce en una probeta graduada (instrumento que consta de un cilindro graduado generalmente de vidrio capaz de retener líquido y medir volúmenes), y de esta forma determina la cantidad de lluvia caída, lo que indica la cantidad de capas de agua que hayan podido formar en un tiempo determinado, y luego por su sistema no se evapora como se observa en la Figura 2.12 (Castro, s.f).



Figura 2.12. Pluviómetro. Tomado de NovaLynx Corporation, s.f

Al momento de instalarlo lo primero que se debe tomar en cuenta es que debe quedar en un lugar alejado del suelo para que ningún factor ajeno impida que la medida de la recoleta sea errónea (Castro, s.f).

En las estaciones en donde se encuentran los pluviómetros poseen sensores que se encargan de enviar datos recopilados a la red, para posteriormente ser visualizados y analizados; en si este sensor se encarga de tomar datos sobre la precipitación que cae a la superficie terrestre en sus diferentes formas (SensorGO, 2020).

De este modo, se puede medir la intensidad y cantidad de precipitación, con el fin de registrar situaciones anormales que podrían generar señales de alerta. La precipitación se mide en mm de agua, o litros caídos por unidad de superficie (m^2), es decir, la altura de la lámina de agua recogida en una superficie plana es medida en mm (SensorGO, 2020).

Es por eso que en la Figura 2.13 se muestra un registro de precipitación obtenida del pluviómetro VC1 instalado por el IG-EPN, en el que el mes de junio es el más lluvioso en el año 2016.

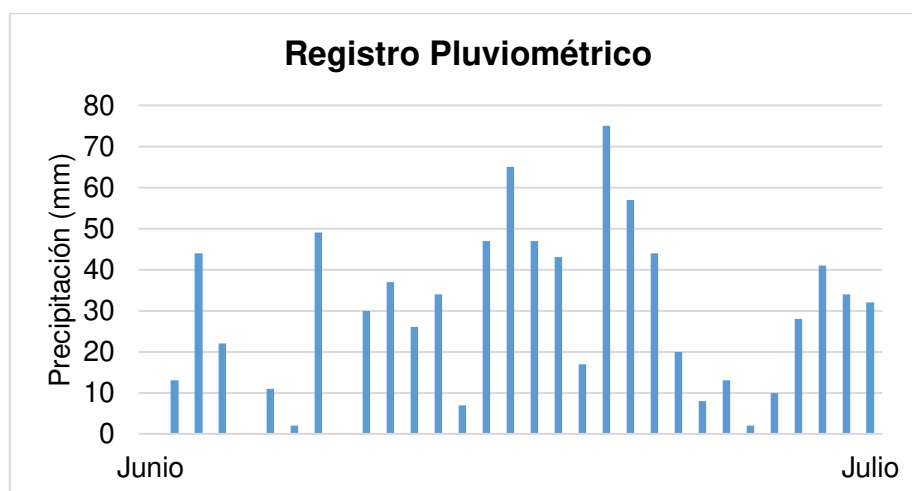


Figura 2.13. Registro pluviométrico del mes de junio del año 2016.

2.4.2. Ventajas y limitaciones

Ventajas

- La exageración de la altura del agua en el tubo permite obtener mediciones más precisas de las precipitaciones (García, 2014).
- Registran la lluvia en función del tiempo mediante aparatos registradores o digitalizadores (García, 2014).

Desventajas

- Sólo indican las precipitaciones en un área localizada.
- Tienen que ser atendidos y comprobados cada 12 horas por un observador.
- Los golpes pueden producir abolladuras y deformaciones, que pueden ocasionar que las piezas no encajen en sus lugares correspondientes.
- Errores a causa de la altitud del sitio de instalación y de las altas velocidades de viento (García, 2014).
- Requiere un sistema interrumpible de energía.

- Por estar expuesto a climas adversos y a daños de calibración por animales silvestres su tiempo de vida útil no es muy prolongado, o requiere de mantenimientos frecuente.

3 METODOLOGÍA

3.1. Datos sísmicos

En marzo de 2004, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), en asociación con el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), inició un proyecto de cooperación técnica para mejorar la capacidad de monitoreo de volcanes en Ecuador (Kumagai et al., 2007).

El proyecto JICA facilitó la instalación de cinco estaciones de observación con sismómetros de banda ancha (Guralp CMG-40T: 0.02 – 60 segundos) y sensores infrasónicos de baja frecuencia (ACO TYPE144/4144: 0.01 – 10 segundos) en el volcán Cotopaxi para monitorear su actividad (ver Fig. 3.1) (Kumagai et al., 2007).

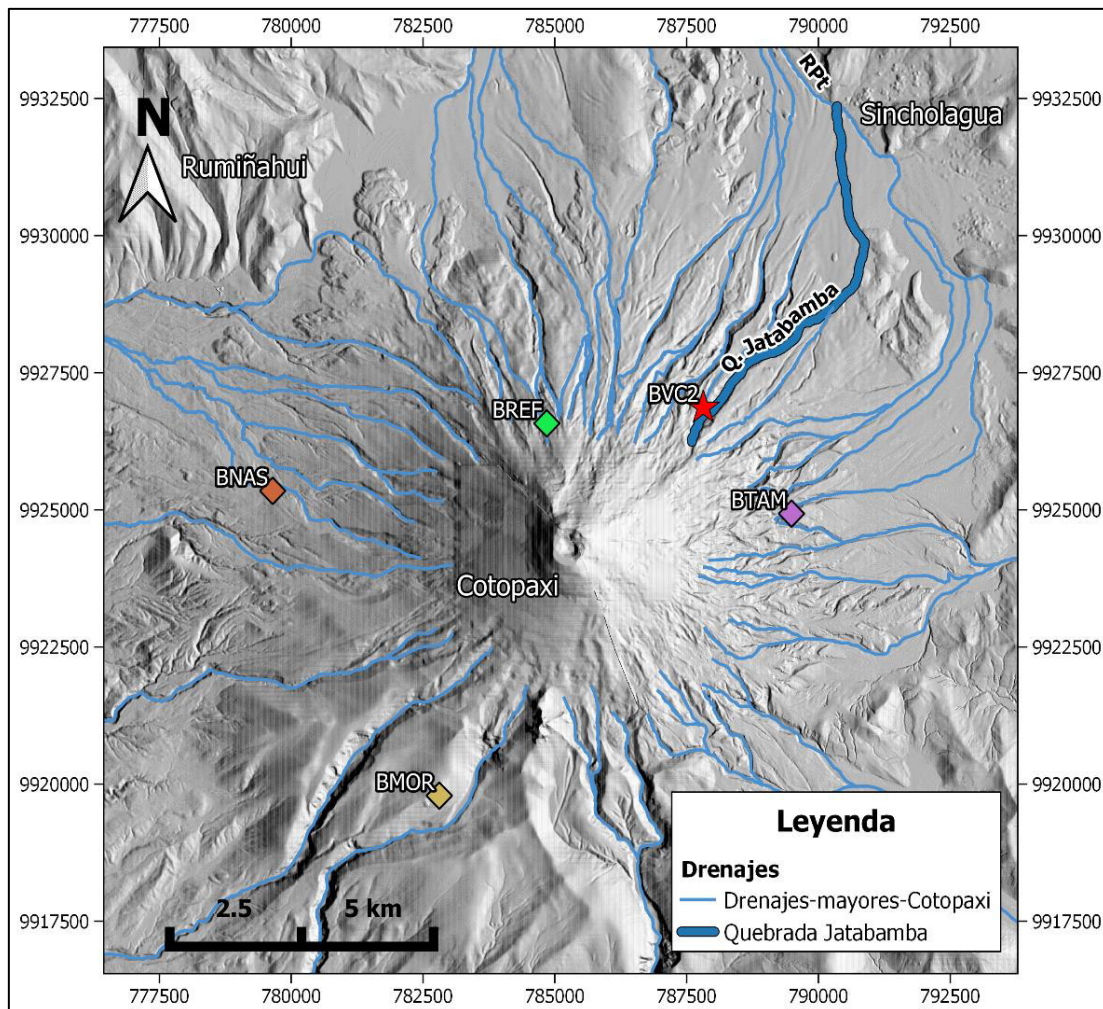


Figura 3.1. Localización de estaciones sísmicas de banda ancha e infrasónicas en el volcán Cotopaxi. Tomado de Kumagai et al., 2007.

En el presente trabajo se utilizarán los datos generados por la estación BVC2 ubicada en el flanco nor-oriental del Cotopaxi, muy cerca de la zona de estudio (Fig. 3.1). En esta estación se instaló un sensor sísmico de banda ancha (BB) y de alta ganancia; tasa de muestreo igual a 50 muestras por segundo. Así como se mencionó en el párrafo anterior es un sismómetro tipo Guralp CMG-40T, el mismo es un ultra ligero sismómetro, cubierto de tres sensores en una cubierta sellada, los cuáles pueden medir componentes norte/sur, este/oeste y vertical del movimiento de la tierra, simultáneamente; este sensor puede aportar con una respuesta plana a velocidades, en frecuencias de 50 Hz a 0.1 Hz (Portal IG-EPN, 2021).

3.1.1. Obtención de datos

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica del Ecuador (IG-EPN), ha desarrollado un Sistema de Administración y Monitoreo de Actividad Sísmica y Volcánica (SAM), que tiene como propósito la administración de equipos/accesorios de monitoreo del IG-EPN que se encuentran instalados en diferentes sitios de interés sísmico y volcánico. Los datos RSAM que corresponden a la envolvente sísmica de las amplitudes y que se necesitan para desarrollar este trabajo se encuentran en esta base de datos.

Los pasos para obtenerlos son los siguientes:

- A. Se accede al sistema SAM (Fig. 3.2), en el que se muestra una serie de información de diferentes lugares que son monitoreados en el país (Fig. 3.3).

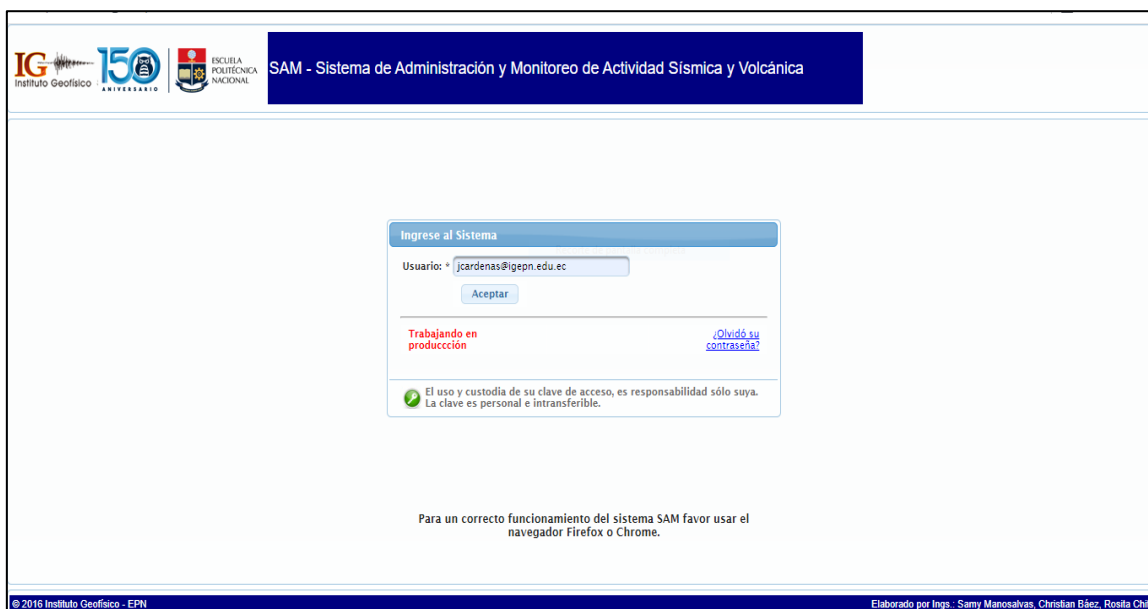


Figura 3.2. Acceso al sistema SAM mediante el correo institucional del IG.



Figura 3.3. Menú Principal del sistema SAM. Observatorios volcánicos monitoreados constantemente en la parte izquierda (recuadro rojo).

B. En el menú correspondiente al volcán Cotopaxi, se va a acceder específicamente a la pestaña denominada “Tendencias”, en la cual se proporcionará datos para obtener los datos de la envolvente sísmica (R-SAM) (Fig. 3.4).



Figura 3.4. Ventana que se abre al presionar el ítem tendencias (resaltado de amarillo en la parte izquierda).

- C. En esta pestaña se debe proveer la información que permite generar los datos para R-SAM de la estación requerida como: Fecha inicial, Fecha final, Estación (BVC2), Filtro (frecuencias > 10 Hz) y Ventanas de tiempo para la obtención del promedio (1 minuto) (Fig. 3.5).

Fecha inicial	Fecha final	Estación	Filtro	Ventana
2015-01-01 00:00:00	2015-01-07 23:59:59	COTO-BVC2-HHZ	>10 Hz	1 MINUTO

Generar

Elaborado por Ings.: Samy Manosalvas, Christian Ebez, Rosita Chilo

Figura 3.5. Información que se necesita llenar para generar Datos para R-SAM (Recuadro rojo): Fecha inicial, Fecha final, Estación, Filtro y Ventana de tiempo.

- D. Una vez que se llenan los datos correspondientes, el sistema produce una gráfica en la cual se puede observar la envolvente sísmica (Fig. 3.6). En la misma se puede seleccionar la ventana de tiempo de interés y se puede descargar una copia de los datos en formato de texto.
- E. De esta manera, se fueron analizando los datos R-SAM desde enero del 2015 hasta diciembre del 2020, tomando en cuenta los siguientes criterios que ayudaron a identificar la ocurrencia de un lahar: (i) Amplitudes de la envolvente con valores superiores a las 50 cuentas (típicamente 50 – 6000), (ii) Duración de los eventos mayor a los 30 minutos y (iii) Ruidos de fondo con amplitudes menores y mayores a 50.
- F. Una vez que se identifica un evento en base a los criterios anteriormente mencionados, se procede a descargar la gráfica del evento (Opción Download as) y guardar los datos de amplitudes del evento en formato Excel (Opción Save data) (ver Fig. 3.6).

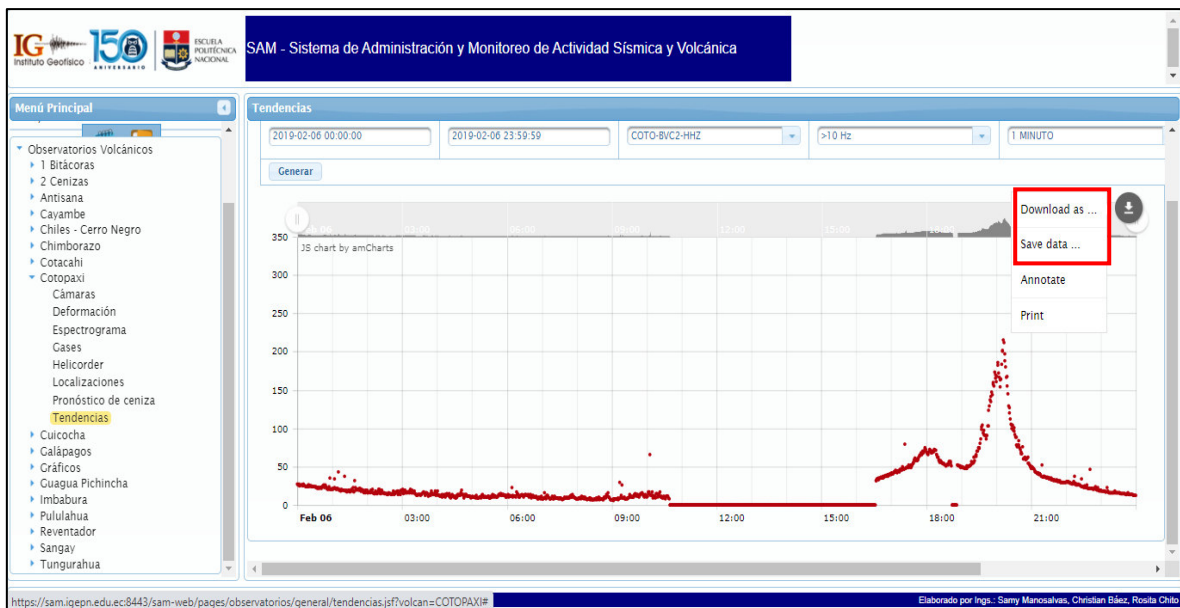


Figura 3.6. Gráfica de la envolvente sísmica y opciones para descargar la imagen del evento (Download as) y guardar los datos en formato EXCEL (Save data), ver en recuadro en la parte derecha enmarcado de rojo.

3.1.2. Tratamiento de los datos R-SAM

En cada uno de los eventos identificados se procede a obtener los siguientes datos como se indica en la Tabla 3.1 y Figura 3.7.

- Fecha de ocurrencia (Año, Mes, Día)
- Hora de Inicio del evento (Fig. 3.7)
- Amplitud (ruido de fondo) de Inicio del evento (Fig. 3.7)
- Hora de la Amplitud Máxima del evento (Fig. 3.7)
- Amplitud Máxima del evento (Fig. 3.7)
- Hora de Fin del evento (Fig. 3.7)
- Amplitud (ruido de fondo) de Fin del evento (Fig. 3.7)
- Duración del evento en horas
- Duración del evento en minutos
- Amplitud Relativa Máxima: resta de la Amplitud Máxima del evento y la Amplitud de Inicio del evento.

- Magnitud: Integral de la envolvente sísmica de cada evento, excluyendo el ruido de fondo (área sobre la línea naranja en la Figura 3.7), para obtener este valor (i) se resta el ruido de fondo de todas amplitudes desde la amplitud inicial hasta la final; (ii) a estos valores se les multiplica por 60 (integral en segundos) y (iii) finalmente se hace una sumatoria de todos estos valores para obtener la magnitud del evento.
- Índice del aspecto: Amplitud relativa máxima dividida para la duración del evento en minutos.

Tabla 3.1. Datos a obtener para cada evento. Ejemplo del Lahar ocurrido el 6 de febrero del 2019 en la Quebrada Jatabamba en el volcán Cotopaxi.

Año	Mes	Día	Hora de Inicio del evento	Amplitud de Inicio del evento	Hora Máxima del evento	Amplitud Máxima del evento	Hora de Fin de Evento	Amplitud de Fin del Evento	Duración (horas)	Duración (minutos)	Amplitud relativa máxima	Magnitud	Índice
2019	Febrero	6	19:20:30	54.48780	20:12:30	215.10050	21:17:30	37.1585	1:57:00	117	160.6127	331235,244	1,3728

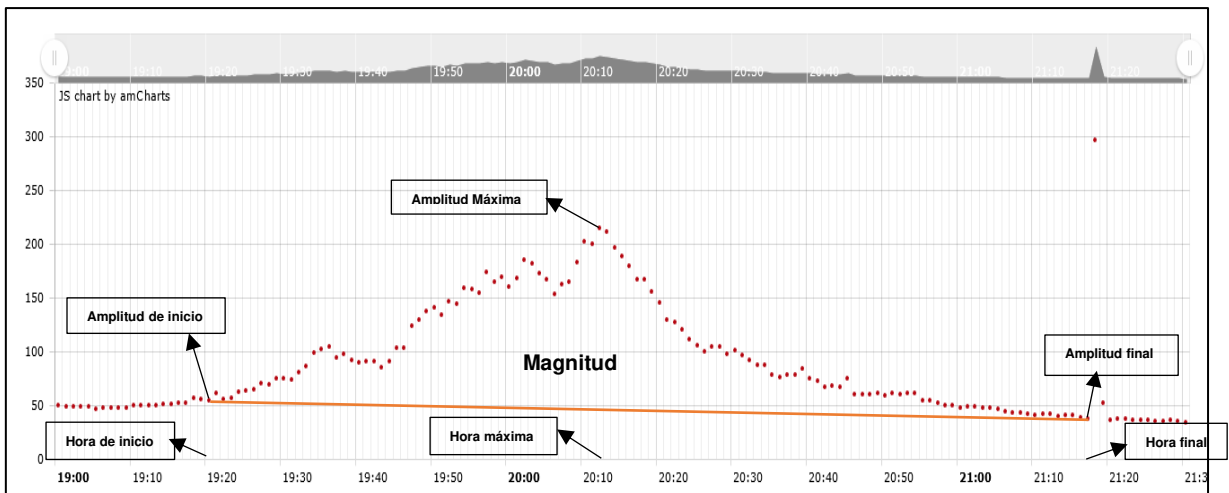


Figura 3.7. Lahar del 6 de febrero del 2019 en el que se indica cómo obtener los valores de: Hora de Inicio, Amplitud de Inicio, Hora máxima, Amplitud máxima, Hora final, Amplitud final y Magnitud.

3.2. Datos pluviométricos del IG-EPN

En el flanco NE del volcán Cotopaxi, la estación VC1 (ver Figura 3.8), incluye un sensor pluviométrico de modelo **260-2501-A Tipping Bucket Rain Gauge** que funciona mediante un mecanismo de cubeta basculante que activa un interruptor de lengüeta sellado, el cual produce un cierre de contacto por cada 1 mm de lluvia. El indicador tiene un orificio de 8" y está fabricado con aluminio anodizado y con recubrimiento en polvo; la pantalla del embudo evita que los insectos y plantas entren en el indicador; y por último se envía con patas de montaje y 25' de cable de señal (NovaLynx Corporation, s.f).

El sensor viene calibrado de fábrica para detectar $\frac{1}{4}$ de mm de lluvia por conteo, sin embargo, el firmware del microcontrolador se encarga de convertir el conteo a mm de lluvia durante el intervalo de tiempo configurado. Este dato es transmitido mediante telemetría y se guarda en los archivos del IGEPN. Para VC1 el período de envío de datos, previo a la actividad del 2014-2015 era de 12 minutos; mientras que durante y posteriormente a dicha actividad se configuró en 5 minutos.

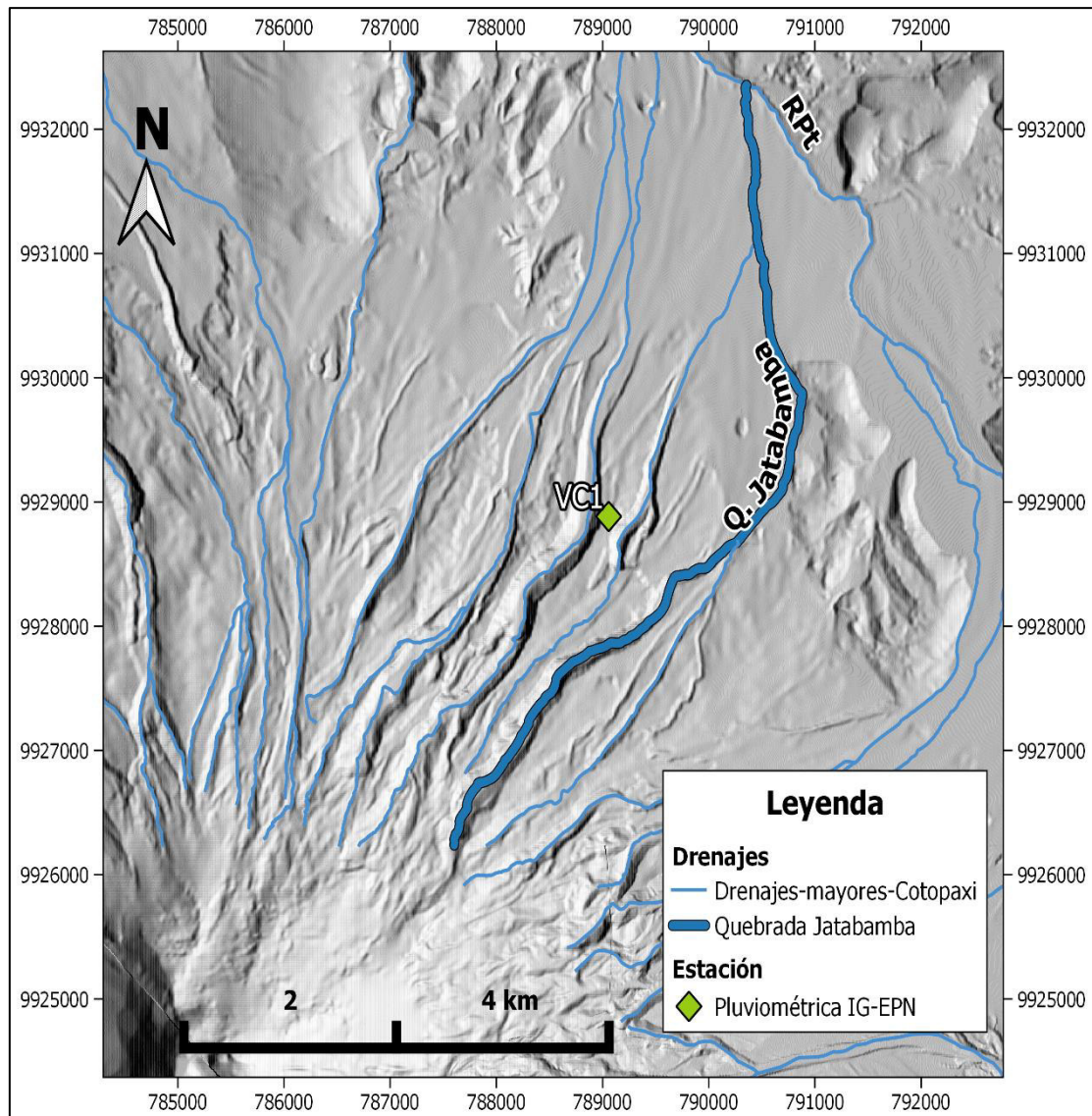


Figura 3.8. Localización del sensor pluviométrico VC1 en el volcán Cotopaxi.

3.2.1. Adquisición de datos

La información de lluvia de este sensor pluviométrico VC1 fue obtenida directamente de los archivos del IG-EPN. Estos datos fueron obtenidos de forma diaria desde el 1 de septiembre del 2010 hasta el 26 de abril del 2021.

3.2.2. Tratamiento de datos

Los datos de lluvia fueron proporcionados en archivos TSV que contienen columnas de la Fecha, Hora (cada 5 minutos), nivel en mm, y la batería en voltios como se puede observar en la Figura 3.9; se tomaron en cuenta únicamente desde el 1 de octubre del 2015 hasta el 31 de diciembre del 2020, tiempo de interés para realizar este estudio.

FECHA	TIEMPO	NIVEL milímetros	BATERIA voltios
01/10/2015	00:12:11	0.0	12.5
01/10/2015	00:17:13	0.0	12.4
01/10/2015	00:27:17	0.0	12.4
01/10/2015	00:42:23	0.0	12.4
01/10/2015	00:52:26	0.0	12.4
01/10/2015	00:57:28	0.0	12.4
01/10/2015	01:22:38	0.0	12.4
01/10/2015	01:37:44	0.0	12.4
01/10/2015	01:42:46	0.0	12.4
01/10/2015	02:02:54	0.0	12.4
01/10/2015	02:07:55	0.0	12.4
01/10/2015	02:23:01	0.0	12.4
01/10/2015	02:28:03	0.0	12.4
01/10/2015	02:38:07	0.0	12.4
01/10/2015	02:43:09	0.0	12.4
01/10/2015	02:48:11	0.0	12.4
01/10/2015	03:03:17	0.0	12.4
01/10/2015	03:08:19	0.0	12.4

Figura 3.9. Archivo TSV del 1 de octubre de 2015 con la información de la pluviosidad cada 5 minutos.

Solamente se realizó una suma de los valores diarios de pluviosidad en una hoja Excel con el Año, Mes, Fecha como tal y la pluviosidad diaria en mm como se puede observar en la Figura 3.10.

Año	Mes	Fecha	Pluviosidad (IG)
2015		1/10/2015	9
		2/10/2015	1
		3/10/2015	3
		4/10/2015	24
		5/10/2015	19
		6/10/2015	1
		7/10/2015	0
		8/10/2015	0
		9/10/2015	1
		10/10/2015	0
		11/10/2015	2
		12/10/2015	2
		13/10/2015	10
		14/10/2015	12
		15/10/2015	20
	Octubre	16/10/2015	4
		17/10/2015	2
		18/10/2015	34

Figura 3.10. Tabla con datos de pluviosidad diaria en mm.

3.3. Datos pluviométricos del FONAG

El Fondo para la protección del agua – FONAG es un Fideicomiso Mercantil Ambiental que se creó el 25 de enero del año 2000 con el fin de garantizar agua de calidad a los habitantes del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Es por eso que los datos de variables meteorológicas e hidrológicas, obtenidas en campo, y en tiempo real, son el resultado de la operación continua y el mantenimiento rutinario de las estaciones meteorológicas, pluviométricas e hidrológicas, automáticas de la Red de monitoreo hidrometeorológico (FONAG, 2015).

Los datos a obtener de la estación pluviométrica instalada y monitoreada por el FONAG, al igual que los del IG se utilizarán con el fin de ver la posible ocurrencia de lahares secundarios provocados por las precipitaciones. Los datos de pluviosidad del FONAG se encuentran en intervalos de 5 minutos.

3.3.1. Extracción de datos FONAG

La estación pluviométrica **M5076** instalada por el FONAG, es la que se utilizará para realizar este trabajo de titulación al ser la más cercana a la zona de estudio, como se puede ver en la Figura 3.11 esta estación se encuentra al norte de la quebrada Jatabamba.

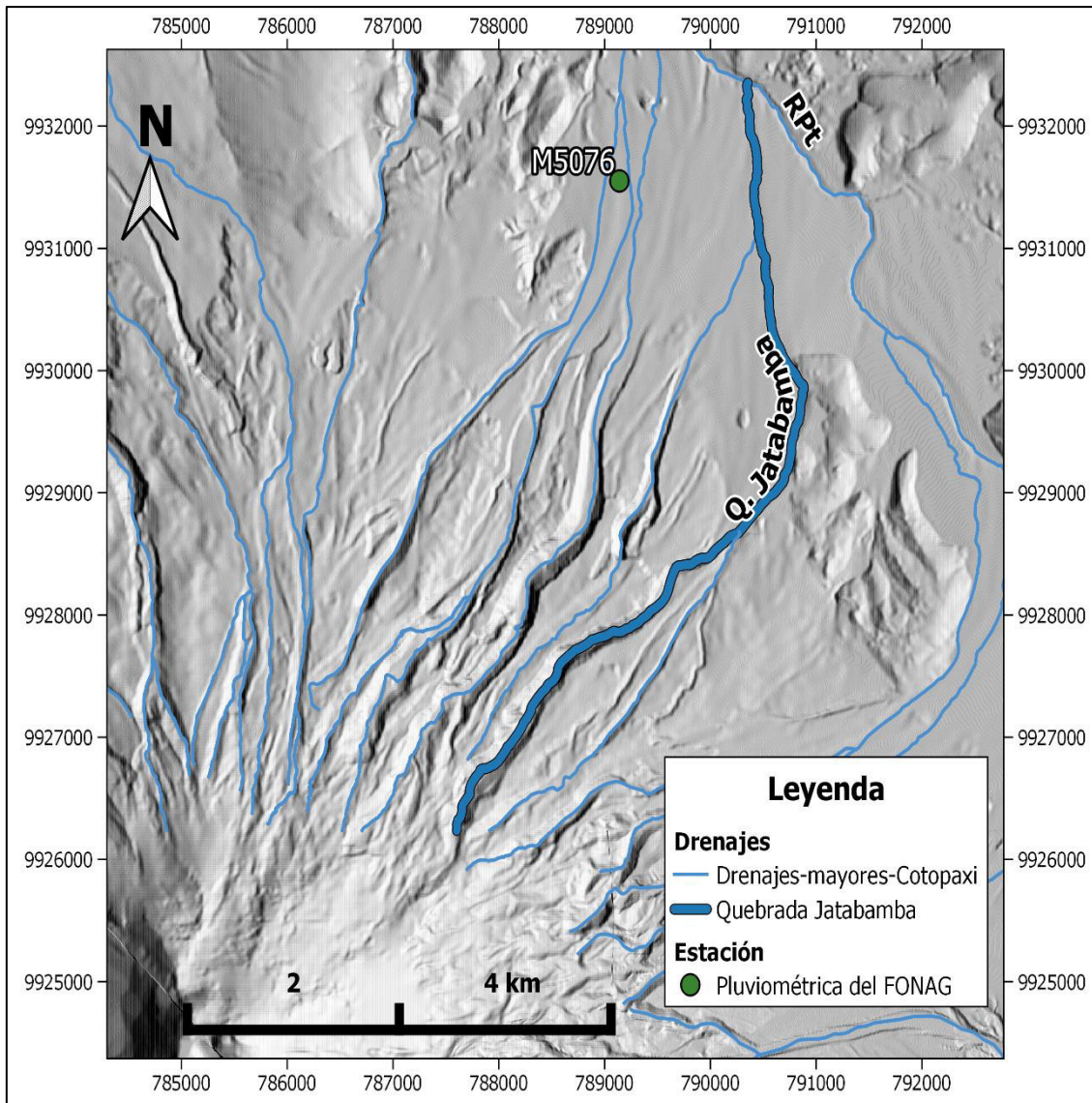


Figura 3.11. Ubicación de la estación pluviométrica M5076 instalada por el FONAG con respecto a la quebrada Jatabamba.

Los datos de esta estación están disponibles en línea de la siguiente forma:

- A. Ingresar a la página web oficial del FONAG (www.fonag.org.ec), en la que se accederá a la opción **“Información Hidrometeorológica”** (Fig. 3.12 a); y por consiguiente de las alternativas que se muestran el ítem que se escogerá será **“Consultas por período”** (Fig. 3.12 b).

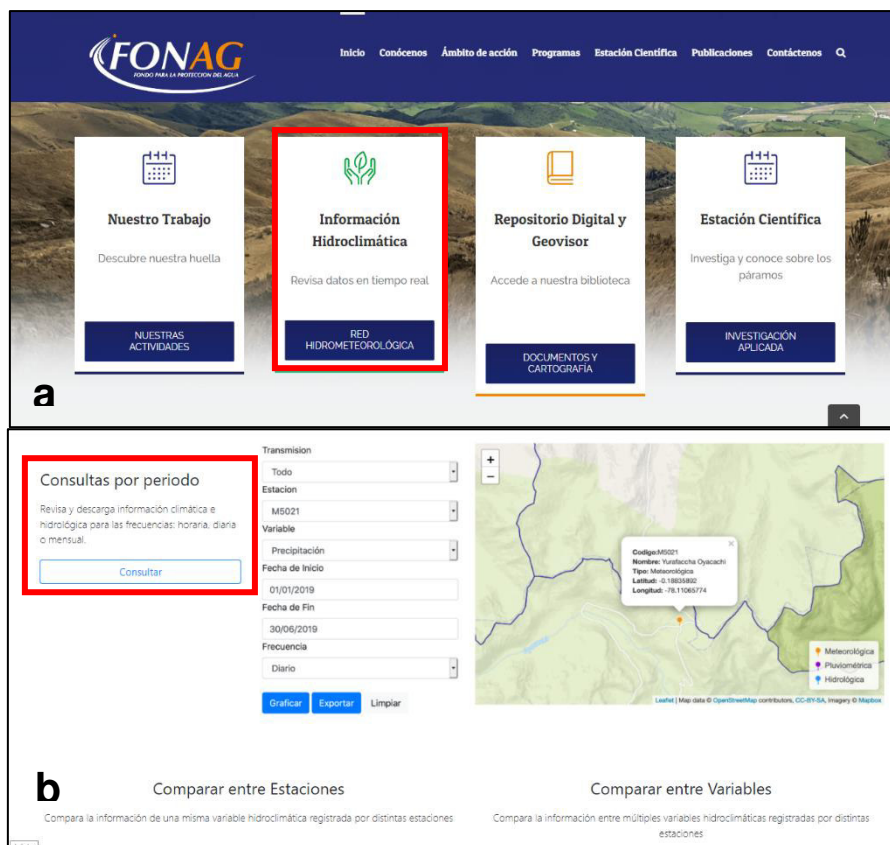


Figura 3.12. Ingresar a la página web del FONAG. a. Seleccionar "Información Hidroclimática". b. Acceder al ítem "Consultas por período".

