



**Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

**Maestría en Manejo y Conservación de Recursos
Naturales Renovables**

Trabajo de Graduación

**Estimación de Umbrales de Precipitaciones que ocasionan Fenómenos
Laháricos para la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT)
en el Volcán Concepción, Isla de Ometepe, Rivas, año 2016.**

Autor:

Ing. Karla Hypatia Cruz Rivera

Asesores:

**PhD. Fernando José Mendoza Jara
PhD. Efraín Lucrecio Acuña Espinal**

**Managua, Nicaragua
Octubre, 2018**



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

Maestría en Manejo y Conservación de Recursos Naturales Renovables

Trabajo de Graduación

Estimación de Umbrales de Precipitaciones que ocasionan Fenómenos
Laháricos para la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT)
en el Volcán Concepción, Isla de Ometepe, Rivas, año 2016.

Autor:

Ing. Karla Hypatia Cruz Rivera

Asesores:

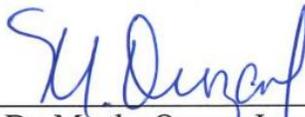
PhD. Fernando José Mendoza Jara
PhD. Efraín Lucrecio Acuña Espinal

Managua, Nicaragua
Octubre, 2018

Hoja de aprobación del tribunal examinador

Esta tesis fue aceptada en su presente forma por la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente (FARENA) de la Universidad Nacional Agraria (UNA) y aprobada por el Comité Evaluador del estudiante: **Karla Hypatia Cruz Rivera**, como requisito parcial para optar al grado académico de Maestro en Ciencias en Manejo y Conservación de Recursos Naturales Renovables. Por lo que se considera llena los requisitos para ser presentado ante la comunidad científica de la Universidad Nacional Agraria (UNA).

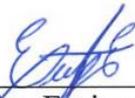
Firmantes:



Dr. Martha Orozco Izaguirre
Presidente del Comité



MSc. Edmundo Umaña Gómez
Secretario del Comité



MSc. Eveling Espinoza Jaime
Vocal del Comité

Managua, Nicaragua
31 de Octubre, 2018

Índice de Contenido

Índice de Cuadros	i
Índice de Figuras	ii
Índice de Anexos	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Resumen	vi
Abstract	vii
I. Introducción	1
II. Objetivos	2
2.1. General	2
2.2. Específicos	2
III. Materiales y Métodos	3
3.1. Ubicación del Área de Estudio.....	3
3.1.1. Generalidades del Volcán Concepción	4
3.1.1.1. Aspectos Geológicos en el Volcán Concepción.....	6
3.1.2. Fenómenos Laháricos.....	8
3.1.2.1. Lahares en Nicaragua, Centroamérica y el Mundo	9
3.1.2.2. Origen de los Procesos Laháricos en el Volcán Concepción	9
3.1.2.3. Importancia de Estudiar los Procesos Laháricos.....	10
3.2. Diseño Metodológico	10
3.2.1. Etapa I: Determinación de Umbrales de Precipitaciones que ocasionaron lahares el Año 2016.....	13
3.2.1.1. Registro de Precipitaciones del Año 2016	13
3.2.1.2. Registro de Lahares ocurridos el Año 2016	14
3.2.1.3. Precipitaciones Asociado a la ocurrencia de Lahares	16
3.2.2. Etapa II: Estimación de Precipitaciones Detonantes de Eventos Históricos de Lahares (2005 -2016).....	16
3.2.2.1. Eventos y Precipitaciones Históricas de Lahares (2005 -2016).....	16
3.2.2.2. Correlación de Precipitaciones Eventos y Precipitaciones Acumuladas de Lahares Históricos (2005 -2016).....	16
3.2.2.3. Análisis Estadístico de Lahares Históricos (2005 -2016)	17
3.2.3. Etapa II: Evaluación de Probabilidad de ocurrencia de Lahares con diferentes Intensidades de Precipitaciones.....	17
3.2.3.1. Parámetros de Simulación (Físicos del Suelo).....	17
3.2.3.2. Datos Temáticos.....	20
3.2.3.3. Modelación de Lahares con LandslideSim2016 ®v	21
3.2.4. Definición de Umbrales de Precipitaciones para la Activación de un SAT.....	21
3.2.5. Materiales y equipos.....	23
IV. Resultados y Discusión	24
4.1. Umbrales de Precipitaciones de Fenómenos Laháricos del Año 2016	24
4.1.1. Registro de Precipitaciones del Año 2016	24
4.1.2. Lahares ocurridos el Año 2016	26
4.1.2.1. Lahares con Registro de Precipitaciones Mayores a Cero Milímetros	29

4.1.2.2.	Lahares con Registro de Precipitaciones Iguales a Cero Milímetros	31
4.1.3.	Precipitaciones asociado a la ocurrencia de Lahares el año 2016.....	34
4.1.3.1.	Eventos Lluviosos que ocasionaron los Lahares del año 2016	34
4.1.3.2.	Análisis de Umbrales de Precipitaciones Detonantes del Año 2016	37
4.2.	Precipitaciones Detonantes de Lahares Históricos (2005 - 2016).....	41
4.2.1.	Correlación entre Precipitaciones Detonantes y Acumuladas Antecedentes de Lahares Históricos (2005 – 2016).....	41
4.4.1.	Análisis Estadístico de Precipitaciones Históricas que han ocasionado Fenómenos Laháricos (2005 – 2016)	44
4.3.	Modelación de Probabilidades de ocurrencias de Lahares para diferentes Intensidades de Precipitaciones	45
4.4.	Umbrales de Precipitaciones para la Activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) ante la ocurrencia de Fenómenos Laháricos	52
V.	Conclusiones	55
VI.	Recomendaciones	56
VII.	Literatura Citada	57

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Series de Suelos en el Volcán Concepción.	5
Cuadro 2. Grupos correspondientes a la Estratigrafía de Lavas.	7
Cuadro 3. Variables Evaluadas durante este Proceso Investigativo.	11
Cuadro 4. Especificaciones de Estaciones Meteorológicas Instaladas.	13
Cuadro 5. Correlación entre el Valor de SPT-N y Ángulo de Fricción Interna.....	19
Cuadro 6. Clases Texturales y Conductividad Hidráulica.	19
Cuadro 7. Clases Texturales de Suelos y Densidad Aparente.	20
Cuadro 8. Tipos de Alertas en Nicaragua.	22
Cuadro 9. Materiales y Equipos utilizados durante este Proceso Investigativo.	23
Cuadro 10. Registro Mensual de Precipitaciones (Año 2016).	25
Cuadro 11. Inventario de Lahares en el Volcán Concepción (Año 2016).	26
Cuadro 12. Registro de Precipitaciones de Lahares Los Ramos (1 y 2), La Chirca y Sintiope....	34
Cuadro 13. Registro de Precipitaciones Evento y Acumuladas Antecedentes a Eventos y No Eventos de Lahares (Año 2016).	37
Cuadro 14. Precipitaciones e Intensidad de Lluvia de Eventos Laháricos y no Laháricos.....	39
Cuadro 15. Selección de Lahares Históricos ocurridos en el Volcán Concepción.	42
Cuadro 16. Estadísticos de Precipitaciones el Día del Evento Lahárico y de Uno, Tres y Diez Días Antecedentes.	45
Cuadro 17. Resultados de Ensayos de Penetración Estándar (SPT), Cohesión y Ángulo de Fricción Interna.....	46
Cuadro 18. Criterios Utilizados en Simulaciones de Lahares con LandslideSim2016 ®v.	48
Cuadro 19. Registro Diario de Precipitaciones (mm), Estación de Altagracia (Año 2016).	64
Cuadro 20. Registro Diario de Precipitaciones (mm), Estación de Los Ángeles (Año 2016).	65
Cuadro 21. Inventario de Lahares Históricos en el Volcán Concepción (2005 – 2016).	66
Cuadro 22. Eventos Lluviosos Registrados con el Pluviógrafo de Los Ángeles en la Zona de Moyogalpa.....	67

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del Área de Estudio en la Isla de Ometepe.....	3
Figura 2. Mapa de Serie de Suelos de la Isla de Ometepe.	4
Figura 3. Mapa Geológico Preliminar del Volcán Concepción	6
Figura 4. Flujograma del Proceso Investigativo. (1) Determinación de los umbrales de precipitaciones que ocasionaron los fenómenos laháricos el año 2016. (2) Estimación de las precipitaciones detonantes de los eventos históricos registrados entre el periodo del año 2005 – 2016. (3) Evaluación de la probabilidad de ocurrencia de lahares para diferentes intensidades de precipitaciones.	12
Figura 5. Estación Meteorológica Davis Vantage Vue número 6250 con su consola.	13
Figura 6. Volcán Concepción. Amenaza por Deslizamientos, Lahares e Inundaciones.....	15
Figura 7. Modelo de Equipos Utilizados en Campo. (7.1) Penetrómetro cónico dinámico modelo H - 4202. 1A. para Ensayos de Penetración Estándar (SPT). (6.2) Kit de inspección de veletas modelo H – 4227 para mediciones de cohesión.	18
Figura 8. Ubicación de Puntos de Ensayos de Penetración Estándar y Cohesión.	18
Figura 9. Datos Temáticos. (9.1) Modelo Digital de Elevación de 30 m. (9.2) Mapa de Uso de Suelo.....	20
Figura 10. Definición de Alcance de Estaciones por el método de Polígonos de Thiessen.	24
Figura 11. Precipitaciones Mensuales por Estación Instalada en el Volcán Concepción.	25
Figura 12. Mapeo de Lahares ocurridos durante el Año 2016.	27
Figura 13. Mapa Geológico del Volcán Concepción con Lahares ocurridos durante el Año 2016 y Amenaza de Lahares.	28
Figura 14. Mapa de Pendiente del Volcán Concepción con Lahares ocurridos durante el Año 2016 y Amenaza de Lahares.	28
Figura 15. Lahar de Los Ramos 1 - 03/10/2016. (15.1) Depósitos de materiales formados en el tiempo por diferentes eventos ocurridos en el Lahar de Los Ramos 1. (15.2) Paredes que definen el curso de este lahar alcanzan alturas de hasta de 3.50 m. (15.3) Flujo de escombros del Lahar de Los Ramos 1 con rocas de diámetros < 1.50 m.....	29
Figura 16. Lahar de Los Ramos 2 – 03/10/2016. (16.1) Paredes que definen el curso del Lahar de Los Ramos 2 alcanzan los 2.50 m de altura. (16.2) Depósito de rocas correspondientes al lahar de Los Ramos 2 el día 03/10/2016.	30
Figura 17. Lahar de La Chirca - 03/10/2016. (17.1) Curso del Lahar de La Chirca y flujo de escombros. (17.2) Paredes que definen el curso del lahar de la chirca alcanzan los 4.00 m de altura.	30
Figura 18. Lahar de Sintiope – 06/10/2016. (18.1) Recorrido del flujo de escombros del Lahar de Sintiope. (18.2) Depósito de Rocas formado por el Lahar de Sintiope con diámetros < 20.00 cm.	31
Figura 19. Señales de Tremores. (19.1) Tremor de Lahar de Los Ramos 1 y Los Ramos 2 obtenido por el sismograma de la estación ALTN EHZ UN el 11 de Octubre (22:25 – 22:55), INETER (2016). (19.2) Tremor de Lahar de San Marcos obtenido por el sismograma de la estación ALTN EHZ UN el 18 DE Octubre (23:00 – 0:20), INETER (2016).	32
Figura 20. Lahar de San Lázaro – 15/07/2018. (20.1) Flujos de Escombros. (20.2). Presencia de cenizas en el trayecto de desplazamiento del lahar (20.3). Depósitos formados a través del tiempo en el Lahar de San Lázaro.	33

Figura 21. Viviendas afectadas por el Lahar de San Marcos, INETER (2016).	33
Figura 22. Descripción Gráfica de la Tormenta que ocasionó los Lahares en Los Ramos 1, Los Ramos 2 y La Chirca - 03/10/2016. (22.1) Curva de masa de precipitaciones representando el acumulado de precipitaciones durante toda la tormenta (46.74 mm) y momento detonante de ocurrencia de lahares (36.07 mm).(22.2) Hietograma de precipitaciones indicando que la precipitación máxima alcanzada en intervalos de 10 minutos de 7.87 mm. (22.3) Hietograma de intensidad mostrando la intensidad máxima alcanzada en intervalos de 10 minutos de 47.22 mm/h. (22.4) Curva de masa de intensidad indicando la intensidad detonante de 19.67 mm/h que ocasionó los fenómenos laháricos.	35
Figura 23. Descripción Gráfica de la Tormenta que ocasionó el Lahar de Sintiope - 06/10/2016. (23.1) Curva de masa de precipitaciones representando el acumulado de precipitaciones durante toda la tormenta (44.96 mm) y momento detonante de ocurrencia de lahares (35.32 mm). (23.2) Hietograma de precipitaciones indicando que la precipitación máxima alcanzada en intervalos de 10 minutos es de 8.13 mm. (23.3) Hietograma de intensidad mostrando la intensidad máxima alcanzada en intervalos de 10 minutos de 48.78 mm/h. (23.4) Curva de masa de intensidad indicando la intensidad detonante de 19.27 mm/h que ocasionó el lahar de Sintiope.	36
Figura 24. Precipitaciones Acumuladas de Eventos Lluviosos de Fenómenos Laháricos y No Laháricos.	38
Figura 25. Mapa de Series de Suelos con Lahares ocurridos Durante el Año 2016.	41
Figura 26. Correlación de Precipitaciones Registradas los Días de Eventos Laháricos y Precipitaciones Acumuladas Antecedentes para diferentes Combinaciones de Días.	43
Figura 27. Mapa de Series de Suelos del Volcán Concepción con Resultados de Ensayos de Penetración Estándar (SPT) (Golpes), Ángulo de Fricción Interna (ϕ) y Cohesión (kPa).	47
Figura 28. Simulaciones de Lahares para diferentes Intensidades de Lluvia con el programa LandslideSim2016.	51
Figura 29. Árbol de Decisiones para Emitir Alerta de Lahares en el Volcán Concepción.	53

Índice de Anexos

Anexo 1. Historia Eruptiva del Volcán Concepción	61
Anexo 2. Imágenes del Proceso Investigativo	63
Anexo 3. Registro Diario de Precipitaciones por Estación.	64
Anexo 4. Lahares Históricos del Volcán Concepción.	66
Anexo 5. Eventos Lluviosos Registrados por la Estación de Los Ángeles, Moyogalpa.	67

Dedicatoria

A Dios:

Por estar conmigo siempre, darme fuerza, paciencia y sabiduría en cada momento, por ser la mejor compañía que siempre he tenido.

Mi mamá Fátima Rivera:

Porque su abrazo de todos los días me ayuda a salir adelante. Gracias por su amor y dedicación a nuestra familia, por su apoyo incondicional y por hacerme sentir la hija más querida.

Mi Papá Carlos Cruz:

Por su amor de hechos y representar para mí un gran ejemplo, por las experiencias compartidas, por ser ejemplo de esfuerzo y compromiso con las personas que se quieren.

Mi abuela Francisca Martínez:

Por tenerme en sus oraciones de todos los días, que sin duda alguna son escuchadas y me han ayudado a lo largo de mi vida. Por su amor dulce y sincero.

Mi tía Mercedes Martínez:

Por quererme como una hija y siempre demostrarme su amor incondicional.

A familiares y amigos:

Gracias por estar conmigo siempre y compartir de la mejor manera cada momento de mi vida.

A mis maestros:

Por compartir sus conocimientos, por ser parte de mi formación académica y humana.

A las víctimas del lahar del Volcán Casita:

En quienes pensé durante todo este proceso investigativo.

Y a vos:

Para quien se hizo este trabajo.

Karla Hypatia Cruz Rivera.

Agradecimientos

A Dios por estar conmigo siempre y darme la oportunidad de seguir creciendo, por permitirme desarrollar esta nueva experiencia profesional.

A mis asesores, por la confianza y la invitación a participar en esta investigación. Al Dr. Fernando José Mendoza Jara por brindarme la confianza y la oportunidad de participar en este estudio, por sus gestiones, acompañamiento y disposición de cooperar incondicionalmente en el desarrollo de este trabajo, por compartir sus conocimientos y experiencias conmigo.