B. Al seleccionar “Consultas por período” se abre una ventana nueva en la que en la parte derecha se llenará la información para poder extraer los datos de la estación que se requiere como la Transmisión (Todo), Estación (M5076), Variable (Precipitación), Fecha de Inicio (1 de octubre del 2015), Fecha de Fin (31 de diciembre del 2020) y la Frecuencia (en este caso será diario). En la parte izquierda se podrá observar la ubicación espacial de la estación pluviométrica (M5076) (Fig. 3.13). Una vez que se tengan todos los datos requeridos se da clic a la opción “Exportar” y los datos automáticamente se descargarán en formato Excel.

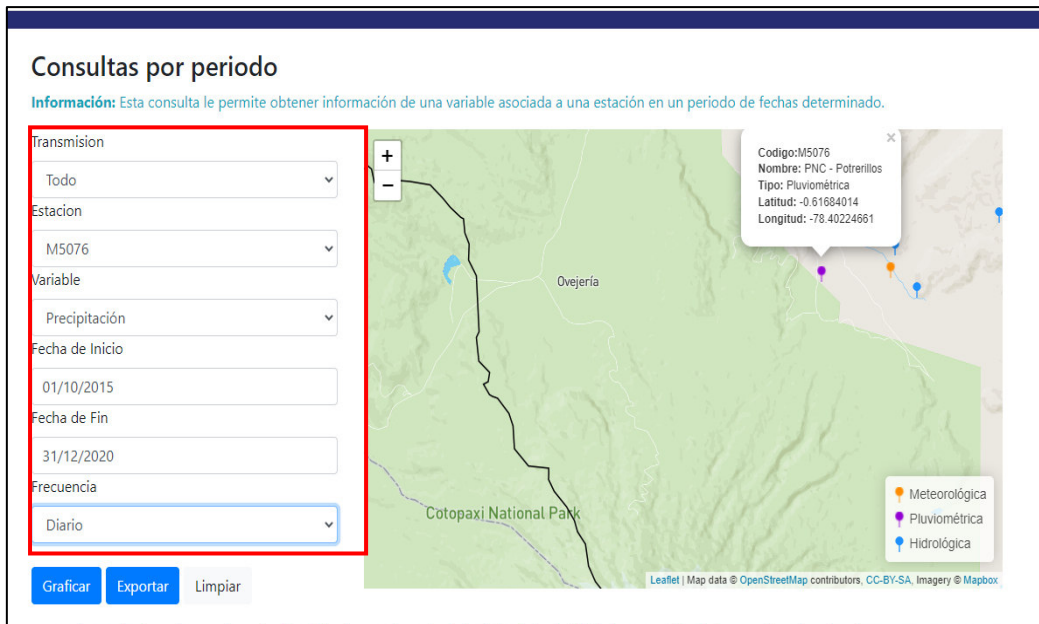


Figura 3.13. Ventana de Consultas por período, en la parte izquierda información para llenar y poder exportar los datos; y en la parte derecha mapa de ubicación de la estación M5076.

3.3.2. Tratamiento de datos

La base de datos de pluviosidad descargada de la página del FONAG contiene el nombre de la Estación, la Variable, las Coordenadas Geográficas UTM (DATUM WGS 84) y tres columnas con la fecha, valor en mm y el porcentaje. Sin embargo, a pesar de ya tener ordenados los datos en una tabla Excel se procede a ordenarlos en una nueva hoja de Excel que contiene Año, Mes, Fecha como tal y valor de pluviosidad en mm (Fig. 3.14). Una vez ordenados los datos se procede a graficar los valores de pluviosidad de los 12 meses de cada año (octubre – 2015 hasta diciembre – 2021) con el fin de determinar si existe una correlación de las épocas lluviosas en estos años.

Asimismo, se hará una comparación entre los datos obtenidos de esta estación (M5076) con los de la estación del IG (VC1), para así poder conocer si en la estación que se encuentra a una mayor altitud (VC1) se detectan similares patrones de lluvia que en M5076.

Debido a su resolución temporal (1 dato por día) los datos de pluviosidad serán analizados mediante valores semanales (7 días) (Fig. 3.15) y mensuales (Fig. 3.16) con el fin de poder correlacionar los datos de lluvia con la ocurrencia de lahares secundarios determinados a partir de los datos sísmicos.

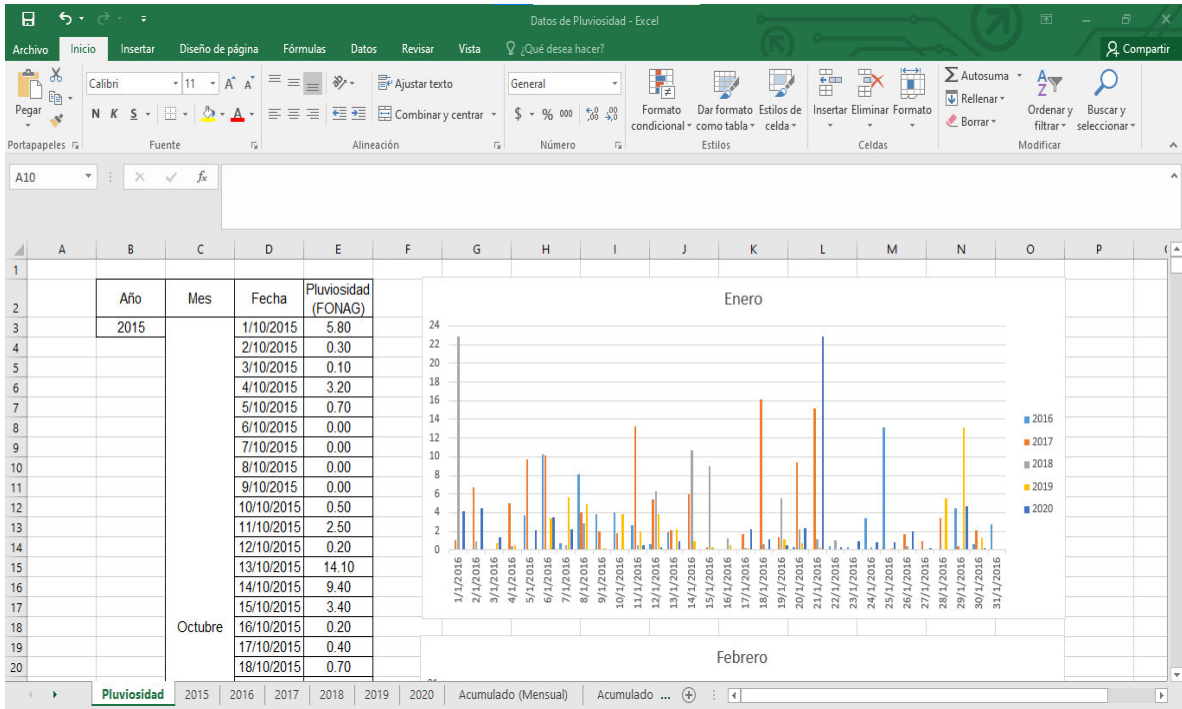


Figura 3.14. Pluviosidad diaria de la estación M5076 y gráfica de los valores diarios de cada año.

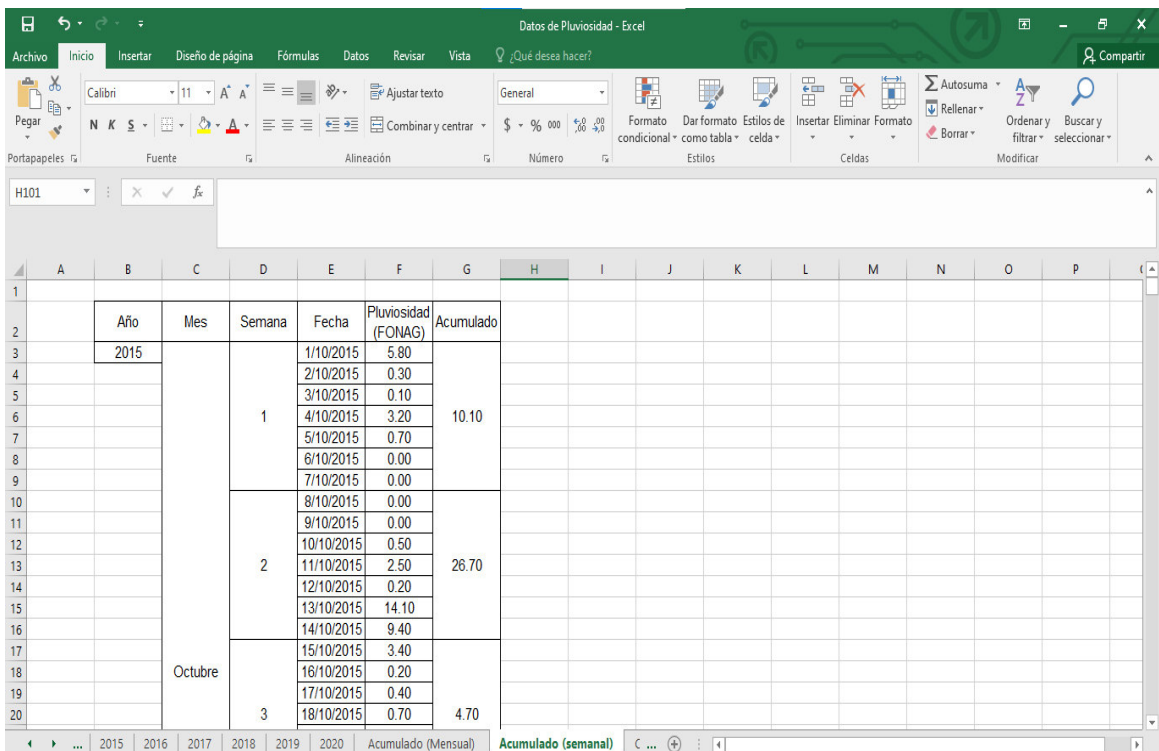


Figura 3.15. Pluviosidad acumulada semanalmente.

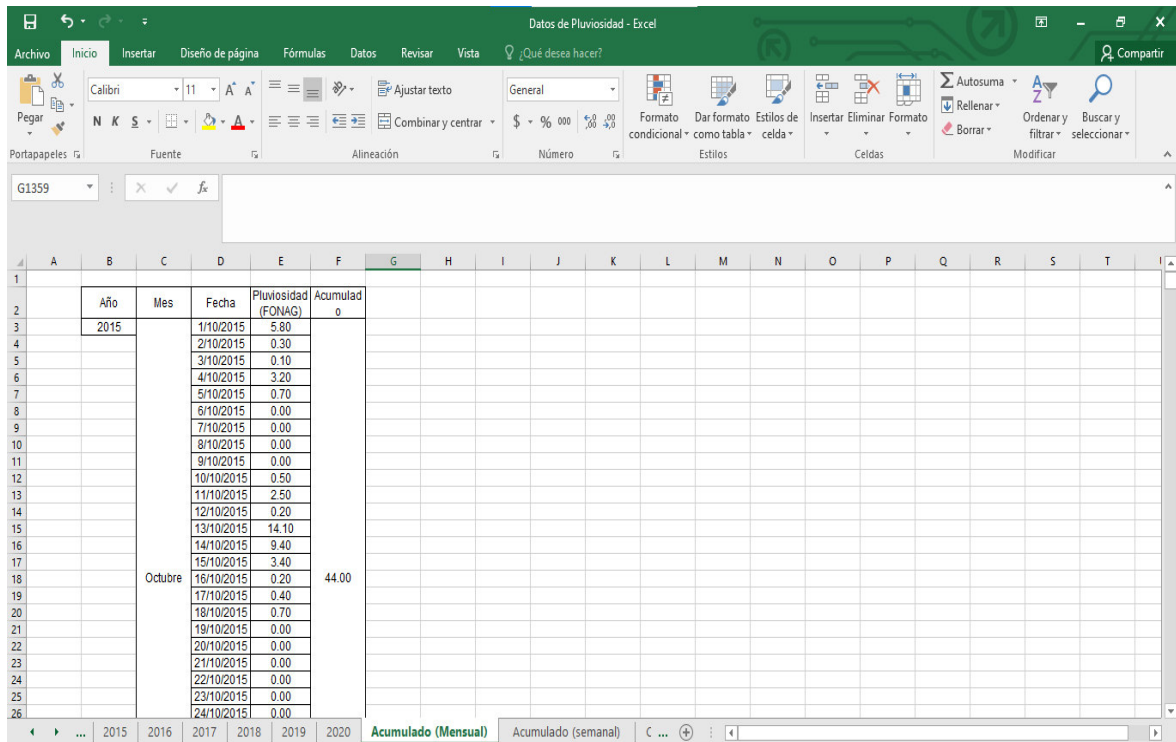


Figura 3.16. Pluviosidad acumulada mensualmente.

3.4. Datos meteorológicos del Cotopaxi

Estos datos son procedentes de una base mundial con información meteorológica en formato ráster desde 1979, perteneciente a ECMWF / Copernicus C35 (2021). De esta base se seleccionó los cuatro pixeles que contienen información de 1) Cotopaxi, 2) Pasochoa, 3) Antisana y 4) Valle Vicioso. El pixel del Cotopaxi abarca la zona de estudio y sus alrededores como se puede observar en la Figura 3.17.

Según el Reporte emitido por ECMWF / Copernicus C35 (2021) en el que se evalúa la variabilidad climática desde 1979 hasta el presente, para cada pixel se cuenta con información acerca de las siguientes Variables Climáticas Esenciales (Essential Climate Variable, ECV):

- Temperatura del aire superficial
- Precipitación total
- Humedad volumétrica del suelo para la capa superior del suelo 0 – 7 cm (porcentaje de agua por unidad de volumen)
- Humedad relativa del aire superficial
- Cubierta de hielo marino

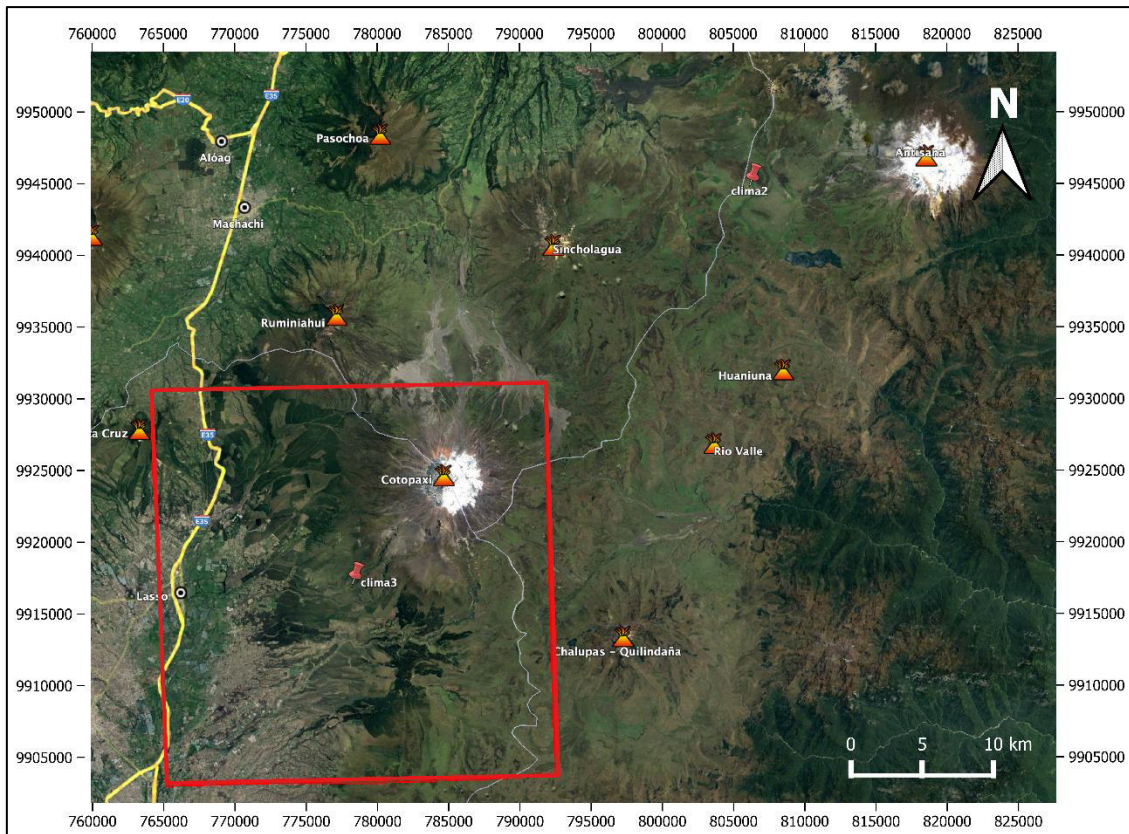


Figura 3.17. Ubicación del pixel que abarca el Volcán Cotopaxi y sus alrededores. Modificado de Google Earth

Para obtener estos datos se realiza un reanálisis atmosférico que combina un modelo meteorológico con datos de observación de satélites y sensores terrestres para crear un registro completo a largo plazo del clima de la Tierra. Los conjuntos de datos de reanálisis se utilizan para la vigilancia y los estudios del clima, la investigación meteorológica y se han vuelto ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones sectoriales. También respaldan la predicción meteorológica numérica al proporcionar una referencia contra la cual se puede verificar la calidad de los pronósticos (ECMWF / Copernicus C35, 2021).

El reanálisis atmosférico global que se utiliza se denomina ERA5, el mismo que actualmente cubre un período desde 1979 en adelante; ERA5 se produjo utilizando la asimilación de datos 4D – Var en el Ciclo 41R2 del Sistema de Pronóstico Integrado de ECMWF. El conjunto de datos nativo incluye una realización de alta resolución de 31 km (cuadrícula gaussiana reducida N320), con una resolución temporal de una hora; sin embargo, los datos de este conjunto de datos están disponibles en una cuadrícula regular de latitud / longitud de 0.25° (ECMWF / Copernicus C35, 2021).

Lo que interesa para el presente estudio es la precipitación, es por eso que los valores de precipitación total de ERA5 proviene de una secuencia de pronósticos de fondo de 12 h, estos pronósticos deben su habilidad a muchos tipos de datos, de los cuales un conjunto de radiaciones de microondas afectadas por las lluvias asimiladas sobre el mar se utilizó en cantidades significativas desde 1992 en adelante. A partir de 2009, se utiliza un producto de precipitación sobre EE.UU., basado en datos de radar y pluviométricos (ECMWF / Copernicus C35, 2021).

Los datos de precipitación total media mensual están en unidades de “m”, efectivamente acumuladas durante un día, dando así “m día-1”. Para mantener la coherencia con la base de datos de parámetros de ECMWF, las unidades en los archivos GRIB son “m” (ECMWF / Copernicus C35, 2021).

3.4.1. Obtención de datos pluviométricos

Para esta base de datos denominada ECV: Essential Climate Variables, es posible únicamente descargar la base completa para todo el planeta, mas no se puede descargar datos de una región geográfica específica que sería lo ideal para así facilitar el trabajo. Sin embargo, por esta razón, toma bastante tiempo descargar los datos en su formato original (grib) y convertirlos a uno más legible (out o txt); para convertir los archivos grib se usa el programa wgrig de NCAR (Vásconez F, comunicación personal, 2021).

La base de datos fue otorgada por Francisco Vásconez Ing. (Técnico del IG-EPN), es importante recordar que la zona que será útil para este estudio es la denominada Cotopaxi. La base de datos de las cuatro zonas se encuentra en un documento Excel, el mismo que contiene 3 hojas:

- 1) Data (readme) – en el que se describe las cuatro zonas analizadas con su respectivo identificador y coordenadas geográficas (latitud y longitud) (Fig. 3.18).
- 2) Cotopaxi_all: series de temperatura (grados kelvin y centígrados) y precipitación promedio. Esto para cada mes desde enero 1979 hasta junio 2021 (Fig. 3.19).
- 3) Cotopaxi_tp_year: este es el cálculo del acumulado de precipitación anual en metros y milímetros (gráfico) (Fig. 3.20).

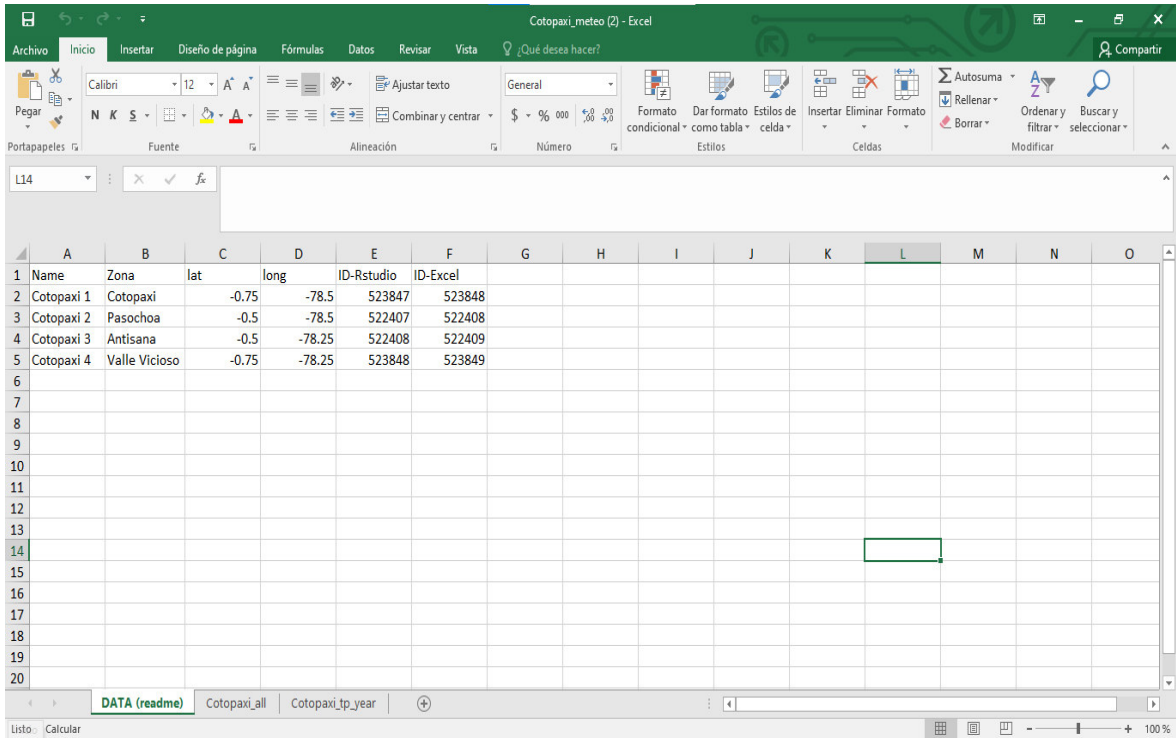


Figura 3.18. Data de las 4 zonas analizadas.

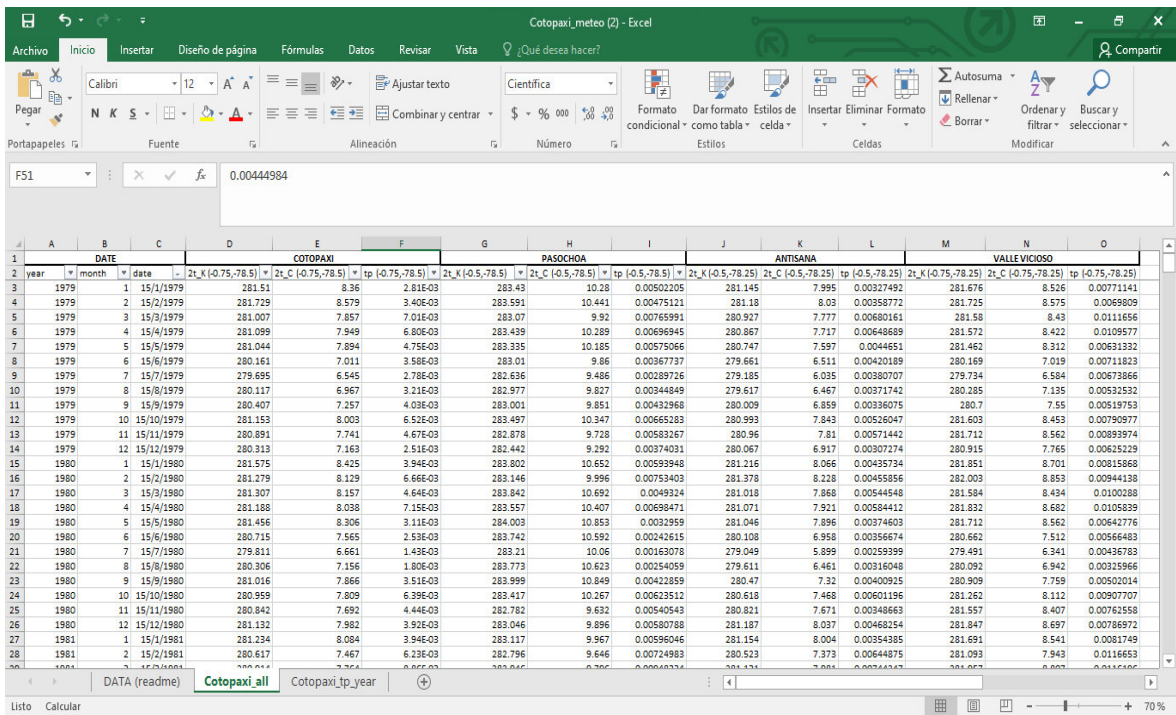


Figura 3.19. Series de temperatura y precipitación total de las cuatro zonas desde 1979 hasta junio del 2021.

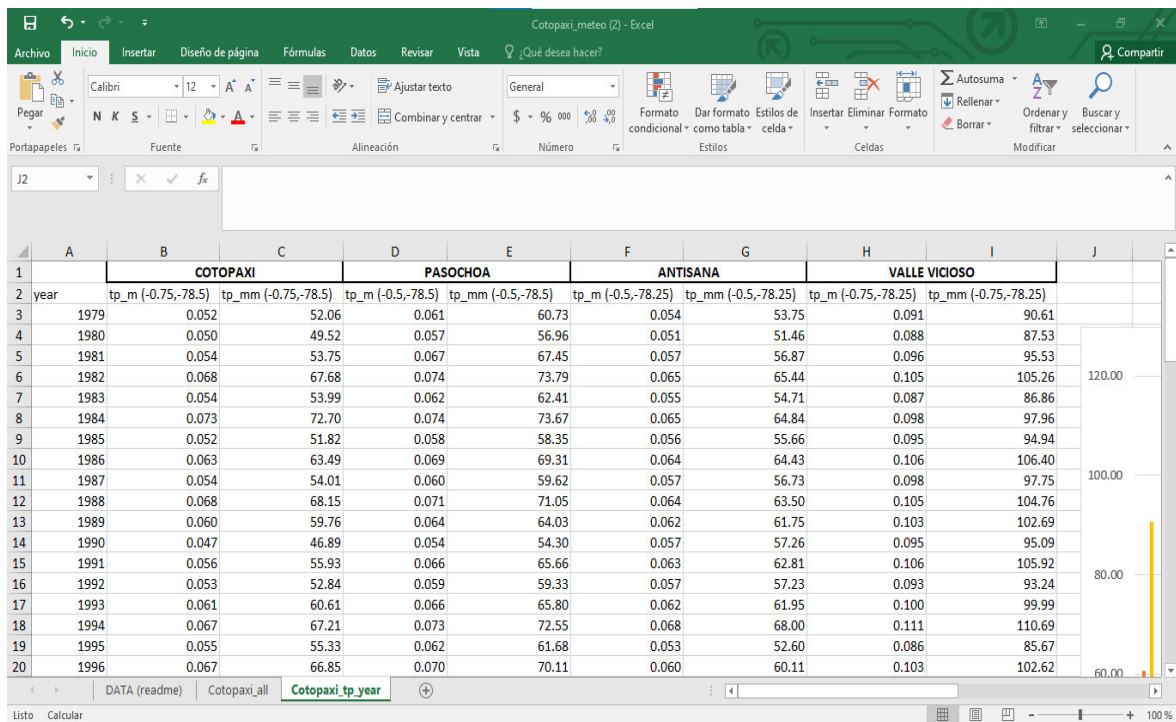


Figura 3.20. Cálculo del acumulado de precipitación anual para las cuatro zonas desde 1979 hasta 2021 (valores en m y mm).

3.4.2. Tratamiento de datos pluviométricos

Una vez que se tiene disponible esta base de datos de las cuatro zonas, se procede a extraer los datos de lluvia únicamente de la zona “Cotopaxi” en un nuevo documento Excel en la que en la primera hoja se encuentran los promedios mensuales de pluviosidad multiplicada por el número de días de cada mes en los que se obtuvo la precipitación total mensual en mm desde enero de 1979 hasta junio del 2021 (Fig. 3.21); en siguiente hoja se realiza un promedio de los valores de pluviosidad para los 12 meses de cada año, con el fin de obtener el promedio de la pluviosidad mm de cada mes en los 42 años (Fig. 3.22). Y por último se muestran los valores de pluviosidad en mm del período de tiempo de interés para este trabajo de titulación que abarca desde 2015 hasta 2020 como se puede observar en la Figura 3.23.

El objetivo de analizar estos datos climatológicos del Cotopaxi es básicamente determinar mediante graficas las épocas lluviosas y secas en la zona para los 42 años y para el período de tiempo de este estudio.

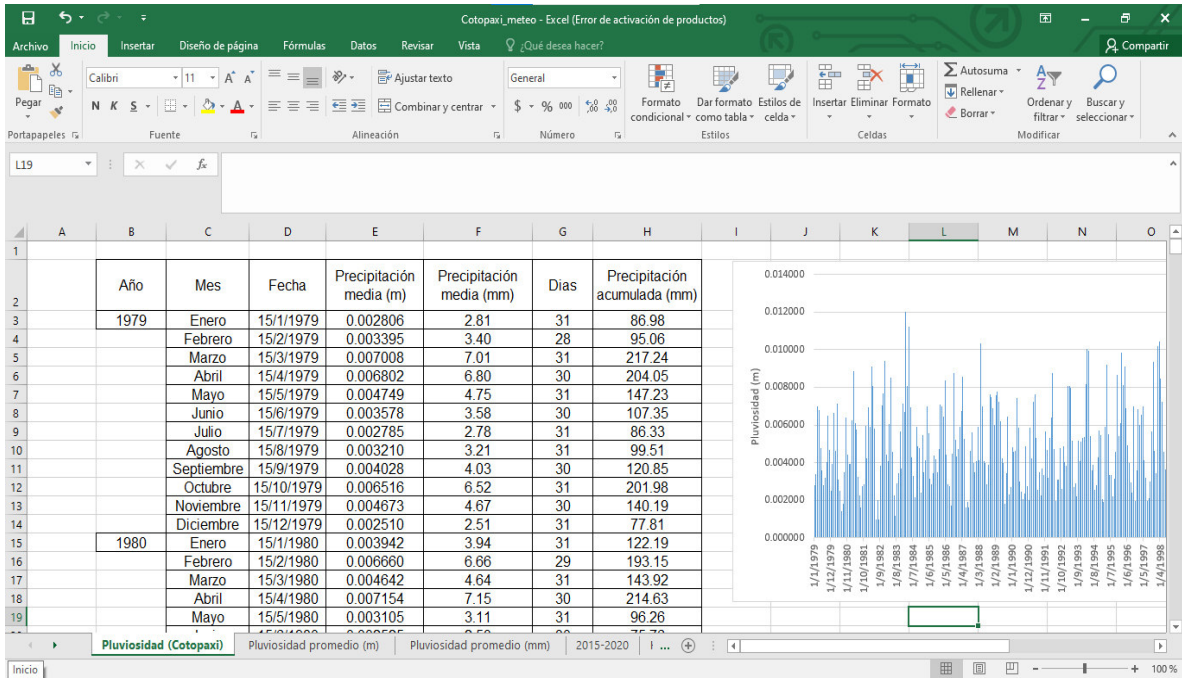


Figura 3.21. Precipitación acumulada mensual para los 42 años en m y mm.

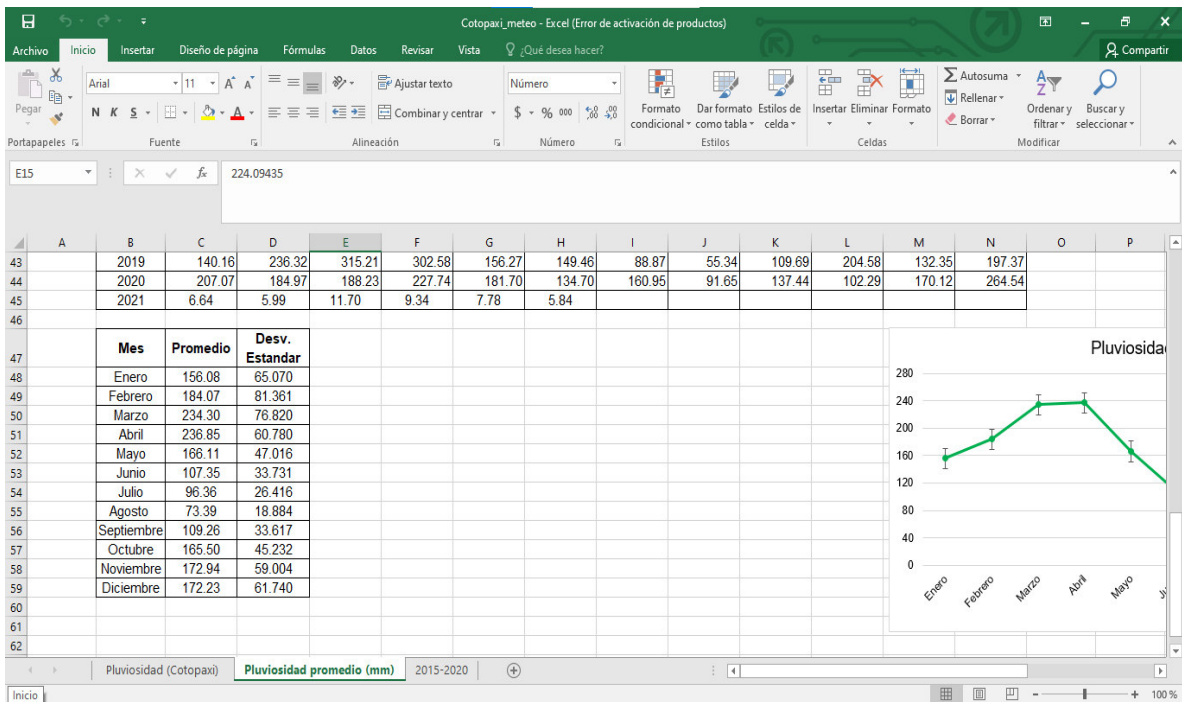


Figura 3.22. Promedio de los valores de pluviosidad de todos los años para cada mes (valores en mm).

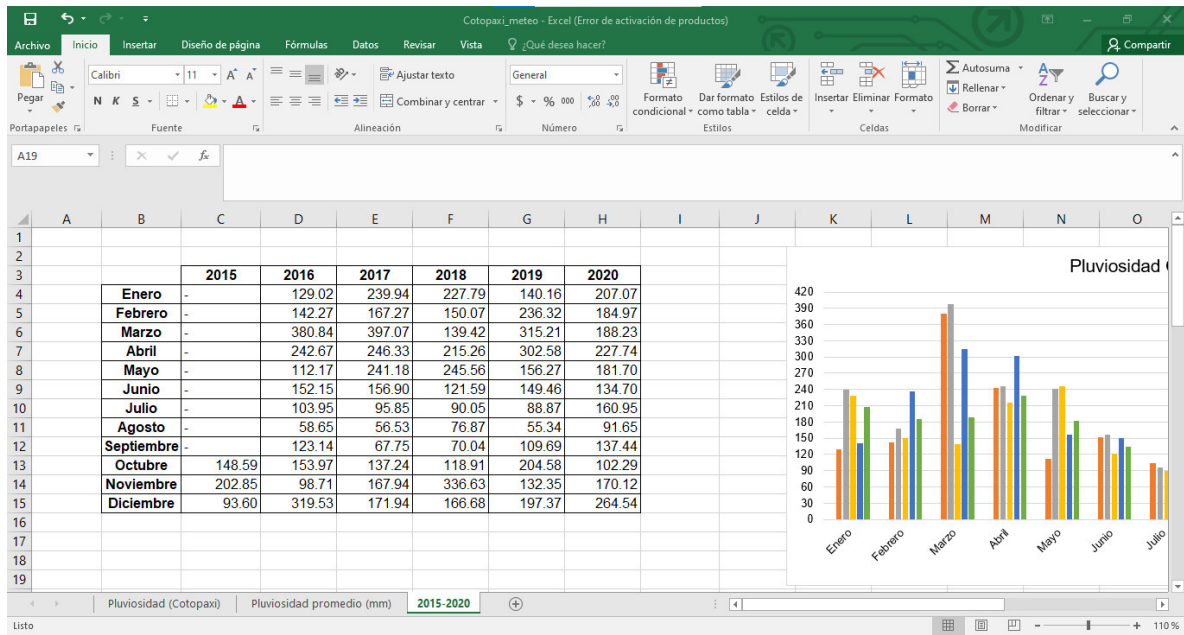


Figura 3.23. Valores de pluviosidad mensual para el período de tiempo de interés.

4 RESULTADOS

4.1. Datos sísmicos

4.1.1. Cuantificación de eventos

La cantidad de lahares secundarios identificados entre 2015 y 2020 en la quebrada Jatabamba, volcán Cotopaxi fue de 135 eventos, siendo 2016 el año en el que se produjeron la mayor cantidad (38 eventos) (ver Tabla 4.1.).

Tabla 4.1. Cantidad de eventos totales ocurridos en la quebrada Jatabamba.

EVENTOS TOTALES	
135 eventos	
2015	5 eventos
2016	38 eventos
2017	9 eventos
2018	28 eventos
2019	32 eventos
2020	23 eventos

En la Figura 4.1 se puede ver que en el análisis mensual de los eventos totales ocurridos en el período de tiempo estudiado se tiene que mayo es el mes en el que más han sucedido lahares secundarios. Se observan dos periodos de mayor ocurrencia de lahares: uno comprendido entre los meses de febrero y junio, y otro entre octubre y noviembre. Igualmente, se observan dos períodos con menor ocurrencia: uno entre los meses de julio y septiembre; y el segundo entre diciembre y enero.

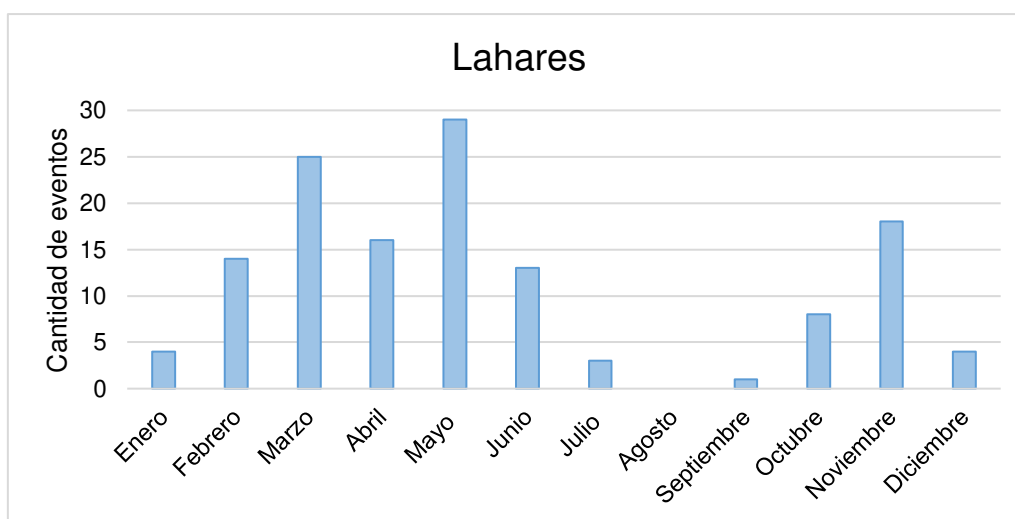


Figura 4.1. Número acumulado de lahares ocurridos mensualmente entre 2015 y 2020.

En la Figura 4.2 se puede reafirmar que en el año 2016 y en el mes de mayo se observa la mayor cantidad de lahares secundarios comparado con los otros años y meses estudiados.

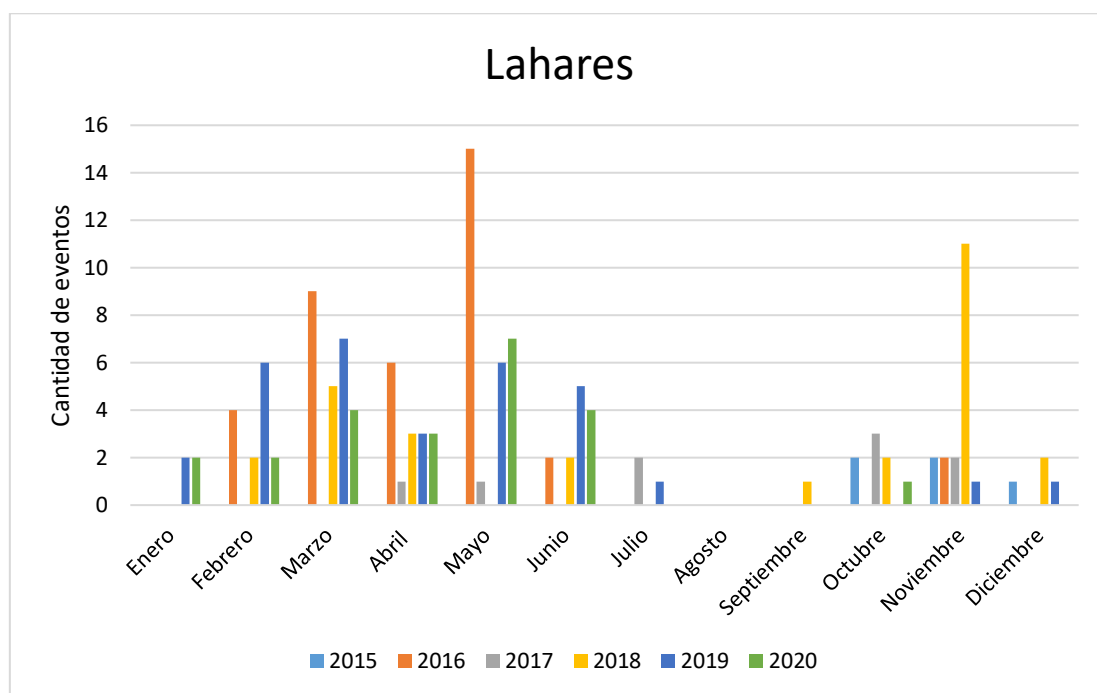


Figura 4.2. Cantidad de lahares secundarios producidos en los 5 años.

4.1.2. Análisis estadísticos y clasificación de eventos

De acuerdo a lo detallado en la metodología (ver subcapítulo 3.1.2), para cada evento identificado se determinaron los siguientes parámetros: 1) Fecha (Año, Mes, Día): 2) Hora de inicio del evento; 3) Amplitud de inicio del evento; 4) Hora de la amplitud máxima del evento; 5) Amplitud máxima del evento; 6) Hora de fin del evento; 7) Duración del evento (horas); 8) Duración del evento (minutos); 9) Amplitud relativa máxima; 10) Magnitud; y 11) Índice de aspecto (ver ANEXO I).

Una vez que se obtuvo los parámetros mencionados para cada evento, se pueden identificar patrones para los 135 lahares encontrados. Algunos de los más interesantes fueron las comparaciones de la Amplitud Relativa Máxima vs Duración del evento (minutos) (ver Fig. 4.3), Magnitud vs Duración del evento (minutos) (ver Fig. 4.4) e Índice de aspecto vs Duración del evento (minutos) (ver Fig. 4.5). Estas relaciones permiten evidenciar una clara distinción de dos tipos de eventos que han sido denominados (i) Lahares tipo A y (ii) Lahares tipo B.

La comparación de la Amplitud Relativa Máxima vs Duración del evento (ver Fig. 4.3), muestra que los denominados Lahares tipo A tienen amplitudes mayores a 260 y una

duración entre 30 – 150 minutos, mientras que los Lahares tipo B tienen amplitudes menores a 260 y duraciones mucho más amplias que van desde 50 – 320 minutos. Sin embargo, es necesario aclarar que el límite de amplitud de 260 es relativamente arbitrario.

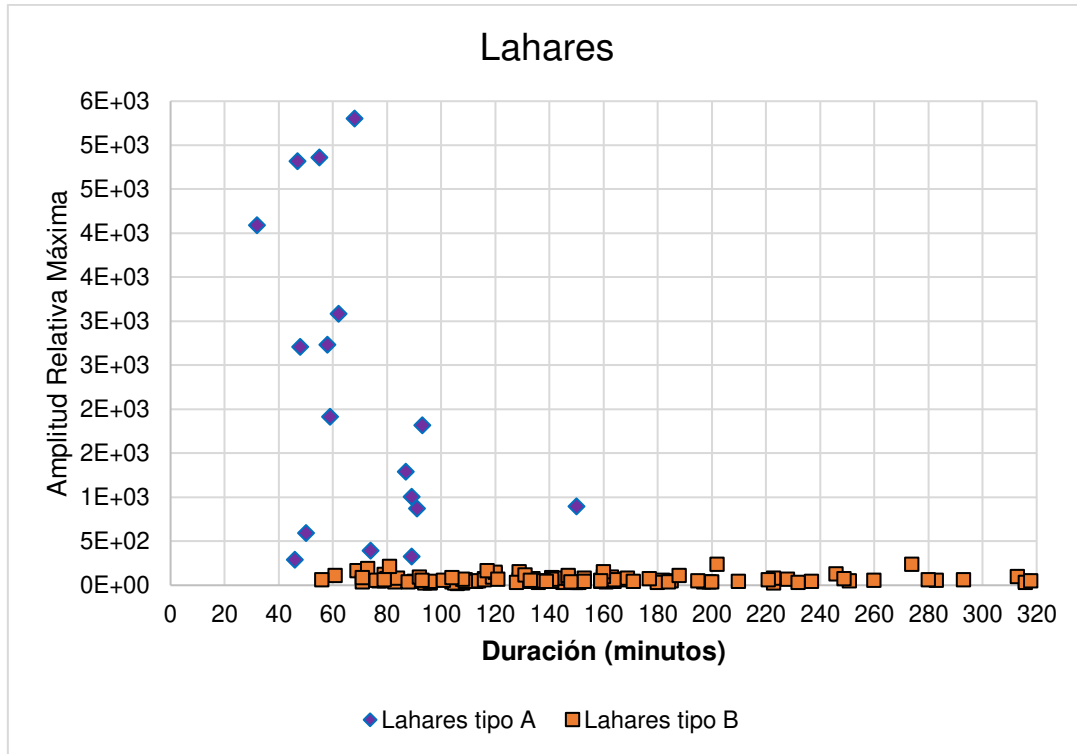


Figura 4.3. Amplitud vs Duración

Cuando se compara la Magnitud vs Duración del evento (ver Fig. 4.4), se puede observar que los Lahares tipo A tienen magnitudes mucho más grandes que van desde los 180 000 hasta 4' 750 000 cuentas*s, y los Lahares tipo B la mayoría tienen valores de magnitud menores a 750 000 con la excepción de dos eventos (encerrados en rojo) que superan el 1' 000 000 cuentas*s. Los rangos de tiempo son los mismos que los mencionados para la figura anterior.

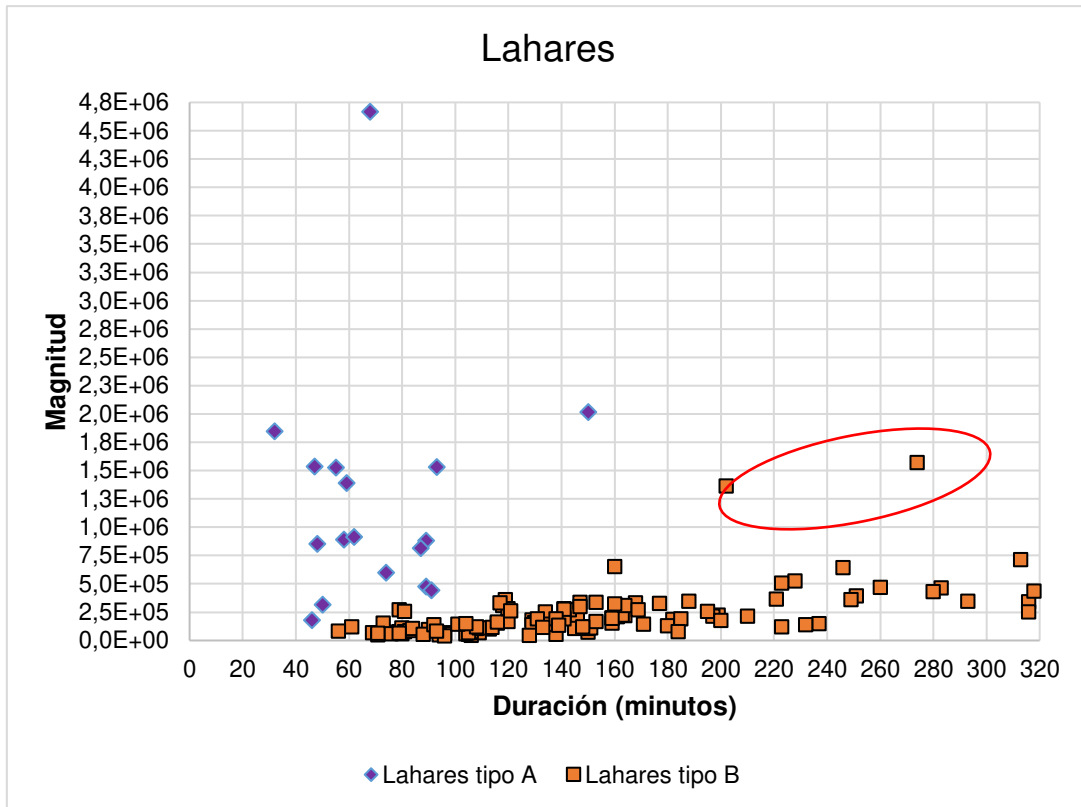


Figura 4.4. Magnitud vs Duración (minutos).

Finalmente, cuando se compara el Índice de aspecto vs Duración del evento (ver Fig. 4.5.), se puede ver al igual que las dos anteriores figuras que los dos tipos de eventos se diferencian claramente, pues el Índice de aspecto de los Lahares tipo A es mayor a 3, y en los Lahares tipo B son valores muchos más pequeños y menores a 3. Esta relación sugiere que el valor de amplitud relativa máxima utilizado para diferenciar los lahares de tipo A y B (260 cuentas*s) es coherente.

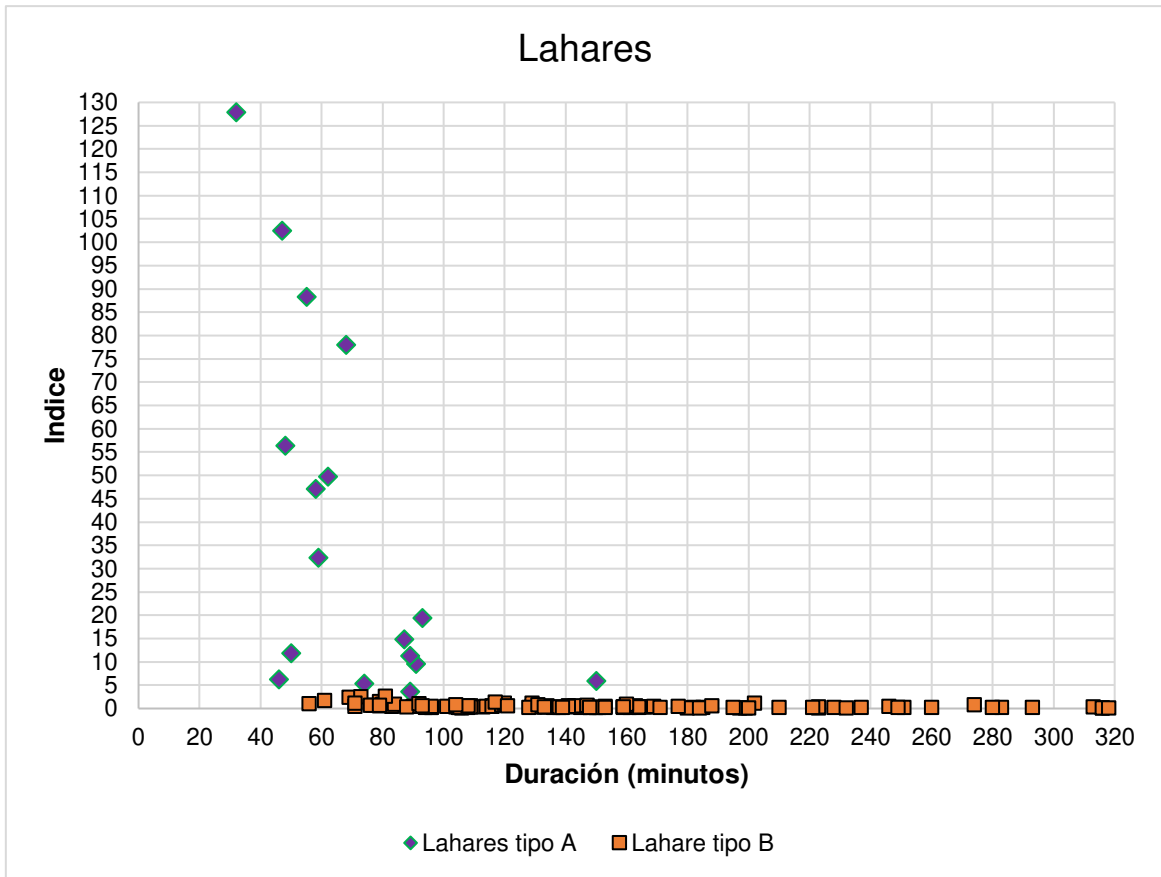


Figura 4.5. Índice de aspecto vs Duración del evento (minutos).

Mediante esta clasificación, se tiene claramente los Lahares tipo B son más frecuentes que los de tipo A. Esto se refleja en todos los años que cubre el presente estudio (ver Tabla 4.2). El año 2016 es el que tiene una mayor ocurrencia de lahares tipo B (37 eventos), mientras el 2019 presenta el mayor número de lahares tipo A (7 eventos).

Tabla 4.2. Cuantificación de Lahares tipo A y B.

LAHARES			
Año	Tipo A	Tipo B	TOTAL/año
2015	2	3	5
2016	1	37	38
2017	1	8	9
2018	4	24	28
2019	7	25	32
2020	2	21	23
TOTAL	17	118	135

Lahares tipo A

En la Figura 4.6 se presenta el acumulado mensual de lahares tipo A ocurridos a lo largo de los 5 años. Se observa que en meses de mayo y noviembre son los que tienen mayor cantidad de eventos de este tipo; mientras que, en febrero, julio, agosto y septiembre no ocurren.

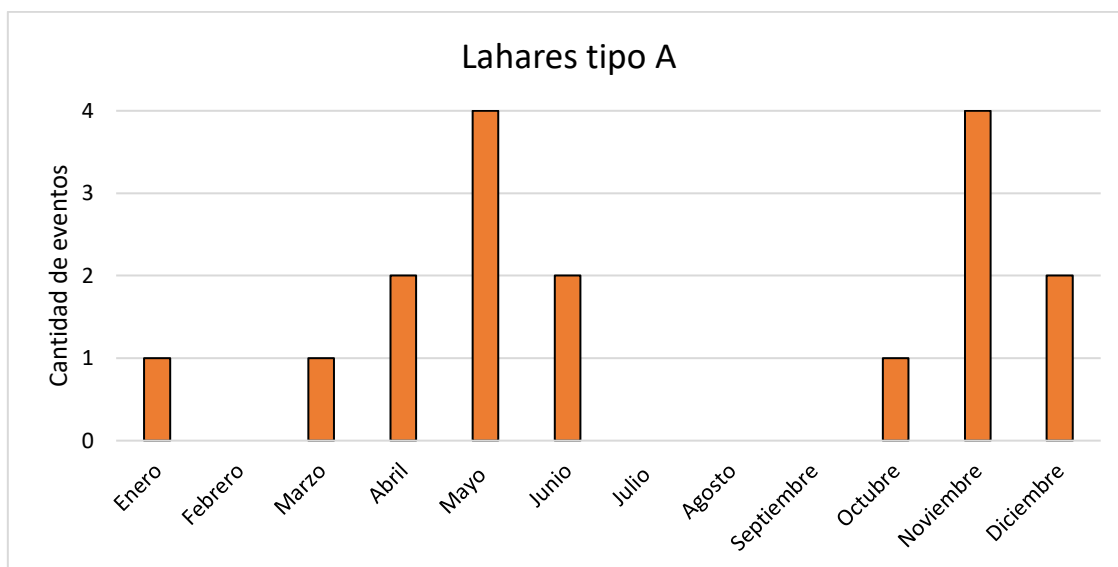


Figura 4.6. Cantidad mensual de lahares tipo A.

Para una mejor comprensión de los Lahares tipo A se realiza una tabla (ver ANEXO II) únicamente de este tipo de eventos con todos los criterios obtenidos y así realizar un análisis estadístico más específico, en la Tabla 4.3 se puede ver el Rango, Promedio y Desviación estándar de los factores obtenidos para los lahares tipo A.

Tabla 4.3. Análisis estadísticos para los lahares tipo A.

	Rango	Promedio	Desviación estándar
Hora de Inicio	15:28 - 22:05	17:10:58	4:39:06
Amplitud de Inicio	10.35 - 369.69	98.212116	101.093831
Hora de la máxima amplitud	15:42 - 22:11	17:31:12	4:40:49
Amplitud Máxima	300.43 - 5633.23	2275.2554	1797.17054
Hora de Final	16:27 - 23:00	18:21:26	4:47:22

Amplitud del final	0 - 586.18	149.20777	168.457099
Duración (horas)	0:32 - 2:30	1:10:28	0:27:49
Duración (minutos)	32 - 150	70.470588	27.8211198
Amplitud Relativa Máxima	290.08 - 5305.66	2177.0433	1721.34609
Magnitud	183098.5 - 4671109.73	1230868.2	1039699.63

Lahares tipo B

El acumulado mensual de lahares tipo B entre 2015 y 2020 muestra dos períodos de mayor ocurrencia: 1) entre Febrero y Junio; y, 2) entre Octubre y Noviembre (ver Fig. 4.7). Los períodos Julio - Septiembre y Diciembre - Enero se caracterizan por la ausencia de eventos.

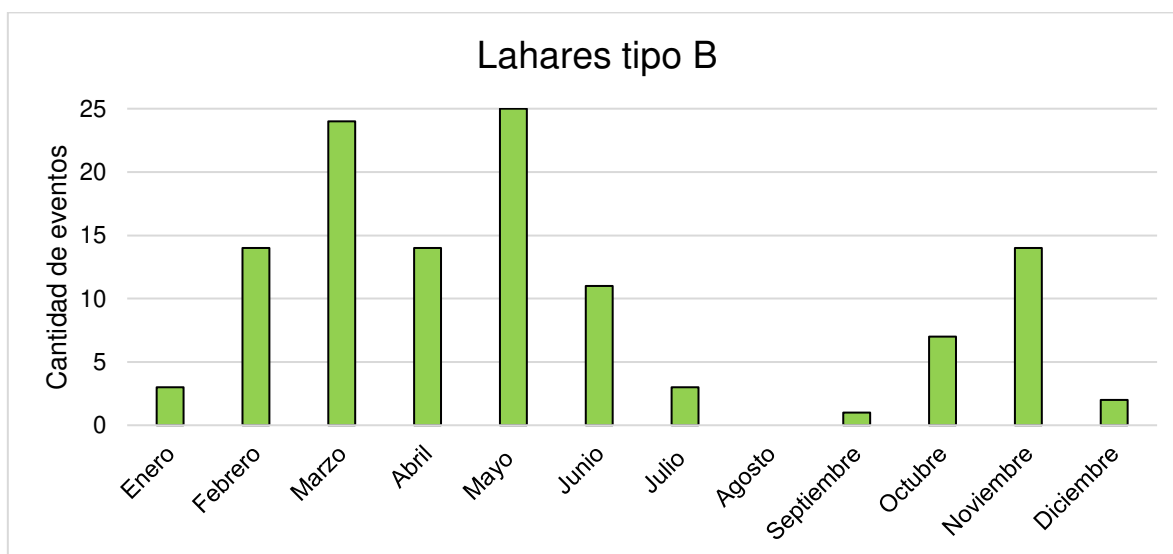


Figura 4.7. Cantidad mensual de lahares tipo B, entre 2015 y 2020.

Al igual que para los lahares tipo A, se realizó un resumen estadístico (ver Tabla 4.4) para los lahares tipo B (ver ANEXO III) con los parámetros medidos.

Tabla 4.4. Análisis estadísticos para los lahares tipo B.

	Rango	Promedio	Desviación estándar
Hora de Inicio	13:36 - 20:59	16:52:19	2:11:51

Amplitud de Inicio	4.6902 - 80.3591	33.62457	16.3275021
Hora de amplitud máxima	15:09 - 21:24	18:02:25	1:56:42
Amplitud Máxima	53.6918 - 296.8783	98.923754	46.759876
Hora de Final	16:05 - 22:52	19:21:19	2:03:30
Amplitud del final	6.9286 - 75.6891	37.349719	14.1222942
Duración (horas)	0:56 - 5:18	2:29:01	1:01:32
Duración (minutos)	56 - 318	149.09322	61.4570919
Amplitud Relativa Máxima	19.2806 - 235.6408	65.299183	42.4438541
Magnitud	41058.07 - 1570540.46	220904.14	214118.456

4.2. Precipitación

Datos del IG

Los datos de precipitación del IG extraídos de la estación pluviométrica VC1 que está muy cerca de la quebrada Jatabamba, serían ideales por la ubicación con respecto a la zona de estudio (Fig. 4.8). Sin embargo, el análisis de los datos demostró que no serían útiles para el presente estudio, por dos razones: 1) los datos están altamente contaminados con registros de origen desconocido pero que no presentan precipitaciones; y 2) hay períodos de tiempo amplios en los que la estación no estuvo funcionando y por lo tanto no existe información. Recalcando que del 100% de datos obtenidos de este pluviómetro, cerca del 25% son inconsistentes.

La precipitación del 2017 es un claro ejemplo de que sus datos están altamente contaminados, pues tiene varios valores que sobrepasan los 10000 mm, como en un día del mes de julio que registra una pluviosidad de 180 000 mm (ver Fig. 4.8).

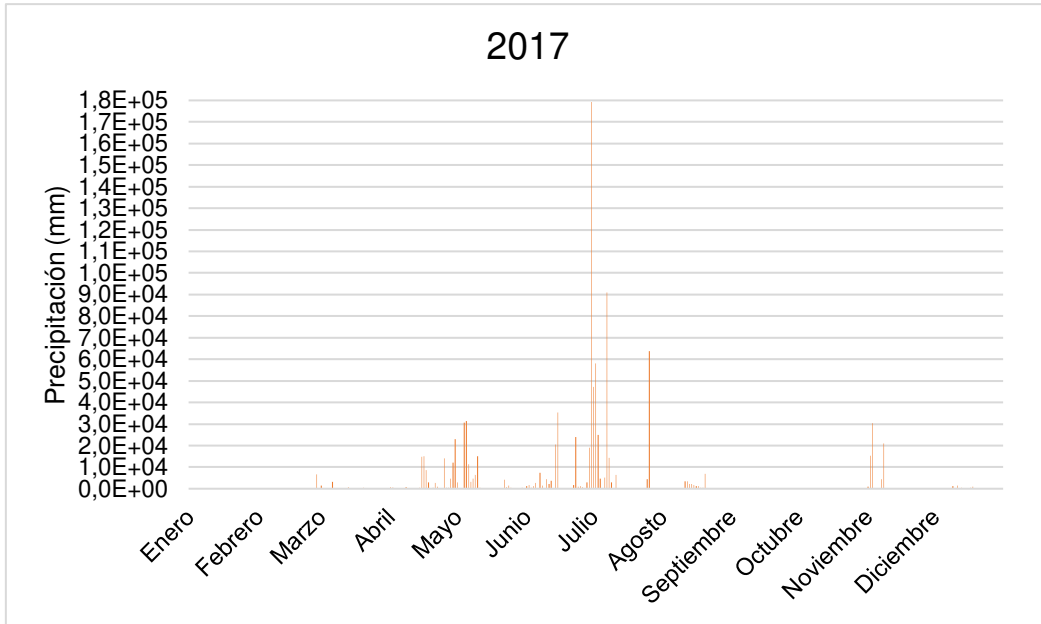


Figura 4.8. Precipitación (IG) del 2017.

Asimismo, en el 2020 se muestra un período de siete meses (ver Fig. 4.9) durante el cual no se registraron datos de pluviosidad, esto muy probablemente porque la estación no estuvo funcionando.

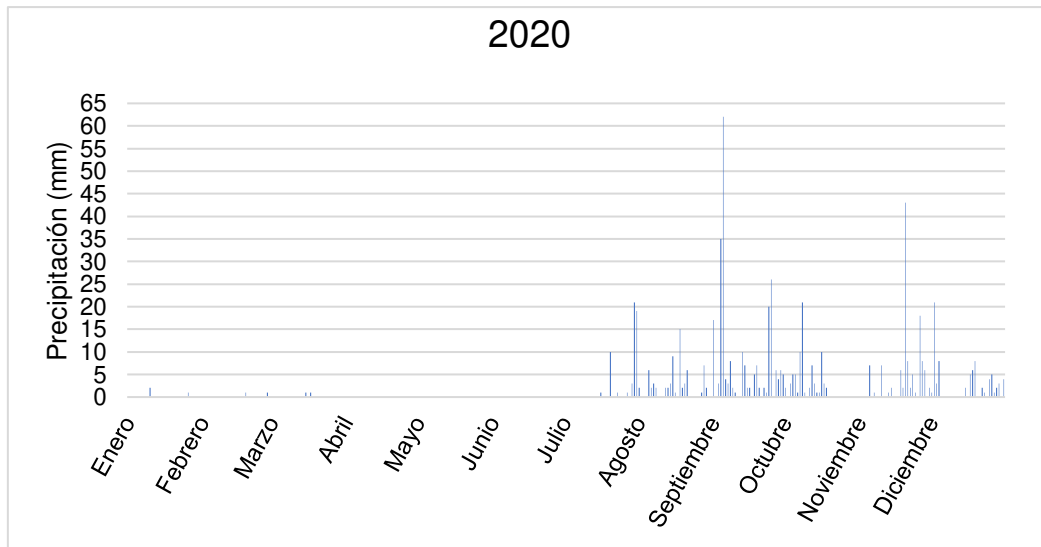


Figura 4.9. Precipitación (IG) del 2020.

Datos del FONAG

Los datos del pluviómetro del FONAG instalado relativamente cerca de la quebrada Jatabamba son una buena alternativa para poder correlacionarlos con los datos sísmicos, es por eso que los valores de precipitación adquiridos para los 6 años se muestran mensualmente/semanalmente en el ANEXO IV. Los datos incluyen valores

acumulados de precipitación en mm, los cuales serán inicialmente analizados mensualmente. Los datos diarios pueden ser adquiridos directamente en la página del FONAG.

Una vez que se realizan los promedios de las precipitaciones mensuales, se puede observar que en general los períodos lluviosos van desde Marzo – Mayo y Noviembre, mientras que las épocas secas desde Junio – Octubre y Diciembre – Enero (ver Fig. 4.10). En la Figura 4.11 se muestra los valores de pluviosidad diarios registrados desde Octubre del 2015 hasta Diciembre del 2020.

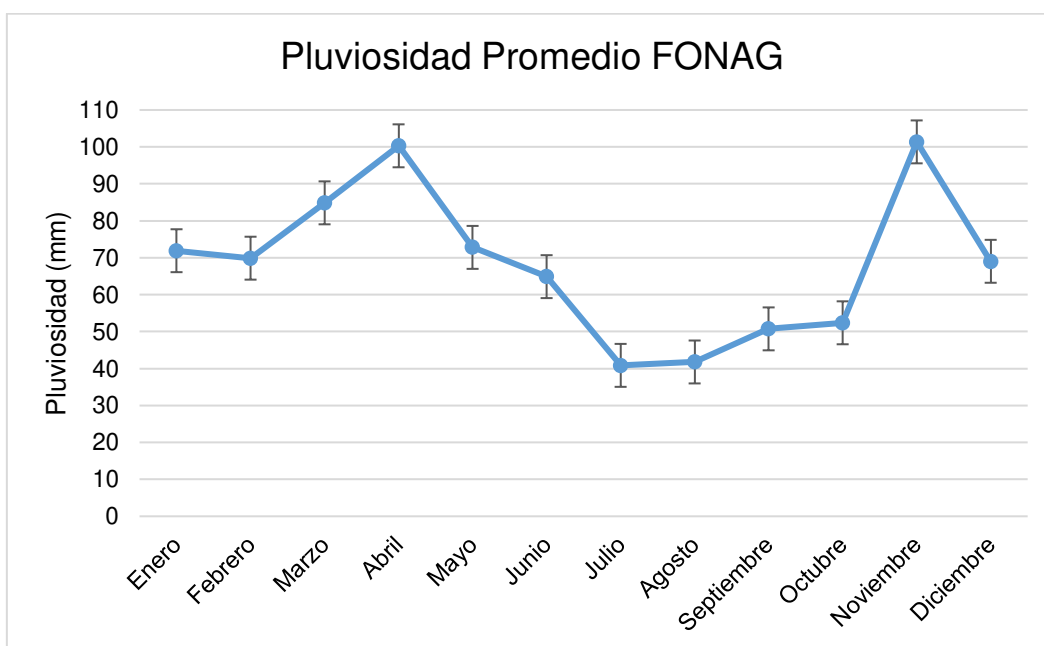


Figura 4.10. Pluviosidad promedio del FONAG.