Al Dr. Efraín Lucrecio Acuña Espinal por compartir sus conocimientos sobre este tema, por sus sugerencias y revisión al trabajo, por su disposición y cooperación durante todo este proceso investigativo.

A Lindsay Ellingson, estudiante de la Maestría de Geología de la Universidad Tecnológica de Michigan, por todos sus esfuerzos y gestiones para que este proyecto fuese posible, por sus gestiones para obtener financiamiento para los equipos utilizados durante este estudio. Por su acompañamiento y todas las experiencias compartidas durante todo el proceso investigativo.

A Angélica Valdivia, Coordinadora del Programa de Ometepe de Fauna y Flora Internacional, por su acompañamiento, gestiones y apoyo en el desarrollo de este estudio.

A los Guías Turísticos y Agricultores de la Isla de Ometepe por la retroalimentación de información en cuanto a la ocurrencia de lahares en el Volcán Concepción. A Harry Zeledón, Carlos Barrios y Arlin Hernández, por sus aportes en las actividades de campo.

A don Luis Alemán, don Rodolfo Juárez y colaboradores de Finca Magdalena por sus aportes y cuidado de las estaciones meteorológicas instaladas para este proyecto.

A los colaboradores de la Dirección de Geología y Geofísica y de la Dirección de Meteorología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), por atender consultas y compartir información relevante para este estudio. Al Dr. William Martínez por facilitar las gestiones en esta institución y por la buena disposición de cooperar que mostro siempre.

A la Universidad Tecnológica de Michigan (MTU por sus siglas en inglés) por financiar las estaciones meteorológicas y demás equipos requeridos en este estudio, a la Universidad Nacional Agraria (UNA), Fauna y Flora Internacional (FFI) y Fundación entre Volcanes (FEV) por sus diversos aportes al proyecto socio ambiental “Estudio multidimensional de deslizamiento de suelo en los volcanes Concepción y Maderas para acciones de sensibilización en las comunidades” del que es parte este estudio.

Mis agradecimientos son extensos a todas esas personas que dedicaron parte de su tiempo para compartir conocimientos y experiencias que permitieron obtener un mejor resultado de este trabajo.

Karla Hypatia Cruz Rivera.

Resumen

Esta investigación estima las precipitaciones detonantes que han ocasionado los fenómenos laháricos en el Volcán Concepción, Isla de Ometepe, a fin de definir umbrales de precipitaciones para la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) ante la ocurrencia de lahares. Inicialmente se determinaron los umbrales de precipitaciones que ocasionaron los fenómenos laháricos del año 2016 haciendo una correlación entre la fecha y hora de ocurrencia del evento y precipitaciones registradas al momento detonante (datos obtenidos de las estaciones meteorológicas instaladas); posterior, se hizo una estimación de las precipitaciones detonantes de los lahares históricos registrados durante el periodo 2005 - 2016, haciendo una correlación entre precipitaciones evento y precipitaciones acumuladas los días antecedentes, así como un análisis estadístico; finalmente se hizo una evaluación de probabilidades de ocurrencia de lahares para diferentes intensidades de precipitaciones con el programa LandslideSim2016 ®v, para disminuir la incertidumbre del programa, se hicieron Ensayos de Penetración Estándar (SPT) y mediciones de cohesión, el ángulo de fricción interna, la conductividad y densidad aparente fueron otras variables utilizadas. Los resultados indican que durante el año 2016 ocurrieron ocho fenómenos laháricos, siendo cuatro los eventos de los que se tiene registro de precipitaciones mayores a cero milímetros, estos eventos ocurrieron en promedio con precipitaciones detonantes de 35.88 mm e intensidades de 19.57 mm/h, por su parte, los eventos históricos han ocurrido con una media de 45.45 mm. A partir de los resultados obtenidos que indican que el mayor número de lahares ocurre con precipitaciones acumuladas antecedentes de uno, tres y diez días, se propone activar las alertas con los siguientes intervalos de precipitaciones: 15 a 25 mm, 25 a 50 mm, 50 a 80 mm, 80 a 100 mm y > 100 mm, el tipo de alerta a emitir verde, amarilla o roja dependerá de las precipitaciones acumuladas antecedentes.

Palabras Claves: Umbrales, Precipitaciones Detonantes, Precipitaciones Acumuladas, Lahares, Sistema de Alerta Temprana (SAT).

Abstract

This research estimates the detonating precipitations that have caused the lahars phenomena in the Volcano Concepción, Isla de Ometepe, to define precipitation thresholds for the activation of an Early Warning System (EWS) to the occurrence of lahars. Initially, precipitation thresholds were determined that caused the lahars phenomena of the year 2016 making a correlation between the date and time of occurrence of the event and precipitations recorded at the moment of detonation (data obtained from the installed meteorological stations). Afterwards, an estimation was made of the detonating precipitations of the historical lahars recorded during the period 2005 - 2016, making a correlation between precipitation event and precipitation accumulated on previous days, as well as a statistical analysis. Finally, an evaluation of the probability of occurrence of lahars for different intensities of precipitation was made with the program LandslideSim2016 @v, to reduce the uncertainty of the program it was made a Standard Penetration Tests (SPT) and cohesion measurements, also internal friction angle, conductivity and apparent density were used in the analysis. The results indicate that during the year 2016 occurred eight lahars phenomena, being four the events with record precipitations greater than zero millimeters, these events occurred in average with detonating precipitations of 35.88 mm and intensities of 19.57 mm/h. Moreover, historical events have occurred with an average of 45.45 mm in the studied period. From the results obtained indicating that the greatest number of lahars occurs with cumulative precipitations of one, three and ten days, it is proposed to activate the alerts with the following rainfall intervals: 15 to 25 mm, 25 to 50 mm, 50 to 80 mm, 80 to 100 mm and > 100 mm, the type of alert to emit green, yellow or red will depend on the precipitations accumulated antecedents.

Key Words: Thresholds, Detonating Precipitations, Precipitations Accumulated, lahars, Early Warning System (EWS).

I. Introducción

Según Granados (2002), los lahares son mezclas de detritos rocosos movilizados por agua, que fluyen rápidamente y se originan en las pendientes de los volcanes. En Nicaragua el lahar más destructivo tuvo lugar en el Volcán Casita el 30 de Octubre de 1998 tras el huracán Mitch, causando la muerte de más de 2,000 personas, en el país este evento significó la necesidad de promover estudios sobre estos fenómenos. La paradisíaca Isla de Ometepe, nominada a las siete maravillas del mundo en el año 2006, formada por los volcanes Concepción y Maderas en el gran lago de Nicaragua, es una de las zonas más vulnerable a la ocurrencia de fenómenos de lahares. Según el Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED, 2005), esto se debe a causa de eventos sísmicos, lluvias torrenciales o avanzada deforestación. Este proceso se ve favorecido por la composición y textura del suelo y por la presencia de importantes acumulaciones de rocas sin cohesión, que tienden al movimiento hacia abajo por las altas pendientes que poseen las laderas del volcán Concepción.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés, 2012) señala que las variaciones del clima son influyentes en los cambios intensos de las precipitaciones, lo cual tiene repercusiones en los deslizamientos de tierra de algunas regiones. El régimen de lluvia de la Isla de Ometepe es influenciado con la presencia de eventos de variabilidad y cambio climático conocidos como El Niño y La Niña. Generalmente por los eventos EL Niño, las precipitaciones disminuyen, registrándose menor cantidad de días con lluvias y existiendo menores probabilidades de que la isla sea afectada por fenómenos laháricos. Contrariamente con La Niña, los acumulados de lluvia son mayores de lo normal, incrementándose la cantidad de días con lluvia en el año e incrementándose las probabilidades de que se presenten eventos extremos como huracanes, tormentas tropicales y lahares.

En 1993 en la Isla de Ometepe, el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) realizó los primeros estudios de inestabilidad de laderas. Además, en los últimos años, la isla ha sido sujeta a estudios técnicos que resultan en productos informativos y cartográficos para su uso y aplicación por las municipalidades y sus habitantes. Estos estudios han sido enfocados al análisis del origen dinámico del relieve de la isla, vulnerabilidad de amenazas volcánicas, reconocimientos geológicos, amenazas por deslizamientos y lahares.

Los lahares son altamente destructivos debido a la gran velocidad que toman y a su alta densidad, estos fenómenos pueden destruir poblados completos, causando la muerte de miles de personas, dañando diferentes tipos de infraestructura, puentes, carreteras, edificios y obstaculizando rutas de evacuación. El propósito de esta investigación ha sido estimar las precipitaciones detonantes que ocasionan los fenómenos laháricos en el Volcán Concepción, a fin de proveer datos para la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) y que de esta manera se puedan establecer planes de respuesta con mayor efectividad, disminuyendo así los índices de pérdidas humanas, ambientales y materiales.

II. Objetivos

2.1. General

- Definir umbrales de precipitaciones para la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) de fenómenos laháricos en el Volcán Concepción, Isla de Ometepe, Rivas, año 2016.

2.2. Específicos

- Determinar los umbrales de precipitaciones que ocasionaron los fenómenos laháricos durante el año 2016 en el Volcán Concepción mediante la correlación de precipitaciones y lahares ocurridos.
- Estimar las precipitaciones detonantes de eventos históricos de lahares (2005 - 2016) mediante el análisis estadístico y correlación de la precipitación evento y precipitación acumulada antecedente.
- Evaluar probabilidades de ocurrencias de lahares para diferentes intensidades de precipitaciones con el programa LandslideSim2016 ®v.

III. Materiales y Métodos

3.1. Ubicación del Área de Estudio

La investigación de “Estimación de Umbrales de Precipitaciones que ocasionan Fenómenos Laháricos para la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT)” se llevó a cabo en el Volcán Concepción que se ubica al sur de Nicaragua, en el departamento de Rivas, junto con el Volcán Maderas, del cual lo separa el istmo de Istián, forma la Isla de Ometepe, ubicada en la parte centro - meridional del Lago de Nicaragua (Figura 1).

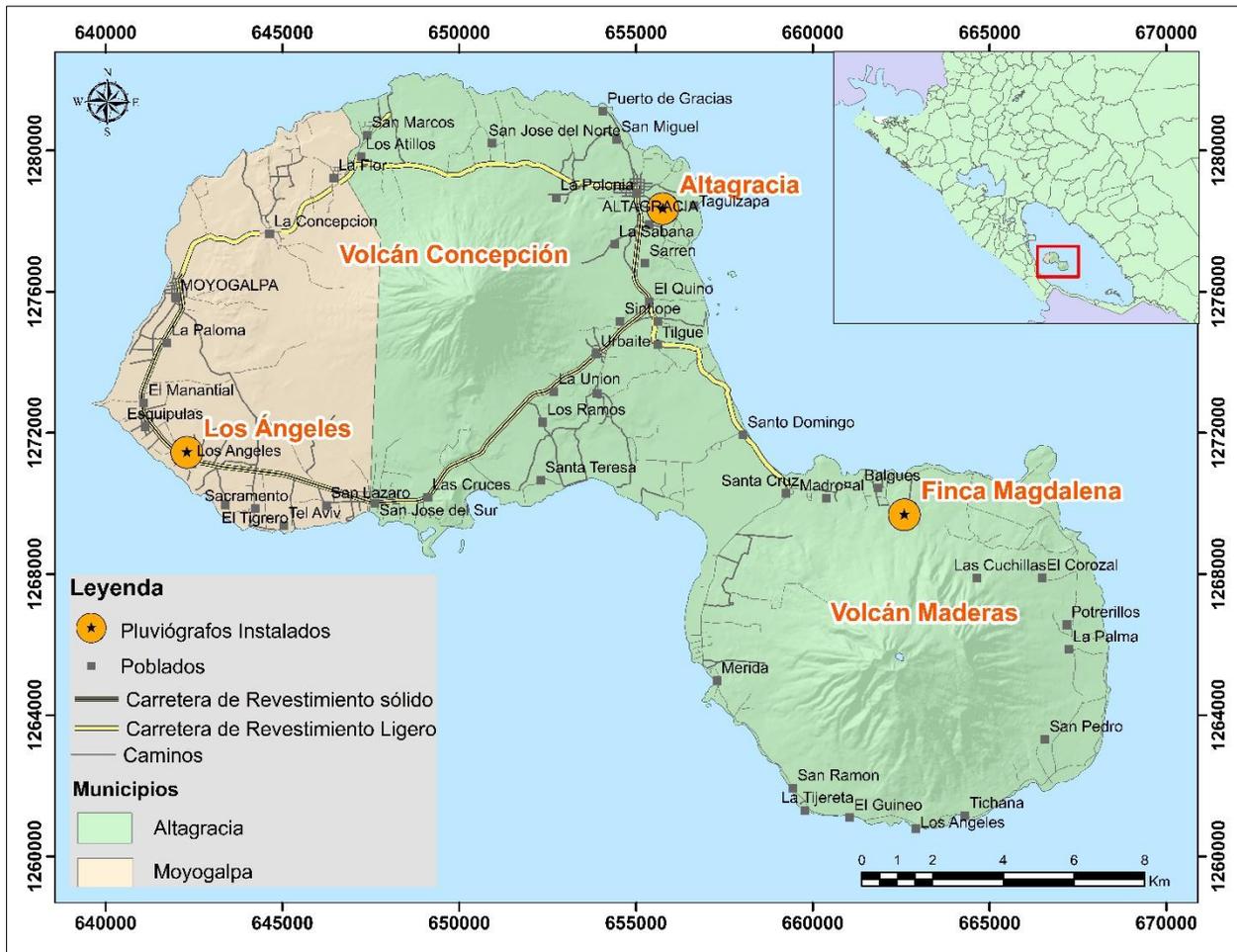


Figura 1. Ubicación del Área de Estudio en la Isla de Ometepe.

3.1.1. Generalidades del Volcán Concepción

Según Vallance, Schilling, Devoli y Howell (2001), el Volcán Concepción es un volcán activo dentro de la cordillera volcánica centroamericana, de forma cónica, casi simétrica, tipo estratocono, con un diámetro basal de 10 km y una altura de 1610 msnm. Este volcán ha hecho erupción en más de 25 ocasiones en los últimos 120 años; muchas de las erupciones tuvieron lugar en el cráter principal y han comprendido explosiones moderadas de cenizas o emisiones de lavas en forma de flujos. En el Anexo 1 se presenta según INETER (2005), el historial eruptivo del Volcán Concepción.

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINIA, 2015) señala que los suelos alrededor del Volcán Concepción son de los más fértiles que se puedan encontrar en el país, tiene su mayor uso en las actividades del sector agrícola y del sector pecuario. La temperatura anual en la base del volcán es de unos 27 °C y disminuye aproximadamente un grado por cada 150 metros de elevación. La precipitación pluvial anual promedia entre los 1300 mm en Moyogalpa y 1600 mm en Altagracia.

Según Aguirre y Acuña (2009), la Isla de Ometepe esta compuesta por las siguientes Series de Suelos: El Cráter, La Paloma, Ometepe, Moyogalpa, Volcán Madera, Mérida, Magdalena; así como de suelos misceláneos: Tierras Escarpadas, Misceláneos Varios, Tierras Aluviales, Tierras Coluviales, Playas, Afloramientos Rocosos, Suelos Vérticos, Vertisoles, Pantanos y Ciénagas. En la Figura 2 se presenta el mapa de series de suelo y en el Cuadro 2 se describen las características para las series de suelos mencionados, así como de los suelos misceláneos.