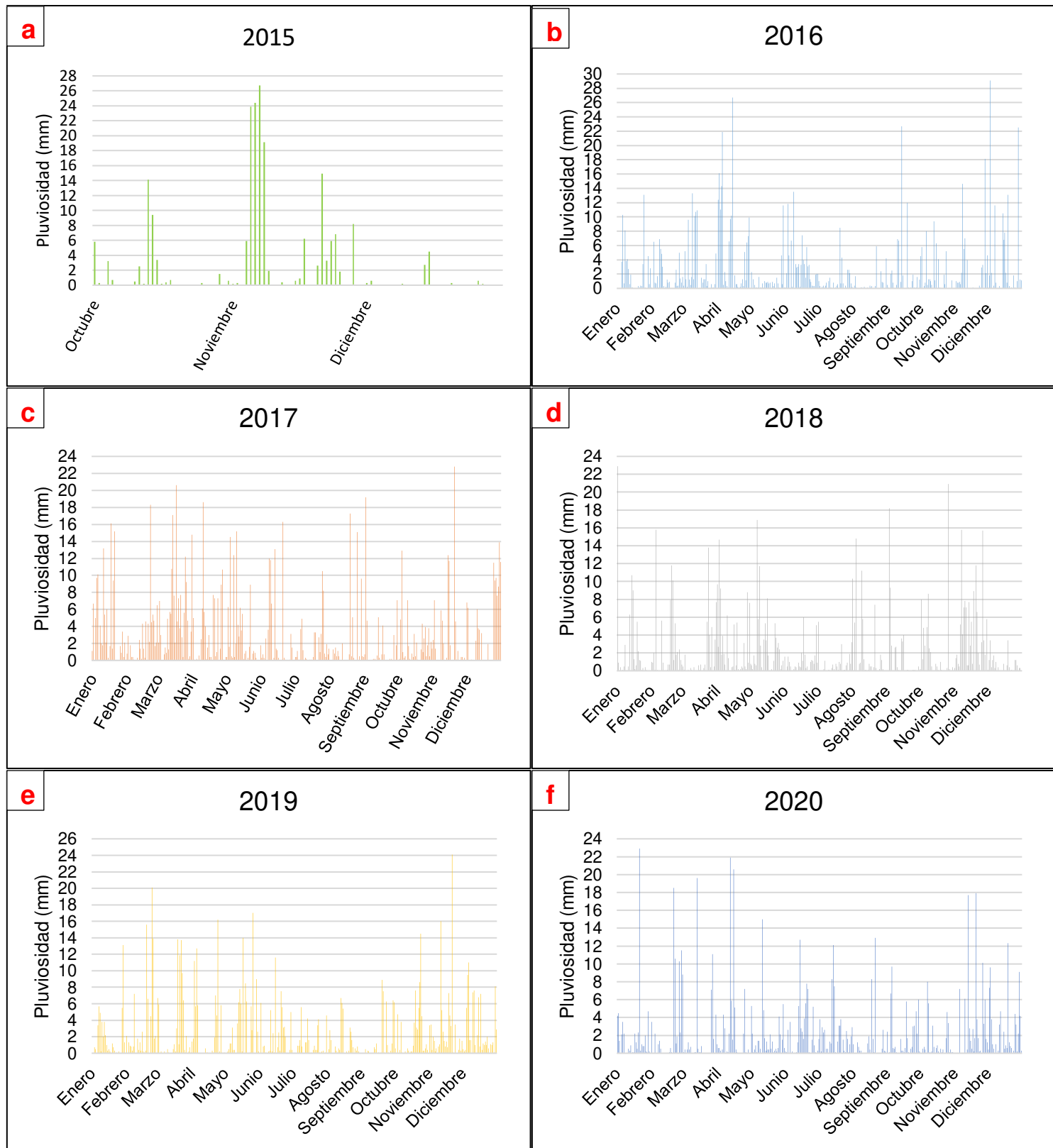


Figura 4.11. Pluviosidad Mensual registrada por el pluviómetro del FONAG a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y f) 2020.

Datos meteorológicos del Cotopaxi

Los datos de lluvia del Cotopaxi extraídos se presentan en el ANEXO V que muestra los valores en m y mm de precipitación media, y precipitación acumulada en mm medidos el 15 de cada mes desde enero de 1979 hasta junio del 2021.

Para determinar los meses lluviosos se hizo un promedio de la lluvia mensual con desviación estándar de los valores adquiridos en los 42 años; en base a los promedios calculados de la pluviosidad mensual (ver ANEXO VI) en el que están los valores en mm, se obtuvo que el período lluvioso empieza desde febrero – abril, mientras que la época más seca va desde junio – septiembre; en enero, mayo y octubre – diciembre registran valores más moderados (ver Fig. 4.12).

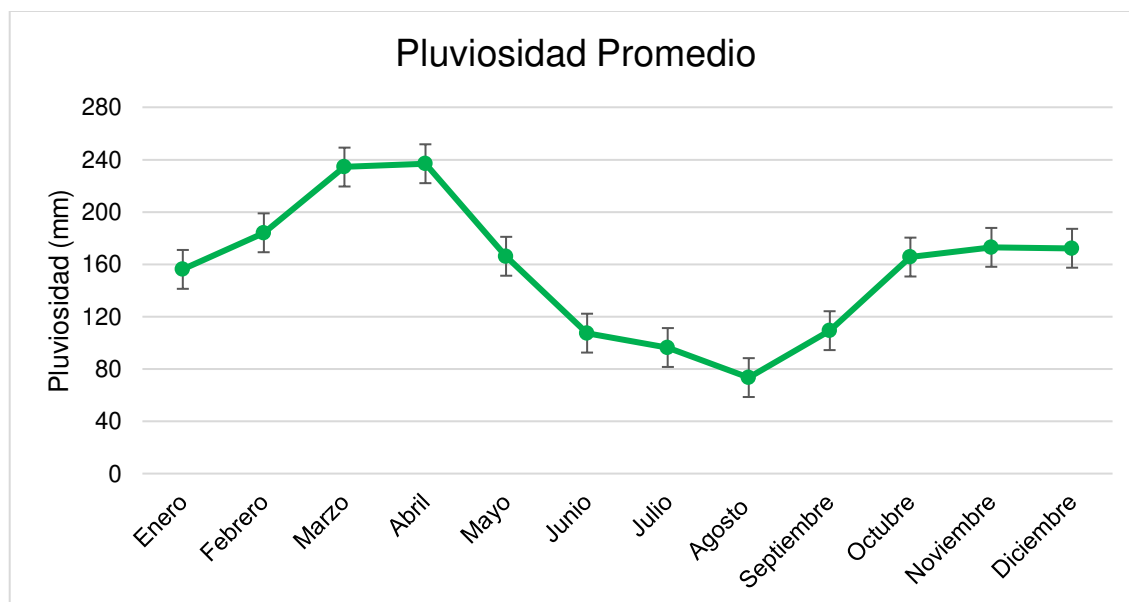


Figura 4.12. Pluviosidad Promedio del Cotopaxi en mm.

Es importante analizar estos datos de precipitación únicamente para el periodo de tiempo de estudio que va desde el 2015 hasta el 2020, por lo que observando la Figura 4.13 se tiene que el mes de marzo el que registra una mayor pluviosidad tomando en cuenta que estos llegan hasta aproximadamente 400 mm, y junio – septiembre son meses con valores de precipitación más bajos.

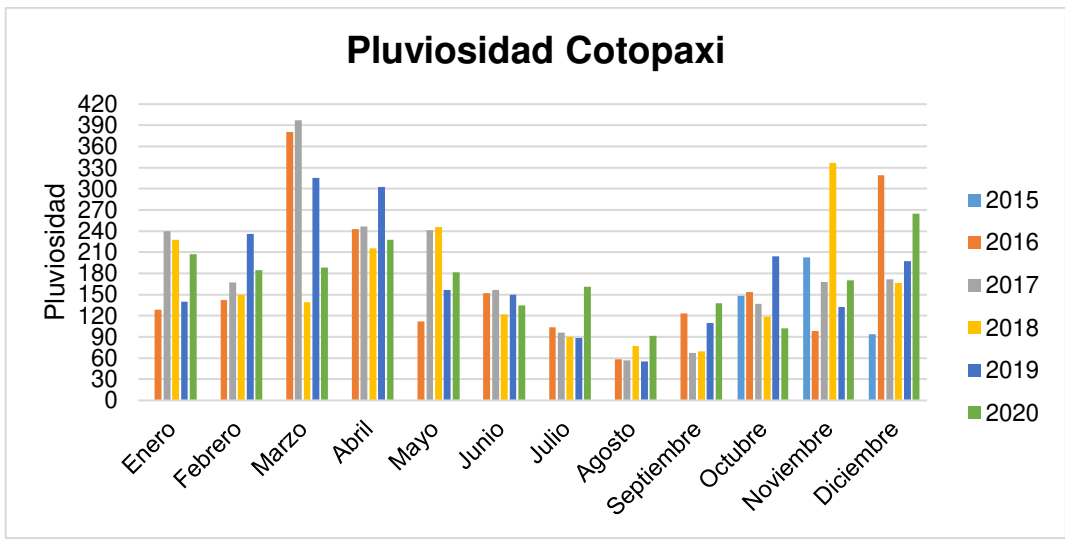


Figura 4.13. Pluviosidad mensual del Cotopaxi desde el 2015 hasta el 2020.

En la figura 4.14 en la que se compara los promedios mensuales de pluviosidad de los 6 años de los datos del FONAG y del Cotopaxi_meteo que se utilizarán para las correlaciones. Se observa una correlación entre estos dos grupos de datos, pues el período lluvioso empieza desde marzo – abril y noviembre, mientras que la época más seca va desde junio – septiembre; en enero, febrero, mayo, octubre y diciembre registran valores más moderados. Sin embargo, hay que notar que los valores absolutos de las precipitaciones son diferentes en cada grupo de datos. Las pluviosidades obtenidas de la base Cotopaxi_meteo es casi el triple de la medida por FONAG. En vista de que los datos de la base Cotopaxi_meteo son obtenidos a partir de datos satelitales, se priorizará el uso de los datos de FONAG, que corresponden a medidas directas.

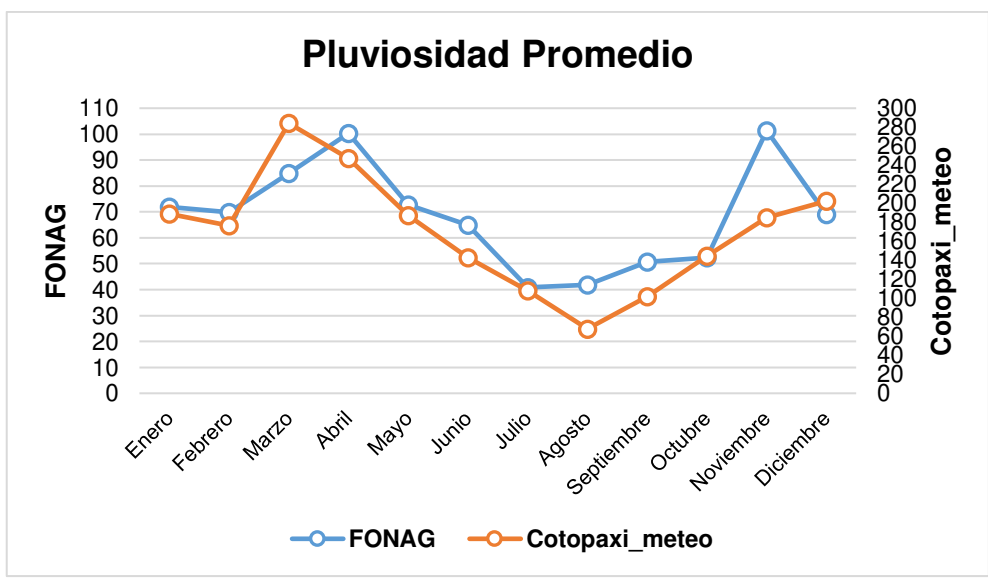


Figura 4.14. Comparación del promedio mensual de pluviosidad de los datos del FONAG y Cotopaxi_meteo.

4.3. Correlación de datos

4.3.1. Correlación a escala anual

La correlación a escala anual se realizó comparando los datos sísmicos con los pluviométricos tanto del FONAG como de la base Cotopaxi_meteo, con el objetivo de identificar la influencia que pueda tener la lluvia en la ocurrencia de lahares secundarios en la quebrada Jatabamba a nivel estacional. Se comparará la pluviosidad acumulada promedio mensual con la cantidad y la magnitud acumulada de los lahares en cada mes.

Lahares tipo A

La correlación de la pluviosidad promedio (FONAG y Cotopaxi_Meteo) con la cantidad acumulada de lahares tipo A se puede observar en la Figura 4.15. Se puede observar que, la ocurrencia de este tipo de eventos es mayor en las épocas lluviosas, mientras que en el período seco (Julio – Septiembre) no hay presencia de lahares tipo A. Sin embargo, la correlación no es tan directa, ya que se observan meses muy lluviosos (p.e. marzo) en los cuales han ocurrido muy pocos lahares tipo A en el período de estudio.

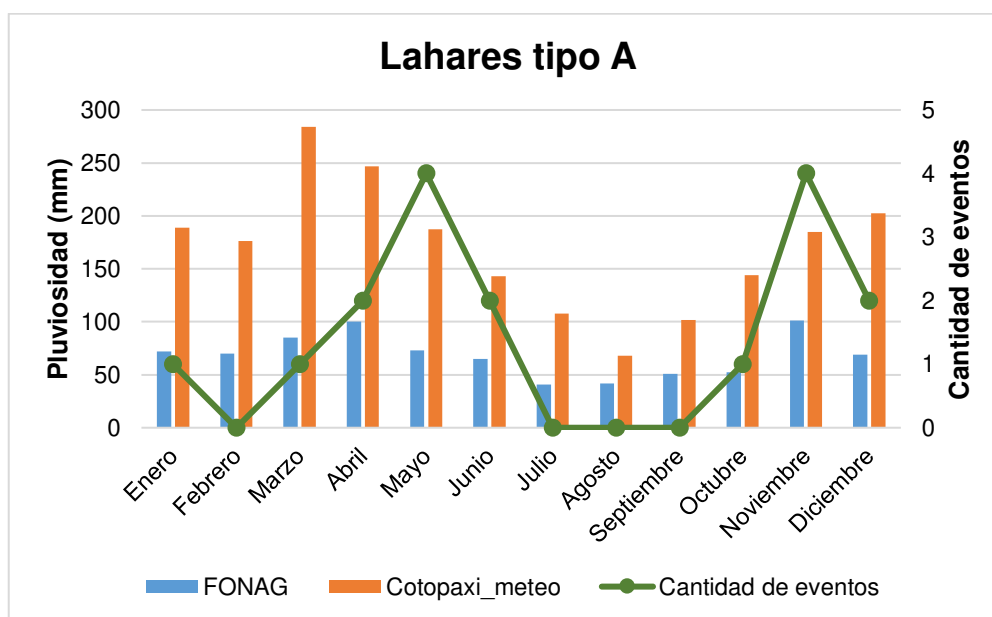


Figura 4.15. Correlación de la pluviosidad promedio del FONAG y Cotopaxi_meteo con la cantidad acumulada de lahares tipo A.

Las mismas relaciones se observan cuando se compara la pluviosidad con la magnitud acumulada de los lahares tipo A en la Figura 4.16. Nuevamente se tiene una mayor acumulación de magnitudes durante las épocas lluviosas, con excepciones como en los meses de marzo y diciembre. Todo esto sugiere que la ocurrencia de lluvias no es el principal ni el único mecanismo responsable de los lahares tipo A.

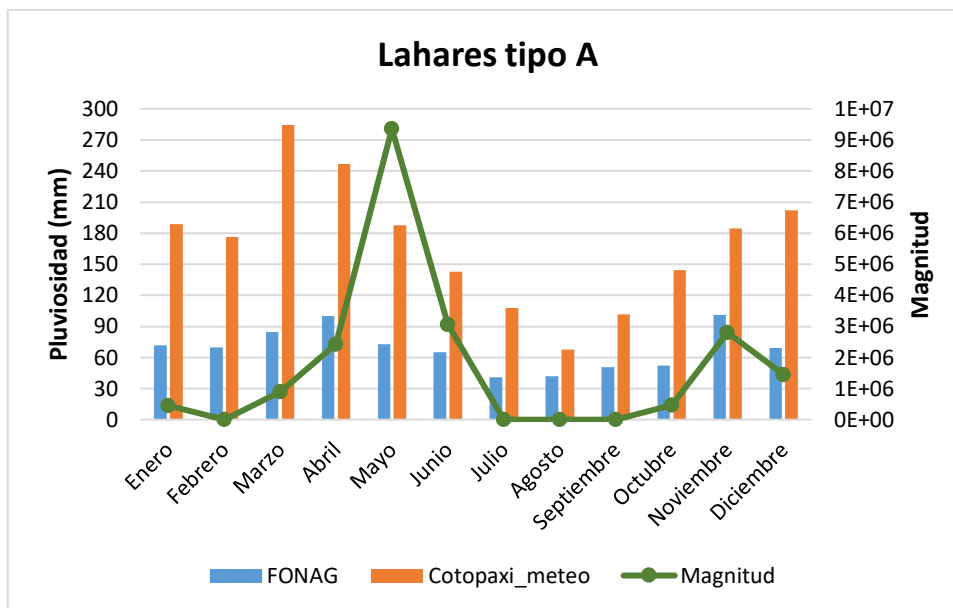


Figura 4.16. Correlación de la pluviosidad promedio del FONAG y Cotopaxi_meteo con la magnitud acumulada de lahares tipo A.

Lahares tipo B

Cuando se compara la cantidad acumulada de lahares tipo B con la pluviosidad (FONAG y Cotopaxi_meteo), nuevamente se observa que en los meses en los que la pluviosidad es baja la cantidad de lahares es muy pequeña; y en los que la pluviosidad es más alta este tipo de eventos aumenta (ver Fig. 4.17), es decir que hay un claro efecto estacional. Sin embargo, a diferencia del caso de los lahares tipo A, en el caso de los tipo B la correlación parece ser más consistente.

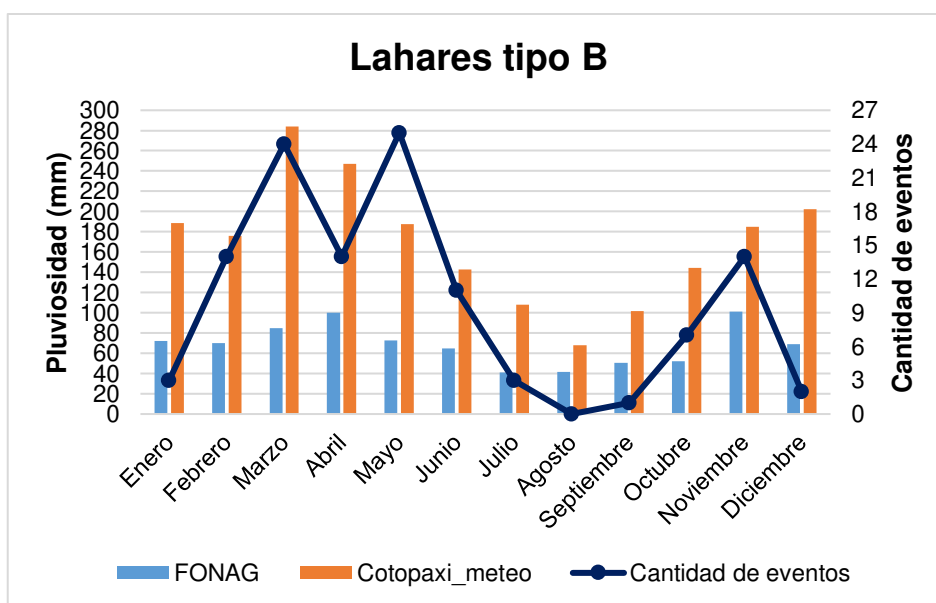


Figura 4.17. Correlación de la pluviosidad promedio del FONAG y Cotopaxi_meteo con la cantidad acumulada de lahares tipo B.

En la Figura 4.18 la magnitud acumulada de los lahares tipo B vuelve a mostrar una buena correlación con la pluviosidad acumulada promedio mensual.

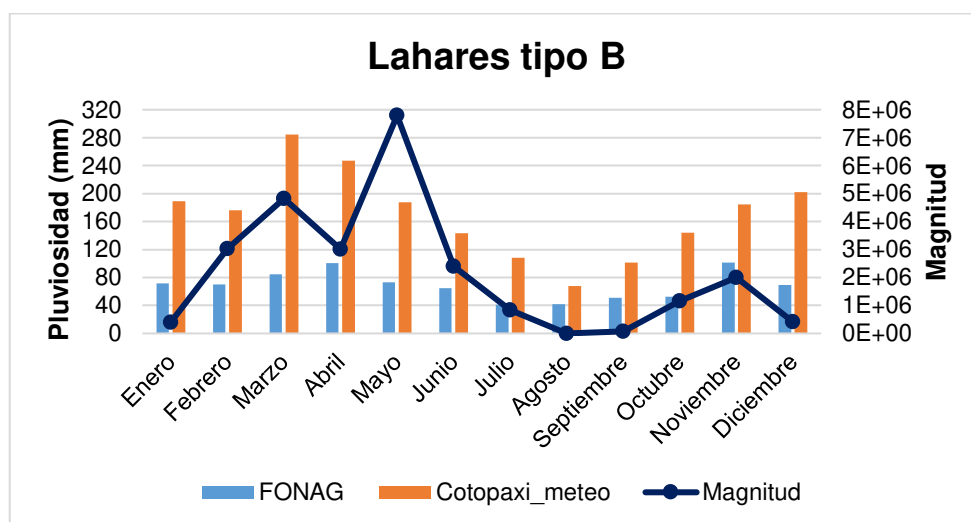


Figura 4.18. Correlación de la pluviosidad promedio del FONAG y Cotopaxi_meteo con la magnitud acumulada de lahares tipo B.

En general, el análisis de la correlación a escala anual de la pluviosidad (FONAG y Cotopaxi_meteo) con la cantidad y magnitud acumulada de lahares tipo A y B muestra una fuerte influencia estacional (épocas lluviosas y épocas secas). Sin embargo, la relación se muestra más clara en los lahares tipo B, mientras los tipo A parecen tener influencias adicionales.

4.3.2. Correlación a escala semanal

Con el fin de entender la influencia de las lluvias en la formación de cada tipo de lahar, se procedió a analizar los datos en una escala de tiempo más corta. Para ello se van a comparar los datos semanalmente a lo largo del período de estudio (274 semanas estudiadas). Se utilizará la pluviosidad de FONAG versus la cantidad y magnitud de los lahares tipo A y B.

Lahares tipo A

La comparación semanal realizada para cada año entre la cantidad acumulada de lahares tipo A con la pluviosidad (FONAG) evidenciada en la Figura 4.19 no muestra una clara relación entre estos dos parámetros, pues la mayoría de casos cuando existe la presencia de lahares tipo A los valores de pluviosidad son bajas (períodos secos).

Lo mismo se observa en la Figura 4.20, donde la comparación se realiza entre la magnitud acumulada de lahares tipo A con la pluviosidad (FONAG). No existe una relación entre la magnitud y la pluviosidad, ya que en general cuando las magnitudes acumuladas tienen valores muy grandes la pluviosidad es baja.

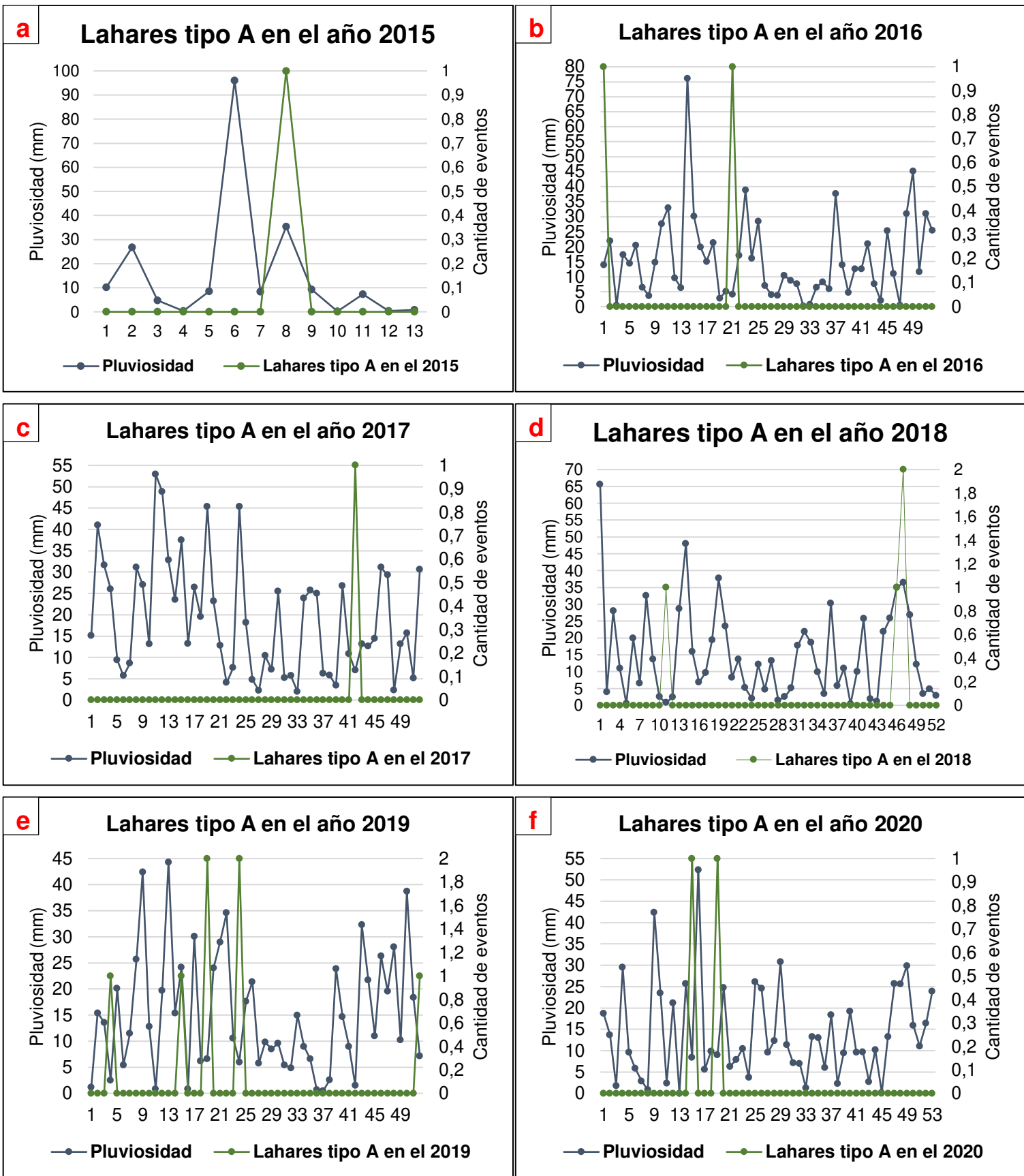


Figura 4.19. Análisis semanal de Pluviosidad (FONAG) vs Cantidad de lahares tipo A. a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y f) 2020.

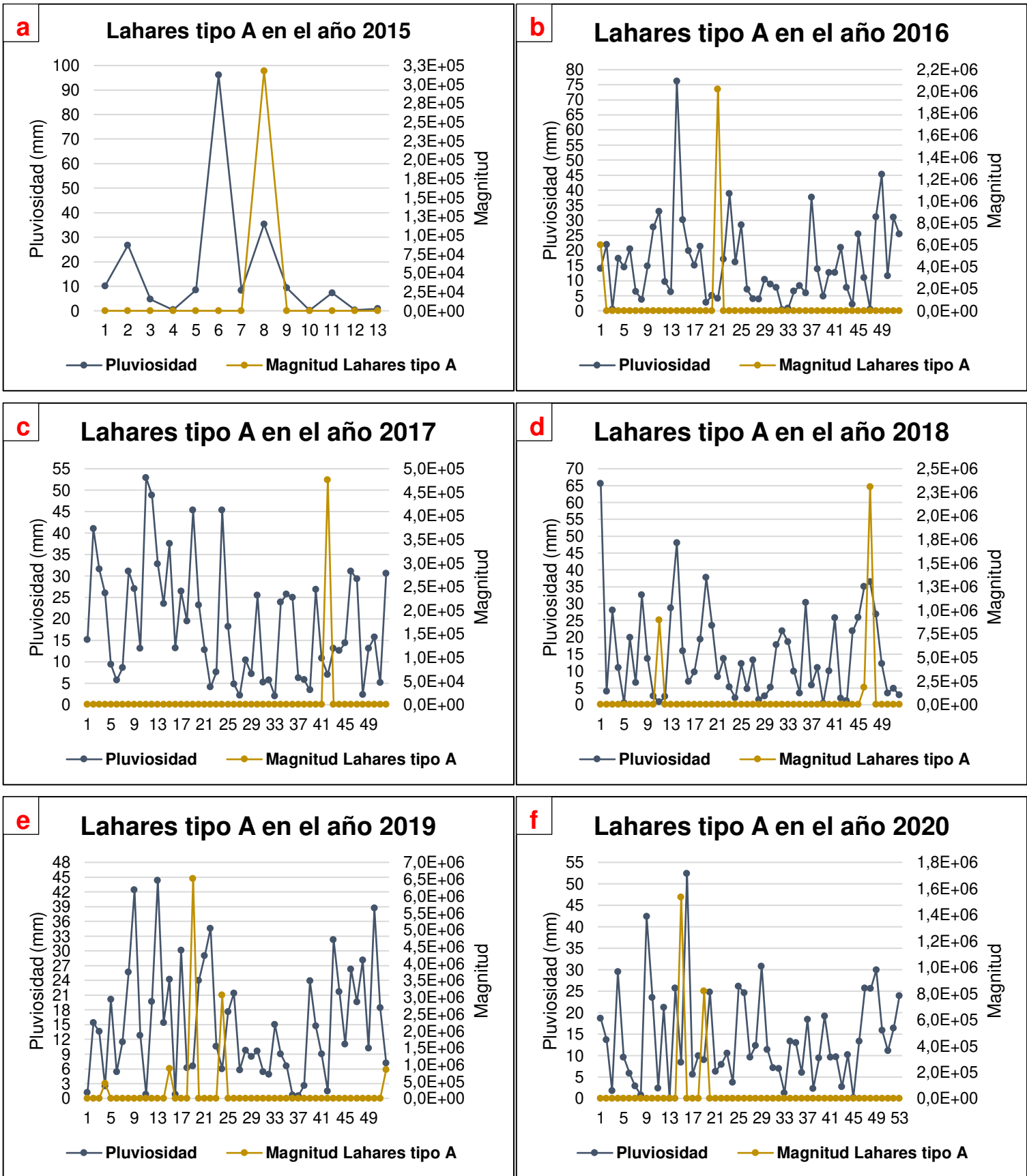


Figura 4.20. Análisis semanal de Pluviosidad (FONAG) vs Magnitud acumulada (Lahares tipo A). a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y f) 2020.

Lahares tipo B

Así mismo como se hizo para los lahares tipo A, en este caso también se realizarán correlaciones comparando la pluviosidad (FONAG) con la cantidad de lahares tipo B. En la Figura 4.21 se observa que al haber una mayor ocurrencia de lahares tipo B, en ciertos casos no existe relación con la pluviosidad (se puede ver en el año 2015). Sin embargo, en algunas semanas como por ejemplo en las 4, 9, 12 y 16 del año 2020 si hay una evidente relación con la cantidad de lluvia promedio registrada.

En la correlación entre la magnitud acumulada de lahares tipo B con la pluviosidad (FONAG) (ver Fig. 4.22), en la mayoría de las semanas no se ve una relación de la magnitud con la pluviosidad, aunque hay ciertas semanas en la que sí existe esta relación como la 13 del 2019 y 16 del 2020 en las que se registran magnitudes relativamente altas se tiene una pluviosidad alta.

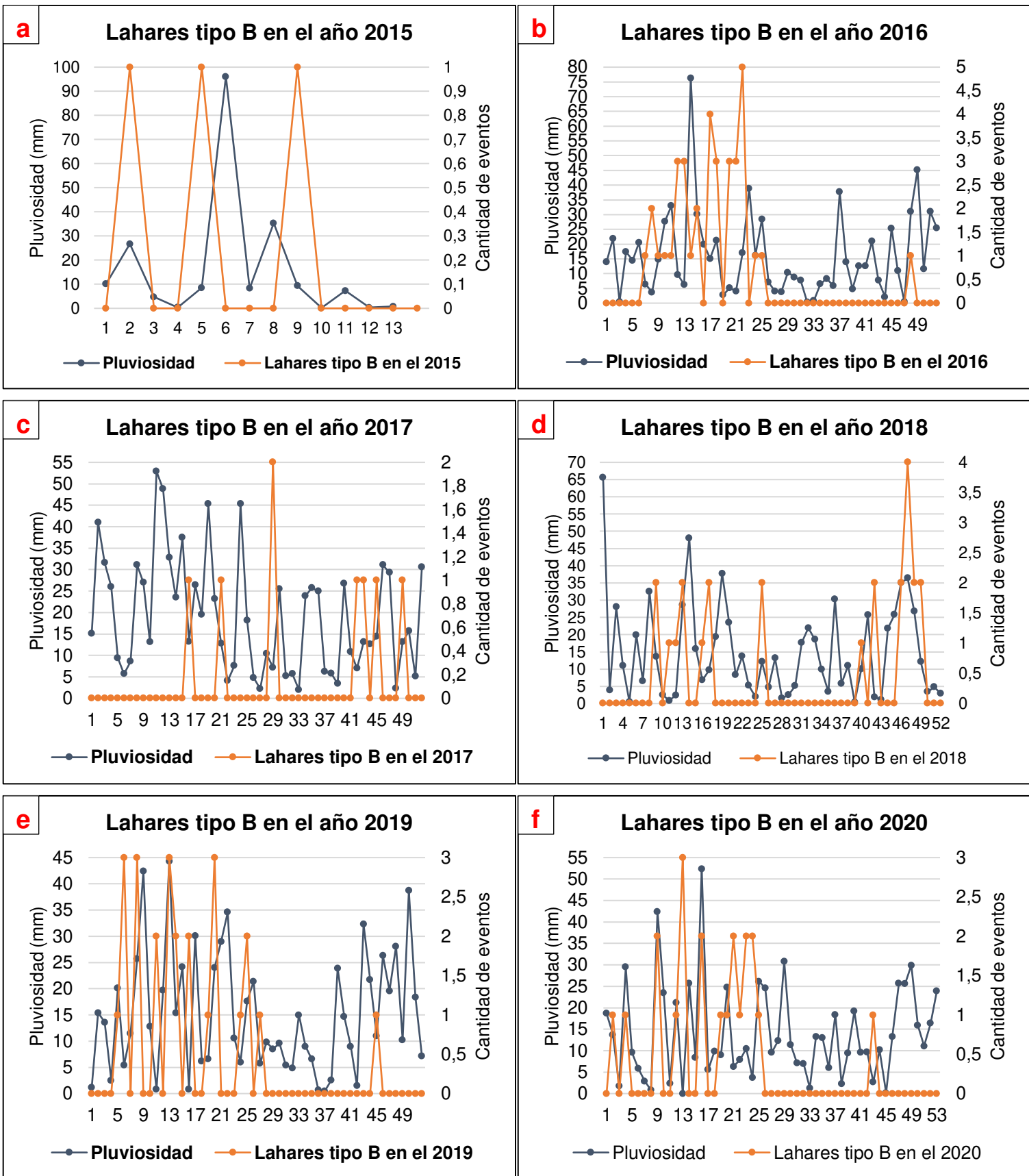


Figura 4.21. Análisis semanal de Pluviosidad (FONAG) vs Cantidad de lahares tipo B. a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y e) 2020.

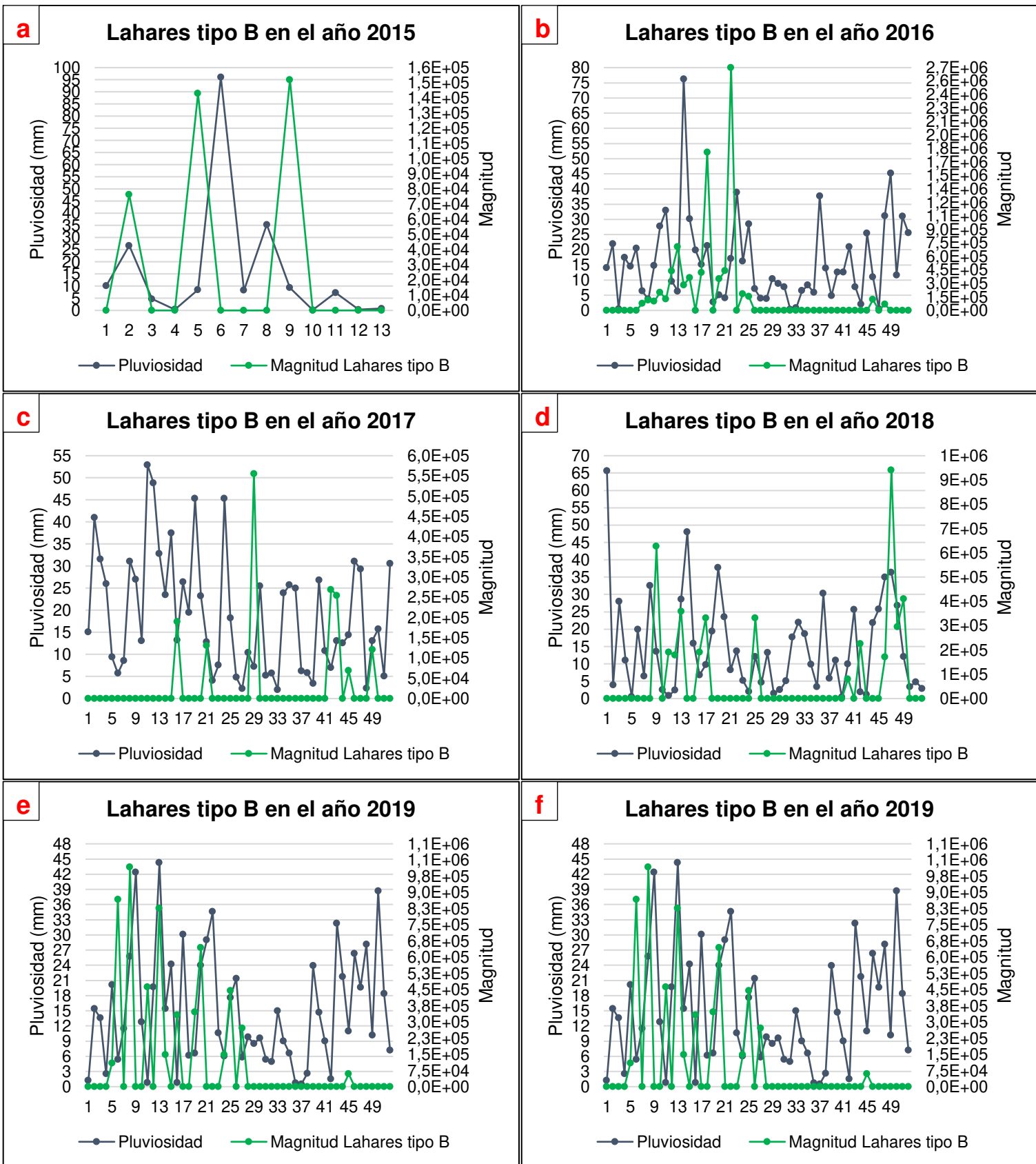


Figura 4.22. Análisis semanal de Pluviosidad (FONAG) vs Magnitud acumulada (Lahares tipo B). a) 2015, b) 2016, c) 2017, d) 2018, e) 2019 y f) 2020.

En la correlación a escala semanal tanto para los lahares tipo A como los tipo B no se puede observar un patrón general que sigan los dos tipos de eventos con relación a la pluviosidad (FONAG), pues hay casos en los que los lahares ocurren cuando hay valores altos de pluviosidad, pero también cuando esta es baja. Sin embargo, los lahares tipo B parecen mostrar a veces patrones que sí guardan cierta relación con las lluvias ocurridas a escala semanal. También es posible que los registros del pluviómetro del FONAG no sean completamente representativos de la cuenca alta donde se forman los lahares de la quebrada Jatabamba, en especial de las lluvias que podrían producir los lahares tipo A.

5 DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. DISCUSIÓN

5.1.1. Influencia de la lluvia en la ocurrencia de lahares secundarios

Se requiere una gran cantidad de agua para la producción de lahares secundarios y una de las fuentes principales es la proveniente de lluvias; pues en varios estudios se evidencia una clara relación entre la lluvia y la ocurrencia de este tipo de lahares.

Bacchini y Zannoni (2003), afirman que en Cancia (Noreste de Italia) las lluvias intensas y la precipitación acumulada en el área de fuente provocan el desencadenamiento de flujos de escombros, removilizando al mismo tiempo el material acumulado en el cauce y el de la parte superior de la cuenca. Esto se definió mediante el análisis de los datos de 3 estaciones pluviométricas ubicadas cerca y dentro del área de estudio que permitieron medir el valor de precipitación máxima y acumulada que se produce antes del flujo.

Así mismo Capra et al. (2010), describe dos tipos de lahares que ocurren en el Volcán Colima, México, el denominado tipo II es el que interesa analizar ya que corresponde a los ejemplos más comunes, con una magnitud y frecuencia que depende de las características de las lluvias y la cantidad de material fresco disponible dentro de las quebradas principales. En ese estudio se muestra que los lahares pueden desencadenarse bajo diferentes condiciones meteorológicas y no dependen estrictamente de las características del evento de lluvia que inició el proceso como se ha observado para otros volcanes (Rodolfo y Arguden, 1991; Van Westen y Daag, 2005). Con los datos presentados se evidencia que los lahares son más frecuentes al comienzo de la temporada de lluvias cuando se necesita una baja acumulación e intensidad de lluvia para desencadenar un lahar.

Con respecto a lahares tipo A y B en el volcán Cotopaxi identificados en el presente estudio, en ambos casos se observa que las temporadas lluviosas tienen una clara influencia en su ocurrencia (ver Figs. 4.15 y 4.17). Se realizó una comparación entre la Magnitud individual de cada lahar tipo A y B con la pluviosidad acumulada en la estación de FONAG en los dos días antes de la ocurrencia de estos eventos, considerando que la cantidad de agua acumulada podría ser también un factor desencadenante de los lahares. Como se observa en la Figura 5.1 los lahares tipo A (rombos morados) tienen pluviosidades acumuladas menores a 16 mm con magnitudes que van variando sin una relación directa con la cantidad de lluvia pues no necesitan de grandes pluviosidades para alcanzar mayores magnitudes. Por otro lado, los lahares tipo B (cuadrados tomates) tienen pluviosidades acumuladas que van desde 0 a 27 mm, con magnitudes menores a las 750 000 cuentas*s con excepción de

los dos eventos encerrados (ver Fig. 5.2), sin embargo, tampoco se ve una relación directa con la presencia de lluvia.

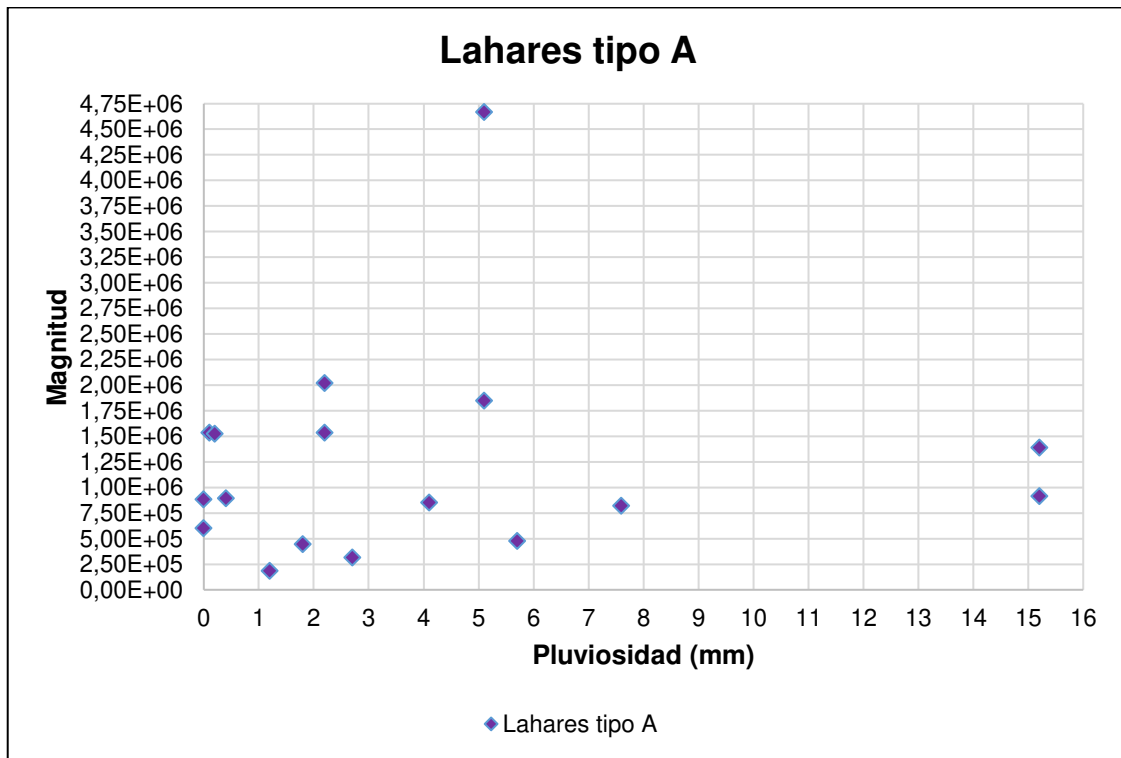


Figura 5.1. Comparación de Magnitud de cada Lahar tipo A vs Pluviosidad acumulada.

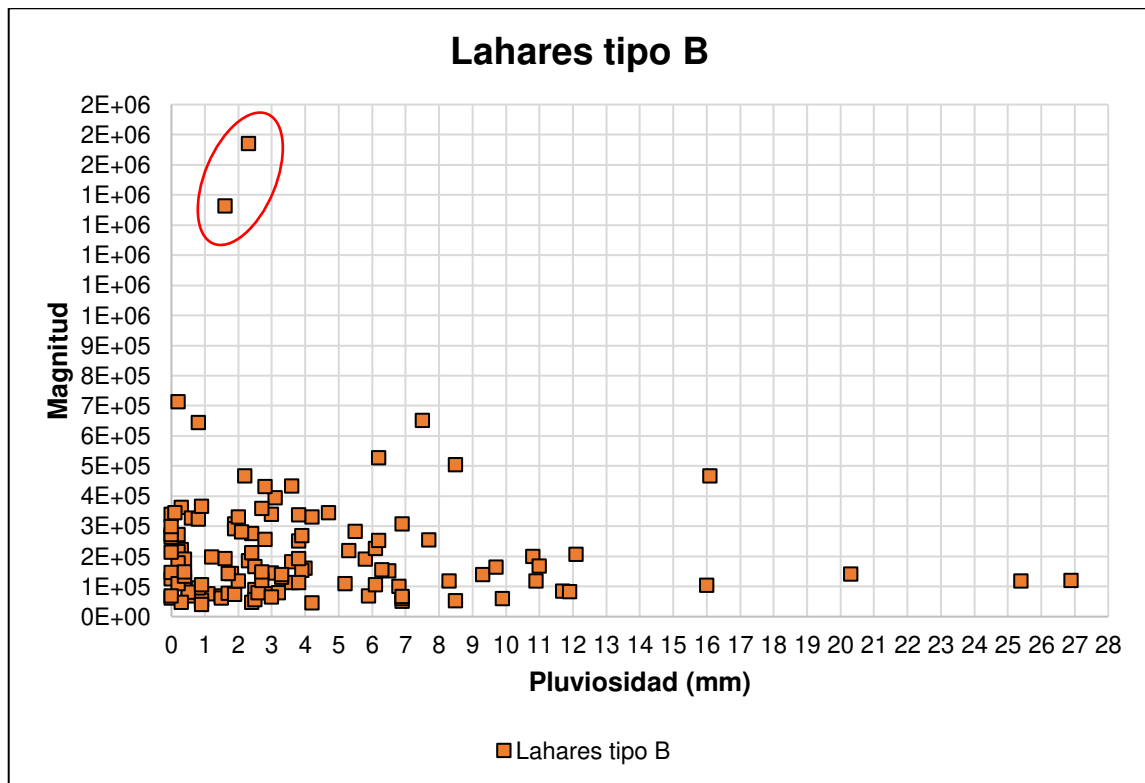


Figura 5.2. Comparación de Magnitud de cada Lahar tipo B vs Pluviosidad acumulada.

Por lo antes mencionado, en general se evidencia que los lahares tipo A no necesitan grandes pluviosidades para tener grandes magnitudes, mientras que los lahares tipo B independientemente de cuanto llueva siempre tienen magnitudes pequeñas; es por eso que se determina que la lluvia no es el único factor desencadenante de estos eventos en la quebrada Jatabamba, y que en este caso el agua acumulada (sea esta por deshielo o lluvia de días anteriores) en zonas de acumulación de agua en las partes altas de esta quebrada sea también la que provoque estos lahares especialmente los tipo A.

5.1.2. Conversión de la Magnitud de los eventos en unidades de medida

En este trabajo se pudo medir la magnitud aproximada de los lahares secundarios producidos en la quebrada Jatabamba, sin embargo, estos valores se encuentran en unidades de “cuentas”, que son determinadas por la tasa de muestreo de digitalizador de la estación sísmica BTAM. Con el fin de tener un mejor enfoque de los resultados, se ha transformado esta magnitud en unidades de medida, para darle un sentido físico a estos valores.

Andrade et al. (2022), desarrollaron una metodología para calibrar instrumentos sísmicos para la cuantificación del flujo de escombros, en el que se utilizó un marco teórico basado en el Teorema π de Buckingham (Buckingham, 1914) para obtener una expresión teórica simple que correlaciona la señal sísmica registrada con el caudal instantáneo del flujo, para instrumentos instalados en diferentes substratos y a distancias variables del drenaje. La ecuación obtenida en dicho trabajo va a ser utilizada aquí para la conversión en unidades de medida.

La fórmula es la siguiente:

$$Q = M * \left(\frac{\delta S}{\delta L} \right) * x^2 * S$$

Q: caudal instantáneo del flujo (tasa de descarga instantánea, en m³/s)

M: constante dada para cualquier instrumento sísmico instalado en un punto de monitoreo fijo

δL : densidad aparente del flujo de escombros

δS : densidad del substrato

x: distancia entre la fuente – instrumento (en metros)

S: señal sísmica (valor instantáneo de la envolvente sísmica en cuentas)

Hay que tomar en cuenta que la señal sísmica (S) es el valor de la envolvente sísmica, descrita en el capítulo 3 y corresponde al valor promedio de la amplitud medida durante 1

minuto. Además, se definió a la magnitud del lahar como la sumatoria de los valores de S a lo largo del tiempo de duración del lahar en minutos.

Es decir que:

$$Magnitud = \Sigma S * t$$

Donde t es la duración del lahar en minutos. Si reemplazamos esto en la ecuación precedente:

$$\Sigma Q * t = M * \left(\frac{\delta S}{\delta L} \right) * x^2 * Magnitud$$

Físicamente, el valor de $\Sigma Q * t$ corresponde al volumen del lahar. Así, con el valor de la constante $M = 6,09 \times 10^{-5}$ (Andrade et al., 2022); asumiendo que se tiene un substrato mixto (lavas y brechas) con una densidad δS de 2000 kg/m^3 ; el valor de δL es 1500 kg/m^3 tomando en cuenta que son principalmente flujos hiperconcentrados (Povea, 2020) y el valor de $x = 160\text{m}$ medido en un DEM; se puede calcular el volumen de cada uno de los eventos identificados en el presente estudio.

Por lo tanto, los valores de volumen que se obtuvieron para cada lahar secundario se muestran en el ANEXO VII. Para un mejor análisis se realizó la Figura 5.3 en la que se puede ver que en mayo del 2016 y 2019 se registra el mayor volumen acumulado de lahares.

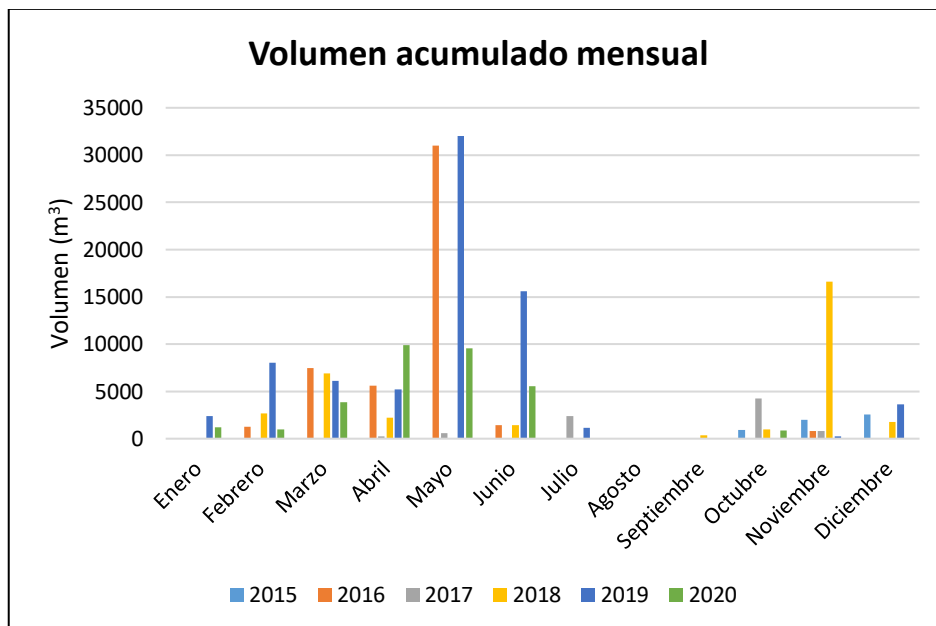


Figura 5.3. Volumen (m³) acumulado mensual de los 6 años.

Con esta transformación se pudo obtener el volumen acumulado de cada año para los lahares tipo A y tipo B en la zona de estudio como se observa en la Tabla 5.1. Así también en base a la tabla se realizó un gráfico (Figura 5.4) de los volúmenes acumulados de los lahares tipo A y B en cada año, pues se observa en el año 2019 los lahares tipo A presenta el mayor valor de volumen (50208.88 m³), y en el año 2016 para los lahares tipo B con un volumen de 38947.7 m³.

Tabla 5.1. Volumen total de lahares tipo A y B de cada año.

VOLUMEN TOTAL		
Año	Lahares tipo A	Lahares tipo B
2015	3920.37 m ³	1583.92 m ³
2016	8620.73 m ³	38947.7 m ³
2017	2032.4 m ³	6222.03 m ³
2018	14444.72 m ³	18465 m ³
2019	50208.88 m ³	24209.46 m ³
2020	10049.85 m ³	21787.25 m ³
TOTAL	89276.95 m³	111215.36 m³

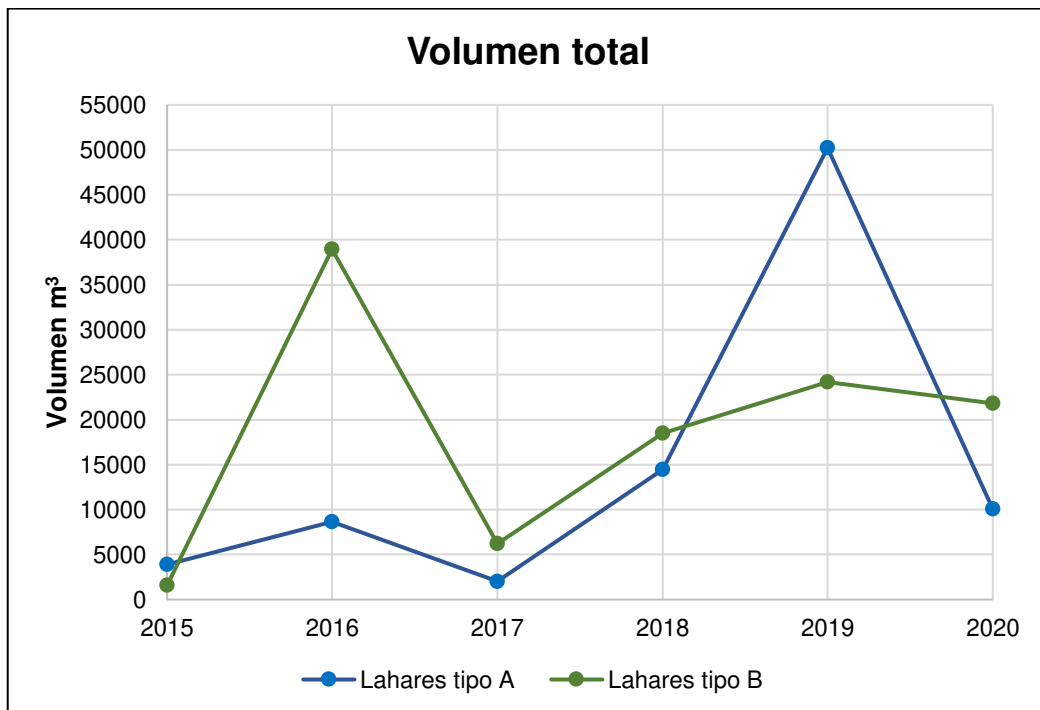


Figura 5.4. Volumen total de lahares tipo A y B.

Como se observa en la Tabla 5.1 se calculó el volumen total de los 6 años de estudio para los lahares tipo A y B; teniendo que individualmente cada lahar tipo B es menos erosivo por su volumen menor que uno de tipo A; sin embargo, si consideramos el proceso de formación y ocurrencia de lahares tipo B en el plazo de años, resulta que es de cierta manera más importante que el proceso que controla los lahares tipo A. Es importante mencionar que la diferencia entre los volúmenes acumulados de cada tipo de lahar no es muy significativa pues los lahares tipo A acumulan un volumen de 89276.95 m³ mientras que los tipo B un volumen de 111215.36 m³.

5.1.3. Estudio previo realizado en la zona de interés

Povea (2020), en su trabajo realizó una cartografía de lahares secundarios en la quebrada Jatabamba mediante ortofotografías obtenidas con un drone durante el período comprendido desde mayo de 2018 hasta julio de 2019. La metodología implicó la toma periódica de ortofotos con el fin de observar los cambios ocurridos en un segmento de la quebrada. La cartografía obtenida es evidencia de que la Quebrada Jatabamba es una quebrada sumamente activa, pues en cada nueva ortofotografía se pudo cartografiar nuevos depósitos ocurridos desde la última foto, obteniéndose así 11 mapas de lahares ocurridos en dicha quebrada.

Povea (2020) también hizo una tabla mostrando el área calculada de los polígonos cartografiados como lahares secundarios en Q. Jatabamba, la misma que fue modificada con el propósito de mostrar la relación que existe entre el área y el volumen calculado en la zona de estudio; como se puede ver en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Tabla de áreas y el volumen acumulado de los lahares secundarios en los intervalos de tiempo en la Q. Jatabamba. Modificado de Povea, 2020.

Q. Jatabamba		
Fecha	Área (m²)	Volumen (m³)
2018-07-12	2039.19	1413.35
2018-07-26	7741.49	-
2018-08-13	3199.18	-
2018-10-30	10258.12	1302.6373
2018-11-16	12799.54	2666.3649
2018-11-29	4835.41	13959.7249
2018-12-13	762.03	1747.8474
2019-01-24	2725.66	1902.3955
2019-02-06	27847.05	4166.7118
2019-04-18	20716.0	15662.5097
2019-05-08	36325.42	29287.7555

En la Figura 5.5 se muestra el volumen (m³) vs área (m²) de los eventos, tomando en cuenta que para las fechas 26-07-2018 y 13-08-2018 no se registra ningún volumen acumulado porque según los datos R-SAM en esas fechas no se registraron lahares. Así se puede observar una cierta correlación directa de estos parámetros, aunque no sea completamente lineal ni regular. Analizando desde otra perspectiva la Figura 5.5 se puede afirmar que los métodos utilizados para estudiar la quebrada Jatabamba muestran valores coherentes entre sí, aunque no siempre lineales pues existen excepciones; los dos son muy útiles para estudios de lahares producidos en quebradas, pues muestran diferentes características que ayudan a entender los mecanismos de estos eventos sobre todo en los flancos de los volcanes.

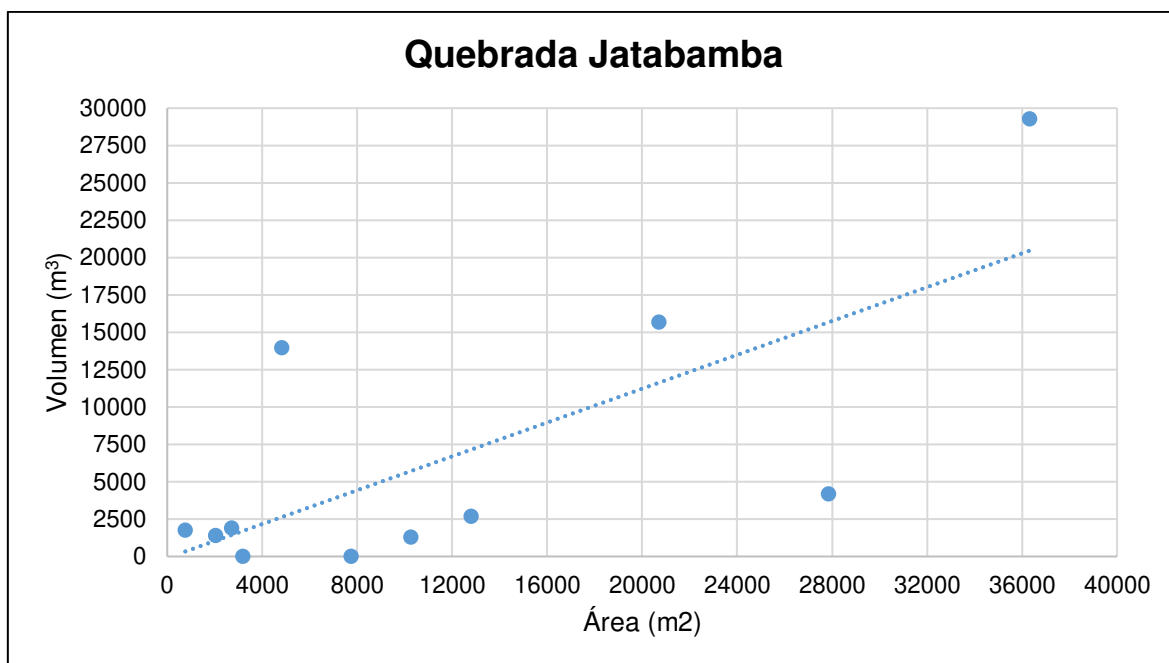


Figura 5.5. Área (m²) vs Volumen (m³) de los lahares secundarios registrados en la Q. Jatabamba.

5.2. Conclusiones

- Los registros sísmicos R-SAM obtenidos de la estación BVC2 a lo largo del período de estudio presentaron datos muy consistentes para definir la ocurrencia de lahares en la Quebrada Jatabamba como: (i) Amplitudes Máximas > 50 cuentas*s, (ii) Duración de los eventos entre 30 min a 6 h y (iii) Ruidos de fondo preliminares con amplitudes menores y mayores a 50 cuentas*s.
- Mediante un análisis mensual de ocurrencia de lahares secundarios se obtuvo que existen períodos claros de presencia de estos eventos en febrero – junio y octubre – noviembre; mientras que, en julio, septiembre, diciembre y enero el número de lahares es muy bajo.
- Los parámetros de cada evento adquiridos a partir de los datos sísmicos permitieron definir la existencia de dos tipos de lahares denominados Tipo A y Tipo B, teniendo una mayor presencia de Lahares tipo B desde octubre de 2015 hasta diciembre del 2020.
- Los criterios para definir a un lahar como tipo A son: Ruidos de fondo de 10 – 370, Amplitudes Máximas entre 300 – 5600 cuentas*s, Duraciones que van desde los 30 min a 150min y Magnitudes de ~ 180 000 – 4'600 000.

- Para los lahares tipo B los criterios son los siguientes: Ruidos de fondo de 5 – 80, Amplitudes Máximas de 50 – 300 cuentas*s, Duraciones desde 56 min a 318 min, Magnitudes de ~ 40 000 – 1'500 000.
- Los datos de pluviosidad de la estación VC1 proporcionados por el IG-EPN presentaron valores ilógicos y largos períodos en los que no existían registros, por lo que se decidió no hacer uso de estos; y fueron reemplazados por datos del FONAG y la base mundial meteorológica del Cotopaxi.
- La relación mensual de pluviosidad de los datos del FONAG y del Cotopaxi_meteo muestran períodos lluviosos en marzo – abril y noviembre, períodos con valores moderados en enero, febrero, mayo, octubre y diciembre; y períodos secos en junio –septiembre.
- Las correlaciones se realizaron a escala anual entre registros sísmicos con pluviométricos del FONAG y del Cotopaxi_meteo; sin embargo, a escala semanal se utilizaron únicamente los datos del FONAG ya que son medidas directas, mientras que la base Cotopaxi_meteo se adquieren a partir de datos satelitales.
- A escala anual las comparaciones entre registros sísmicos con los datos pluviométricos muestran una clara influencia estacional (épocas lluviosas y secas) sobre todo en los lahares tipo B, y para los lahares tipo A parecen existir otros factores desencadenantes, como pequeñas lluvias producidas ya que los suelos suelen estar saturados y con una elevada presión de poros por las precipitaciones acumuladas de días anteriores.
- A escala semanal los registros sísmicos en relación con la pluviosidad no muestran un patrón general que sigan los dos tipos de eventos, sin embargo, la influencia de la lluvia en la ocurrencia de lahares tipo B, mientras que para los tipo A se sugiere que existen influencias adicionales como la acumulación de agua por el derretimiento del glaciar o lluvias de días anteriores.
- Es evidente que los lahares tipo A no necesitan grandes pluviosidades para tener grandes magnitudes, mientras que los lahares tipo B siempre tienen magnitudes pequeñas sin importar la cantidad de lluvia producida.
- El volumen calculado para cada tipo de evento a lo largo de los 6 años, indica que para los lahares tipo A el volumen es de 89276.95 m³ y para los lahares tipo B un valor de 111215.36 m³, estos valores indican el nivel de erosión causada en la quebrada Jatabamba, siendo los tipo B los que causan una mayor erosión.

- Las observaciones realizadas a lo largo de este estudio sugieren que ocurren lluvias muy localizadas en la zona de fuente de los lahares, y/o el derretimiento del glacial cumple un rol importante en la formación de los lahares que difícilmente se observa con el pluviómetro del FONAG, ya que la distancia con respecto a la parte superior de la quebrada es representativa.

5.3. Recomendaciones

- Es importante prestar mayor importancia a los pluviómetros instalados en las quebradas del Volcán Cotopaxi, con el fin de entender si la lluvia influye de una manera más directa en la ocurrencia de todos los lahares secundarios.
- El método desarrollado en este trabajo podría ser de mucha ayuda para estudiar la ocurrencia de lahares secundarios no solo en las quebradas del Volcán Cotopaxi, sino también en otros volcanes del Ecuador que representan un riesgo en la sociedad, para así de alguna forma poder establecer protocolos en las zonas afectas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abancó, C., Hürlimann, M., y Moya, J. (2014). Analysis of the ground vibration produced by debris flows and other torrential processes at the Rebaixader monitoring site (Central Pyrenees, Spain). *Natural Hazards Earth System Science*, 14, 929-943. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-14-929-2014>
- Aguilera, E., Pareschi, M. T., Rosi, M., y Zanchetta, G. (2004). Risk from Lahars in the Northern Valleys of Cotopaxi Volcano (Ecuador). *Natural Hazards*, 33(2), 161-189.
- Almeida, S., Sierra, D., y Andrade, D. (2027). Lahares (Flujos de lodo). *Instituto Geofísico Escuel Politécnica Nacional*.
- Andrade, D., Escuela Politécnica Nacional (Quito, Ecuador), & Institut de recherche pour le développement (France) (Eds.). (2005). Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. *Corporación Editora Nacional*.
- Andrade, D., Almeida, S., Saltos, E., Pacheco, D., Hernández, S., y Acero, W. (2022). A simple and general methodology to calibrate seismic instruments for debris flow quantification: application to Cotopaxi and Tungurahua volcanoes (Ecuador). *Springer Nature (2021)*. <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01784-5>
- Arattano, M. (1999). On the Use of Seismic Detectors as Monitoring and Warning Systems for Debris Flows. *Natural Hazards*, 20, 197-213.
- Arattano, M., Abancó, C., Coviello, V., y Hurlimann, M. (2014). Processing the ground vibration signal produced by debris flows: the methods of amplitude and impulses compares. *Computers & Geosciences*, 73, 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.08.005>
- Bacchini, M., y Zannoni, A. (2003). Relations between rainfall and triggering of debris-flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 71-79. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-71-2003>
- Barclay, J., Alexander, J., y Susnik, J. (2007). Rainfall-induced lahars in the Belham Valley, Montserrat, West Indies. *Journal of the Geological Society*, 164(4), 815-827. <https://doi.org/10.1144/0016-76492006-078>
- Bordino, J. (2021). Lahar: qué es y cómo se forma. *Ecología verde*.
- Buckingham, E. (1914). On physically similar systems; illustrations of the use of dimensional equations. *American Physical Society, Rev 4*, 345-376. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.4.345>
- Cáceres, B., Ramírez, J., Francou, B., Eisen, J., Taupin, J., Jordan, E., Ungerechts, L., Maisincho, L., Barba, D., Cadier, E., Boucher, R., Peñafiel, A., Samaniego, P., y Mothes, P. (2004). Determinación del Volúmen del Casquete de Hielo del Volcán Cotopaxi. *Informe INAMHI-IRD-IGEPN-INGEOMINAS*.