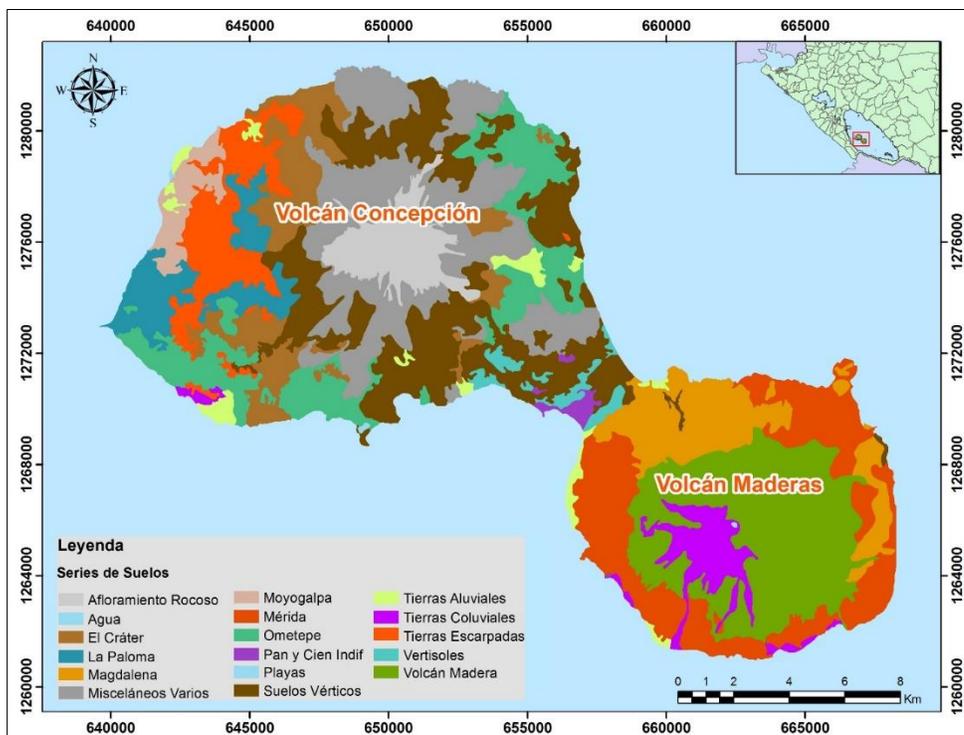


Figura 2. Mapa de Serie de Suelos de la Isla de Ometepe.

Fuente: Aguirre y Acuña (2009).

Cuadro 1. Series de Suelos en el Volcán Concepción.

Series de Suelos / Suelos Misceláneos	Descripción
El Cráter	Consiste de suelos en pendientes de 0% a 8 %, profundos a moderadamente profundos, de textura franca a franco arenosa, drenaje y permeabilidad alta. Son aptos para cultivos simeperennes y perennes, sistemas agroforestales.
La Paloma	Consiste de suelos en pendientes de 0 % a 4 %, de textura franca a franco arenosa, drenaje y permeabilidad alta.
Ometepe	Consiste de suelos en pendientes de 0% a 8 %, de textura franca a franco arenosa, drenaje y permeabilidad alta. Son aptos para cultivos anuales, simeperennes y perennes.
Moyogalpa	Son suelos en pendiente de 2 % a 8 %, francos en la superficie y francos a francos arcillosos en el subsuelo, moderadamente profundos, con permeabilidad alta y capacidad de humedad disponible baja.
Volcán Madera	Suelos en pendientes de 8% a 45 %, franco arcilloso en la superficie y arcilloso en el subsuelo, profundos a moderadamente profundos, con permeabilidad moderada y capacidad de humedad disponible alta. Las áreas con menores pendientes son aptas para pastos, cultivos perennes y semiperennes; cultivos anuales se permiten únicamente bajo sistemas agroforestales.
Mérida	Son suelos arcillosos en la superficie y franco arcillosos a arcillosos en el subsuelo, con permeabilidad moderada y capacidad de humedad disponible moderada. Son aptos para cultivos simeperennes, sistemas agroforestales, forestal.
Magdalena	Suelos en pendientes de 0% a 15 %, franco arcilloso a arcillosos en la superficie, arcilloso en el subsuelo, profundos a moderadamente profundos, con permeabilidad moderada y alta capacidad de humedad disponible, son aptos para cultivos simeperennes, sistemas agroforestales.
Tierras Escarpadas	Se encuentran en lugares con pendientes de 8 % a más de 45 %, son francos en la superficie y francos a franco arcillosos con gravas en el subsuelo, aptos para pastos con árboles, forestal.
Miscelaneos Varios	Consiste de suelos franco arenosos en la superficie, francos a franco arenosos en el subsuelo, bien drenados, permeabilidad alta y baja capacidad de retención de humedad, se han desarrollado a partir de escoria o gravas, aptos para cultivos semiperennes y perennes, pastos con árboles y forestal.
Tierras Aluviales	Suelos en pendientes de 0 % a 4 %, tienen mucha variación en drenaje y textura en distancias cortas, aptos para cultivos anuales, pastos.
Tierras Coluviales	Suelos en pendientes de 0 % a 8 %, francos en la superficie, y francos a franco arenosos en el subsuelo, bien drenados, permeabilidad alta y capacidad de humedad disponible baja.
Suelos Verticos	Son suelos en pendientes de 0 % a 8 %, derivados de depósitos de materiales volcánicos de textura fina, profundos a moderadamente superficiales, con textura franco arcillosa en la superficie, textura arcillosa en el subsuelo, aptos para pastos, forestal y cultivos resistentes al anegamiento como el arroz.
Vertisoles	Son suelos arcillosos, tienen permeabilidad muy lenta, son similares a los suelos vérticos, pero difieren principalmente en que estos últimos tienen menos arcilla. Son aptos para pastos, forestales y arroz. Sin embargo, debido a su textura arcillosa pesada son difíciles de trabajar. Son aptos para pastos, forestal y cultivos resistentes al anegamiento como el arroz.
Pantanos y Ciénagas	Áreas que son frecuentemente inundadas y tienen una tabla de agua alta durante la mayor parte del año. Están clasificadas como pantanos y ciénagas; los pantanos soportan vegetación de zacates, mientras que las ciénagas soportan vegetación arbórea. Debido a su rol ecológico, dichas áreas deben ser destinadas a protección de la vida silvestre.

Fuente: Aguirre y Acuña (2009).

3.1.1.1. Aspectos Geológicos en el Volcán Concepción

Según Devoli, Álvarez, Chávez y Talavera, (2015) el Volcán Concepción, en su mayoría se compone de depósitos de material piroclástico en el sector occidental, llegando a 50 m de espesor en el área de Moyogalpa y lavas que ocupan principalmente el sector oriental del Volcán Concepción. Según Delgado Granados y Navarro Collado (2002), se reconocen 4 unidades estratigráficas: sedimentos lacustres, tefras (material piroclástico suelto), lavas y depósitos de lahares. La Figura 3 muestra un mapa geológico preliminar del Volcán Concepción.

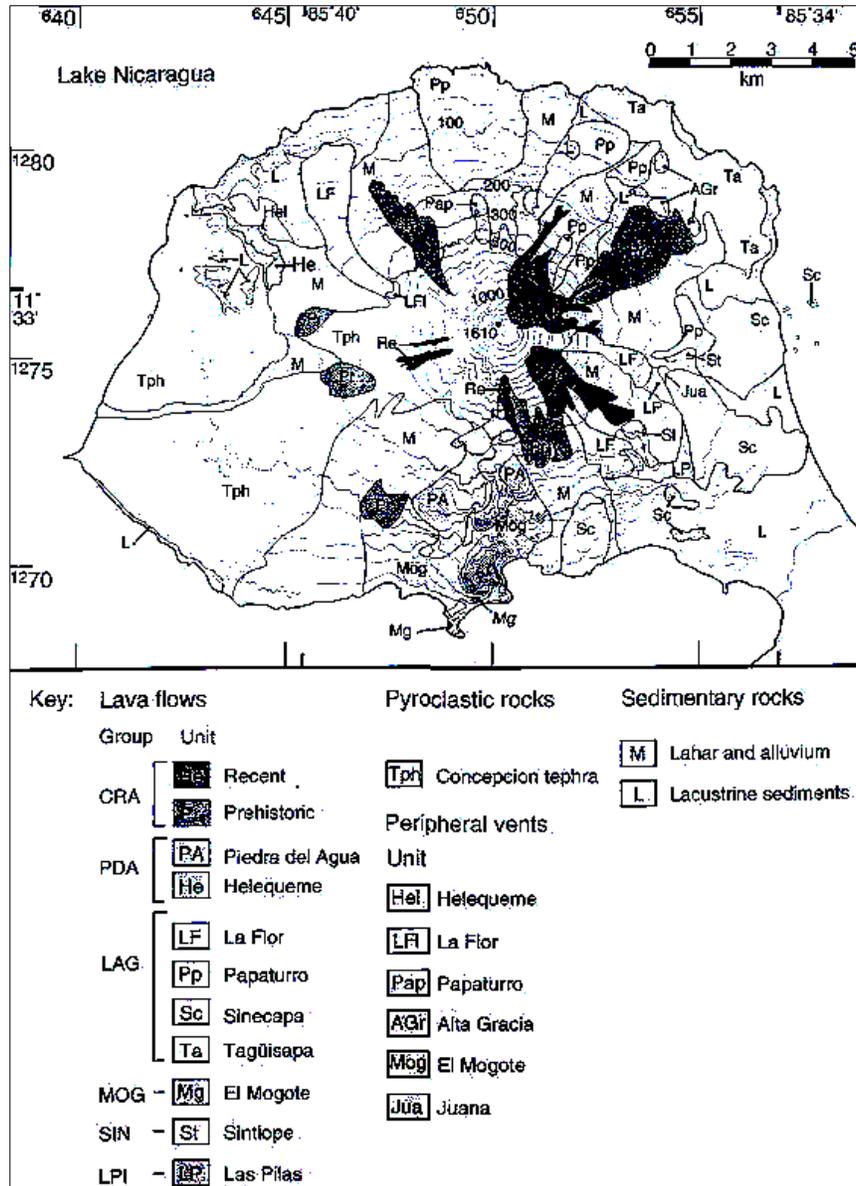


Figura 3. Mapa Geológico Preliminar del Volcán Concepción
Fuente: Borgia y Wyk van de Vries (2001), citado por Delgado Granados y Navarro Collado (2002).

Delgado Granados y Navarro Collado (2002) señalan que los sedimentos lacustres Pleistoceno - Holoceno del Lago de Nicaragua son las unidades estratigráficas inferiores expuestas en Concepción que se ven enriquecidos en material volcánico hacia la cima de la secuencia. Los depósitos de oleada piroclástica húmeda denominada “Oleada Bola de Nieve”, es el horizonte volcánico más profundo dentro de los sedimentos lacustres, seguido hacia arriba por capas de arenas y limos volcanoclásticos, ocasionalmente intercaladas con horizontes de tefra basáltica. Una marcada discordancia separa a los sedimentos lacustres de la secuencia de tefra subaérea suprayacente.

Por su parte, la secuencia de tefra, Delgado Granados y Navarro Collado (2002) mencionan que se caracteriza en la parte baja por la presencia de escoria con composición de andesita basáltica separada por horizontes gruesos de ceniza y suelo. Más arriba, la secuencia se vuelve más silícica y rica en líticos, culminando con el depósito de caída pliniano Caída Tierra Blanca y el depósito de oleada piroclástica Moyogalpa. Un suelo debajo de la Caída Tierra Blanca fue fechado por carbono 14 en 2600 años AP (antes del presente). Este horizonte y el depósito Moyogalpa son los depósitos de mayor espesor y funcionan como buenos marcadores estratigráficos.

En cuanto la estratigrafía de las lavas, Delgado Granados y Navarro Collado (2002) señalan que comprende 6 grupos: Las Pilas, Sintiope (son dacitas), El Mogote, Lago, Piedra del Agua y Cráter (Figura 3 y Cuadro 2).

Cuadro 2. Grupos correspondientes a la Estratigrafía de Lavas.

Estratigrafía de Lavas	Descripción
Las Pilas	Son flujos de lava basálticos a andesíticos totalmente desmembrados por deformación posterior a su emplazamiento, su área de afloramiento es muy pequeña en la parte sureste del volcán.
Sintiope	Son dacitas, los flujos de este grupo también han sido desmembrados por deformación posterior a su emplazamiento, mientras que los domos mantienen su forma de emplazamiento (tipo tronco), su área de distribución también está en el lado sureste.
El Mogote	Las lavas tienen una composición basáltica restringida y fueron emitidas a través de fuentes parásitas con patrones norte-sur en la base sur del volcán.
Lago	Está formado por una serie de flujos andesíticos que afloran alrededor de la base occidental del volcán, pero particularmente se observan los flujos de lava Tagüisapa en el sector norte, Sinecapa en el sector oriental, Papaturo en el sector noreste y La Flor en los sectores noroeste y sureste.
Piedra del Agua	Son basaltos altos en alúmina que fueron emitidos también por el lineamiento norte-sur (Lavas Piedra del Agua) en el sector sur y las lavas Helequeme en el sector noroeste.
Cráter	Las lavas son flujos de andesita silícica prehistóricos e históricos que han sido emitidos por el cráter principal y se han distribuido en forma radial.

Fuente: Delgado Granados y Navarro Collado (2002).

Los depósitos de lahares, en su mayoría fueron emplazados durante los últimos 100 años. Delgado Granados y Navarro Collado (2002) mencionan que Ferrey y Williams (1971) refieren a que los eventos laháricos más destructivos fueron registrados primero en 1957 y probablemente no habían comenzado antes de 1940, ya que existen fotos en el Museo del Volcán Masaya que muestran poca erosión. Algunos flujos más antiguos, infrayacen a las lavas de los grupos Piedra del Agua y El Mogote, lo que parece sugerir otro episodio de degradación mayor del cono.

3.1.2. Fenómenos Laháricos

Según Ordóñez, Samaniego, Mothes y Schilling (2013), los lahares son flujos densos que se movilizan ladera abajo por los drenajes de un volcán debido a la acción de la gravedad y consisten de una mezcla de agua (fase líquida) y de materiales volcánicos (fase sólida). La magnitud y el potencial destructivo de estos flujos dependen del volumen contenido en las dos fases, así como de los tamaños de las partículas sólidas que pueden variar entre arena fina hasta rocas de algunos metros de diámetro. En cuanto a las velocidades de estos flujos están determinadas por las pendientes, por la forma de los cauces, por la relación sólidos - agua y de alguna manera por el volumen.

Lavigne, Thouret, Franck, y Claude (2002), mencionan que se puede distinguir entre lahares primarios o sineruptivos (asociados con erupciones) y secundarios o post-eruptivos (asociados indirectamente con erupciones), Smith, Lowe, Gary y Donald (1991), indican que estos fenómenos pueden presentar distintos tipos de flujo (avalancha de escombros, flujo hiperconcentrado y flujo de arroyada) en relación con la proporción de agua y materiales sólidos que contengan. Delgado Granados & Navarro Collado (2002), señalan que los lahares pueden ser generados de muchas maneras:

En el caso de lahares primarios:

- Mezcla de escombros de roca y agua en las laderas de un volcán.
- Explosiones volcánicas que desaguan lagunas cratéricas.
- Aguaceros torrenciales que mezclan agua con tefra recién depositada u otro material no consolidado.
- Ocurrencia simultánea de tormentas y columnas eruptivas.
- Flujos piroclásticos al ingresar a ríos e incorporar agua.

En el caso de lahares secundarios:

- Lluvia de tefra asociada con un incremento en el coeficiente de escorrentía.
- Transformación de avalanchas de escombros saturadas en agua.
- Destrucción repentina de represas formadas por flujos de lava, avalanchas de escombros, flujos piroclásticos y desbordamiento o derrumbe de bordes cratéricos.
- Iniciados por sismos.

3.1.2.1. Lahares en Nicaragua, Centroamérica y el Mundo

Van y Andrade (2008), señalan que en Centroamérica el lahar más destructivo ocurrido recientemente tuvo lugar en un volcán inactivo, el casita (Nicaragua) en 1998, tras el huracán Mitch. El lahar causó la muerte de más de 2,000 personas y la fuente principal de la avalancha se ubicó 200 m al suroeste de la cima del volcán, para el bloque del primer deslizamiento de rocas se estimó un volumen de aproximadamente 200 m³, el máximo del flujo tuvo un ancho de 150 m a 250 m y una profundidad de 30 m a 60 m. Según el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en America Central (CEPRENAC, 2008), para Nicaragua este evento significó en la comunidad científica, instancias gubernamentales y ciudadanía, la necesidad de promover el conocimiento sobre estos eventos, auscultarlos, prevenirlos y mitigarlos, así como la necesidad de establecer un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para deslizamiento. Strauch (2005), señala que en Nicaragua, en los volcanes activos San Cristóbal, Telica y Concepción, son frecuentes los flujos de derrubios y lodo, o lahares, desencadenados por fuertes lluvias.

Según Ordoñez, Samaniego, Mothes y Schilling (2013), las erupciones históricas del Cotopaxi (1534 DC – Presente) y las erupciones de otros volcanes en el mundo (Santa Helena en 1980, USA; Pinatubo en 1991, Filipinas; Volcán San Miguel en 1988, 1994, 1999 y 2000, Salvador; Volcán Santiaguito en 1982, Guatemala) han demostrado que grandes lahares pueden afectar a pueblos y ciudades que se encuentren a su paso con millones de toneladas de escombros volcánicos.