- Cáceres, B. (2005). Evaluación reciente del área del casquete glaciar del volcán Cotopaxi mediante la utilización de Fotogrametría digital. *Memorias XII Congreso Latinoamericano de Geología Quito*.
- Calderón, G. (2018). Pluviómetro. *Recuperado de Euston96: <https://www.euston96.com/pluviometro/>*
- Capra, L., Borselli, L., Varley, N., Gavilanez-Ruiz, J. C., Norini, G., Sarochi, D., Caballero, L., y Cortes, A. (2010). Rainfall-triggered lahars at Volcán de Colima, Mexico: Surface hydro-repellency as initiation process. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 189(1-2), 105-117. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.10.014>
- Capra, L., Coviello, V., Borselli, L., Márquez-Ramírez, V-H., y Arámbula-Mendoza, R. (2017). Hydrological control of large hurricane-induced lahars: evidences from rainfall, seismic and video monitoring. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-36. <https://doi.org/10.5194/nhess-2017-354>
- Castro, (s.f). Pluviómetro: características, importancia, tipos y más. *Recuperado de Descubrir Online: <https://descubrir.online/pluviometro/>*
- Cole, S., Cronin, S., Sherburn, S., y Manville, V. –H. (2009). Seismic signals of snow-slurry lahars in motion: 25 Sept. 2007, Mt. Ruapehu. *Geophysical Research Letters*, 36. <https://doi.org/10.1029/2009GL038030>
- Cole, S. (2011). Geophysical investigation into the internal dynamics of moving lahars. *Thesis for Doctoral Department of Soil and Earth Science, Massey University, Palmerston North N.Z*, p 187. <https://doi.org/10.1029/2009GL038030>
- Comiti, F., Marchi, L., Macconi, P., Arattano, M., Bertoldi, G., Borga, M., Brardinoni, F., Cavalli, M., D'Agostino, V., Penna, D., y Theule, J. (2014). A new monitoring station for debris flows in the European alps: first observations in the Gadria basin. *Natural Hazards*, 1-24. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-014-1088-5>
- ECMWF Copernicus. (2021). Essential Climate Variables for assessment of climate variability from 1979 to present. *Copernicus Climate Change Service*, 1-13.
- Coviello, V., Capra, L., Vásquez, R., y Márquez-Ramírez, V. –H. (2018). Seismic characterization of hyperconcentrated flows in a volcanic environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(10), 2219-2231. <https://doi.org/10.1002/esp.4387>
- Doyle, E., Cronin, S., Cole, S., y Thouret, J. (2010). The coalescence and organization of lahars at Semeru volcano, Indonesia. *Bull Volcanology*, 72, 961-970. <https://doi.org/10.1002/esp.4387>
- Endo, E. T., y Murray, T. (1991). Real-time Seismic Amplitude Measurement (RSAM): a volcano monitoring and prediction tool. *Bull Volcanology*, 53, 533-545.

- Fagents, S.A., y Baloga, S. M. (2006). Toward a model for the bulking and debulking of lahars. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol 111. <https://doi.org/10.1029/2005JB003986>
- FONAG. (2015). Anuario Hidrometeorológico. *Fondo para la protección del agua*, 5-32.
- García, A. (2014). Ventajas y Desventajas. *PDFCOFEE*. Recuperado de: <https://pdfcoffee.com/ventajas-y-desventajas-27-pdf-free.html>.
- Hall, M. (1977). El volcanismo en el Ecuador. *IPGH, Sección Nacional del Ecuador*.
- Hall, M. (2007). The rhyolitic-andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology*, 70(6), 675-702. <https://doi.org/10.1007/s00445-007-0161-2>
- Hidalgo, S., Bernard, B., Battaglia, B., y Gaunt, E. (2016). Cotopaxi volcano's unrest and eruptive activity in 2015: mild awakening after 73 years of quiescence. *Geophys Res Abstracts*, Vol 18.
- Hradecká, L., Hradecki, M., Kruta, V., Lysenko, B., Mlcoch, B., y Paulo, A. (2010). Cotopaxi: Informe final del grupo de geólogos. *Memoria de la exploración geológica del volcán Cotopaxi hecha por la expedición checo-polaca en el año 1972*, p 60.
- Huang, C., Yin, H., Chen, C., Yeh, C. H., y Wang, C. L. (2007). Ground vibrations produced by rock motions and debris flows. *J. Geophys. Res*, 112, F02014. <http://dx.doi.org/10.1029/2005JF000437>
- Iverson, R. M. (2005). Debris – flow mechanics. *Debris-flow hazards and related phenomena*, Ch 6, 105-134. https://doi.org/10.1007/3-540-27129-5_6
- Jones, R. J. (2016). The Initiation of Rain-Triggered Lahars. *University of Leeds School of Earth and Environment*, 301.
- Jones, R. J., Manville, V., Peakall, J., Froude, M. J., y Odbert, H. M. (2017). Real-time prediction of rain-triggered lahars: incorporating seasonality and catchment recovery. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17, 2301-2312. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-2301-2017>
- Kumagai, H., Yépez, M., Vaca, M., Caceres, V., Nagai, T., Yokoe, K., Imai, T., Miyakawa, K., Yamashina, T., Arrais, S., Vasconez, F., Pinajota, E., Cisneros, C., Ramos, C., Paredes, M., Gomezjurado, L., Garcia-Aristizaba, A., Molina., y Inoue, H. (2007). Enhancing Volcano-Monitoring Capabilities in Ecuador. *EOS, Transaction American Geophysical Union*, Vol. 88, No. 23, 245-246. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-2301-2017>
- Lavigne, F., Thouret, T. C., Voight, B., Young, K., LaHusen, R., Marso, J., Suwa, H., Sumaryiono, A., Sayudi, D., y Dejean, M. (2000). Instrumental lahar monitoring at Merapi Volcano. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100, 457-478.
- LaHusen, R. (1996). Detecting debris flows using ground vibrations. *USGS Fact Sheet*, 236-296.

- López, R. (2003). Determinación de la relación entre calado y caudal en flujos hipercontrados. *Foresta*, 23, 54-60.
- Marchi, L., Arattano, M., y Deganutti, A. H. (2002). Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps). *Geomorphology*, 46, 1-17. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00162-3)
- Marcial, S., Melosantos, A., Hadley, K., LaHusen, R., y Marso, N. (1996). Instrumental lahar monitoring at Mount Pinatubo. *Newhall CG, Punongbayan RS (eds) Fire and mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines. University of Washington Press, Seattle*, 1015-1022.
- Mothes, P. A., (1992). Lahars of Cotopaxi Volcano, Ecuador: hazard and risk evaluation. *Geohazards*, 53-63. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0381-4_7
- Mothes, P., Hall, M. L., Andrade, D., Samaniego, P., Pierson, T. C., Ruiz, A. G., y Yopez, H. (2004). Character, stratigraphy and magnitude of historical lahars of Cotopaxi Volcano (Ecuador). *Acta Vulcanologica* 16 (1-2), 85-108.
- Mothes, P. A., y Vallance, J. W. (2015). Lahars at Cotopaxi and Tungurahua Volcanoes, Ecuador. *Volcanic Hazards, Risks and Disasters*, 141-168. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396453-3.00006-X>
- Murray, T. L., y Endo, E.T. (1993). Un Sistema de Medida de la Amplitud Sísmica en Tiempo Real (RSAM). *Vigilando volcanes: Técnicas y estrategias empleadas por el personal del Observatorio Vulcanológico Cascades*, 5-10. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396453-3.00006-X>
- Novalynx Corporation. (s.f). 260-2501-A Tipping Bucket Rain Gauge. p 129.
- Ordoñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., y Schilling, S. (2013). Las potenciales zonas de inundación por lahares en el Volcán Cotopaxi. *Instituto Geofísico – EPN, Ecuador., Institut de Recherche pour le Développement, Francia., United States Geological Survez. EE.UU*, 1-20.
- Pierson, T. C., y Scott, K. M. (1985). Las potenciales zonas de inundación por lahares en el Volcán Cotopaxi. *Instituto Geofísico – EPN, Ecuador., Institut de Recherche pour le Développement, Francia., United States Geological Survez. EE.UU*, 1-20.
- Portal IG-EPN. (2021). Sensores Sísmicos Acústicos. *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador*.
- Povea, M. J. (2020). Caracterización Geológica de los Lahares Secundarios en el Flanco Oriental del Volcán Cotopaxi. *Escuela Politécnica Nacional del Ecuador*.
- Rodolfo, K. S., y Arguden, A. T. (1991). Rain-lahar generation and sediment delivery systems at Mayon Volcano, Philippines. *Sedimentation in Volcanic Settings: Soc. Econ. Mineral. And Paleontol*, 45, 71-87. <https://doi.org/10.2110/pec.91.45.0071>

- Ruiz, M., Guillier, B., Chatelain, J-L., Yopez, H., Hall, M., y Ramon, P. (1998). Possible causes for the seismic activity observed in Cotopaxi volcano, Ecuador. *Geophysical Research Letters*, Vol 25, No. 13, 2305-2308.
- Saltos, E. N. (2017). Estimación de los caudales de los lahares del 26 de Junio de 1877 en cuatro quebradas mayores del volcán Cotopaxi. *Escuela Politécnica Nacional del Ecuador*.
- SensorGo. (2020). Conoce El Pluviómetro para medir la precipitación. *Recuperado de: <https://sensorgo.mx/pluviometro-para-medir-precipitacion/>*
- Shanmugam, G. (2021). Gravity flows: debris flows, grain flows, liquefied/fluidized flows, turbidity currents, hyperpycnal flows, and contour currents. *Mass Transport, Gravity Flows, and Bottom Currents*, 89-148. [https://doi.org/ 10.1016/B978-0-12-822576-9.00003-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822576-9.00003-5)
- Sodirol, L. (1877). Relación sobre la erupción del Cotopaxi acaecida el día 36 de junio de 1877. *Biblioteca Nacional del Ecuador <Eugenio Espejo>*.
- Suaréz, J. (2012). Los flujos. *Deslizamientos: Análisis Geotécnico*, Tomo 1, Cap.5, 173-208.
- Terlien, M. (1998). The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds. *Environmental Geology*, 35, 124-130. <https://doi.org/10.1007/s002540050299>
- Tuñgol, N., y Regalado, M. T. (1996). Instrumental lahar monitoring at Mount Pinatubo. *Newhall CG, Punongbayan RS (eds) Fire and mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines*, 1023-1032.
- Umbal, J. V., y Rodolfo, K. S. (1996). The 1991 Lahars of Southwestern Mount Pinatubo and Evolution of the Lahar-Dammed Mapanuepe Lake. *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*, 951-970.
- Vallance, J. W., y Iverson, R. M. (2015). Lahars and their Deposits. *Encyclopedia of Volcanoes*, 649-664. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00037-7>
- Van Western, C., y Daag, A. (2005). Analysing the relation between rainfall characteristics and lahar activity at Mount Pinatubo, Philippines. *Earth and Surface Processes and Landform*, 30, 1663-1674.
- Vasconez, F., Andrade, D., y Saltos, E. (2019). Nuevo lahar secundario del volcán Cotopaxi. *Portal del IG-EPN*.
- Vásquez, R., Suriñach, E., Capra, L., Arámbura-Mendoza, R., y Reyes-Dávila, G. (2016). Seismic characterization of lahars at Volcán de Colima, Mexico. *Bull Volcanol*, 78:8, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00445-016-1004-9>
- Vera, F. (2018). Lahares y su ocurrencia en Chile. *Volcanología Chile*.

Zaragoza, G., Caballero-García, L., Capra, L., y Nieto-Torres, A. (2020). Lahares secundarios en el volcán Popocatéptl: El lahar Nexpayantla del 4 de febrero, 2010. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 37(2), 121-134. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2020.2.1565>

7 ANEXOS

ANEXO I. Tabla general de los parámetros para los 135 lahares secundarios registrados en la Quebrada Jatabamba.

Año	Mes	Día	Hora de Inicio del evento	Amplitud de Inicio del evento	Hora Máxima del evento	Amplitud Máxima del evento	Hora de Fin de Evento	Amplitud de Fin del Evento	Duración (horas)	Duración (minutos)	Amplitud relativa máxima	Magnitud	Indice
2015	Octubre	11	15:39:00	15.01392	16:20:00	65.02454	16:58:00	20.4314	1:19:00	79	50.0106	76263.07	0.6330
2015	Octubre	31	14:46:00	28.24180	16:05:00	71.90959	16:59:00	33.5899	2:13:00	133	43.6678	142945.25	0.3283
2015	Noviembre	20	16:35:00	37.91447	16:47:00	631.33158	17:25:00	52.4380	0:50:00	50	593.4171	317609.71	11.8683
2015	Noviembre	28	14:38:00	26.08583	16:10:00	67.04816	17:17:00	26.5451	2:39:00	159	40.9623	152032	0.2576
2015	Diciembre	31	18:02:00	62.71348	18:26:00	458.14523	19:16:00	71.4849	1:14:00	74	395.4318	601248.5	5.3437
2016	Febrero	15	17:58:00	79.37438	18:32:00	128.91036	19:15:00	75.6891	1:17:00	77	49.5360	75192.093	0.6433
2016	Febrero	19	19:24:00	45.43916	20:05:00	76.51151	20:59:00	47.4250	1:35:00	105	31.0724	54436.048	0.2959
2016	Febrero	20	17:17:00	48.04544	17:59:00	117.65510	18:37:00	48.8853	1:20:00	80	69.6097	61472.178	0.8701
2016	Febrero	27	18:32:00	39.54144	19:22:00	78.88542	20:25:00	39.5846	1:53:00	113	39.3440	100627.96	0.3482
2016	Marzo	6	16:18:00	46.03390	17:30:00	101.03259	18:57:00	39.5116	2:39:00	159	54.9987	199999.29	0.3459
2016	Marzo	16	18:35:00	33.70105	19:40:00	63.51423	20:51:00	42.0700	2:16:00	136	29.8132	125763.37	0.2192
2016	Marzo	17	15:02:00	47.50166	15:49:00	75.75640	16:38:00	45.1544	1:36:00	96	28.2547	67918.802	0.2943
2016	Marzo	17	16:47:00	44.52673	17:20:00	65.99476	18:23:00	42.3176	1:36:00	96	21.4680	61609.331	0.2236
2016	Marzo	18	16:51:00	62.11963	17:27:00	186.25776	18:49:00	73.1321	1:58:00	118	124.1381	307740.68	1.0520
2016	Marzo	29	14:49:00	57.13976	15:17:00	175.37239	16:08:00	62.8746	1:19:00	79	118.2326	272452.65	1.4966
2016	Marzo	29	19:36:00	31.84862	20:19:00	75.66011	21:06:00	35.5120	1:30:00	90	43.8115	95425.108	0.4868
2016	Marzo	30	13:49:00	7.27052	15:09:00	84.48430	16:22:00	33.3581	2:33:00	153	77.2138	338920.78	0.5047
2016	Marzo	31	14:09:00	14.07090	15:45:00	98.64112	16:30:00	55.1988	2:21:00	141	84.5702	282274.5	0.5998
2016	Abril	8	17:56:00	53.09222	18:30:00	127.11465	20:10:00	63.0174	2:14:00	134	74.0224	250585.52	0.5524
2016	Abril	9	19:26:00	48.14874	20:07:00	121.21062	20:46:00	41.8047	1:20:00	80	73.0619	112689.34	0.9133
2016	Abril	21	15:03:00	32.17806	16:32:00	68.37722	18:22:00	43.0174	3:19:00	199	36.1992	223410.18	0.1819
2016	Abril	25	17:18:00	80.35907	17:41:00	136.80696	18:39:00	59.5949	1:21:00	81	56.4479	79018.075	0.6969
2016	Abril	27	13:52:00	8.80633	15:49:00	76.50458	17:40:00	40.4770	3:48:00	228	67.6983	526860.27	0.2969

2016	Abril	27	17:55:00	38.30395	18:30:00	74.77372	20:23:00	32.8138	2:28:00	148	36.4698	118273.89	0.2464
2016	Mayo	1	15:05:00	23.77716	16:37:00	77.24795	17:31:00	38.9630	2:26:00	146	53.4708	207244.73	0.3662
2016	Mayo	2	17:56:00	52.33510	19:27:00	105.85374	20:58:00	31.1051	3:02:00	182	53.5186	185634.79	0.2941
2016	Mayo	4	16:20:00	63.92249	17:41:00	296.87829	19:42:00	74.6188	3:22:00	202	232.9558	1363657	1.1532
2016	Mayo	16	16:06:00	49.96506	16:46:00	85.19643	17:29:00	61.4122	1:23:00	83	35.2314	89335.29	0.4245
2016	Mayo	17	16:32:00	31.30700	18:16:00	68.88126	19:13:00	55.1132	2:41:00	161	37.5743	212218.45	0.2334
2016	Mayo	17	19:12:00	53.10924	19:58:00	75.93243	20:46:00	49.5852	1:34:00	94	22.8232	48147.576	0.2428
2016	Mayo	20	18:10:00	40.36073	19:08:00	60.58930	19:58:00	46.9947	1:48:00	108	20.2286	77038.347	0.1873
2016	Mayo	22	16:07:00	46.36888	17:25:00	109.37411	18:53:00	59.3796	2:46:00	166	63.0052	291306.16	0.3795
2016	Mayo	22	18:52:00	59.58067	19:12:00	87.56862	21:22:00	53.6354	2:30:00	150	27.9880	74288.091	0.1866
2016	Mayo	25	19:17:00	106.65517	20:20:00	1005.70482	21:47:00	91.3058	2:30:00	150	899.0496	2020529.9	5.9937
2016	Mayo	26	14:09:00	19.73208	17:00:00	255.37288	18:43:00	53.1331	4:34:00	274	235.6408	1570540.5	0.8600
2016	Mayo	27	14:40:00	13.69123	16:41:00	138.29001	18:46:00	43.9277	4:06:00	246	124.5988	644424.36	0.5065
2016	Mayo	28	16:08:00	14.50051	17:27:00	73.55284	18:56:00	34.3025	2:48:00	168	59.0523	330490.74	0.3515
2016	Mayo	28	20:59:00	41.30961	21:24:00	60.59024	22:45:00	36.0587	1:46:00	106	19.2806	45461.448	0.1819
2016	Mayo	29	18:20:00	60.37351	19:15:00	92.08385	20:45:00	54.3270	2:25:00	145	31.7103	108416.46	0.2187
2016	Junio	15	10:25:00	16.75099	11:21:00	78.32163	12:34:00	22.4031	2:09:00	129	61.5706	182040.1	0.4773
2016	Junio	16	4:33:00	23.93950	5:42:00	95.42693	6:29:00	13.3959	1:56:00	116	71.4874	154874.88	0.6163
2016	Noviembre	10	18:36:00	50.78593	18:57:00	157.49460	19:37:00	41.1040	1:01:00	61	106.7087	120505.47	1.7493
2016	Noviembre	24	18:42:00	23.48722	18:57:00	187.94937	19:51:00	25.0785	1:09:00	69	164.4622	68278.313	2.3835
2017	Abril	13	20:02:00	39.77418	21:06:00	77.84696	21:46:00	35.7529	1:44:00	104	38.0728	58971.666	0.3661
2017	Mayo	19	15:05:30	26.06268	16:55:30	53.69182	18:05:30	28.9690	3:00:00	180	27.6291	130586.54	0.1535
2017	Julio	14	15:38:30	33.28262	18:15:30	76.55342	20:54:30	27.1424	5:16:00	316	43.2708	340178.77	0.1369
2017	Julio	15	15:34:30	31.44707	17:49:30	65.08725	18:51:30	39.4124	3:17:00	197	33.6402	215460.18	0.1708
2017	Octubre	16	17:34:30	46.60051	18:53:30	123.25441	19:57:30	55.5759	2:23:00	143	76.6539	269252.13	0.5360
2017	Octubre	17	17:43:30	42.36782	18:16:30	369.40234	19:12:30	67.6535	1:29:00	89	327.0345	476354.2	3.6745
2017	Octubre	24	14:43:30	9.28366	16:09:30	56.96529	17:58:30	16.4880	3:15:00	195	47.6816	254841.23	0.2445
2017	Noviembre	8	18:07:30	14.53338	18:51:30	72.76884	19:56:30	6.9286	1:49:00	109	58.2355	68680.26	0.5343
2017	Noviembre	30	15:36:30	31.42388	17:48:30	54.16835	19:19:30	27.3127	3:43:00	223	22.7445	120350.81	0.1020

2018	Febrero	25	18:00:30	24.59230	18:48:30	67.68735	20:10:30	26.9014	2:10:00	130	43.0950	160029.43	0.3315
2018	Febrero	26	15:38:30	10.90665	17:38:30	63.38153	20:21:30	18.8981	4:43:00	283	52.4749	466379.54	0.1854
2018	Marzo	13	14:46:30	15.93887	16:33:30	59.21926	17:07:30	35.0957	2:21:00	141	43.2804	190727.04	0.3070
2018	Marzo	13	17:34:30	52.99113	17:43:30	2788.14157	18:32:30	73.8040	0:58:00	58	2735.1504	894271.48	47.1578
2018	Marzo	20	18:36:30	23.50426	19:35:30	58.91323	21:56:30	21.9875	3:20:00	200	35.4090	178105.76	0.1770
2018	Marzo	27	17:59:30	29.79335	18:52:30	180.48744	20:08:30	20.9498	2:09:00	129	150.6941	139599.8	1.1682
2018	Marzo	28	15:04:30	25.37451	16:52:30	68.14589	17:48:30	40.1606	2:44:00	164	42.7714	218489.23	0.2608
2018	Abril	16	18:11:30	29.88215	19:32:30	74.58149	21:16:30	34.7395	3:05:00	185	44.6993	190754.04	0.2416
2018	Abril	19	20:09:30	45.08097	21:23:30	133.50234	22:52:30	44.2510	2:43:00	163	88.4214	226454.69	0.5425
2018	Abril	20	19:54:30	55.58453	20:20:30	133.84249	21:18:30	43.7108	1:24:00	84	78.2580	105513.11	0.9316
2018	Junio	16	16:33:30	27.85955	17:45:30	93.88295	18:54:30	49.3992	2:21:00	141	66.0234	275105.35	0.4683
2018	Junio	16	19:32:00	54.57347	19:54:00	95.58411	21:50:00	33.2803	2:18:00	138	41.0106	56157.172	0.2972
2018	Septiembre	29	17:50:30	31.85060	18:33:30	65.10520	20:54:30	17.4385	3:04:00	184	33.2546	80340.378	0.1807
2018	Octubre	12	18:17:30	28.22530	19:09:30	62.88960	20:03:30	24.6523	1:46:00	106	34.6643	78946.866	0.3270
2018	Octubre	15	16:04:30	40.05550	16:44:30	82.60260	18:18:30	29.3063	2:14:00	134	42.5471	146025.28	0.3175
2018	Noviembre	13	19:02:30	29.79750	19:26:30	79.54440	20:56:30	30.7175	1:54:00	114	49.7469	117874.75	0.4364
2018	Noviembre	14	0:19:30	10.35130	0:36:30	300.43140	1:05:30	22.7688	0:46:00	46	290.0801	183098.5	6.3061
2018	Noviembre	14	16:22:30	33.28580	17:06:30	65.99440	17:50:30	29.3197	1:28:00	88	32.7086	52568.694	0.3717
2018	Noviembre	15	18:28:30	30.53900	19:14:30	157.26820	20:28:30	29.3554	2:00:00	120	126.7292	166992.95	1.0561
2018	Noviembre	16	18:24:30	25.14310	18:59:30	57.14600	20:54:30	28.1282	2:30:00	150	32.0029	104408.51	0.2134
2018	Noviembre	17	14:05:30	6.27160	15:52:30	84.77970	17:48:30	25.1713	3:43:00	223	78.5081	504621.8	0.3521
2018	Noviembre	18	15:28:30	37.78640	15:42:30	1949.73850	16:27:30	116.3465	0:59:00	59	1911.9521	1391749.3	32.4060
2018	Noviembre	18	16:57:30	55.62200	17:15:30	3141.17700	17:59:30	39.5599	1:02:00	62	3085.5550	916437.24	49.7670
2018	Noviembre	19	16:41:30	12.86840	17:25:30	70.07850	18:37:30	27.0851	1:56:00	116	57.2101	163985.72	0.4932
2018	Noviembre	22	16:12:30	14.63130	16:44:30	106.05720	17:44:30	18.6642	1:32:00	92	91.4259	141244.76	0.9938
2018	Noviembre	25	19:57:30	23.38760	20:16:30	207.51410	21:10:30	27.0892	1:13:00	73	184.1265	153845.58	2.5223
2018	Diciembre	1	14:52:30	9.80640	15:54:30	101.92690	16:51:30	44.7730	1:59:00	119	92.1205	362887.18	0.7741
2018	Diciembre	1	17:02:30	43.91410	17:38:30	70.91790	19:10:30	22.6335	2:08:00	128	27.0038	46773.822	0.2110
2019	Enero	20	17:59:30	52.16970	18:22:30	923.18730	19:30:30	57.5725	1:31:00	91	871.0176	445884.02	9.5716

2019	Enero	27	15:45:30	26.49860	17:16:30	56.22680	18:16:30	34.8726	2:31:00	151	29.7282	109196.74	0.1969
2019	Febrero	4	18:57:30	45.65650	19:32:30	189.12340	20:57:30	41.4414	2:00:00	120	143.4669	280308.4	1.1956
2019	Febrero	5	18:02:30	59.33040	18:38:30	271.58450	19:23:30	71.1433	1:21:00	81	212.2541	255854.77	2.6204
2019	Febrero	6	19:20:30	54.48780	20:12:30	215.10050	21:17:30	37.1585	1:57:00	117	160.6127	331235.24	1.3728
2019	Febrero	15	15:48:30	34.74340	16:49:30	84.30780	18:06:30	42.2989	2:18:00	138	49.5644	191759.37	0.3592
2019	Febrero	16	14:42:30	19.41210	17:03:30	69.47750	18:53:30	34.5211	4:11:00	251	50.0654	393916.15	0.1995
2019	Febrero	17	15:07:30	31.34620	17:42:30	91.67620	19:47:30	25.0501	4:40:00	280	60.3300	432302.9	0.2155
2019	Marzo	10	18:24:30	25.52850	19:23:30	66.59410	20:43:30	30.7647	2:19:00	139	41.0656	134432.91	0.2954
2019	Marzo	11	17:10:30	33.91040	18:13:30	107.01950	20:07:30	44.4983	2:57:00	177	73.1091	327726.83	0.4130
2019	Marzo	25	13:36:30	4.69020	16:05:30	58.75930	17:56:30	30.1016	4:20:00	260	54.0691	467899.13	0.2080
2019	Marzo	26	14:33:30	17.83960	16:24:30	78.85350	17:17:30	39.8775	2:44:00	164	61.0139	308489.56	0.3720
2019	Marzo	26	17:22:30	39.68930	17:57:30	75.11660	18:33:30	47.2804	1:11:00	71	35.4273	50822.184	0.4990
2019	Marzo	30	16:56:30	37.60470	17:48:30	71.21220	18:44:30	48.6577	1:48:00	108	33.6075	106506.14	0.3112
2019	Marzo	30	19:44:30	47.94590	20:17:30	89.60550	21:20:30	45.4613	1:36:00	96	41.6596	41058.066	0.4340
2019	Abril	10	16:29:30	59.67350	16:58:30	1067.41460	17:58:30	107.1584	1:29:00	89	1007.7411	884770.19	11.3229
2019	Abril	11	14:04:30	9.61910	15:33:30	75.93630	16:05:30	54.4220	2:01:00	121	66.3172	263364.86	0.5481
2019	Abril	11	18:36:30	42.95310	19:19:30	66.13130	20:21:30	42.7121	1:45:00	105	23.1782	67935.318	0.2207
2019	Mayo	7	16:57:30	69.77070	17:03:30	4162.89540	17:29:30	354.1124	0:32:00	32	4093.1247	1847868.1	127.9101
2019	Mayo	7	17:31:30	327.56810	17:36:30	5633.23090	18:39:30	586.1819	1:08:00	68	5305.6628	4671109.7	78.0245
2019	Mayo	8	17:12:30	37.64750	19:03:30	147.72810	20:20:30	32.3534	3:08:00	188	110.0806	345494.84	0.5855
2019	Mayo	9	14:30:30	14.28270	16:14:30	94.33170	16:57:30	46.6449	2:27:00	147	80.0490	338505.47	0.5446
2019	Mayo	9	16:57:30	46.64490	17:23:30	86.33330	18:46:30	48.4588	1:49:00	109	39.6884	112400.18	0.3641
2019	Mayo	9	19:19:30	60.40790	19:49:30	173.65680	21:30:30	50.3410	2:11:00	131	113.2489	192784.85	0.8645
2019	Junio	9	20:01:30	369.69100	20:19:30	5186.74930	20:48:30	492.2458	0:47:00	47	4817.0583	1536582.2	102.4906
2019	Junio	9	22:05:30	176.07560	22:11:30	5036.40690	23:00:30	198.5459	0:55:00	55	4860.3313	1526998.2	88.3697
2019	Junio	10	17:02:30	40.92020	19:08:30	84.89480	20:59:30	33.6176	3:57:00	237	43.9746	147704.73	0.1855
2019	Junio	14	16:15:30	19.99080	17:54:30	88.86720	20:24:30	25.6236	4:09:00	249	68.8764	358865.06	0.2766
2019	Junio	16	16:25:30	30.66480	16:43:30	90.26990	17:21:30	50.0949	0:56:00	56	59.6051	84989.514	1.0644
2019	Julio	3	17:01:30	25.27450	18:27:30	100.18880	19:50:30	33.7619	2:49:00	169	74.9143	271422.02	0.4433

2019	Noviembre	2	19:50:00	10.44190	20:22:00	66.77390	21:06:00	8.7796	1:16:00	76	56.3320	59244.678	0.7412
2019	Diciembre	23	19:51:00	46.30340	20:30:00	2757.09950	20:39:00	0.0000	0:48:00	48	2710.7961	854759.87	56.4749
2020	Enero	6	15:36:00	23.21620	17:16:00	65.20370	18:09:00	31.0509	2:33:00	153	41.9875	165818.06	0.2744
2020	Enero	22	19:39:00	15.39660	20:08:00	82.59670	21:27:00	17.0066	1:48:00	108	67.2001	118579.02	0.6222
2020	Febrero	25	16:31:00	27.60770	17:26:00	69.73240	19:22:00	29.4558	2:51:00	171	42.1247	144510.92	0.2463
2020	Febrero	26	19:11:00	21.48170	20:00:00	75.76300	20:44:00	21.3096	1:33:00	93	54.2813	81995.19	0.5837
2020	Marzo	13	17:19:00	34.49010	17:27:00	119.29300	18:30:00	14.8081	1:11:00	71	84.8029	65911.962	1.1944
2020	Marzo	19	17:46:00	43.05450	18:20:00	141.95760	20:26:00	25.0660	2:40:00	160	98.9031	324292.2	0.6181
2020	Marzo	20	16:58:00	53.62020	18:25:00	160.09410	19:25:00	42.0263	2:27:00	147	106.4739	298471.32	0.7243
2020	Marzo	21	17:55:00	27.82270	19:35:00	71.50030	21:25:00	21.5623	3:30:00	210	43.6776	213840.73	0.2080
2020	Abril	2	19:00:00	72.80490	19:17:00	1887.96010	20:33:00	147.7361	1:33:00	93	1815.1552	1535673.5	19.5178
2020	Abril	9	17:23:00	60.32790	17:36:00	119.28030	18:42:00	33.5283	1:19:00	79	58.9524	65538.984	0.7462
2020	Abril	10	14:10:00	14.92840	18:02:00	109.68680	19:23:00	32.0003	5:13:00	313	94.7584	712634.35	0.3027
2020	Mayo	3	16:35:00	35.66890	18:12:00	185.62760	19:15:00	65.6563	2:40:00	160	149.9587	650805.45	0.9372
2020	Mayo	3	20:13:00	89.14730	20:24:00	1380.32500	21:40:00	57.6178	1:27:00	87	1291.1777	819814.18	14.8411
2020	Mayo	9	17:05:00	42.68810	19:13:00	73.53930	20:57:00	29.3802	3:52:00	232	30.8512	138596.12	0.1330
2020	Mayo	16	19:03:00	39.40760	19:46:00	90.11020	21:16:00	33.0239	2:13:00	133	50.7026	117529.2	0.3812
2020	Mayo	18	19:28:00	41.11000	20:12:00	73.56920	21:56:00	34.5962	2:28:00	148	32.4592	119459.12	0.2193
2020	Mayo	22	18:36:00	41.53590	19:18:00	94.61210	20:17:00	42.1826	1:41:00	101	53.0762	143483.77	0.5255
2020	Mayo	28	16:06:00	27.95190	19:22:00	59.05880	21:22:00	23.6185	5:16:00	316	31.1069	253231.54	0.0984
2020	Junio	2	14:07:00	7.19780	15:59:00	64.39430	17:48:00	24.8056	3:41:00	221	57.1965	366608.15	0.2588
2020	Junio	4	18:35:00	63.82040	19:18:00	149.85100	20:19:00	56.6017	1:44:00	104	86.0306	148509	0.8272
2020	Junio	7	16:36:00	14.69790	18:54:00	59.10080	21:54:00	18.4537	5:18:00	318	44.4029	434068.04	0.1396
2020	Junio	11	15:03:00	21.58760	17:57:00	79.34350	19:56:00	22.4515	4:53:00	293	57.7559	345339.57	0.1971
2020	Octubre	16	17:38:00	15.14140	19:29:00	63.47900	20:17:00	30.9131	2:39:00	159	48.3376	197280.04	0.3040

ANEXO II. Tabla de los parámetros de lahares tipo A en la Quebrada Jatabamba.

Año	Mes	Día	Hora de Inicio del evento	Amplitud de Inicio del evento	Hora Máxima del evento	Amplitud Máxima del evento	Hora de Fin de Evento	Amplitud de Fin del Evento	Duración (horas)	Duración (minutos)	Amplitud relativa máxima	Magnitud	Indice
2015	Noviembre	20	16:35:00	37.91447	16:47:00	631.33158	17:25:00	52.4380	0:50:00	50	593.4171	317609.7116	11.8683
2015	Diciembre	31	18:02:00	62.71348	18:26:00	458.14523	19:16:00	71.4849	1:14:00	74	395.4318	601248.4984	5.3437
2016	Mayo	25	19:17:00	106.65517	20:20:00	1005.70482	21:47:00	91.3058	2:30:00	150	899.0496	2020529.873	5.9937
2017	Octubre	17	17:43:30	42.36782	18:16:30	369.40234	19:12:30	67.6535	1:29:00	89	327.0345	476354.2004	3.6745
2018	Marzo	13	17:34:30	52.99113	17:43:30	2788.14157	18:32:30	73.8040	0:58:00	58	2735.1504	894271.4815	47.1578
2018	Noviembre	14	0:19:30	10.35130	0:36:30	300.43140	1:05:30	22.7688	0:46:00	46	290.0801	183098.502	6.3061
2018	Noviembre	18	15:28:30	37.78640	15:42:30	1949.73850	16:27:30	116.3465	0:59:00	59	1911.9521	1391749.296	32.4060
2018	Noviembre	18	16:57:30	55.62200	17:15:30	3141.17700	17:59:30	39.5599	1:02:00	62	3085.5550	916437.24	49.7670
2019	Enero	20	17:59:30	52.16970	18:22:30	923.18730	19:30:30	57.5725	1:31:00	91	871.0176	445884.024	9.5716
2019	Abril	10	16:29:30	59.67350	16:58:30	1067.41460	17:58:30	107.1584	1:29:00	89	1007.7411	884770.188	11.3229
2019	Mayo	7	16:57:30	69.77070	17:03:30	4162.89540	17:29:30	354.1124	0:32:00	32	4093.1247	1847868.108	127.9101
2019	Mayo	7	17:31:30	327.56810	17:36:30	5633.23090	18:39:30	586.1819	1:08:00	68	5305.6628	4671109.734	78.0245
2019	Junio	9	20:01:30	369.69100	20:19:30	5186.74930	20:48:30	492.2458	0:47:00	47	4817.0583	1536582.216	102.4906
2019	Junio	9	22:05:30	176.07560	22:11:30	5036.40690	23:00:30	198.5459	0:55:00	55	4860.3313	1526998.236	88.3697
2019	Diciembre	23	19:51:00	46.30340	20:30:00	2757.09950	20:39:00	0.0000	0:48:00	48	2710.7961	854759.868	56.4749
2020	Abril	2	19:00:00	72.80490	19:17:00	1887.96010	20:33:00	147.7361	1:33:00	93	1815.1552	1535673.48	19.5178
2020	Mayo	3	20:13:00	89.14730	20:24:00	1380.32500	21:40:00	57.6178	1:27:00	87	1291.1777	819814.176	14.8411

ANEXO III. Tabla de los parámetros de lahares tipo B en la Quebrada Jatabamba.

Año	Mes	Día	Hora de Inicio del evento	Amplitud de Inicio del evento	Hora Máxima del evento	Amplitud Máxima del evento	Hora de Fin de Evento	Amplitud de Fin del Evento	Duración (horas)	Duración (minutos)	Amplitud relativa máxima	Magnitud	Indice
2015	Octubre	11	15:39:00	15.01392	16:20:00	65.02454	16:58:00	20.4314	1:19:00	79	50.0106	76263.0697	0.6330
2015	Octubre	31	14:46:00	28.24180	16:05:00	71.90959	16:59:00	33.5899	2:13:00	133	43.6678	142945.2452	0.3283
2015	Noviembre	28	14:38:00	26.08583	16:10:00	67.04816	17:17:00	26.5451	2:39:00	159	40.9623	152032.0028	0.2576
2016	Febrero	15	17:58:00	79.37438	18:32:00	128.91036	19:15:00	75.6891	1:17:00	77	49.5360	75192.09277	0.6433
2016	Febrero	19	19:24:00	45.43916	20:05:00	76.51151	20:59:00	47.4250	1:35:00	105	31.0724	54436.04783	0.2959
2016	Febrero	20	17:17:00	48.04544	17:59:00	117.65510	18:37:00	48.8853	1:20:00	80	69.6097	61472.17804	0.8701
2016	Febrero	27	18:32:00	39.54144	19:22:00	78.88542	20:25:00	39.5846	1:53:00	113	39.3440	100627.959	0.3482
2016	Marzo	6	16:18:00	46.03390	17:30:00	101.03259	18:57:00	39.5116	2:39:00	159	54.9987	199999.2882	0.3459
2016	Marzo	16	18:35:00	33.70105	19:40:00	63.51423	20:51:00	42.0700	2:16:00	136	29.8132	125763.3728	0.2192
2016	Marzo	17	15:02:00	47.50166	15:49:00	75.75640	16:38:00	45.1544	1:36:00	96	28.2547	67918.80183	0.2943
2016	Marzo	17	16:47:00	44.52673	17:20:00	65.99476	18:23:00	42.3176	1:36:00	96	21.4680	61609.33057	0.2236
2016	Marzo	18	16:51:00	62.11963	17:27:00	186.25776	18:49:00	73.1321	1:58:00	118	124.1381	307740.6768	1.0520
2016	Marzo	29	14:49:00	57.13976	15:17:00	175.37239	16:08:00	62.8746	1:19:00	79	118.2326	272452.651	1.4966
2016	Marzo	29	19:36:00	31.84862	20:19:00	75.66011	21:06:00	35.5120	1:30:00	90	43.8115	95425.10769	0.4868
2016	Marzo	30	13:49:00	7.27052	15:09:00	84.48430	16:22:00	33.3581	2:33:00	153	77.2138	338920.7833	0.5047
2016	Marzo	31	14:09:00	14.07090	15:45:00	98.64112	16:30:00	55.1988	2:21:00	141	84.5702	282274.4961	0.5998
2016	Abril	8	17:56:00	53.09222	18:30:00	127.11465	20:10:00	63.0174	2:14:00	134	74.0224	250585.5197	0.5524
2016	Abril	9	19:26:00	48.14874	20:07:00	121.21062	20:46:00	41.8047	1:20:00	80	73.0619	112689.3381	0.9133
2016	Abril	21	15:03:00	32.17806	16:32:00	68.37722	18:22:00	43.0174	3:19:00	199	36.1992	223410.1806	0.1819
2016	Abril	25	17:18:00	80.35907	17:41:00	136.80696	18:39:00	59.5949	1:21:00	81	56.4479	79018.07529	0.6969
2016	Abril	27	13:52:00	8.80633	15:49:00	76.50458	17:40:00	40.4770	3:48:00	228	67.6983	526860.2671	0.2969
2016	Abril	27	17:55:00	38.30395	18:30:00	74.77372	20:23:00	32.8138	2:28:00	148	36.4698	118273.8931	0.2464

2016	Mayo	1	15:05:00	23.77716	16:37:00	77.24795	17:31:00	38.9630	2:26:00	146	53.4708	207244.7346	0.3662
2016	Mayo	2	17:56:00	52.33510	19:27:00	105.85374	20:58:00	31.1051	3:02:00	182	53.5186	185634.7877	0.2941
2016	Mayo	4	16:20:00	63.92249	17:41:00	296.87829	19:42:00	74.6188	3:22:00	202	232.9558	1363657.025	1.1532
2016	Mayo	16	16:06:00	49.96506	16:46:00	85.19643	17:29:00	61.4122	1:23:00	83	35.2314	89335.28955	0.4245
2016	Mayo	17	16:32:00	31.30700	18:16:00	68.88126	19:13:00	55.1132	2:41:00	161	37.5743	212218.4487	0.2334
2016	Mayo	17	19:12:00	53.10924	19:58:00	75.93243	20:46:00	49.5852	1:34:00	94	22.8232	48147.57604	0.2428
2016	Mayo	20	18:10:00	40.36073	19:08:00	60.58930	19:58:00	46.9947	1:48:00	108	20.2286	77038.34664	0.1873
2016	Mayo	22	16:07:00	46.36888	17:25:00	109.37411	18:53:00	59.3796	2:46:00	166	63.0052	291306.161	0.3795
2016	Mayo	22	18:52:00	59.58067	19:12:00	87.56862	21:22:00	53.6354	2:30:00	150	27.9880	74288.09062	0.1866
2016	Mayo	26	14:09:00	19.73208	17:00:00	255.37288	18:43:00	53.1331	4:34:00	274	235.6408	1570540.465	0.8600
2016	Mayo	27	14:40:00	13.69123	16:41:00	138.29001	18:46:00	43.9277	4:06:00	246	124.5988	644424.365	0.5065
2016	Mayo	28	16:08:00	14.50051	17:27:00	73.55284	18:56:00	34.3025	2:48:00	168	59.0523	330490.7446	0.3515
2016	Mayo	28	20:59:00	41.30961	21:24:00	60.59024	22:45:00	36.0587	1:46:00	106	19.2806	45461.44831	0.1819
2016	Mayo	29	18:20:00	60.37351	19:15:00	92.08385	20:45:00	54.3270	2:25:00	145	31.7103	108416.4622	0.2187
2016	Junio	15	10:25:00	16.75099	11:21:00	78.32163	12:34:00	22.4031	2:09:00	129	61.5706	182040.1043	0.4773
2016	Junio	16	4:33:00	23.93950	5:42:00	95.42693	6:29:00	13.3959	1:56:00	116	71.4874	154874.8832	0.6163
2016	Noviembre	10	18:36:00	50.78593	18:57:00	157.49460	19:37:00	41.1040	1:01:00	61	106.7087	120505.4692	1.7493
2016	Noviembre	24	18:42:00	23.48722	18:57:00	187.94937	19:51:00	25.0785	1:09:00	69	164.4622	68278.31342	2.3835
2017	Abril	13	20:02:00	39.77418	21:06:00	77.84696	21:46:00	35.7529	1:44:00	104	38.0728	58971.66631	0.3661
2017	Mayo	19	15:05:30	26.06268	16:55:30	53.69182	18:05:30	28.9690	3:00:00	180	27.6291	130586.5433	0.1535
2017	Julio	14	15:38:30	33.28262	18:15:30	76.55342	20:54:30	27.1424	5:16:00	316	43.2708	340178.772	0.1369
2017	Julio	15	15:34:30	31.44707	17:49:30	65.08725	18:51:30	39.4124	3:17:00	197	33.6402	215460.1843	0.1708
2017	Octubre	16	17:34:30	46.60051	18:53:30	123.25441	19:57:30	55.5759	2:23:00	143	76.6539	269252.1324	0.5360
2017	Octubre	24	14:43:30	9.28366	16:09:30	56.96529	17:58:30	16.4880	3:15:00	195	47.6816	254841.2288	0.2445
2017	Noviembre	8	18:07:30	14.53338	18:51:30	72.76884	19:56:30	6.9286	1:49:00	109	58.2355	68680.26005	0.5343
2017	Noviembre	30	15:36:30	31.42388	17:48:30	54.16835	19:19:30	27.3127	3:43:00	223	22.7445	120350.8095	0.1020
2018	Febrero	25	18:00:30	24.59230	18:48:30	67.68735	20:10:30	26.9014	2:10:00	130	43.0950	160029.4345	0.3315

2018	Febrero	26	15:38:30	10.90665	17:38:30	63.38153	20:21:30	18.8981	4:43:00	283	52.4749	466379.5372	0.1854
2018	Marzo	13	14:46:30	15.93887	16:33:30	59.21926	17:07:30	35.0957	2:21:00	141	43.2804	190727.0406	0.3070
2018	Marzo	20	18:36:30	23.50426	19:35:30	58.91323	21:56:30	21.9875	3:20:00	200	35.4090	178105.7627	0.1770
2018	Marzo	27	17:59:30	29.79335	18:52:30	180.48744	20:08:30	20.9498	2:09:00	129	150.6941	139599.8004	1.1682
2018	Marzo	28	15:04:30	25.37451	16:52:30	68.14589	17:48:30	40.1606	2:44:00	164	42.7714	218489.2316	0.2608
2018	Abril	16	18:11:30	29.88215	19:32:30	74.58149	21:16:30	34.7395	3:05:00	185	44.6993	190754.0386	0.2416
2018	Abril	19	20:09:30	45.08097	21:23:30	133.50234	22:52:30	44.2510	2:43:00	163	88.4214	226454.6877	0.5425
2018	Abril	20	19:54:30	55.58453	20:20:30	133.84249	21:18:30	43.7108	1:24:00	84	78.2580	105513.1051	0.9316
2018	Junio	16	16:33:30	27.85955	17:45:30	93.88295	18:54:30	49.3992	2:21:00	141	66.0234	275105.3492	0.4683
2018	Junio	16	19:32:00	54.57347	19:54:00	95.58411	21:50:00	33.2803	2:18:00	138	41.0106	56157.17176	0.2972
2018	Septiembre	29	17:50:30	31.85060	18:33:30	65.10520	20:54:30	17.4385	3:04:00	184	33.2546	80340.378	0.1807
2018	Octubre	12	18:17:30	28.22530	19:09:30	62.88960	20:03:30	24.6523	1:46:00	106	34.6643	78946.866	0.3270
2018	Octubre	15	16:04:30	40.05550	16:44:30	82.60260	18:18:30	29.3063	2:14:00	134	42.5471	146025.282	0.3175
2018	Noviembre	13	19:02:30	29.79750	19:26:30	79.54440	20:56:30	30.7175	1:54:00	114	49.7469	117874.746	0.4364
2018	Noviembre	14	16:22:30	33.28580	17:06:30	65.99440	17:50:30	29.3197	1:28:00	88	32.7086	52568.694	0.3717
2018	Noviembre	15	18:28:30	30.53900	19:14:30	157.26820	20:28:30	29.3554	2:00:00	120	126.7292	166992.948	1.0561
2018	Noviembre	16	18:24:30	25.14310	18:59:30	57.14600	20:54:30	28.1282	2:30:00	150	32.0029	104408.508	0.2134
2018	Noviembre	17	14:05:30	6.27160	15:52:30	84.77970	17:48:30	25.1713	3:43:00	223	78.5081	504621.804	0.3521
2018	Noviembre	19	16:41:30	12.86840	17:25:30	70.07850	18:37:30	27.0851	1:56:00	116	57.2101	163985.718	0.4932
2018	Noviembre	22	16:12:30	14.63130	16:44:30	106.05720	17:44:30	18.6642	1:32:00	92	91.4259	141244.758	0.9938
2018	Noviembre	25	19:57:30	23.38760	20:16:30	207.51410	21:10:30	27.0892	1:13:00	73	184.1265	153845.58	2.5223
2018	Diciembre	1	14:52:30	9.80640	15:54:30	101.92690	16:51:30	44.7730	1:59:00	119	92.1205	362887.182	0.7741
2018	Diciembre	1	17:02:30	43.91410	17:38:30	70.91790	19:10:30	22.6335	2:08:00	128	27.0038	46773.822	0.2110
2019	Enero	27	15:45:30	26.49860	17:16:30	56.22680	18:16:30	34.8726	2:31:00	151	29.7282	109196.736	0.1969
2019	Febrero	4	18:57:30	45.65650	19:32:30	189.12340	20:57:30	41.4414	2:00:00	120	143.4669	280308.396	1.1956
2019	Febrero	5	18:02:30	59.33040	18:38:30	271.58450	19:23:30	71.1433	1:21:00	81	212.2541	255854.772	2.6204
2019	Febrero	6	19:20:30	54.48780	20:12:30	215.10050	21:17:30	37.1585	1:57:00	117	160.6127	331235.244	1.3728

2019	Febrero	15	15:48:30	34.74340	16:49:30	84.30780	18:06:30	42.2989	2:18:00	138	49.5644	191759.37	0.3592
2019	Febrero	16	14:42:30	19.41210	17:03:30	69.47750	18:53:30	34.5211	4:11:00	251	50.0654	393916.146	0.1995
2019	Febrero	17	15:07:30	31.34620	17:42:30	91.67620	19:47:30	25.0501	4:40:00	280	60.3300	432302.898	0.2155
2019	Marzo	10	18:24:30	25.52850	19:23:30	66.59410	20:43:30	30.7647	2:19:00	139	41.0656	134432.91	0.2954
2019	Marzo	11	17:10:30	33.91040	18:13:30	107.01950	20:07:30	44.4983	2:57:00	177	73.1091	327726.828	0.4130
2019	Marzo	25	13:36:30	4.69020	16:05:30	58.75930	17:56:30	30.1016	4:20:00	260	54.0691	467899.128	0.2080
2019	Marzo	26	14:33:30	17.83960	16:24:30	78.85350	17:17:30	39.8775	2:44:00	164	61.0139	308489.562	0.3720
2019	Marzo	26	17:22:30	39.68930	17:57:30	75.11660	18:33:30	47.2804	1:11:00	71	35.4273	50822.184	0.4990
2019	Marzo	30	16:56:30	37.60470	17:48:30	71.21220	18:44:30	48.6577	1:48:00	108	33.6075	106506.138	0.3112
2019	Marzo	30	19:44:30	47.94590	20:17:30	89.60550	21:20:30	45.4613	1:36:00	96	41.6596	41058.066	0.4340
2019	Abril	11	14:04:30	9.61910	15:33:30	75.93630	16:05:30	54.4220	2:01:00	121	66.3172	263364.858	0.5481
2019	Abril	11	18:36:30	42.95310	19:19:30	66.13130	20:21:30	42.7121	1:45:00	105	23.1782	67935.318	0.2207
2019	Mayo	8	17:12:30	37.64750	19:03:30	147.72810	20:20:30	32.3534	3:08:00	188	110.0806	345494.844	0.5855
2019	Mayo	9	14:30:30	14.28270	16:14:30	94.33170	16:57:30	46.6449	2:27:00	147	80.0490	338505.474	0.5446
2019	Mayo	9	16:57:30	46.64490	17:23:30	86.33330	18:46:30	48.4588	1:49:00	109	39.6884	112400.184	0.3641
2019	Mayo	9	19:19:30	60.40790	19:49:30	173.65680	21:30:30	50.3410	2:11:00	131	113.2489	192784.848	0.8645
2019	Junio	10	17:02:30	40.92020	19:08:30	84.89480	20:59:30	33.6176	3:57:00	237	43.9746	147704.73	0.1855
2019	Junio	14	16:15:30	19.99080	17:54:30	88.86720	20:24:30	25.6236	4:09:00	249	68.8764	358865.064	0.2766
2019	Junio	16	16:25:30	30.66480	16:43:30	90.26990	17:21:30	50.0949	0:56:00	56	59.6051	84989.514	1.0644
2019	Julio	3	17:01:30	25.27450	18:27:30	100.18880	19:50:30	33.7619	2:49:00	169	74.9143	271422.018	0.4433
2019	Noviembre	2	19:50:00	10.44190	20:22:00	66.77390	21:06:00	8.7796	1:16:00	76	56.3320	59244.678	0.7412
2020	Enero	6	15:36:00	23.21620	17:16:00	65.20370	18:09:00	31.0509	2:33:00	153	41.9875	165818.064	0.2744
2020	Enero	22	19:39:00	15.39660	20:08:00	82.59670	21:27:00	17.0066	1:48:00	108	67.2001	118579.02	0.6222
2020	Febrero	25	16:31:00	27.60770	17:26:00	69.73240	19:22:00	29.4558	2:51:00	171	42.1247	144510.924	0.2463
2020	Febrero	26	19:11:00	21.48170	20:00:00	75.76300	20:44:00	21.3096	1:33:00	93	54.2813	81995.19	0.5837
2020	Marzo	13	17:19:00	34.49010	17:27:00	119.29300	18:30:00	14.8081	1:11:00	71	84.8029	65911.962	1.1944
2020	Marzo	19	17:46:00	43.05450	18:20:00	141.95760	20:26:00	25.0660	2:40:00	160	98.9031	324292.2	0.6181

2020	Marzo	20	16:58:00	53.62020	18:25:00	160.09410	19:25:00	42.0263	2:27:00	147	106.4739	298471.32	0.7243
2020	Marzo	21	17:55:00	27.82270	19:35:00	71.50030	21:25:00	21.5623	3:30:00	210	43.6776	213840.732	0.2080
2020	Abril	9	17:23:00	60.32790	17:36:00	119.28030	18:42:00	33.5283	1:19:00	79	58.9524	65538.984	0.7462
2020	Abril	10	14:10:00	14.92840	18:02:00	109.68680	19:23:00	32.0003	5:13:00	313	94.7584	712634.346	0.3027
2020	Mayo	3	16:35:00	35.66890	18:12:00	185.62760	19:15:00	65.6563	2:40:00	160	149.9587	650805.45	0.9372
2020	Mayo	9	17:05:00	42.68810	19:13:00	73.53930	20:57:00	29.3802	3:52:00	232	30.8512	138596.124	0.1330
2020	Mayo	16	19:03:00	39.40760	19:46:00	90.11020	21:16:00	33.0239	2:13:00	133	50.7026	117529.2	0.3812
2020	Mayo	18	19:28:00	41.11000	20:12:00	73.56920	21:56:00	34.5962	2:28:00	148	32.4592	119459.124	0.2193
2020	Mayo	22	18:36:00	41.53590	19:18:00	94.61210	20:17:00	42.1826	1:41:00	101	53.0762	143483.766	0.5255
2020	Mayo	28	16:06:00	27.95190	19:22:00	59.05880	21:22:00	23.6185	5:16:00	316	31.1069	253231.542	0.0984
2020	Junio	2	14:07:00	7.19780	15:59:00	64.39430	17:48:00	24.8056	3:41:00	221	57.1965	366608.154	0.2588
2020	Junio	4	18:35:00	63.82040	19:18:00	149.85100	20:19:00	56.6017	1:44:00	104	86.0306	148509	0.8272
2020	Junio	7	16:36:00	14.69790	18:54:00	59.10080	21:54:00	18.4537	5:18:00	318	44.4029	434068.038	0.1396
2020	Junio	11	15:03:00	21.58760	17:57:00	79.34350	19:56:00	22.4515	4:53:00	293	57.7559	345339.57	0.1971
2020	Octubre	16	17:38:00	15.14140	19:29:00	63.47900	20:17:00	30.9131	2:39:00	159	48.3376	197280.036	0.3040

ANEXO IV. Tabla de datos mensuales/ semanales de pluviosidad de la estación M5076 del FONAG.

Año	Mes	Pluviosidad acumulada mensualmente	Semana	Pluviosidad acumulada semanalmente
2015	Octubre	44.00	1	10.1
			2	26.7
			3	4.7
			4	0.4
	Noviembre	154.5	5	8.5
			6	96.1
			7	8.3
			8	35.3
			9	9.3
	Diciembre	9.5	10	0.2
			11	7.3
			12	0.3
			13	0.8
2016	Enero	61.7	14	14
			15	21.9
			16	0.5
			17	17.4
			18	14.5
	Febrero	46.4	19	20.5
			20	6.4
			21	3.7
			22	14.8
	Marzo	82.2	23	27.7
			24	33
			25	9.6
			26	6.3
	Abril	168.6	27	76.2
			28	30.2
			29	19.9
			30	15.1
	Mayo	33.1	31	21.3
			32	2.8
			33	5.1
			34	4.1
			35	17.1
	Junio	92.8	36	38.9
			37	16.2
			38	28.5
			39	7.1
	Julio	30.6	40	4
			41	3.8
			42	10.4
			43	8.8

		44	7.7
Agosto	18	45	0.3
		46	0.8
		47	6.5
		48	8.3
Septiembre	63.5	49	5.9
		50	37.7
		51	13.9
		52	4.8
Octubre	53.8	53	12.6
		54	12.6
		55	21
		56	7.7
Noviembre	69	57	2.1
		58	25.4
		59	11
		60	0.5
Diciembre	115.6	61	31.1
		62	45.2
		63	11.6
		64	31
2017	Enero	65	25.5
		66	15.1
		67	41
		68	31.6
		69	26
Febrero	71.1	70	9.4
		71	5.7
		72	8.6
		73	31.1
Marzo	167.9	74	27
		75	13.1
		76	52.9
		77	48.8
Abril	93.6	78	32.8
		79	23.5
		80	37.5
		81	13.2
Mayo	93.7	82	26.4
		83	19.5
		84	45.3
		85	23.2
Junio	76	86	12.8
		87	4.1
		88	7.6
		89	45.3
		90	18.2
		91	4.8

		92	2.2
		93	10.4
	Julio	94	7.2
		95	25.5
		96	5.2
		97	5.7
	Agosto	98	2
		99	23.9
		100	25.7
		101	25
	Septiembre	102	6.2
		103	5.8
		104	3.4
		105	26.8
	Octubre	106	10.8
		107	7
		108	13.1
		109	12.6
		110	14.4
	Noviembre	111	31.1
		112	29.3
		113	2.3
		114	13.1
	Diciembre	115	15.7
		116	5.1
		117	30.6
2018		118	65.6
	Enero	119	3.9
		120	28
		121	11
		122	0.5
		123	19.9
	Febrero	124	6.5
		125	32.5
		126	13.6
		127	2.5
	Marzo	128	0.8
		129	2.4
		130	28.6
		131	48
	Abril	132	15.9
		133	6.8
		134	9.7
		135	19.4
	Mayo	136	37.7
		137	23.5
		138	8.3
		139	13.7

	Junio	31.7	140	5.2
			141	2
			142	12.1
			143	4.7
	Julio	22	144	13.2
			145	1.5
			146	2.5
			147	5.1
			148	17.7
	Agosto	64.1	149	21.9
			150	18.6
			151	9.9
			152	3.4
	Septiembre	48	153	30.3
			154	5.8
			155	11
			156	0.4
	Octubre	60	157	10
			158	25.7
159			1.9	
160			1.1	
161			21.8	
Noviembre	129.8	162	25.8	
		163	35	
		164	36.4	
		165	26.8	
Diciembre	18.6	166	12.1	
		167	3.4	
		168	4.8	
		169	2.9	
2019	Enero	51.6	170	1.2
171			15.4	
172			13.6	
173			2.5	
Febrero	85	174	20.1	
		175	5.4	
		176	11.5	
		177	25.7	
Marzo	78.6	178	42.4	
		179	12.8	
		180	0.8	
		181	19.7	
Abril	75.7	182	44.3	
		183	15.4	
		184	24.2	
		185	0.8	
Mayo	97	186	30.1	
		187	6.2	

		188	6.6	
		189	24	
		190	29	
		191	34.6	
Junio	58.6	192	10.6	
		193	6	
		194	17.6	
		195	21.4	
Julio	33.3	196	5.8	
		197	9.8	
		198	8.5	
		199	9.6	
		200	5.4	
Agosto	35.7	201	4.9	
		202	15	
		203	9	
		204	6.6	
Septiembre	41.6	205	0.7	
		206	0.5	
		207	2.6	
		208	23.9	
Octubre	65.1	209	14.7	
		210	9	
		211	1.5	
		212	32.3	
		213	21.7	
Noviembre	88.6	214	11	
		215	26.3	
		216	19.6	
		217	28.1	
Diciembre	85.4	218	10.2	
		219	38.7	
		220	18.4	
		221	7.2	
2020	Enero	59	222	18.7
223			13.7	
224			1.8	
225			29.5	
226			9.6	
Febrero	74.4	227	5.9	
		228	2.9	
		229	0.8	
		230	42.4	
Marzo	49.6	231	23.5	
		232	2.4	
		233	21.2	
		234	0	
Abril	76.9	235	25.7	

		236	8.4
		237	52.4
		238	5.6
Mayo	55.6	239	9.9
		240	9
		241	24.8
		242	6.3
		243	7.9
Junio	65.3	244	10.5
		245	3.7
		246	26.1
		247	24.6
Julio	68	248	9.6
		249	12.3
		250	30.8
		251	11.4
		252	7.1
Agosto	33.4	253	7
		254	1.3
		255	13.3
		256	13
Septiembre	51.7	257	6
		258	18.4
		259	2.3
		260	9.4
Octubre	32.4	261	19.2
		262	9.6
		263	9.7
		264	2.7
		265	10.2
Noviembre	86.8	266	0.2
		267	13.3
		268	25.7
		269	25.6
Diciembre	75	270	29.9
		271	15.9
		272	11.1
		273	16.4
		274	23.9

ANEXO V. Tabla de datos meteorológicos que presenta los valores mensuales en m y mm de precipitación media, y precipitación acumulada en mm.

Año	Mes	Fecha	Precipitación media (m)	Precipitación media (mm)	Días	Precipitación acumulada (mm)
1979	Enero	15/1/1979	0.002806	2.81	31	86.98
	Febrero	15/2/1979	0.003395	3.40	28	95.06
	Marzo	15/3/1979	0.007008	7.01	31	217.24
	Abril	15/4/1979	0.006802	6.80	30	204.05
	Mayo	15/5/1979	0.004749	4.75	31	147.23
	Junio	15/6/1979	0.003578	3.58	30	107.35
	Julio	15/7/1979	0.002785	2.78	31	86.33
	Agosto	15/8/1979	0.003210	3.21	31	99.51
	Septiembre	15/9/1979	0.004028	4.03	30	120.85
	Octubre	15/10/1979	0.006516	6.52	31	201.98
	Noviembre	15/11/1979	0.004673	4.67	30	140.19
	Diciembre	15/12/1979	0.002510	2.51	31	77.81
1980	Enero	15/1/1980	0.003942	3.94	31	122.19
	Febrero	15/2/1980	0.006660	6.66	29	193.15
	Marzo	15/3/1980	0.004642	4.64	31	143.92
	Abril	15/4/1980	0.007154	7.15	30	214.63
	Mayo	15/5/1980	0.003105	3.11	31	96.26
	Junio	15/6/1980	0.002525	2.53	30	75.76
	Julio	15/7/1980	0.001434	1.43	31	44.46
	Agosto	15/8/1980	0.001797	1.80	31	55.70
	Septiembre	15/9/1980	0.003508	3.51	30	105.23
	Octubre	15/10/1980	0.006390	6.39	31	198.08
	Noviembre	15/11/1980	0.004442	4.44	30	133.27
	Diciembre	15/12/1980	0.003916	3.92	31	121.39
1981	Enero	15/1/1981	0.003941	3.94	31	122.16
	Febrero	15/2/1981	0.006229	6.23	28	174.42
	Marzo	15/3/1981	0.008858	8.86	31	274.59
	Abril	15/4/1981	0.006121	6.12	30	183.62
	Mayo	15/5/1981	0.005743	5.74	31	178.03
	Junio	15/6/1981	0.003250	3.25	30	97.50
	Julio	15/7/1981	0.002247	2.25	31	69.65
	Agosto	15/8/1981	0.001617	1.62	31	50.14
	Septiembre	15/9/1981	0.002733	2.73	30	82.00
	Octubre	15/10/1981	0.002832	2.83	31	87.80
	Noviembre	15/11/1981	0.005953	5.95	30	178.59
	Diciembre	15/12/1981	0.004221	4.22	31	130.85
1982	Enero	15/1/1982	0.006916	6.92	31	214.40
	Febrero	15/2/1982	0.005892	5.89	28	164.97
	Marzo	15/3/1982	0.009110	9.11	31	282.39
	Abril	15/4/1982	0.008060	8.06	30	241.81
	Mayo	15/5/1982	0.005796	5.80	31	179.69
	Junio	15/6/1982	0.000973	0.97	30	29.18
	Julio	15/7/1982	0.002026	2.03	31	62.79

	Agosto	15/8/1982	0.000965	0.97	31	29.92
	Septiembre	15/9/1982	0.003820	3.82	30	114.61
	Octubre	15/10/1982	0.007042	7.04	31	218.30
	Noviembre	15/11/1982	0.007658	7.66	30	229.74
	Diciembre	15/12/1982	0.009418	9.42	31	291.97
1983	Enero	15/1/1983	0.004450	4.45	31	137.95
	Febrero	15/2/1983	0.004072	4.07	28	114.02
	Marzo	15/3/1983	0.006054	6.05	31	187.67
	Abril	15/4/1983	0.008532	8.53	30	255.95
	Mayo	15/5/1983	0.004574	4.57	31	141.79
	Junio	15/6/1983	0.002274	2.27	30	68.21
	Julio	15/7/1983	0.001177	1.18	31	36.48
	Agosto	15/8/1983	0.002914	2.91	31	90.35
	Septiembre	15/9/1983	0.003464	3.46	30	103.91
	Octubre	15/10/1983	0.005655	5.66	31	175.31
	Noviembre	15/11/1983	0.003668	3.67	30	110.03
	Diciembre	15/12/1983	0.007153	7.15	31	221.73
1984	Enero	15/1/1984	0.006687	6.69	31	207.30
	Febrero	15/2/1984	0.012020	12.02	29	348.58
	Marzo	15/3/1984	0.008076	8.08	31	250.35
	Abril	15/4/1984	0.011234	11.23	30	337.03
	Mayo	15/5/1984	0.006950	6.95	31	215.46
	Junio	15/6/1984	0.004290	4.29	30	128.69
	Julio	15/7/1984	0.003311	3.31	31	102.65
	Agosto	15/8/1984	0.002174	2.17	31	67.41
	Septiembre	15/9/1984	0.005919	5.92	30	177.56
	Octubre	15/10/1984	0.004847	4.85	31	150.24
	Noviembre	15/11/1984	0.004776	4.78	30	143.28
	Diciembre	15/12/1984	0.002417	2.42	31	74.91
1985	Enero	15/1/1985	0.005438	5.44	31	168.57
	Febrero	15/2/1985	0.003506	3.51	28	98.16
	Marzo	15/3/1985	0.004108	4.11	31	127.36
	Abril	15/4/1985	0.006979	6.98	30	209.37
	Mayo	15/5/1985	0.005571	5.57	31	172.71
	Junio	15/6/1985	0.003162	3.16	30	94.87
	Julio	15/7/1985	0.002846	2.85	31	88.22
	Agosto	15/8/1985	0.003466	3.47	31	107.44
	Septiembre	15/9/1985	0.004383	4.38	30	131.49
	Octubre	15/10/1985	0.004169	4.17	31	129.25
	Noviembre	15/11/1985	0.003483	3.48	30	104.48
	Diciembre	15/12/1985	0.004708	4.71	31	145.96
1986	Enero	15/1/1986	0.007072	7.07	31	219.25
	Febrero	15/2/1986	0.007006	7.01	28	196.16
	Marzo	15/3/1986	0.006439	6.44	31	199.62
	Abril	15/4/1986	0.008379	8.38	30	251.37
	Mayo	15/5/1986	0.004412	4.41	31	136.76
	Junio	15/6/1986	0.002855	2.86	30	85.66
	Julio	15/7/1986	0.002748	2.75	31	85.20

	Agosto	15/8/1986	0.001732	1.73	31	53.69
	Septiembre	15/9/1986	0.004499	4.50	30	134.98
	Octubre	15/10/1986	0.008770	8.77	31	271.87
	Noviembre	15/11/1986	0.005224	5.22	30	156.73
	Diciembre	15/12/1986	0.004353	4.35	31	134.93
1987	Enero	15/1/1987	0.004723	4.72	31	146.40
	Febrero	15/2/1987	0.005886	5.89	28	164.81
	Marzo	15/3/1987	0.006739	6.74	31	208.90
	Abril	15/4/1987	0.008541	8.54	30	256.23
	Mayo	15/5/1987	0.005281	5.28	31	163.72
	Junio	15/6/1987	0.001617	1.62	30	48.52
	Julio	15/7/1987	0.001934	1.93	31	59.96
	Agosto	15/8/1987	0.001608	1.61	31	49.84
	Septiembre	15/9/1987	0.004606	4.61	30	138.19
	Octubre	15/10/1987	0.005615	5.62	31	174.07
	Noviembre	15/11/1987	0.003967	3.97	30	119.02
	Diciembre	15/12/1987	0.003489	3.49	31	108.14
1988	Enero	15/1/1988	0.004084	4.08	31	126.59
	Febrero	15/2/1988	0.005896	5.90	29	170.97
	Marzo	15/3/1988	0.004112	4.11	31	127.48
	Abril	15/4/1988	0.010355	10.36	30	310.65
	Mayo	15/5/1988	0.006979	6.98	31	216.35
	Junio	15/6/1988	0.004066	4.07	30	121.99
	Julio	15/7/1988	0.003971	3.97	31	123.10
	Agosto	15/8/1988	0.002838	2.84	31	87.98
	Septiembre	15/9/1988	0.003868	3.87	30	116.04
	Octubre	15/10/1988	0.007610	7.61	31	235.92
	Noviembre	15/11/1988	0.007471	7.47	30	224.13
	Diciembre	15/12/1988	0.006895	6.90	31	213.75
1989	Enero	15/1/1989	0.005991	5.99	31	185.72
	Febrero	15/2/1989	0.007591	7.59	28	212.56
	Marzo	15/3/1989	0.007764	7.76	31	240.68
	Abril	15/4/1989	0.007248	7.25	30	217.44
	Mayo	15/5/1989	0.006199	6.20	31	192.17
	Junio	15/6/1989	0.004211	4.21	30	126.34
	Julio	15/7/1989	0.003984	3.98	31	123.52
	Agosto	15/8/1989	0.001835	1.83	31	56.88
	Septiembre	15/9/1989	0.003443	3.44	30	103.28
	Octubre	15/10/1989	0.006443	6.44	31	199.73
	Noviembre	15/11/1989	0.002325	2.33	30	69.75
	Diciembre	15/12/1989	0.002725	2.72	31	84.46
1990	Enero	15/1/1990	0.004819	4.82	31	149.39
	Febrero	15/2/1990	0.004561	4.56	28	127.72
	Marzo	15/3/1990	0.004644	4.64	31	143.98
	Abril	15/4/1990	0.007442	7.44	30	223.27
	Mayo	15/5/1990	0.005875	5.87	31	182.11
	Junio	15/6/1990	0.003006	3.01	30	90.18
	Julio	15/7/1990	0.002464	2.46	31	76.39