D'Ercole (1989), señala el triste caso del lahar de Nevado El Ruíz, en Colombia, el 13 de noviembre de 1985, en el que una serie de erupciones relativamente menores dieron origen a la peor catástrofe conocida en el territorio de Colombia que causó cerca de 25,000 muertes. Este lahar estaba constituido por una mezcla heterogénea, más o menos densa, de elementos líquidos y sólidos, el volumen del material acarreado fue estimado entre 80 y 100 millones de m³ y en algunas zonas el flujo sobrepasó los 40 m.

3.1.2.2. Origen de los Procesos Laháricos en el Volcán Concepción

Devoli, Álvarez, Chávez, y Talavera (2015), señalan que en las cercanías de la cumbre del Volcán Concepción existen acumulaciones de depósitos de flujos piroclásticos que están debilitadas por estar cercanas a fallas o fracturas, o bien en proximidad de área fumarólicas, donde más intensa es la alteración hidrotermal y tienden a romperse fácilmente durante las lluvias que las remueve para formar lahares. También los depósitos de cenizas (conocidos como tefras) presentes en las pendientes empinadas del volcán, con espesores considerables en el sector oeste del volcán, son fácilmente removidos por las lluvias torrenciales, siendo esta una de las causas de la formación de lahares primarios, aunque en el Volcán Concepción pueden desarrollarse los dos tipos de lahares, primarios y secundarios.

Los registros estratigráficos han mostrado que los lahares no han ocurrido con la misma intensidad durante la historia del Volcán Concepción. Parecen haber iniciado a ser más frecuentes a final del ciclo magmático, cuando la construcción del cono volcánico fue significativa por la gran acumulación de tefras respecto a la lava. A partir de este periodo el volcán ha producido frecuentemente lahares, los cuales (por datos históricos) se deduce han sido desencadenados por lluvias intensas, algunas de las cuales han seguido una erupción volcánica, con emisión de ceniza

en las laderas. Actualmente se consideran como la amenaza más frecuente para la infraestructura y la población de la isla. Delgado Granados y Navarro Collado (2002), indican que las zonas más proclives a ser afectadas por la ocurrencia de lahares en la parte norte son las comunidades de San Marcos, Concepción y La Flor, mientras que en el sur es la comunidad de San Juan.

3.1.2.3. Importancia de Estudiar los Procesos Laháricos

Delgado Granados y Navarro Collado (2002), señalan que los lahares amenazan la vida y propiedades tanto en los volcanes como en los valles que los drenan. Debido a su alta densidad y a su velocidad, los lahares pueden destruir poblados, campos de cultivo y obras de infraestructura, sepultando y destruyendo casas, carreteras, puentes e incluso bloqueando rutas de evacuación. La experiencia ha mostrado que estos fenómenos han sido causantes de grandes pérdidas humanas (caso del Volcán Casita en Nicaragua y el caso de Nevado El Ruiz en Colombia), ambientales y económicas, por lo que a lo largo de estos años se ha hecho de vital importancia estudiarlos a fin de disminuir las pérdidas que se producen.

En el caso del Volcán Concepción que forma la Isla de Ometepe y por tanto su impacto es sobre la misma, es importante señalar que la isla está bien poblada y desarrollada, según el Instituto Nacional de Información de Desarrollo, INIDE (2008) en su documento “Moyogalpa en Cifras”, basado en el censo del año 2005 la proyección poblacional para Moyogalpa al año 2016 es de 10, 329 habitantes, de igual manera INIDE (2008) en su documento “Altagracia en Cifras”, señala que para este mismo año la población de Altagracia es proyectada a 22,398 habitantes, siendo el total de habitantes proyectados para la Isla de Ometepe en el año 2016 de 32,727 habitantes. Si a este poblado se le suma que la isla tiene una creciente industria turística, el número de personas expuesta a la ocurrencia de lahares se hace mayor y por tanto se hace de suma importancia estimar los umbrales de precipitaciones que generan este tipo de deslizamiento, así como caracterizar de manera integral el comportamiento de los mismos a fin de poder proveer datos que puedan ser integrados a un Sistema de Alerta Temprana que brinde mayor seguridad tanto a los habitantes de la isla como a los turistas que la visitan.

3.2. Diseño Metodológico

Esta investigación se clasifica como cuantitativa cuasi experimental porque a través del registro de precipitaciones se estableció una relación con la ocurrencia de fenómenos de lahares y se determinó cuáles son los umbrales de precipitación que desencadenan este tipo de deslizamiento, además, en campo se hicieron mediciones de parámetros físicos del suelo para usarse en las simulaciones del programa LandslideSim2016 para visualizar las áreas de inestabilidad de ladera, fallas y ocurrencia de lahares en el talud. Sousa et al. (2007) señala que la investigación cuantitativa cuasi experimental examina relaciones de causa y efecto entre las variables independiente y dependiente, son útiles para probar la efectividad de una intervención, pues son los que más se aproximan a los escenarios naturales. En el Cuadro 3 se describen las variables evaluadas en esta investigación durante el periodo de estudio.

Cuadro 3. Variables Evaluadas durante este Proceso Investigativo.

Variables a Medir	Unidades de Medida	Métodos de Medición	Periodo de Medición
Cantidad de lluvia	mm	Valoración directa con la estación meteorológica Davis Vantage Vue, modelo número 6250.	Año 2016
Intensidad de lluvia	mm/h		
Ensayo de Penetración Estándar (SPT, por sus siglas en inglés)	Golpes	Medición directa con el penetrómetro cónico dinámico modelo H - 4202. 1A.	23 de Junio, 2017
Cohesión	kPa	Medición directa con el Kit de inspección de veletas modelo H - 4227.	
Ángulo de Fricción Interna	Grados (o)	Medición indirecta con el penetrómetro cónico dinámico modelo H - 4202. 1A.	
Conductividad	m/día	Estimación indirecta según la clasificación de Lee (1996) y USDA (1975).	
Densidad Aparente	g/cm ³		

En la Figura 4 se presenta el flujograma de las tres etapas desarrolladas durante este proceso investigativo que ha tenido como finalidad definir umbrales de precipitaciones ante la ocurrencia de lahares en el Volcán Concepción para la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT). La primera etapa se inició con el registro de precipitaciones y lahares del año 2016, posterior asociando ambos datos se determinaron los umbrales de precipitaciones que ocasionaron los lahares del año 2016; la segunda etapa se inició elaborando un inventario de lahares registrados entre el periodo del año 2005 – 2016 con las respectivas precipitaciones registradas para cada evento, posterior se hizo una correlación entre las precipitaciones evento y precipitaciones acumuladas los días antecedentes para diferentes combinaciones de días, además se hizo un análisis estadísticos para toda la serie datos a fin de estimar las precipitaciones detonantes de eventos históricos de lahares; la tercera y última etapa consistió en hacer una evaluación de probabilidades de ocurrencia de lahares para diferentes intensidades de precipitaciones con el programa de modelación LandslideSim2016 ®v, este programa requiere de ciertos datos temáticos y parámetros físicos del suelo, por lo que en campo se hicieron mediciones de algunas variables a fin de disminuir la incertidumbre del programa. En el Anexo 2 se muestran imágenes representativas a este proceso investigativo.

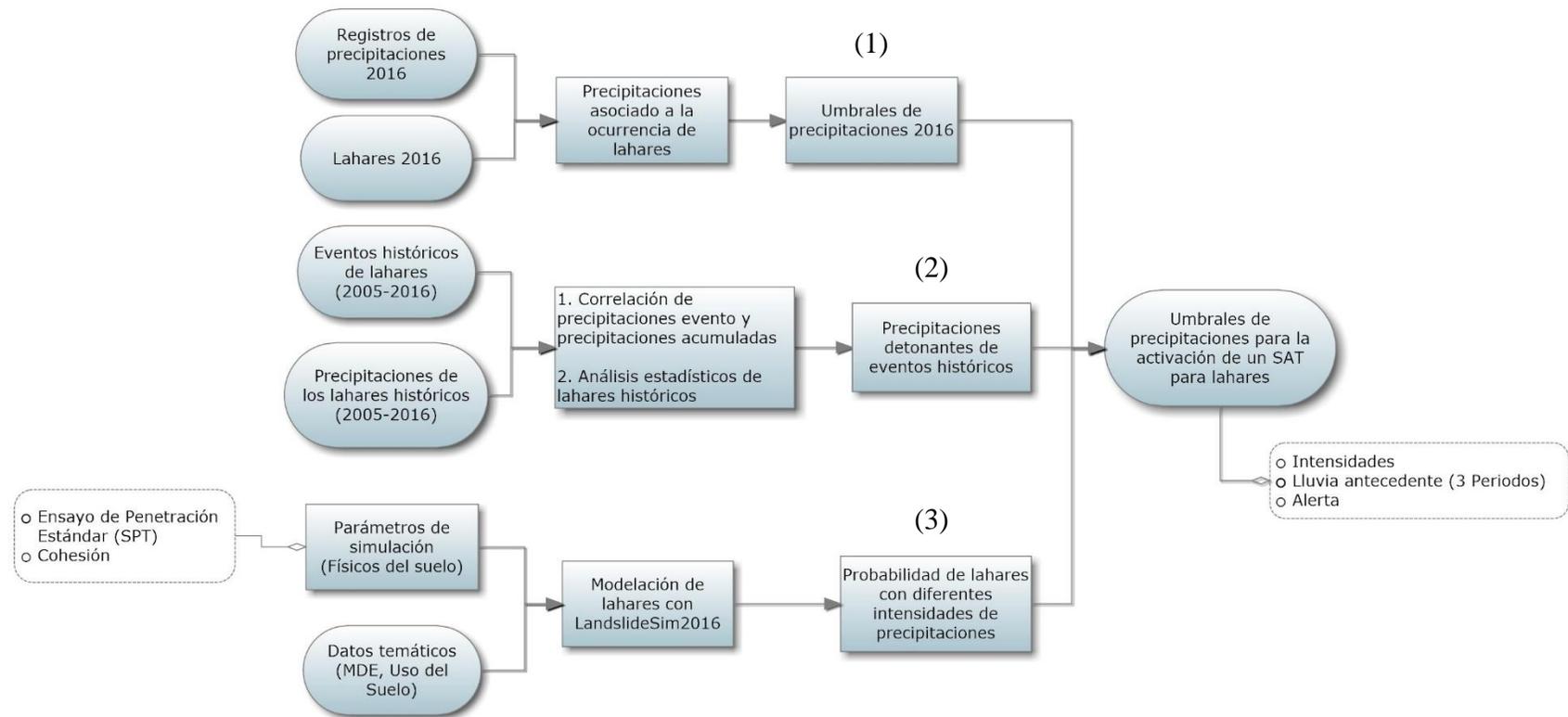


Figura 4. Flujograma del Proceso Investigativo. (1) Determinación de los umbrales de precipitaciones que ocasionaron los fenómenos laháricos el año 2016. (2) Estimación de las precipitaciones detonantes de los eventos históricos registrados entre el periodo del año 2005 – 2016. (3) Evaluación de la probabilidad de ocurrencia de lahares para diferentes intensidades de precipitaciones.

3.2.1. Etapa I: Determinación de Umbrales de Precipitaciones que ocasionaron lahares el Año 2016

3.2.1.1. Registro de Precipitaciones del Año 2016

Los datos de precipitaciones se obtuvieron de las estaciones meteorológicas instaladas en los municipios de Altagracia y Moyagalpa en las fincas de productores (Figura 1). Las estaciones meteorológicas representativas para el Volcán Concepción son las estaciones de Altagracia y Los Ángeles (Moyagalpa); otra estación meteorológica instalada dentro de este proyecto del que es parte este estudio está ubicada en la Finca Magdalena, los datos obtenidos de esta estación meteorológica no son considerados en este estudio por ser representativos del Volcán Maderas, no así del Volcán Concepción. El Cuadro 4 presenta las especificaciones correspondientes a las estaciones instaladas y en la Figura 5 el modelo de la misma.

Cuadro 4. Especificaciones de Estaciones Meteorológicas Instaladas.

Estación	Ubicación	Modelo
Estación de Altagracia	Finca de don Luis Alemán en Altagracia, en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 16P) 655759E y 1278355N.	Estación meteorológica Davis Vantage Vue, modelo número 6250.
Estación de Los Ángeles (Moyagalpa)	Finca de don Rodolfo Juárez en Los Ángeles (Moyagalpa), en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 16P) 642296E y 1271450N.	
Estación de Finca Magdalena	Finca Magdalena, en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 16 P) 0662586E y 126968N.	Estación meteorológica Davis Vantage Pro 2, modelo número 6152.

El registro de la cantidad e intensidad de lluvia se tomó durante el año 2016 de las consolas (modelo de consola en la Figura 5) que se encontraban conectadas inalámbricamente a las estaciones meteorológicas instaladas en el Volcán Concepción. La consola refleja lecturas de temperatura interior y exterior ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa interior y exterior (%), presión barométrica (pulgadas de Hg), dirección y velocidad del viento (km/h), cantidad e intensidad de lluvia (mm, mm/h), siendo estas dos últimas las variables utilizadas en este estudio.



Figura 5. Estación Meteorológica Davis Vantage Vue número 6250 con su consola.

Para obtener datos puntuales de precipitaciones para cada zona del Volcán Concepción y asociar los datos con mayor efectividad a la ocurrencia de lahares para cada área del volcán, se hace necesario instalar la cantidad de estaciones meteorológicas proporcionales al área del mismo. Sin embargo, para este estudio fue posible instalar únicamente dos estaciones, por lo que al momento de seleccionar la zona de ubicación de las estaciones meteorológicas se consideró que estas fueran representativas al barlovento y sotavento del Volcán Concepción, otro aspecto importante que se consideró fue garantizar la seguridad de las mismas, por esta razón fueron instaladas en las fincas mencionadas, para que los productores pudieran garantizar el cuidado de las estaciones. Importante mencionar que el hecho de no contar con la cantidad de estaciones necesarias restringe la obtención de datos puntuales para algunos sitios, en especial para la parte alta o media del volcán, lo que limita en algunos casos poder asociar datos de precipitaciones a la ocurrencia de lahares.

Para estimar el área de influencia de cada una de las estaciones meteorológicas instaladas se aplicó la metodología de interpolación de polígonos de Thiessen. Este método se emplea cuando la distribución de los pluviómetros no es uniforme dentro del área en consideración (Chachuana Andia y Yugar Morales, 2009), como lo es en este estudio.

3.2.1.2. Registro de Lahares ocurridos el Año 2016

Los guías turísticos y agricultores diariamente recorren zonas del Volcán Concepción, por lo que se estableció un convenio de comunicación a fin de que ellos reportaran cualquier visualización de lahar en el volcán, de igual manera se dio seguimiento a las noticias, comunicados y documentos emitidos por INETER en lo que se refería a la ocurrencia de lahares en el Volcán Concepción. Una vez notificado cada lahar por los guías turísticos y agricultores, o bien por INETER, se procedió a realizar una visita de campo a fin de caracterizar cada evento. Durante el recorrido de campo se tomaron coordenadas y rutas de desplazamiento por cada lahar a fin de realizar el mapeo de lahares ocurridos durante el año 2016.

El mapeo de lahares 2016 se hizo con el programa ArcGIS 10.2. ®v. Estos fenómenos generalmente tienen un curso de desplazamiento definido, sin embargo es probable que eventualmente este desplazamiento sea de menor o mayor longitud y extensión. Para elaborar el mapa de lahares 2016, además del recorrido de campo, se consideró los shape del mapa de amenaza de lahares (Figura 6) establecido por SINAPRED (2005) en el Volcán Concepción y las curvas de nivel.

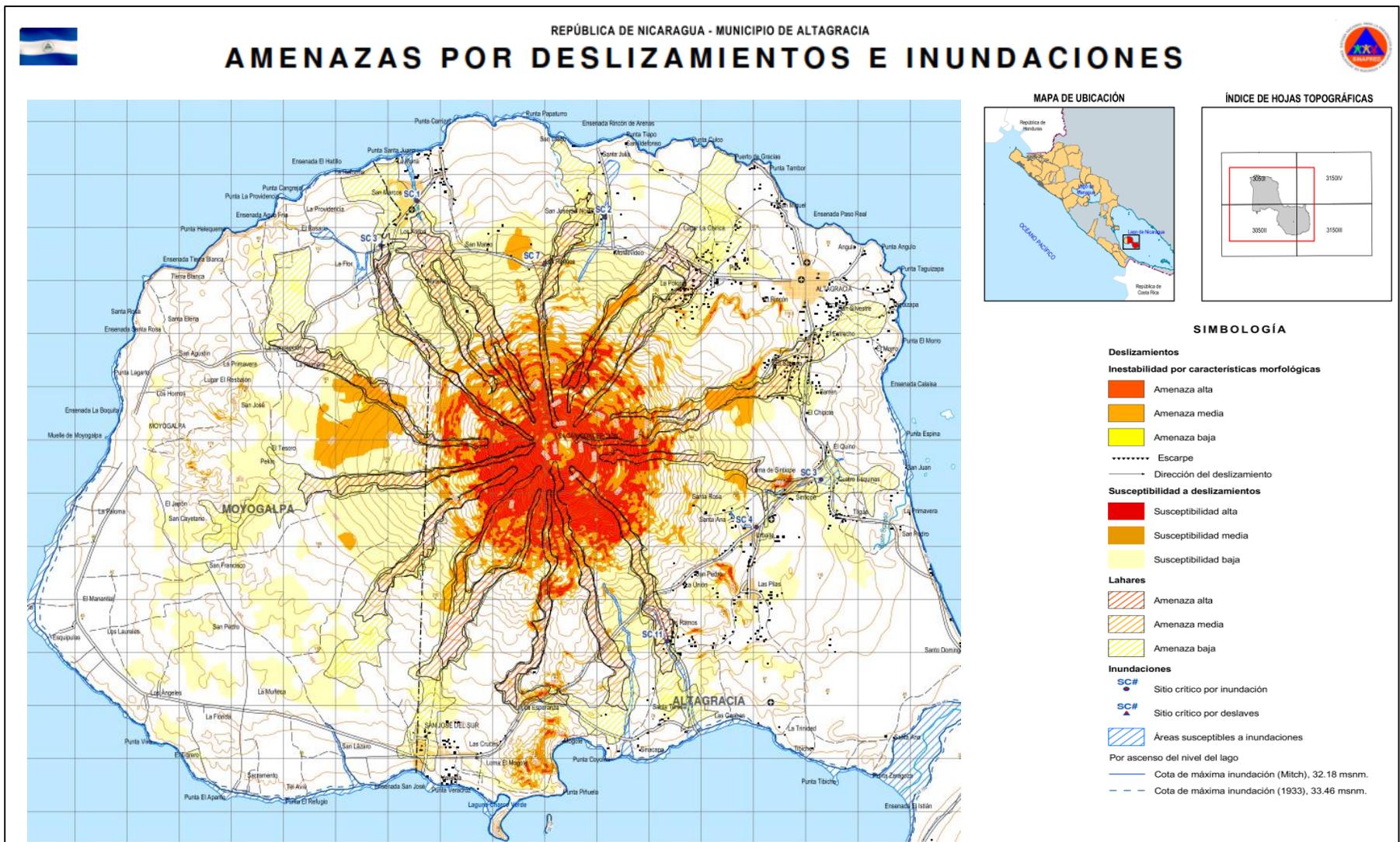


Figura 6. Volcán Concepción. Amenaza por Deslizamientos, Lahares e Inundaciones.

Fuente: SINAPRED (2005).

3.2.1.3. Precipitaciones Asociado a la ocurrencia de Lahares

Los umbrales definidos por métodos empíricos o estadísticos están basados en datos históricos de lluvias y de movimiento de masa, estos métodos relacionan la ocurrencia del evento con la intensidad de lluvia, la duración de la lluvia o la lluvia acumulada antecedente (Terlien, 1998). Para determinar los umbrales de precipitaciones que ocasionaron los lahares 2016 en el Volcán Concepción, además de monitorear y registrar las precipitaciones diarias durante el año 2016 (Anexo 3), con la información suministrada por guías turísticos, agricultores e INETER se hizo una correlación con los datos de fecha y hora de ocurrencia de estos eventos con las precipitaciones registradas al momento detonante, con esta correlación se realizaron los hietogramas y curvas de masa de las tormentas que ocasionaron estos fenómenos y se estimó los umbrales de lluvia detonante que causaron los lahares 2016.

El acumulado de lluvia es fundamental para estimar las precipitaciones detonantes, ya que de la magnitud de estas depende el estado de saturación que alcance el suelo. Por tanto, una vez estimadas las precipitaciones detonantes se hizo una correlación entre las precipitaciones detonantes y las precipitaciones acumuladas antecedentes, de igual manera estas correlaciones se hicieron con eventos lluviosos que no ocasionaron este tipo de fenómeno a fin de establecer una comparación entre las tormentas que ocasionan lahares y tormentas que no lo ocasionan.

3.2.2. Etapa II: Estimación de Precipitaciones Detonantes de Eventos Históricos de Lahares (2005 -2016)

3.2.2.1. Eventos y Precipitaciones Históricas de Lahares (2005 -2016)

El análisis de los eventos históricos se inició elaborando un inventario de los lahares comprendidos entre el periodo del año 2005 al 2016 (En el Anexo 4 se observa este inventario) con las respectivas precipitaciones registradas el día de cada evento lahárico. De este inventario se hizo una selección de eventos basada en los siguientes criterios:

- Lahares ocurridos con registro de precipitaciones mayores a 10.00 mm.
- Lahares de los que se tiene información correspondiente a la lluvia del día del evento y lluvias acumuladas de 1,3, 10, 15, 20, 25 y 30 días antecedentes al evento.
- Los lahares que cumplen con los criterios antes mencionados, pero que son atípicos (datos numéricamente distante al resto de datos) a la serie de datos, no han sido seleccionados en el análisis.

3.2.2.2. Correlación de Precipitaciones Eventos y Precipitaciones Acumuladas de Lahares Históricos (2005 -2016)

La estimación de precipitaciones detonantes de eventos históricos de lahares en el Volcán Concepción se inició con la correlación de la precipitación evento y precipitación acumulada antecedente. Suarez (2009) señala que cuando se utiliza el criterio de lluvia antecedente y acumulada es clave determinar el período del efecto. Sin embargo, también menciona que los autores no están de acuerdo en un criterio común al momento de considerar la lluvia antecedente.

Por ejemplo, Suarez (2009) cita autores que consideran 3 días de lluvia antecedente Kim et al. (1991), 4 días Heyerdahl et al. (2003), 5 días Moreiras (2005), 10 días (Crozier, 1999; Glade 2000) y 18 días (Chleborad, 2003; Terlien, 1998). A su vez, cita autores que consideran rangos de días de lluvias antecedentes de 7, 10 y 15 días Aleotti (2004), 2, 5, 15 y 25 días ensayó Terlien (1998) para Colombia y encontró mejores correlaciones para 15 y 25 días. De Vita (2000) utilizó períodos entre 1 y 59 días. Pasuto y Silvano (1989) ensayaron períodos de 1 a 120 días y encontraron que la activación de deslizamientos se correlaciona mejor para una lluvia antecedente de 15 días.

En el caso de los lahares del Volcán Concepción se consideró la lluvia acumulada de 30 días antecedentes al día del evento, para definir este rango se hicieron correlaciones entre las precipitaciones eventos y precipitaciones acumuladas antecedentes para diferentes rangos de días a fin de estimar el periodo de días con los mejores resultados de correlación y de evaluación del comportamiento de las precipitaciones acumuladas antecedentes.

3.2.2.3. Análisis Estadístico de Lahares Históricos (2005 -2016)

Con el inventario de lahares seleccionados, haciendo uso del programa estadístico “IBM SPSS STATISTICS 23.0” y el programa “Excel 2013” se hicieron correlaciones entre las precipitaciones evento y precipitaciones acumuladas los días antecedentes, posterior se hizo un análisis estadístico descriptivo con las variables media, mediana, moda, desviación estándar, varianza, rango, mínimo, máximo y percentiles.

La estimación de precipitaciones detonantes de eventos históricos de lahares comprendidos en el periodo del año 2005 -2016 en el Volcán Concepción, se hizo basado en los resultados de correlaciones de la precipitación evento y precipitación acumulada los días antecedentes, así como del análisis estadístico realizado.

3.2.3. Etapa II: Evaluación de Probabilidad de ocurrencia de Lahares con diferentes Intensidades de Precipitaciones

3.2.3.1. Parámetros de Simulación (Físicos del Suelo)

Para estimar la probabilidad de ocurrencia de lahares para diferentes intensidades de precipitaciones se hicieron modelaciones con el programa LandslideSim2016 ®v. Este programa requiere de ciertos parámetros físicos de suelo, por lo que se hicieron ensayos de campo a fin de disminuir la incertidumbre del programa.

Mediante el uso de un penetrómetro cónico dinámico modelo H – 4202. 1A (Imagen 7.1 de la Figura 7) y un Kit de inspección de veletas modelo H – 4227 (Imagen 7.2 de la Figura 7) en campo se realizaron Ensayos de Penetración Estándar (SPT por sus siglas en inglés) (Golpes) y de cohesión (kPa) en diferentes puntos alrededor del Volcán Concepción que se encuentran localizados en el mapa de la Figura 8.



Figura 7. Modelo de Equipos Utilizados en Campo. (7.1) Penetrómetro cónico dinámico modelo H - 4202. 1A. para Ensayos de Penetración Estándar (SPT). (6.2) Kit de inspección de veletas modelo H – 4227 para mediciones de cohesión.

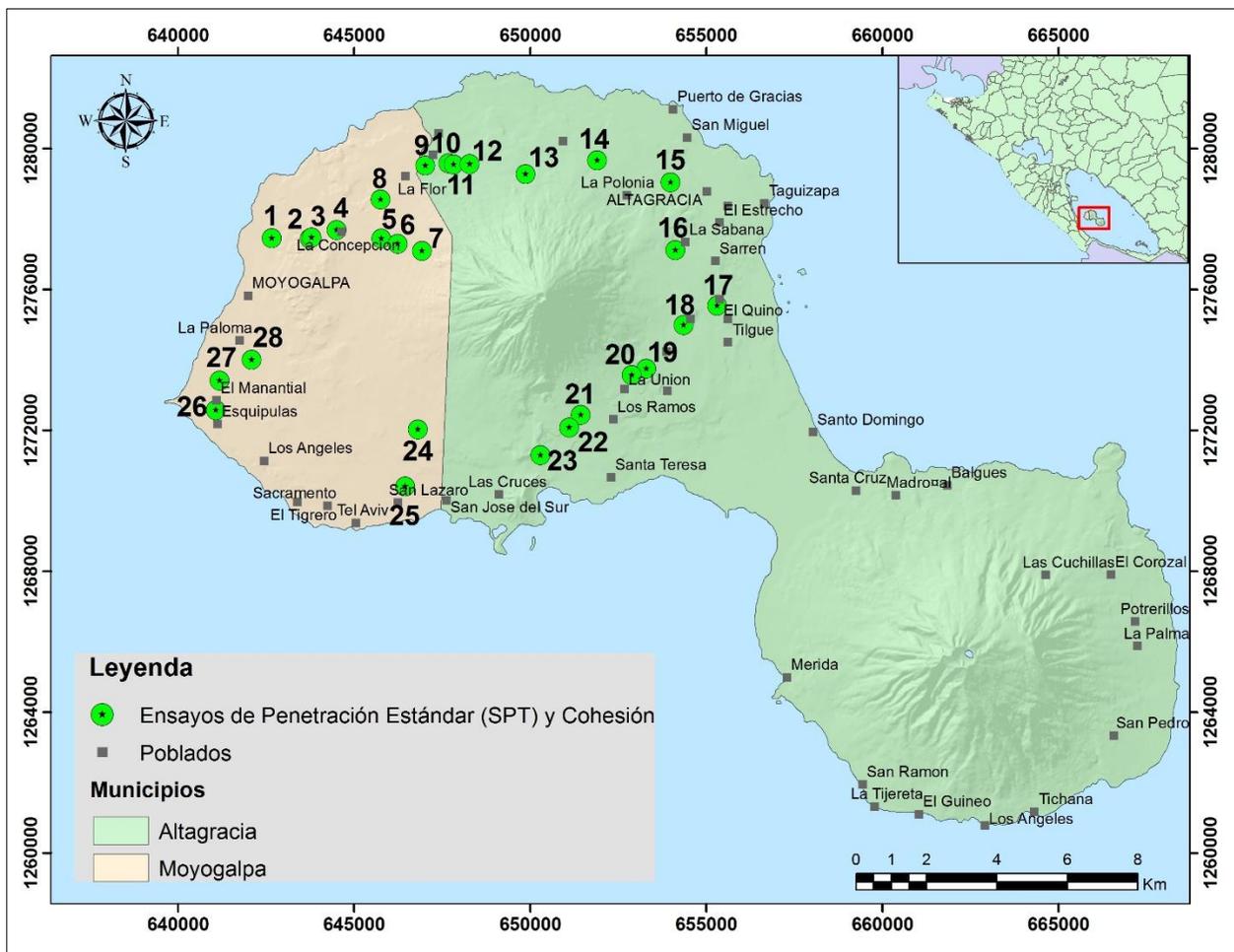


Figura 8. Ubicación de Puntos de Ensayos de Penetración Estándar y Cohesión.

A partir de los resultados de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT por sus siglas en inglés) (Golpes), usando los criterios de correlación establecidos por Meyerhof (1956), se estimó el ángulo de fricción interna (ϕ). Los criterios de correlación de Meyerhof (1956) se basan en hacer una relación con el número de golpes requeridos para penetrar en el suelo 0.3 m de profundidad, según el número de golpes se determina el ángulo de fricción interna (Cuadro 5). Se ha considerado utilizar los criterios de correlación establecidos por Meyerhof (1956), debido a que este tipo de metodología, al considerar el número de golpes requeridos para penetrar el suelo proporciona una indicación de la densidad relativa del suelo subsuperficial, permitiendo así una correlación empírica geotécnica que permite estimar el aproximado de las propiedades de fuerza de los suelos como el ángulo de fricción interna (ϕ) que es la propiedad de interés a estimar en este caso.

Cuadro 5. Correlación entre el Valor de SPT-N y Ángulo de Fricción Interna.

SPT N3 (Golpes/0,3m - 1 ft)	Ángulo de Fricción Interna (ϕ)
< 4.00	< 30.00
4.00 - 10.00	30.00 - 35.00
10.00 - 30.00	35.00 - 40.00
30.00 - 50.00	40.00 - 45.00
> 50.00	> 45.00

Fuente: Meyerhof (1956).

La conductividad y densidad aparente se estimaron a partir de la clasificación de Lee (1996) y USDA (1975), según lo observado en campo para diferentes clases texturales del suelo (Cuadro 6 y 7). Los métodos de clasificación de Lee (1996) y USDA (1975) han sido seleccionados debido a que además de proporcionar datos confiables, la única información que requieren para sugerir valores aproximados de conductividad (mm/día) y densidad aparente (g/cm^3) son las clases texturales observadas durante el recorrido de campo. Existen otros métodos para obtener valores de mayor precisión de conductividad (mm/día) y densidad aparente (g/cm^3) que sería recomendable hacerlos si en este estudio se estuviera evaluando como intervienen estas variables en la generación de lahares. Sin embargo, en este estudio, estos valores tienen como única finalidad disminuir la incertidumbre del programa de modelación de lahares LandslideSim2016 ®v.

Cuadro 6. Clases Texturales y Conductividad Hidráulica.

Suelo	Conductividad Hidráulica (Permeabilidad) K (cm/seg)	Capacidad de Infiltración (mm/hora)	Capacidad de Infiltración (m/día)*
Arcillas	$< 10 \times 10^{-9}$	0.25 - 2.50	0.006 - 0.06
Limos	$1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-7}$	2.50 - 80	0.06 - 0.192
Arenas Finas	$1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-5}$	8.00 - 13.00	0.192 - 0.312
Arenas Gruesas	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-2}$	13.00 - 20.00	0.312 - 0.48
Gravas	$> 1 \times 10^{-2}$	20.00 - 30.00	0.48 - 0.72

Fuente: Lee (1996).

*Se hizo la conversión a m/d por ser la unidad a trabajar en las simulaciones con el programa LandslideSim2016 ®v.