	Agosto	15/8/1990	0.002069	2.07	31	64.15
	Septiembre	15/9/1990	0.002371	2.37	30	71.12
	Octubre	15/10/1990	0.004850	4.85	31	150.36
	Noviembre	15/11/1990	0.002775	2.78	30	83.26
	Diciembre	15/12/1990	0.002010	2.01	31	62.32
1991	Enero	15/1/1991	0.005835	5.83	31	180.87
	Febrero	15/2/1991	0.004224	4.22	28	118.27
	Marzo	15/3/1991	0.007229	7.23	31	224.09
	Abril	15/4/1991	0.007622	7.62	30	228.65
	Mayo	15/5/1991	0.005297	5.30	31	164.20
	Junio	15/6/1991	0.002556	2.56	30	76.68
	Julio	15/7/1991	0.003510	3.51	31	108.80
	Agosto	15/8/1991	0.002272	2.27	31	70.42
	Septiembre	15/9/1991	0.003685	3.69	30	110.55
	Octubre	15/10/1991	0.003334	3.33	31	103.36
	Noviembre	15/11/1991	0.005678	5.68	30	170.35
	Diciembre	15/12/1991	0.004691	4.69	31	145.42
1992	Enero	15/1/1992	0.003176	3.18	31	98.45
	Febrero	15/2/1992	0.005306	5.31	29	153.88
	Marzo	15/3/1992	0.006418	6.42	31	198.97
	Abril	15/4/1992	0.008753	8.75	30	262.58
	Mayo	15/5/1992	0.004711	4.71	31	146.05
	Junio	15/6/1992	0.001989	1.99	30	59.68
	Julio	15/7/1992	0.003094	3.09	31	95.91
	Agosto	15/8/1992	0.003113	3.11	31	96.50
	Septiembre	15/9/1992	0.004791	4.79	30	143.74
	Octubre	15/10/1992	0.002598	2.60	31	80.53
	Noviembre	15/11/1992	0.004869	4.87	30	146.06
	Diciembre	15/12/1992	0.004018	4.02	31	124.55
1993	Enero	15/1/1993	0.003828	3.83	31	118.67
	Febrero	15/2/1993	0.008066	8.07	28	225.85
	Marzo	15/3/1993	0.008069	8.07	31	250.14
	Abril	15/4/1993	0.007996	8.00	30	239.87
	Mayo	15/5/1993	0.005165	5.17	31	160.12
	Junio	15/6/1993	0.002705	2.70	30	81.14
	Julio	15/7/1993	0.002922	2.92	31	90.58
	Agosto	15/8/1993	0.002195	2.20	31	68.06
	Septiembre	15/9/1993	0.005159	5.16	30	154.78
	Octubre	15/10/1993	0.004074	4.07	31	126.30
	Noviembre	15/11/1993	0.005127	5.13	30	153.81
	Diciembre	15/12/1993	0.005306	5.31	31	164.49
1994	Enero	15/1/1994	0.005384	5.38	31	166.92
	Febrero	15/2/1994	0.008184	8.18	28	229.16
	Marzo	15/3/1994	0.010027	10.03	31	310.83
	Abril	15/4/1994	0.009968	9.97	30	299.03
	Mayo	15/5/1994	0.005434	5.43	31	168.46
	Junio	15/6/1994	0.003578	3.58	30	107.35
	Julio	15/7/1994	0.003864	3.86	31	119.79

	Agosto	15/8/1994	0.002541	2.54	31	78.76
	Septiembre	15/9/1994	0.002821	2.82	30	84.63
	Octubre	15/10/1994	0.004265	4.26	31	132.21
	Noviembre	15/11/1994	0.005703	5.70	30	171.09
	Diciembre	15/12/1994	0.005438	5.44	31	168.57
1995	Enero	15/1/1995	0.002087	2.09	31	64.69
	Febrero	15/2/1995	0.001911	1.91	28	53.51
	Marzo	15/3/1995	0.005923	5.92	31	183.62
	Abril	15/4/1995	0.009207	9.21	30	276.20
	Mayo	15/5/1995	0.005520	5.52	31	171.12
	Junio	15/6/1995	0.003342	3.34	30	100.25
	Julio	15/7/1995	0.003326	3.33	31	103.12
	Agosto	15/8/1995	0.002230	2.23	31	69.12
	Septiembre	15/9/1995	0.003155	3.15	30	94.64
	Octubre	15/10/1995	0.004583	4.58	31	142.08
	Noviembre	15/11/1995	0.008642	8.64	30	259.27
	Diciembre	15/12/1995	0.005405	5.41	31	167.57
1996	Enero	15/1/1996	0.006107	6.11	31	189.33
	Febrero	15/2/1996	0.009838	9.84	29	285.30
	Marzo	15/3/1996	0.008141	8.14	31	252.36
	Abril	15/4/1996	0.009096	9.10	30	272.88
	Mayo	15/5/1996	0.006880	6.88	31	213.27
	Junio	15/6/1996	0.004900	4.90	30	147.00
	Julio	15/7/1996	0.003963	3.96	31	122.87
	Agosto	15/8/1996	0.002953	2.95	31	91.53
	Septiembre	15/9/1996	0.002430	2.43	30	72.90
	Octubre	15/10/1996	0.006994	6.99	31	216.82
	Noviembre	15/11/1996	0.001965	1.96	30	58.94
	Diciembre	15/12/1996	0.003588	3.59	31	111.22
1997	Enero	15/1/1997	0.006832	6.83	31	211.80
	Febrero	15/2/1997	0.006002	6.00	28	168.07
	Marzo	15/3/1997	0.006531	6.53	31	202.45
	Abril	15/4/1997	0.006979	6.98	30	209.37
	Mayo	15/5/1997	0.004128	4.13	31	127.95
	Junio	15/6/1997	0.003197	3.20	30	95.90
	Julio	15/7/1997	0.001965	1.96	31	60.90
	Agosto	15/8/1997	0.002115	2.12	31	65.57
	Septiembre	15/9/1997	0.003008	3.01	30	90.24
	Octubre	15/10/1997	0.005680	5.68	31	176.08
	Noviembre	15/11/1997	0.009371	9.37	30	281.12
	Diciembre	15/12/1997	0.004616	4.62	31	143.09
1998	Enero	15/1/1998	0.003418	3.42	31	105.96
	Febrero	15/2/1998	0.010199	10.20	28	285.56
	Marzo	15/3/1998	0.010424	10.42	31	323.13
	Abril	15/4/1998	0.008453	8.45	30	253.60
	Mayo	15/5/1998	0.007221	7.22	31	223.86
	Junio	15/6/1998	0.004559	4.56	30	136.76
	Julio	15/7/1998	0.003647	3.65	31	113.05

	Agosto	15/8/1998	0.002342	2.34	31	72.61
	Septiembre	15/9/1998	0.003223	3.22	30	96.70
	Octubre	15/10/1998	0.006363	6.36	31	197.25
	Noviembre	15/11/1998	0.005636	5.64	30	169.09
	Diciembre	15/12/1998	0.003372	3.37	31	104.54
1999	Enero	15/1/1999	0.006659	6.66	31	206.42
	Febrero	15/2/1999	0.012592	12.59	28	352.58
	Marzo	15/3/1999	0.008162	8.16	31	253.01
	Abril	15/4/1999	0.006893	6.89	30	206.79
	Mayo	15/5/1999	0.006292	6.29	31	195.06
	Junio	15/6/1999	0.004406	4.41	30	132.18
	Julio	15/7/1999	0.002800	2.80	31	86.80
	Agosto	15/8/1999	0.002859	2.86	31	88.63
	Septiembre	15/9/1999	0.006601	6.60	30	198.04
	Octubre	15/10/1999	0.005869	5.87	31	181.94
	Noviembre	15/11/1999	0.005432	5.43	30	162.96
	Diciembre	15/12/1999	0.007727	7.73	31	239.53
2000	Enero	15/1/2000	0.006910	6.91	31	214.22
	Febrero	15/2/2000	0.007948	7.95	29	230.49
	Marzo	15/3/2000	0.009491	9.49	31	294.22
	Abril	15/4/2000	0.010757	10.76	30	322.72
	Mayo	15/5/2000	0.007463	7.46	31	231.37
	Junio	15/6/2000	0.003979	3.98	30	119.36
	Julio	15/7/2000	0.003746	3.75	31	116.13
	Agosto	15/8/2000	0.002590	2.59	31	80.30
	Septiembre	15/9/2000	0.006157	6.16	30	184.71
	Octubre	15/10/2000	0.004204	4.20	31	130.32
	Noviembre	15/11/2000	0.005848	5.85	30	175.44
	Diciembre	15/12/2000	0.004087	4.09	31	126.71
2001	Enero	15/1/2001	0.006674	6.67	31	206.89
	Febrero	15/2/2001	0.004349	4.35	28	121.77
	Marzo	15/3/2001	0.008770	8.77	31	271.87
	Abril	15/4/2001	0.004436	4.44	30	133.09
	Mayo	15/5/2001	0.004309	4.31	31	133.57
	Junio	15/6/2001	0.003471	3.47	30	104.14
	Julio	15/7/2001	0.002930	2.93	31	90.82
	Agosto	15/8/2001	0.002033	2.03	31	63.03
	Septiembre	15/9/2001	0.005241	5.24	30	157.24
	Octubre	15/10/2001	0.001846	1.85	31	57.24
	Noviembre	15/11/2001	0.005716	5.72	30	171.49
	Diciembre	15/12/2001	0.007378	7.38	31	228.71
2002	Enero	15/1/2002	0.004425	4.43	31	137.18
	Febrero	15/2/2002	0.003847	3.85	28	107.72
	Marzo	15/3/2002	0.005444	5.44	31	168.75
	Abril	15/4/2002	0.006689	6.69	30	200.67
	Mayo	15/5/2002	0.005295	5.29	31	164.14
	Junio	15/6/2002	0.003853	3.85	30	115.59
	Julio	15/7/2002	0.002872	2.87	31	89.05

	Agosto	15/8/2002	0.001534	1.53	31	47.54
	Septiembre	15/9/2002	0.002060	2.06	30	61.80
	Octubre	15/10/2002	0.005817	5.82	31	180.34
	Noviembre	15/11/2002	0.007816	7.82	30	234.49
	Diciembre	15/12/2002	0.005718	5.72	31	177.27
2003	Enero	15/1/2003	0.002537	2.54	31	78.64
	Febrero	15/2/2003	0.003895	3.89	28	109.05
	Marzo	15/3/2003	0.008482	8.48	31	262.94
	Abril	15/4/2003	0.007109	7.11	30	213.26
	Mayo	15/5/2003	0.003510	3.51	31	108.80
	Junio	15/6/2003	0.004143	4.14	30	124.28
	Julio	15/7/2003	0.003639	3.64	31	112.82
	Agosto	15/8/2003	0.001940	1.94	31	60.13
	Septiembre	15/9/2003	0.003284	3.28	30	98.53
	Octubre	15/10/2003	0.005346	5.35	31	165.74
	Noviembre	15/11/2003	0.006048	6.05	30	181.45
	Diciembre	15/12/2003	0.005192	5.19	31	160.95
2004	Enero	15/1/2004	0.002015	2.02	31	62.47
	Febrero	15/2/2004	0.005272	5.27	29	152.89
	Marzo	15/3/2004	0.006004	6.00	31	186.13
	Abril	15/4/2004	0.005905	5.91	30	177.15
	Mayo	15/5/2004	0.004843	4.84	31	150.13
	Junio	15/6/2004	0.002613	2.61	30	78.39
	Julio	15/7/2004	0.003304	3.30	31	102.41
	Agosto	15/8/2004	0.001850	1.85	31	57.35
	Septiembre	15/9/2004	0.003540	3.54	30	106.20
	Octubre	15/10/2004	0.005590	5.59	31	173.30
	Noviembre	15/11/2004	0.007130	7.13	30	213.89
	Diciembre	15/12/2004	0.005397	5.40	31	167.30
2005	Enero	15/1/2005	0.002922	2.92	31	90.58
	Febrero	15/2/2005	0.007210	7.21	28	201.87
	Marzo	15/3/2005	0.012547	12.55	31	388.94
	Abril	15/4/2005	0.007750	7.75	30	232.49
	Mayo	15/5/2005	0.003565	3.56	31	110.51
	Junio	15/6/2005	0.003761	3.76	30	112.84
	Julio	15/7/2005	0.001947	1.95	31	60.37
	Agosto	15/8/2005	0.002319	2.32	31	71.90
	Septiembre	15/9/2005	0.002432	2.43	30	72.96
	Octubre	15/10/2005	0.007587	7.59	31	235.21
	Noviembre	15/11/2005	0.004559	4.56	30	136.76
	Diciembre	15/12/2005	0.009066	9.07	31	281.03
2006	Enero	15/1/2006	0.004885	4.88	31	151.43
	Febrero	15/2/2006	0.010366	10.37	28	290.26
	Marzo	15/3/2006	0.008425	8.42	31	261.17
	Abril	15/4/2006	0.009298	9.30	30	278.95
	Mayo	15/5/2006	0.002972	2.97	31	92.12
	Junio	15/6/2006	0.004286	4.29	30	128.57
	Julio	15/7/2006	0.002754	2.75	31	85.38

	Agosto	15/8/2006	0.002207	2.21	31	68.41
	Septiembre	15/9/2006	0.003448	3.45	30	103.45
	Octubre	15/10/2006	0.004900	4.90	31	151.90
	Noviembre	15/11/2006	0.007723	7.72	30	231.69
	Diciembre	15/12/2006	0.008511	8.51	31	263.83
2007	Enero	15/1/2007	0.003721	3.72	31	115.36
	Febrero	15/2/2007	0.002103	2.10	28	58.88
	Marzo	15/3/2007	0.007828	7.83	31	242.66
	Abril	15/4/2007	0.009871	9.87	30	296.12
	Mayo	15/5/2007	0.005409	5.41	31	167.69
	Junio	15/6/2007	0.004950	4.95	30	148.49
	Julio	15/7/2007	0.002314	2.31	31	71.72
	Agosto	15/8/2007	0.003012	3.01	31	93.36
	Septiembre	15/9/2007	0.002672	2.67	30	80.17
	Octubre	15/10/2007	0.006338	6.34	31	196.48
	Noviembre	15/11/2007	0.006725	6.73	30	201.76
	Diciembre	15/12/2007	0.006242	6.24	31	193.50
2008	Enero	15/1/2008	0.005341	5.34	31	165.56
	Febrero	15/2/2008	0.008974	8.97	29	260.25
	Marzo	15/3/2008	0.011482	11.48	31	355.95
	Abril	15/4/2008	0.008615	8.61	30	258.44
	Mayo	15/5/2008	0.007402	7.40	31	229.48
	Junio	15/6/2008	0.004457	4.46	30	133.72
	Julio	15/7/2008	0.003344	3.34	31	103.65
	Agosto	15/8/2008	0.003475	3.48	31	107.73
	Septiembre	15/9/2008	0.003958	3.96	30	118.73
	Octubre	15/10/2008	0.007420	7.42	31	230.01
	Noviembre	15/11/2008	0.007763	7.76	30	232.89
	Diciembre	15/12/2008	0.007132	7.13	31	221.08
2009	Enero	15/1/2009	0.007931	7.93	31	245.85
	Febrero	15/2/2009	0.008538	8.54	28	239.07
	Marzo	15/3/2009	0.006653	6.65	31	206.24
	Abril	15/4/2009	0.006371	6.37	30	191.12
	Mayo	15/5/2009	0.004080	4.08	31	126.47
	Junio	15/6/2009	0.003706	3.71	30	111.18
	Julio	15/7/2009	0.002731	2.73	31	84.67
	Agosto	15/8/2009	0.002460	2.46	31	76.27
	Septiembre	15/9/2009	0.002348	2.35	30	70.44
	Octubre	15/10/2009	0.005121	5.12	31	158.76
	Noviembre	15/11/2009	0.003902	3.90	30	117.07
	Diciembre	15/12/2009	0.005745	5.74	31	178.09
2010	Enero	15/1/2010	0.003120	3.12	31	96.73
	Febrero	15/2/2010	0.008551	8.55	28	239.42
	Marzo	15/3/2010	0.005127	5.13	31	158.94
	Abril	15/4/2010	0.011049	11.05	30	331.48
	Mayo	15/5/2010	0.006378	6.38	31	197.72
	Junio	15/6/2010	0.004883	4.88	30	146.48
	Julio	15/7/2010	0.004818	4.82	31	149.36

	Agosto	15/8/2010	0.002291	2.29	31	71.01
	Septiembre	15/9/2010	0.004255	4.26	30	127.66
	Octubre	15/10/2010	0.004496	4.50	31	139.36
	Noviembre	15/11/2010	0.009537	9.54	30	286.10
	Diciembre	15/12/2010	0.007324	7.32	31	227.05
2011	Enero	15/1/2011	0.004917	4.92	31	152.43
	Febrero	15/2/2011	0.006451	6.45	28	180.62
	Marzo	15/3/2011	0.006616	6.62	31	205.08
	Abril	15/4/2011	0.011822	11.82	30	354.65
	Mayo	15/5/2011	0.004526	4.53	31	140.31
	Junio	15/6/2011	0.003305	3.31	30	99.16
	Julio	15/7/2011	0.004828	4.83	31	149.65
	Agosto	15/8/2011	0.002382	2.38	31	73.85
	Septiembre	15/9/2011	0.003397	3.40	30	101.91
	Octubre	15/10/2011	0.004862	4.86	31	150.72
	Noviembre	15/11/2011	0.005793	5.79	30	173.78
	Diciembre	15/12/2011	0.007071	7.07	31	219.19
2012	Enero	15/1/2012	0.012621	12.62	31	391.25
	Febrero	15/2/2012	0.010737	10.74	29	311.36
	Marzo	15/3/2012	0.009027	9.03	31	279.85
	Abril	15/4/2012	0.009018	9.02	30	270.54
	Mayo	15/5/2012	0.004856	4.86	31	150.54
	Junio	15/6/2012	0.003510	3.51	30	105.29
	Julio	15/7/2012	0.003193	3.19	31	98.98
	Agosto	15/8/2012	0.003140	3.14	31	97.32
	Septiembre	15/9/2012	0.002865	2.86	30	85.95
	Octubre	15/10/2012	0.006170	6.17	31	191.28
	Noviembre	15/11/2012	0.006966	6.97	30	208.97
	Diciembre	15/12/2012	0.005522	5.52	31	171.17
2013	Enero	15/1/2013	0.003296	3.30	31	102.17
	Febrero	15/2/2013	0.012726	12.73	28	356.32
	Marzo	15/3/2013	0.008467	8.47	31	262.47
	Abril	15/4/2013	0.005812	5.81	30	174.35
	Mayo	15/5/2013	0.007179	7.18	31	222.56
	Junio	15/6/2013	0.002630	2.63	30	78.91
	Julio	15/7/2013	0.003689	3.69	31	114.35
	Agosto	15/8/2013	0.003580	3.58	31	110.98
	Septiembre	15/9/2013	0.002985	2.99	30	89.55
	Octubre	15/10/2013	0.005880	5.88	31	182.29
	Noviembre	15/11/2013	0.004246	4.25	30	127.37
	Diciembre	15/12/2013	0.005102	5.10	31	158.17
2014	Enero	15/1/2014	0.004814	4.81	31	149.24
	Febrero	15/2/2014	0.004662	4.66	28	130.52
	Marzo	15/3/2014	0.009193	9.19	31	285.00
	Abril	15/4/2014	0.005871	5.87	30	176.12
	Mayo	15/5/2014	0.007160	7.16	31	221.97
	Junio	15/6/2014	0.005087	5.09	30	152.61
	Julio	15/7/2014	0.003134	3.13	31	97.15

	Agosto	15/8/2014	0.003113	3.11	31	96.50
	Septiembre	15/9/2014	0.004166	4.17	30	124.97
	Octubre	15/10/2014	0.006231	6.23	31	193.17
	Noviembre	15/11/2014	0.006550	6.55	30	196.50
	Diciembre	15/12/2014	0.006737	6.74	31	208.84
2015	Enero	15/1/2015	0.005518	5.52	31	171.06
	Febrero	15/2/2015	0.003748	3.75	28	104.94
	Marzo	15/3/2015	0.006750	6.75	31	209.25
	Abril	15/4/2015	0.005829	5.83	30	174.87
	Mayo	15/5/2015	0.005108	5.11	31	158.34
	Junio	15/6/2015	0.004175	4.18	30	125.26
	Julio	15/7/2015	0.003880	3.88	31	120.27
	Agosto	15/8/2015	0.001730	1.73	31	53.63
	Septiembre	15/9/2015	0.001699	1.70	30	50.98
	Octubre	15/10/2015	0.004793	4.79	31	148.59
	Noviembre	15/11/2015	0.006762	6.76	30	202.85
	Diciembre	15/12/2015	0.003019	3.02	31	93.60
2016	Enero	15/1/2016	0.004162	4.16	31	129.02
	Febrero	15/2/2016	0.004906	4.91	29	142.27
	Marzo	15/3/2016	0.012285	12.29	31	380.84
	Abril	15/4/2016	0.008089	8.09	30	242.67
	Mayo	15/5/2016	0.003618	3.62	31	112.17
	Junio	15/6/2016	0.005072	5.07	30	152.15
	Julio	15/7/2016	0.003353	3.35	31	103.95
	Agosto	15/8/2016	0.001892	1.89	31	58.65
	Septiembre	15/9/2016	0.004105	4.10	30	123.14
	Octubre	15/10/2016	0.004967	4.97	31	153.97
	Noviembre	15/11/2016	0.003290	3.29	30	98.71
	Diciembre	15/12/2016	0.010307	10.31	31	319.53
2017	Enero	15/1/2017	0.007740	7.74	31	239.94
	Febrero	15/2/2017	0.005974	5.97	28	167.27
	Marzo	15/3/2017	0.012809	12.81	31	397.07
	Abril	15/4/2017	0.008211	8.21	30	246.33
	Mayo	15/5/2017	0.007780	7.78	31	241.18
	Junio	15/6/2017	0.005230	5.23	30	156.90
	Julio	15/7/2017	0.003092	3.09	31	95.85
	Agosto	15/8/2017	0.001823	1.82	31	56.53
	Septiembre	15/9/2017	0.002258	2.26	30	67.75
	Octubre	15/10/2017	0.004427	4.43	31	137.24
	Noviembre	15/11/2017	0.005598	5.60	30	167.94
	Diciembre	15/12/2017	0.005547	5.55	31	171.94
2018	Enero	15/1/2018	0.007348	7.35	31	227.79
	Febrero	15/2/2018	0.005360	5.36	28	150.07
	Marzo	15/3/2018	0.004498	4.50	31	139.42
	Abril	15/4/2018	0.007175	7.18	30	215.26
	Mayo	15/5/2018	0.007921	7.92	31	245.56
	Junio	15/6/2018	0.004053	4.05	30	121.59
	Julio	15/7/2018	0.002905	2.90	31	90.05

	Agosto	15/8/2018	0.002480	2.48	31	76.87
	Septiembre	15/9/2018	0.002335	2.33	30	70.04
	Octubre	15/10/2018	0.003836	3.84	31	118.91
	Noviembre	15/11/2018	0.011221	11.22	30	336.63
	Diciembre	15/12/2018	0.005377	5.38	31	166.68
2019	Enero	15/1/2019	0.004521	4.52	31	140.16
	Febrero	15/2/2019	0.008440	8.44	28	236.32
	Marzo	15/3/2019	0.010168	10.17	31	315.21
	Abril	15/4/2019	0.010086	10.09	30	302.58
	Mayo	15/5/2019	0.005041	5.04	31	156.27
	Junio	15/6/2019	0.004982	4.98	30	149.46
	Julio	15/7/2019	0.002867	2.87	31	88.87
	Agosto	15/8/2019	0.001785	1.79	31	55.34
	Septiembre	15/9/2019	0.003656	3.66	30	109.69
	Octubre	15/10/2019	0.006599	6.60	31	204.58
	Noviembre	15/11/2019	0.004412	4.41	30	132.35
	Diciembre	15/12/2019	0.006367	6.37	31	197.37
2020	Enero	15/1/2020	0.006680	6.68	31	207.07
	Febrero	15/2/2020	0.006378	6.38	29	184.97
	Marzo	15/3/2020	0.006072	6.07	31	188.23
	Abril	15/4/2020	0.007591	7.59	30	227.74
	Mayo	15/5/2020	0.005861	5.86	31	181.70
	Junio	15/6/2020	0.004490	4.49	30	134.70
	Julio	15/7/2020	0.005192	5.19	31	160.95
	Agosto	15/8/2020	0.002956	2.96	31	91.65
	Septiembre	15/9/2020	0.004581	4.58	30	137.44
	Octubre	15/10/2020	0.003300	3.30	31	102.29
	Noviembre	15/11/2020	0.005671	5.67	30	170.12
	Diciembre	15/12/2020	0.008533	8.53	31	264.54

ANEXO VI. Tabla de promedios mensuales en mm de la pluviosidad de los datos meteorológicos del Cotopaxi en los 42 años.

Mes	Promedio (mm)	Desv. Estandar
Enero	156.08	65.070
Febrero	184.07	81.361
Marzo	234.30	76.820
Abril	236.85	60.780
Mayo	166.11	47.016
Junio	107.35	33.731
Julio	96.36	26.416
Agosto	73.39	18.884
Septiembre	109.26	33.617
Octubre	165.50	45.232
Noviembre	172.94	59.004
Diciembre	172.23	61.740

ANEXO VII. Tabla del volumen calculado para cada lahar secundario presente en la quebrada Jatabamba.

Año	Mes	Día	Magnitud	µm/s	V (m³)
2015	Octubre	11	76263.07	156.53	325.38
2015	Octubre	31	142945.25	293.39	609.89
2015	Noviembre	20	317609.71	651.89	1355.10
2015	Noviembre	28	152032	312.05	648.66
2015	Diciembre	31	601248.5	1234.06	2565.27
2016	Febrero	15	75192.093	154.33	320.81
2016	Febrero	19	54436.048	111.73	232.26
2016	Febrero	20	61472.178	126.17	262.28
2016	Febrero	27	100627.96	206.54	429.34
2016	Marzo	6	199999.29	410.50	853.31
2016	Marzo	16	125763.37	258.13	536.58
2016	Marzo	17	67918.802	139.40	289.78
2016	Marzo	17	61609.331	126.45	262.86
2016	Marzo	18	307740.68	631.64	1313.00
2016	Marzo	29	272452.65	559.21	1162.44
2016	Marzo	29	95425.108	195.86	407.14
2016	Marzo	30	338920.78	695.63	1446.03
2016	Marzo	31	282274.5	579.37	1204.34
2016	Abril	8	250585.52	514.33	1069.14
2016	Abril	9	112689.34	231.29	480.80
2016	Abril	21	223410.18	458.55	953.20
2016	Abril	25	79018.075	162.18	337.14
2016	Abril	27	526860.27	1081.38	2247.89
2016	Abril	27	118273.89	242.76	504.62
2016	Mayo	1	207244.73	425.37	884.22
2016	Mayo	2	185634.79	381.02	792.02
2016	Mayo	4	1363657	2798.90	5818.14
2016	Mayo	16	89335.29	183.36	381.16
2016	Mayo	17	212218.45	435.58	905.44
2016	Mayo	17	48147.576	98.82	205.43
2016	Mayo	20	77038.347	158.12	328.69
2016	Mayo	22	291306.16	597.91	1242.88
2016	Mayo	22	74288.091	152.48	316.96
2016	Mayo	25	2020529.9	4147.14	8620.73
2016	Mayo	26	1570540.5	3223.53	6700.82
2016	Mayo	27	644424.36	1322.68	2749.48
2016	Mayo	28	330490.74	678.33	1410.06
2016	Mayo	28	45461.448	93.31	193.96
2016	Mayo	29	108416.46	222.52	462.57
2016	Junio	15	182040.1	373.64	776.69
2016	Junio	16	154874.88	317.88	660.78
2016	Noviembre	10	120505.47	247.34	514.15

2016	Noviembre	24	68278.313	140.14	291.31
2017	Abril	13	58971.666	121.04	251.61
2017	Mayo	19	130586.54	268.03	557.16
2017	Julio	14	340178.77	698.22	1451.40
2017	Julio	15	215460.18	442.23	919.28
2017	Octubre	16	269252.13	552.64	1148.78
2017	Octubre	17	476354.2	977.72	2032.40
2017	Octubre	24	254841.23	523.06	1087.30
2017	Noviembre	8	68680.26	140.97	293.03
2017	Noviembre	30	120350.81	247.02	513.49
2018	Febrero	25	160029.43	328.46	682.78
2018	Febrero	26	466379.54	957.24	1989.84
2018	Marzo	13	190727.04	391.47	813.75
2018	Marzo	13	894271.48	1835.49	3815.47
2018	Marzo	20	178105.76	365.56	759.90
2018	Marzo	27	139599.8	286.53	595.61
2018	Marzo	28	218489.23	448.45	932.20
2018	Abril	16	190754.04	391.52	813.87
2018	Abril	19	226454.69	464.80	966.18
2018	Abril	20	105513.11	216.57	450.18
2018	Junio	16	275105.35	564.65	1173.76
2018	Junio	16	56157.172	115.26	239.60
2018	Septiembre	29	80340.378	164.90	342.78
2018	Octubre	12	78946.866	162.04	336.83
2018	Octubre	15	146025.28	299.72	623.03
2018	Noviembre	13	117874.75	241.94	502.92
2018	Noviembre	14	183098.5	375.81	781.20
2018	Noviembre	14	52568.694	107.90	224.29
2018	Noviembre	15	166992.95	342.75	712.49
2018	Noviembre	16	104408.51	214.30	445.47
2018	Noviembre	17	504621.8	1035.74	2153.00
2018	Noviembre	18	1391749.3	2856.56	5938.00
2018	Noviembre	18	916437.24	1880.99	3910.04
2018	Noviembre	19	163985.72	336.58	699.66
2018	Noviembre	22	141244.76	289.90	602.63
2018	Noviembre	25	153845.58	315.77	656.39
2018	Diciembre	1	362887.18	744.83	1548.28
2018	Diciembre	1	46773.822	96.00	199.56
2019	Enero	20	445884.02	915.18	1902.40
2019	Enero	27	109196.74	224.13	465.90
2019	Febrero	4	280308.4	575.33	1195.96
2019	Febrero	5	255854.77	525.14	1091.62
2019	Febrero	6	331235.24	679.86	1413.24
2019	Febrero	15	191759.37	393.59	818.15
2019	Febrero	16	393916.15	808.51	1680.67

2019	Febrero	17	432302.9	887.30	1844.45
2019	Marzo	10	134432.91	275.92	573.57
2019	Marzo	11	327726.83	672.66	1398.27
2019	Marzo	25	467899.13	960.36	1996.32
2019	Marzo	26	308489.56	633.17	1316.19
2019	Marzo	26	50822.184	104.31	216.84
2019	Marzo	30	106506.14	218.60	454.42
2019	Marzo	30	41058.066	84.27	175.18
2019	Abril	10	884770.19	1815.99	3774.93
2019	Abril	11	263364.86	540.56	1123.66
2019	Abril	11	67935.318	139.44	289.85
2019	Mayo	7	1847868.1	3792.75	7884.06
2019	Mayo	7	4671109.7	9587.45	19929.62
2019	Mayo	8	345494.84	709.13	1474.08
2019	Mayo	9	338505.47	694.78	1444.26
2019	Mayo	9	112400.18	230.70	479.56
2019	Mayo	9	192784.85	395.69	822.53
2019	Junio	9	1536582.2	3153.83	6555.94
2019	Junio	9	1526998.2	3134.16	6515.05
2019	Junio	10	147704.73	303.16	630.19
2019	Junio	14	358865.06	736.57	1531.12
2019	Junio	16	84989.514	174.44	362.61
2019	Julio	3	271422.02	557.09	1158.04
2019	Noviembre	2	59244.678	121.60	252.77
2019	Diciembre	23	854759.87	1754.39	3646.89
2020	Enero	6	165818.06	340.34	707.47
2020	Enero	22	118579.02	243.38	505.93
2020	Febrero	25	144510.92	296.61	616.57
2020	Febrero	26	81995.19	168.30	349.84
2020	Marzo	13	65911.962	135.28	281.22
2020	Marzo	19	324292.2	665.61	1383.62
2020	Marzo	20	298471.32	612.61	1273.45
2020	Marzo	21	213840.73	438.91	912.37
2020	Abril	2	1535673.5	3151.97	6552.06
2020	Abril	9	65538.984	134.52	279.63
2020	Abril	10	712634.35	1462.68	3040.50
2020	Mayo	3	650805.45	1335.78	2776.71
2020	Mayo	3	819814.18	1682.67	3497.79
2020	Mayo	9	138596.12	284.47	591.33
2020	Mayo	16	117529.2	241.23	501.45
2020	Mayo	18	119459.12	245.19	509.68
2020	Mayo	22	143483.77	294.50	612.18
2020	Mayo	28	253231.54	519.76	1080.43
2020	Junio	2	366608.15	752.46	1564.16
2020	Junio	4	148509	304.81	633.62
2020	Junio	7	434068.04	890.92	1851.98
2020	Junio	11	345339.57	708.81	1473.42
2020	Octubre	16	197280.04	404.92	841.71



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CAMPUS POLITÉCNICO "J. RUBEN ORELLANA R."

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

ORDEN DE EMPASTADO

De acuerdo con lo estipulado en el artículo 27 del Instructivo para la Implementación de la Unidad de Titulación en las Carreras y Programas Vigentes de la Escuela Politécnica Nacional, aprobado por el Consejo Politécnico el 29 de abril de 2015, se autoriza la impresión y encuadernación final del Trabajo de Titulación presentado por el/la señor(ita):

CARDENAS TAMAYO JOHANNA VANESSA

Fecha de autorización: Quito DM., 9 de agosto de 2022.



Firmado electrónicamente por:
**PEDRO SANTIAGO
REYES BENITEZ**

**Ph.D. Pedro Reyes B.
DECANO**