Cuadro 7. Clases Texturales de Suelos y Densidad Aparente.

Clases Texturales	Densidad Aparente (g/cm ³)
Arena	1.70 - 1.80
Arena Gruesa	1.60 - 1.70
Arena y Arena Fina	1.55 - 1.65
Arena franca	1.60 - 1.70
Arena franca gruesa	1.55 - 1.65
Arena franca, Arena franca fina	1.55 - 1.60
Franco arenosa	1.55 - 1.60
Franco arenosa gruesa	1.50 - 1.60
Franco arenosa muy fina	1.45 - 1.55
Franca y Franco limosa	1.45 - 1.55
Limo	1.40 - 1.50
Franco arcillosa	1.40 - 1.50
Franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa	1.45 - 1.55
Arcilla arenosa	1.35 - 1.45
Arcilla Limosa	1.40 - 1.50

Fuente: USDA (1975).

3.2.3.2. Datos Temáticos

Además de parámetros físicos del suelo, el programa LandslideSim2016 @v requiere de datos temáticos como un Modelo Digital de Elevación (DEM) y un mapa de uso de suelo en formato raster. En la Figura 9 se presenta el Modelo Digital de Elevación (DEM) de 30 m y mapa de uso de suelo (4 usos de suelo) utilizados en este estudio.

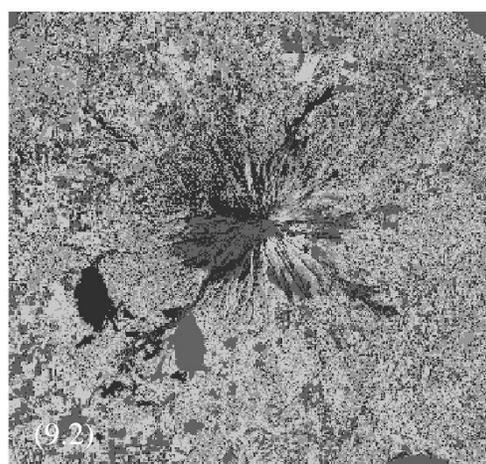
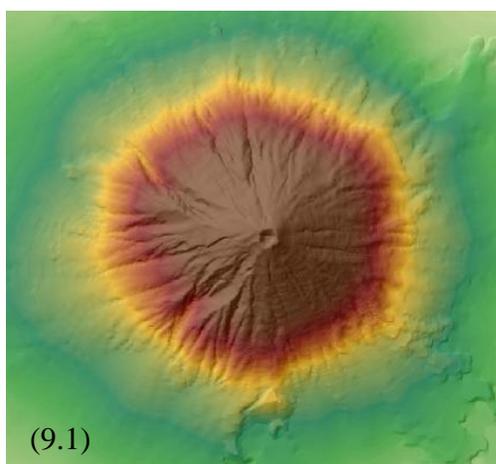


Figura 9. Datos Temáticos. (9.1) Modelo Digital de Elevación de 30 m. (9.2) Mapa de Uso de Suelo.

3.2.3.3. Modelación de Lahares con LandslideSim2016 ®v

Una vez obtenidos los resultados de campo para los parámetros físicos del suelo, Modelo Digital de Elevación (MDE) y mapa de uso de suelo en formato raster, se procedió a realizar las respectivas modelaciones de lahares para diferentes intensidades de lluvia con el programa LandslideSim2016 ®v, a fin de visualizar que intensidades generan este tipo de deslizamiento. El programa LandslideSim2016 ®v permite visualizar inestabilidad, fallas y deslizamientos en el talud.

Para modelar con el programa LandslideSim2016 ®v fue necesario ingresar los siguientes datos de entrada:

- Modelo Digital de Elevación (MDE).
- Mapa de Uso de Suelo.
- Intensidad de Lluvia.

El programa por defecto tiene diferentes valores de conductividad, densidad aparente, cohesión, ángulo de fricción interna y profundidad del suelo para diferentes usos de suelo (matorral, asentamiento, agua y default, que son valores que pueden ser utilizados para cualquier uso de suelo). En este estudio para disminuir la incertidumbre del programa han sido utilizados los resultados obtenidos en campo de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT) y cohesión (kPa), usando los criterios de correlación establecidos por Meyerhof (1956) se estimó el ángulo de fricción interna (ϕ). Además, según los criterios de clasificación de Lee (1996) y USDA (1975) según lo observado en campo para las diferentes clases texturales se estimó la conductividad (mm/día) y densidad aparente (g/cm^3).

3.2.4. Definición de Umbrales de Precipitaciones para la Activación de un SAT

Finalmente, la estimación de intervalos de precipitaciones para la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) se hizo considerando 4 aspectos: Resultados de precipitaciones que ocasionaron los lahares 2016 y lahares históricos, lluvia acumulada de uno, tres y diez días antecedentes al evento, modelaciones de inestabilidad, fallas y deslizamientos en el talud para diferentes intensidades de lluvia con el programa LandslideSim2016 y criterios establecidos (para emitir cada alerta) por la Ley 337, “Ley Creadora del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres” con sus Reformas Incorporadas, 2014. La Ley 337 establece para Nicaragua que las alertas verde, amarilla y roja deben ser declaradas con las siguientes condiciones (Cuadro 8):

Cuadro 8. Tipos de Alertas en Nicaragua.

Nivel de Alerta	Descripción
Alerta Verde	Es la que se declara una vez identificada y localizada la presencia de un fenómeno natural o provocado, y que por su peligrosidad puede afectar o no en todo o en parte del territorio nacional y de la cual deben de tener conocimiento las instituciones del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres y el público en general. Esta alerta debe ser informada de manera pública por la Co-Dirección correspondiente del Sistema Nacional, a partir de las primeras informaciones del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, de conformidad a lo establecido en su Ley Orgánica.
Alerta Amarilla	Es la que se declara a partir del momento en que se evalúa el fenómeno identificado y que éste presente tendencia a su crecimiento de forma peligrosa para todo o una parte del territorio nacional. La declaratoria de esta alerta implica que las instituciones y los órganos encargados de operar en la respuesta deben de definir y establecer las responsabilidades y funciones de todos los organismos, sean estos públicos o privados, en las diferentes fases; así como la integración de los esfuerzos públicos y privados requeridos en la materia y el uso oportuno y eficiente de todos los recursos requeridos para tal fin.
Alerta Roja	Es la que se determina cuando se produce un fenómeno de forma súbita y que de forma intempestiva causa impacto en parte o en todo el territorio nacional y de inmediato se deben de determinar las medidas de búsqueda, salvamento y rescate de la población afectada, creación de refugios, asistencia médica, evaluación de daños y la determinación de necesidades y la aplicación de los planes de asistencia independientemente de la magnitud del desastre, así como las demás medidas que resultasen necesarias para la preservación de la vida de los ciudadanos y del resguardo de los bienes de estos y del Estado.

Fuente: Ley 337, “Ley Creadora del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres” con sus Reformas Incorporadas, 2014.

3.2.5. Materiales y equipos

En el cuadro 9 se describen los materiales y equipos utilizados en la fase de campo y fase de análisis de resultados de esta investigación:

Cuadro 9. Materiales y Equipos utilizados durante este Proceso Investigativo.

Materiales y Equipos	Descripción	Uso	
Fase de Campo	Estación Meteorológica Davis Vantage Vue modelo número 6250 con su consola.	Alimentación eléctrica por panel solar . Transmisión inalámbrica de datos. Selección de alarmas. Registro de los datos a través del tiempo. Resolución de medición: 0.2 mm. Rango de medición: 0 mm - 6,553 mm. Precisión de medición: \pm 4%.	Medición y lectura de cantidad e intensidad de lluvia.
	Kit de inspección de veletas modelo H - 4227.	Se utiliza para medir la resistencia al cortante. Rango del instrumento: 0 kPa a 260 kPa Precisión del instrumento: \pm 10%.	Mediciones de cohesión.
	Penetrómetro cónico dinámico modelo H - 4202. 1A.	Utiliza una masa de acero de 15 lb que cae 20" para golpear un yunque y penetrar un cono 1.5" de diámetro y 45° de inclinación. Su principio de funcionamiento está basado en determinar la cantidad de impactos necesarios para que la punta del penetrómetro se introduzca en el suelo a una profundidad determinada.	Ensayos de Penetración Estándar (SPT).
	Gps Garmin etrex 20.	Mapa base mundial. Disponibilidad de agregar mapas. Memoria incorporada. Admite tarjetas de datos. Registro de ruta. Tiene la capacidad de leer señales de satélites GPS y GLONASS. Precisión: 4 m de error.	Georeferenciación de estaciones meteorológicas, lahares ocurridos y puntos de interés.
	Binoculares Sakura 20x180x100.	Power de 180 (Trae los objetos 180 veces más cerca). Zoom de 20 de power. Diámetro de lente de 100 mm. Alcance de 10 km.	Visualización a larga distancia de lahares ocurridos y afectación de los mismos.
	Cámara Sony compacta W800.	Zoom óptico de 5x. Número de pixeles (efectivos) 20.1 MP. Sensor super HAD CCD™ tipo 1/2.3" (7.76 mm). Sensibilidad ISO: 100 a 3200	Obtención de imágenes de lahares ocurridos.
Fase de Interpretación de Resultados	Programa ArcGIS @v 10.2.	Aplicaciones de interpolación geográfica y mapeo de lahares ocurridos durante el año 2016.	
	Programas "IBM SPSS STATISTICS 23.0 @v" y "Excel 2013 @v".	Análisis estadísticos de los datos obtenidos.	
	Programa "LandslideSim2016 @v".	Modelación de inestabilidad, fallas y deslizamientos en el talud.	

IV. Resultados y Discusión

4.1. Umbrales de Precipitaciones de Fenómenos Laháricos del Año 2016

Para determinar las precipitaciones detonantes que ocasionaron los eventos laháricos 2016 se hizo una correlación entre las precipitaciones y lahares ocurridos durante el año 2016. En el acápite 4.1.1. se presentan los resultados obtenidos del registro de precipitaciones en el Volcán Concepción durante el año 2016 y en el acápite 4.1.2 se muestra el registro de los lahares ocurridos durante este mismo año. Posterior, asociando ambos datos en el capítulo 4.1.3 se determinan las precipitaciones detonantes que ocasionaron estos eventos.

4.1.1. Registro de Precipitaciones del Año 2016

Según los polígonos de Thiessen de la Figura 10, se observa que las comunidades del municipio de Altagracia se encuentran bajo la influencia de la Estación de Altagracia que tiene un alcance de 164.63 km^2 , mientras que las comunidades del municipio de Moyogalpa se encuentran bajo la influencia de la Estación de Los Ángeles que tiene un alcance de 220.83 km^2 .

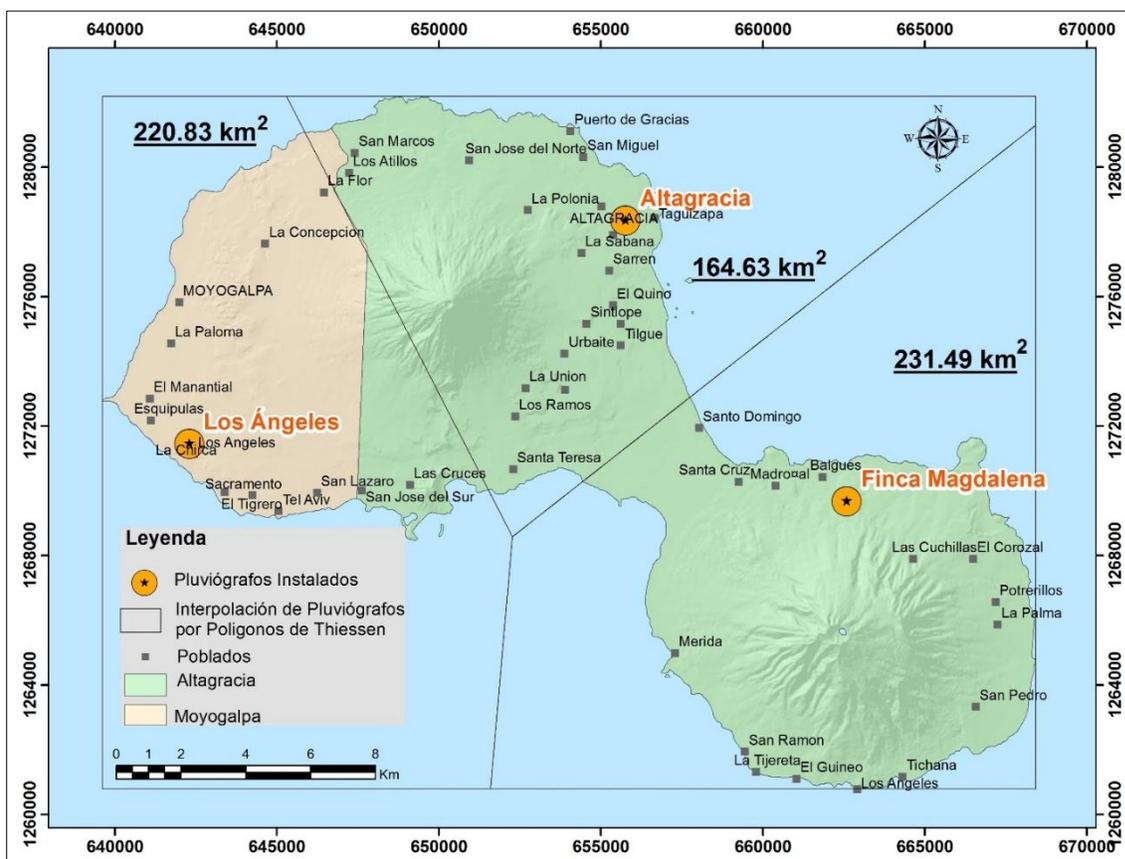


Figura 10. Definición de Alcance de Estaciones por el método de Polígonos de Thiessen.

En el Cuadro 10 se presenta el resumen mensual del registro pluviométrico de las estaciones durante el año 2016 y la media ponderada obtenida de ambas estaciones, en el Anexo 3 se presenta el registro diario. Los resultados indican que durante el año 2016 en la zona de la Estación de Altigracia (barlovento) se acumuló menor cantidad de lluvia (1308.57 mm) que en la zona de la Estación de Los Ángeles (sotavento) que se acumuló 1523.63 mm (Figura 11). Considerando el registro de ambas estaciones, haciendo uso del promedio ponderado se estima que el acumulado de lluvia durante el año 2016 en el Volcán Concepción corresponde a 1431.78 mm, siendo octubre el mes más lluvioso con un acumulado de precipitaciones en promedio (ponderado) de 354.42 mm.

Cuadro 10. Registro Mensual de Precipitaciones (Año 2016).

Mes/Estaciones	Estación de Altigracia				Estación de Los Ángeles				Media Ponderada de Estaciones			
	Acumulado	Media	Máximo	Mínimo	Acumulado	Media	Máximo	Mínimo	Acumulado	Media	Máximo	Mínimo
Enero	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.03	0.75	0.00	0.43	0.02	0.43	0.00
Abril	61.46	2.20	58.93	0.00	23.61	0.84	17.28	0.00	39.78	1.42	35.07	0.00
Mayo	148.67	5.51	80.98	0.00	109.81	3.79	43.90	0.00	126.41	4.52	59.74	0.00
Junio	304.00	10.13	48.23	0.00	321.38	10.71	72.64	0.00	313.96	10.47	62.21	0.00
Julio	164.30	5.30	40.12	0.00	62.92	2.74	17.28	0.00	106.22	3.83	27.03	0.00
Agosto	87.01	2.90	26.67	0.00	67.18	2.69	15.75	0.00	75.65	2.78	20.41	0.00
Septiembre	139.56	4.65	30.96	0.00	332.57	11.09	130.27	0.00	250.14	8.34	87.85	0.00
Octubre	239.26	7.72	48.51	0.00	440.28	14.20	86.85	0.00	354.42	11.43	70.47	0.00
Noviembre	104.25	3.48	31.49	0.00	125.58	4.19	44.44	0.00	116.47	3.88	38.91	0.00
Diciembre	60.06	1.94	15.17	0.00	39.55	1.88	9.91	0.00	48.31	1.91	12.16	0.00
Año 2016	1308.57	3.65	80.98	0.00	1523.63	5.22	130.27	0.00	1431.78	4.86	87.85	0.00

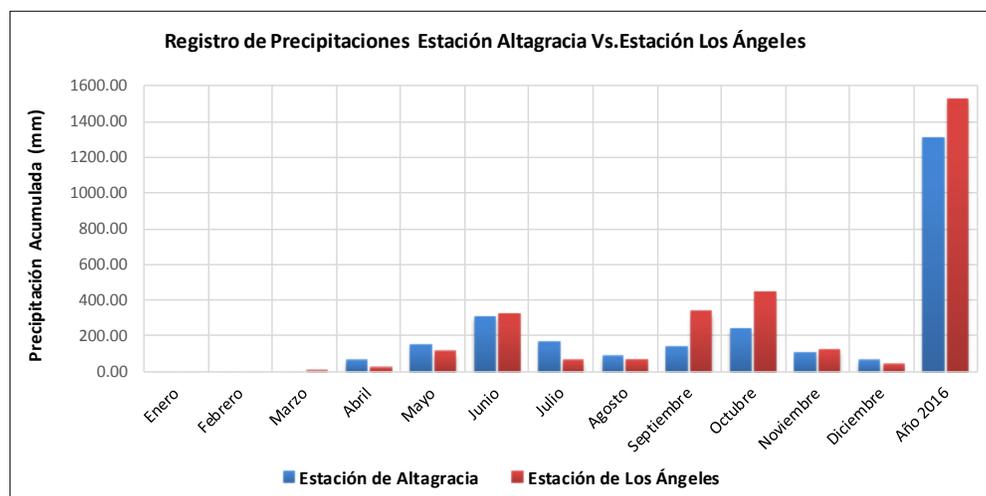


Figura 11. Precipitaciones Mensuales por Estación Instalada en el Volcán Concepción.

4.1.2. Lahares ocurridos el Año 2016

Durante el año 2016 los guías turísticos y agricultores reportaron 5 lahares ocurridos en el Volcán Concepción: Los Ramos 1 y Los Ramos 2 (también reportados por INETER), La Chirca, Sintiope y San Lázaro. A su vez, INETER, en su documento publicado el año 2017 “Monitoreo Volcán Concepción, Isla de Ometepe, Rivas” (INETER, 2016) reportó que durante el año 2016 ocurrió un evento de lahar en la comunidad de San Marcos y un segundo evento en la comunidad de Los Ramos (Los Ramos 1 y Los Ramos 2). En total, durante el año 2016 en el Volcán Concepción se registraron 8 eventos laháricos, en el Cuadro 11 se presenta el inventario de estos lahares agrupados en dos categorías (1) lahares ocurridos con registro de precipitaciones mayores a 0.00 mm y (2) lahares ocurridos con registro de precipitaciones iguales a 0.00 mm, de igual manera se presenta el estimado de la superficie afectada por cada lahar y la longitud de desplazamiento del mismo, así como la estación con la que deben ser analizados los datos de precipitaciones según la ubicación de estos eventos en los cuadrantes de influencia de las estaciones instaladas (Figura 12).

Cuadro 11. Inventario de Lahares en el Volcán Concepción (Año 2016).

Lahares		Fecha	Hora	Estación	Superficie (km ²)	Longitud (km)
Lahares con Registro de Precipitaciones > 0 mm	Los Ramos 1	03/10/2016	3:50 am - 6:20 am	Altagracia - Proyecto	1.42	3.23
	Los Ramos 2				2.87	5.43
	La Chirca				1.88	5.48
	Sintiope	06/10/2016	9:40 pm - 2:50 am	Altagracia - Proyecto	2.06	5.78
Promedios					2.06	4.98
Lahares con Registro de Precipitaciones = 0 mm	San Lázaro	15/07/2016	-	Los Ángeles - Proyecto	2.06	5.34
	Los Ramos 1	11/10/2016	10:25 pm - 10:55 pm	Altagracia - Proyecto	1.42	3.23
	Los Ramos 2				2.87	5.43
	San Marcos	18/10/2016	11:00 pm - 12:20 am		5.20	5.90
Promedios					2.89	4.98

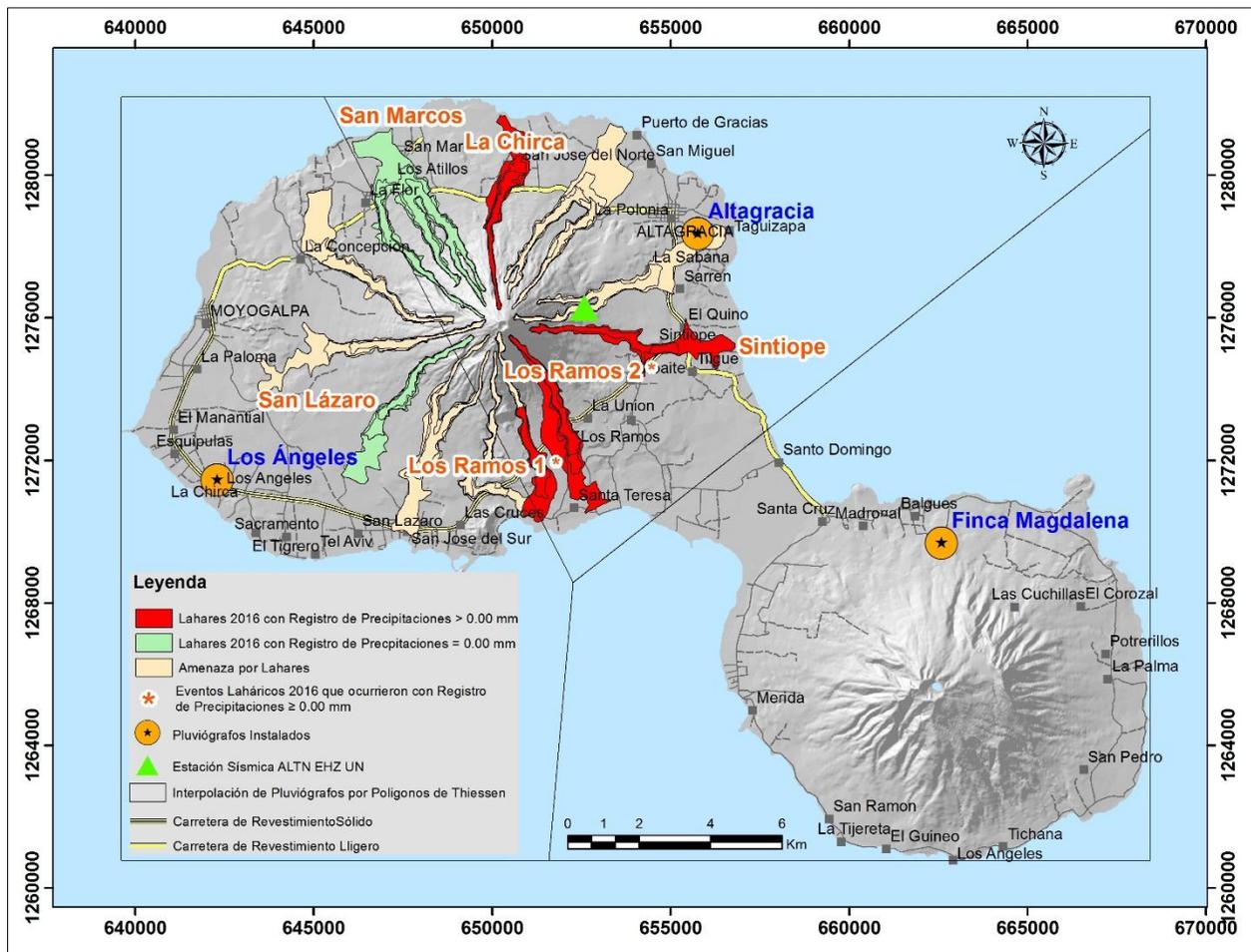


Figura 12. Mapeo de Lahares ocurridos durante el Año 2016.

En los acápites 4.1.2.1 y 4.1.2.2 se hace la descripción correspondiente a cada uno de los eventos laháricos ocurridos durante el año 2016, indicando la composición geológica de depósitos cuaternarios correspondientes a las zonas en que se originaron estos eventos conformadas por lavas inconsolidadas (Q1), así como la composición de los flujos desplazados compuestos además de lavas inconsolidadas (Q1) por materiales piroclastos y lavas (Qv1), Figura 13. La lava inconsolidada donde se originaron estos eventos se refiere a materiales fragmentados de diferentes diámetros (piroclastos), entre ellos material fino como ceniza, cuando este material se sobre satura, o bien se sobre hidrata, se incrementa su volumen y peso específico y tiende a desestabilizarse y desestabilizar materiales más gruesos, que sumado a las altas pendientes que tiene el Volcán Concepción de hasta el 100% (Figura 14) incrementan la susceptibilidad de que ocurran deslizamientos de tipo lahar.

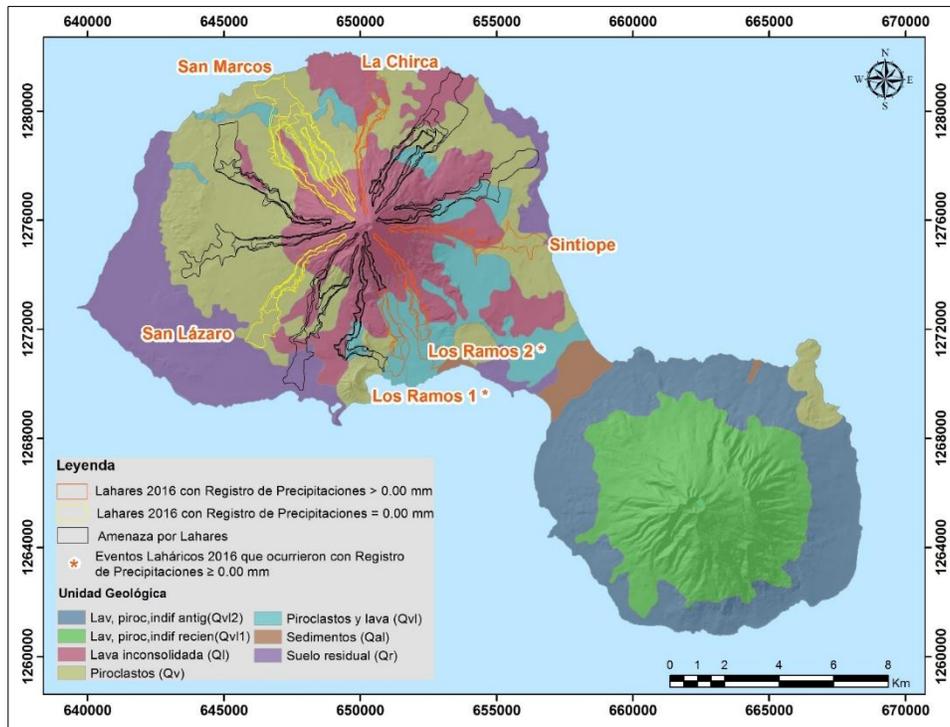


Figura 13. Mapa Geológico del Volcán Concepción con Lahares ocurridos durante el Año 2016 y Amenaza de Lahares.
Fuente: INETER - Catastro Físico (1971).

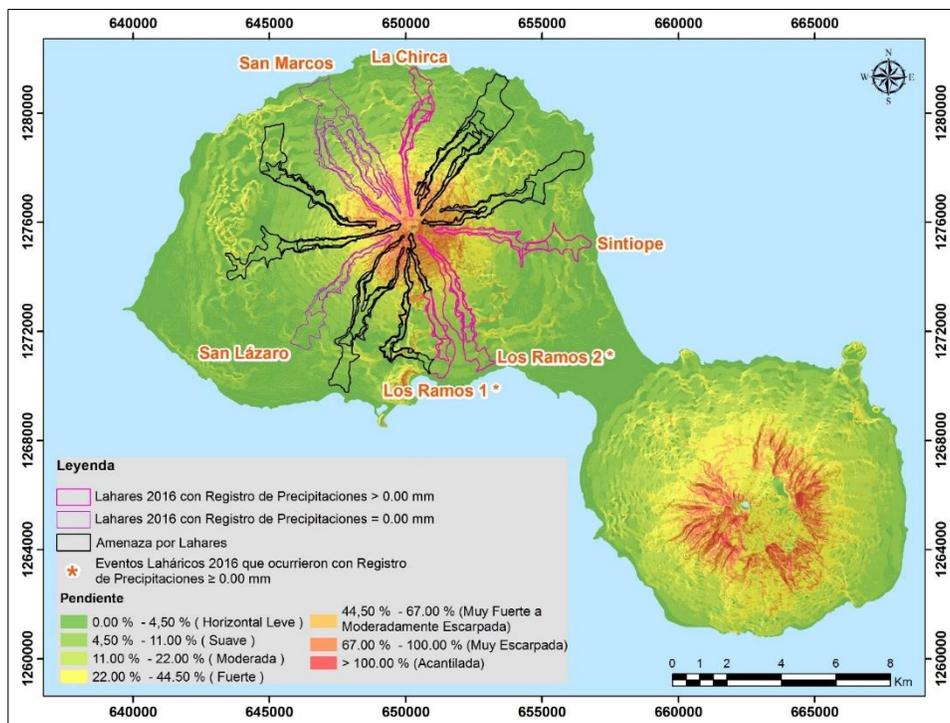


Figura 14. Mapa de Pendiente del Volcán Concepción con Lahares ocurridos durante el Año 2016 y Amenaza de Lahares.

4.1.2.1. Lahares con Registro de Precipitaciones Mayores a Cero Milímetros

El lahar de Los Ramos 1 se localiza en la comunidad de los Ramos en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 16P) 651123E y 1272099N, tiene una dirección preferencial Sureste (Figura 12). Durante el año 2016 se estima que alcanzó una extensión de 1.42 km² con una longitud de 3.23 km (Cuadro 11), se originó en un área conformada por lava inconsolidada (Ql), con pendientes que van desde 22.00 % a 44.50 %, su curso está compuesto por materiales piroclastos y lava (Qvl) (Figuras 13 y 14). Durante el recorrido de campo se visualizó los diferentes depósitos de materiales que ha formado este lahar en el tiempo (Imagen 15.1 de la Figura 15), así como las paredes que forman su curso y los materiales que trae consigo el flujo de escombros con presencia de rocas que van desde rocas pequeñas a grandes, no mayores a 1.50 m (Imagen 15.2 y 15.3 de la Figura 15).

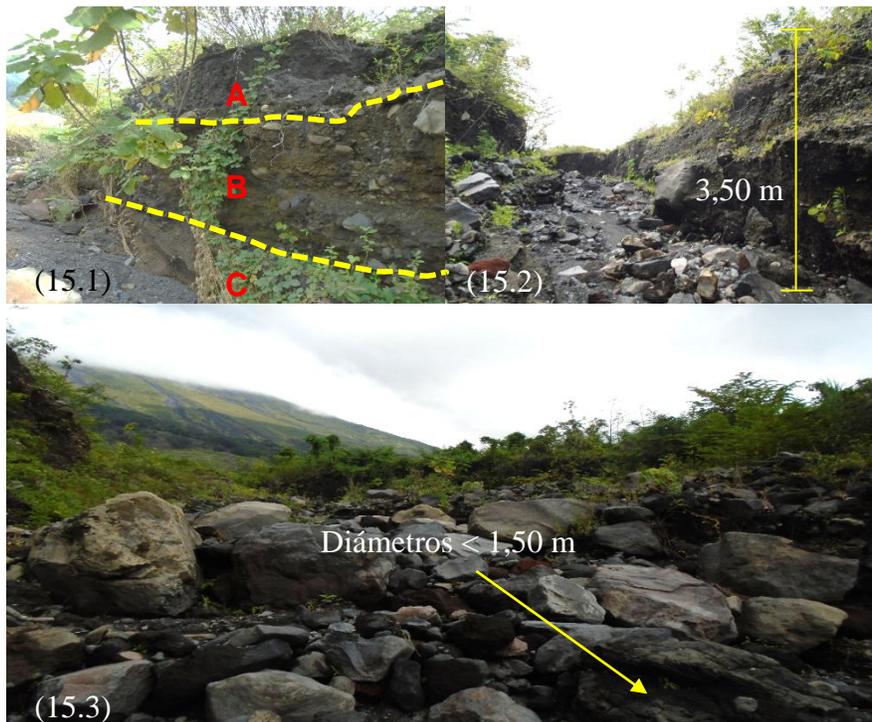


Figura 15. Lahar de Los Ramos 1 - 03/10/2016. (15.1) Depósitos de materiales formados en el tiempo por diferentes eventos ocurridos en el Lahar de Los Ramos 1. (15.2) Paredes que definen el curso de este lahar alcanzan alturas de hasta de 3.50 m. (15.3) Flujo de escombros del Lahar de Los Ramos 1 con rocas de diámetros < 1.50 m.

El lahar de los Ramos 2 se localiza en la comunidad de los Ramos en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 16P) 651471E y 1272485N, tiene una dirección preferencial sureste (Figura 12). Durante el año 2016 alcanzó aproximadamente una superficie de 2.87 km², desplazándose alrededor de 5.43 km (Cuadro 11), se originó en un área conformada por lava inconsolidada (Ql) con pendientes que van desde 44,50 % a 67.00 %, su curso está compuesto además de lava inconsolidada (Ql) por materiales piroclastos y lava (Qvl) (Figuras 13 y 14). En la Imagen 16.1 y 16.2 de la Figura 16 se observan paredes de 2.50 m que definen el curso de este lahar, así como el depósito de rocas (< 40 cm) dejado por este evento del 16 de Octubre, 2016.



Figura 16. Lahar de Los Ramos 2 – 03/10/2016. (16.1) Paredes que definen el curso del Lahar de Los Ramos 2 alcanzan los 2.50 m de altura. (16.2) Depósito de rocas correspondientes al lahar de Los Ramos 2 el día 03/10/2016.

El lahar de la Chirca se localiza al Noreste del Volcán Concepción en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 16P) 649834E y 1279311N (Figura 12). Durante el año 2016 afectó una superficie de 1.88 km² y recorrió una longitud de 5.48 km (Cuadro 11), se originó en un área conformada por lava inconsolidada con pendientes que van desde 44.50 % a 67.00 %, su flujo está compuesto además de lava inconsolidada (Ql) por materiales piroclastos (Qv) (Figuras 13 y 14). El curso de este lahar está definido por paredes de hasta 4.00 m de altura y en su trayectoria ha dejado depósito de rocas con diferentes tamaños (< 60.00 cm) (Imagen 17.1 y 17.2 de la Figura 17).



Figura 17. Lahar de La Chirca - 03/10/2016. (17.1) Curso del Lahar de La Chirca y flujo de escombros. (17.2) Paredes que definen el curso del lahar de la chirca alcanzan los 4.00 m de altura.

El lahar de Sintiope se localiza en la comunidad de Sintiope en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 16P) 654555E y 1274954N, tiene una dirección preferencial Sureste (Figura 12). Durante el 2016 alcanzó una extensión de 5.06 km² y recorrió una longitud de 5.78 km (Cuadro 11), se originó en un área conformada por lava inconsolidada con pendientes que van desde 44.50 % a 67.00 %, su curso está compuesto además de lava inconsolidada (Q1) por materiales piroclastos y lava (Qv1), piroclastos (Qv) (Figuras 12 y 13). En la Imagen 18.1 y 18.2 de la Figura 18 se observa el depósito de rocas en su mayoría de tamaño mediano (< 20.00 cm) dejadas por este evento del 05 de Octubre, 2016.



Figura 18. Lahar de Sintiope – 06/10/2016. (18.1) Recorrido del flujo de escombros del Lahar de Sintiope. (18.2) Depósito de Rocas formado por el Lahar de Sintiope con diámetros < 20.00 cm.

4.1.2.2. Lahares con Registro de Precipitaciones Iguales a Cero Milímetros

Se hace importante mencionar que no existen lahares en seco o bien sin presencia de agua en el suelo (existen otros tipos de deslizamientos en seco, sin embargo no son del tipo lahar). Cuando en este estudio se hace referencia a lahares con registro de precipitaciones iguales a 0.00 mm, indica que el registro de precipitaciones obtenido de las estaciones meteorológicas instaladas para este estudio al momento de ocurrencia de estos eventos registró 0.00 mm de precipitaciones. Sin embargo, esto no quiere decir que estos lahares se originaron en seco, lo planteado, únicamente se limita al hecho a que en el área en que se encontraban instaladas las estaciones meteorológicas no estaba lloviendo al momento de ocurrencia de estos eventos, siendo probable que en la parte media o alta del Volcán Concepción (área en que se originaron los lahares) estuviese lloviendo.

La ocurrencia de los de lahares de Los Ramos 1, Los Ramos 2 y San Marcos se detectó por los tremores registrados por la estación sismográfica ALTN EHZ UN instalada por INETER en el Volcán Concepción (Figura 12). La señal de tremor registrada por el sismograma de esta estación indica que el lahar de Los Ramos (1 y 2) inicio a las 22:25 hasta las 22:55 (Imagen 19.1 de la Figura 19) y el lahar de San Marcos de las 23:00 hasta las 0:20 (Imagen 19.2 de la Figura 19). En la Figura 19 se observa como las vibraciones del flujo de escombros son registradas durante varios minutos.

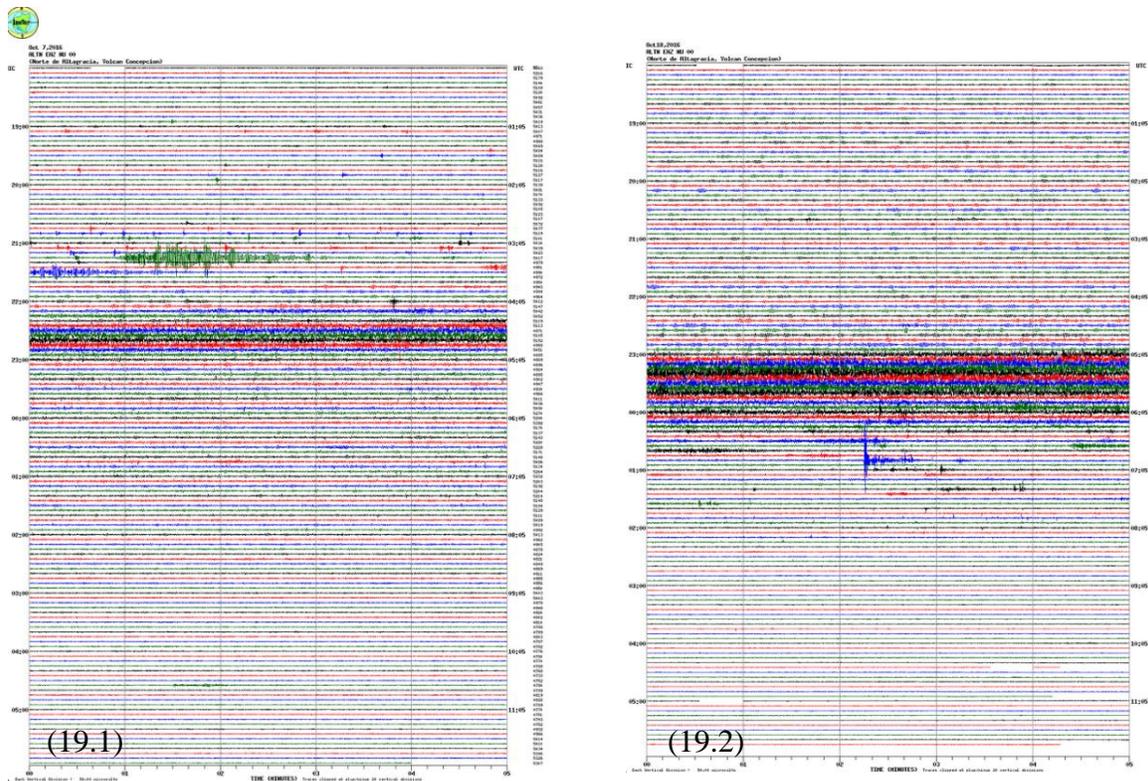


Figura 19. Señales de Tremores. (19.1) Tremor de Lahar de Los Ramos 1 y Los Ramos 2 obtenido por el sismograma de la estación ALTN EHZ UN el 11 de Octubre (22:25 – 22:55), INETER (2016). (19.2) Tremor de Lahar de San Marcos obtenido por el sismograma de la estación ALTN EHZ UN el 18 DE Octubre (23:00 – 0:20), INETER (2016).

El sismograma del lahar de San Lázaro no fue posible obtenerlo, sin embargo, este fue reportado por guías turísticos y agricultores de la zona, la Figura 20 muestra imágenes de este evento. Este lahar se localiza en la comunidad de La Paloma en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 16P) 646760E y 1269592N, tiene una dirección preferencial Suroeste (Figura 12). Durante el año 2016 se estima que alcanzó una extensión de 2.06 km² y que recorrió aproximadamente 5.34 km (Cuadro 11), se originó en un área conformada por lava inconsolidada (QI) con pendientes que van desde 44.50 % a 67.00 %, su curso está compuesto además de lava inconsolidada (QI) por materiales piroclastos (Qv) (Figuras 13 y 14). En la Imagen 20.1 de la Figura 20 se visualiza el flujo de escombros de este lahar que en su mayoría va de rocas pequeñas a medianas (< 35.00 cm), también se observó la presencia de cenizas y los diferentes depósitos de materiales que ha formado este lahar en el tiempo (Imagen 20.2 y 20.3 de la Figura 20).



Figura 20. Lahar de San Lázaro – 15/07/2018. (20.1) Flujos de Escombros. (20.2). Presencia de cenizas en el trayecto de desplazamiento del lahar (20.3). Depósitos formados a través del tiempo en el Lahar de San Lázaro.

El lahar de San Marcos se localiza al Noroeste del Volcán Concepción en las coordenadas UTM (WGS84 Zona 16P) 647684E y 1279581N, cortando la carretera que conecta los poblados de San Marcos con San José del Norte (Figura 12). Este lahar desciende desde la parte alta del volcán en un área conformada por lava inconsolidada (Ql) con pendientes que van desde 67.00 % a 100.00 %, su curso está compuesto además de lava inconsolidada (Ql) por piroclastos (Qv) (Figura 13 y 14). Se estima que la afectación de este lahar aproximadamente alcanzó un área de 5.20 km² y una longitud de 5.90 km (Cuadro 11). En la Figura 21 se aprecia el impacto de este lahar a las viviendas.



Figura 21. Viviendas afectadas por el Lahar de San Marcos, INETER (2016).

4.1.3. Precipitaciones asociado a la ocurrencia de Lahares el año 2016

Una de las finalidades de este estudio es determinar los umbrales de precipitaciones que ocasionan los fenómenos laháricos en el Volcán Concepción, por tanto, los eventos lluviosos del 03 y 06 de Octubre de 2016, que ocasionaron los lahares de Los Ramos 1, Los Ramos 2, La Chirca y Sintoipe (eventos de los que se tiene registro de precipitaciones mayores a 0.00 mm) son los referentes para determinar los umbrales de lluvia detonante durante el año 2016. Los lahares de San Lázaro, San Marcos y el segundo evento de lahar en Los Ramos 1 y Los Ramos 2 del 11 de Octubre de 2016, cuyos registros de precipitaciones son iguales a 0.00 mm no son referentes para estimar umbrales de precipitaciones detonantes, tampoco sugieren información para la estimación de umbrales de precipitaciones para la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) de fenómenos laháricos en el Volcán Concepción, por tanto, estos eventos no son incluidos en el análisis de “Determinación de los Umbrales de Precipitación que ocasionaron los Fenómenos Laháricos durante el año 2016 en el Volcán Concepción”.

4.1.3.1. Eventos Lluviosos que ocasionaron los Lahares del año 2016

En la Figura 10 se observa que acorde a los polígonos de Thiessen estos eventos deben ser analizados con el registro de precipitaciones de la estación de Altigracia y en el Cuadro 12 se presenta el registro de los eventos lluviosos que desencadenaron estos eventos. Los lahares de Los Ramos 1, Los Ramos 2 y la Chirca ocurrieron durante el mismo evento lluvioso el 03 de Octubre 2016, mientras que el lahar de Sintoipe ocurrió el 06 de Octubre, 2016.

Cuadro 12. Registro de Precipitaciones de Lahares Los Ramos (1 y 2), La Chirca y Sintoipe.

Lahares Los Ramos (1 y 2) y La Chirca - 03/10/2016						Lahar de Sintoipe - 06/10/2016				
Tiempo (Minutos)	Hora	Evento Lluvioso Registrado en la Estación de Altigracia (mm)	Lluvia Acumulada durante el Evento Lluvioso (mm)	Intensidad en Intervalos de 10 Minutos (mm/h)	Intensidad por Acumulado de Lluvia (mm/h)	Hora	Evento Lluvioso Registrado en la Estación de Altigracia (mm)	Lluvia Acumulada durante el Evento Lluvioso (mm)	Intensidad en Intervalos de 10 Minutos (mm/h)	Intensidad por Acumulado de Lluvia (mm/h)
0	03:50 a.m.	0.00	0.00	0.00	0.00	09:40 p.m.	0.00	0.00	0.00	0.00
10	04:00 a.m.	0.25	0.25	1.50	1.50	09:50 p.m.	7.62	7.62	45.72	45.72
20	04:10 a.m.	1.02	1.27	6.12	3.81	10:00 p.m.	8.13	15.75	48.78	47.25
30	04:20 a.m.	0.51	1.78	3.06	3.56	10:10 p.m.	4.83	20.58	28.98	41.16
40	04:30 a.m.	0.00	1.78	0.00	2.67	10:20 p.m.	5.08	25.66	30.48	38.49
50	04:40 a.m.	3.56	5.34	21.36	6.41	10:30 p.m.	5.59	31.25	33.54	37.50
60	04:50 a.m.	3.30	8.64	19.80	8.64	10:40 p.m.	1.78	33.03	10.68	33.03
70	05:00 a.m.	5.84	14.48	35.04	12.41	10:50 p.m.	0.51	33.54	3.06	28.75
80	05:10 a.m.	7.87	22.35	47.22	16.76	11:00 p.m.	0.25	33.79	1.50	25.34
90	05:20 a.m.	4.32	26.67	25.92	17.78	11:10 p.m.	0.51	34.30	3.06	22.87
100	05:30 a.m.	3.81	30.48	22.86	18.29	11:20 p.m.	0.51	34.81	3.06	20.89
110	05:40 a.m.	5.59	36.07	33.54	19.67	11:30 p.m.	0.51	35.32	3.06	19.27
120	05:50 a.m.	4.83	40.90	28.98	20.45	11:40 p.m.	1.02	36.34	6.12	18.17
130	06:00 a.m.	3.81	44.71	22.86	20.64	11:50 p.m.	0.76	37.10	4.56	17.12
140	06:10 a.m.	1.52	46.23	9.12	19.81	12:00 a.m.	0.51	37.61	3.06	16.12
150	06:20 a.m.	0.51	46.74	3.06	18.70	12:10 a.m.	0.76	38.37	4.56	15.35
160	06:30 a.m.	0.00	46.74	0.00	17.53	12:20 a.m.	1.02	39.39	6.12	14.77
170	06:40 a.m.	0.00	46.74	0.00	16.50	12:30 a.m.	0.76	40.15	4.56	14.17
180	-	-	-	-	-	12:40 a.m.	0.76	40.91	4.56	13.64
190	-	-	-	-	-	12:50 a.m.	0.76	41.67	4.56	13.16
200	-	-	-	-	-	01:00 a.m.	0.51	42.18	3.06	12.65
210	-	-	-	-	-	01:10 a.m.	0.51	42.69	3.06	12.20
220	-	-	-	-	-	01:20 a.m.	0.51	43.20	3.06	11.78
230	-	-	-	-	-	01:30 a.m.	0.25	43.45	1.50	11.33
240	-	-	-	-	-	01:40 a.m.	0.25	43.70	1.50	10.93
250	-	-	-	-	-	01:50 a.m.	0.51	44.21	3.06	10.61
260	-	-	-	-	-	02:00 a.m.	0.25	44.46	1.50	10.26
270	-	-	-	-	-	02:10 a.m.	0.00	44.46	0.00	9.88
280	-	-	-	-	-	02:20 a.m.	0.25	44.71	1.50	9.58
290	-	-	-	-	-	02:30 a.m.	0.00	44.71	0.00	9.25
300	-	-	-	-	-	02:40 a.m.	0.00	44.71	0.00	8.94
310	-	-	-	-	-	02:50 a.m.	0.25	44.96	1.50	8.70
320	-	-	-	-	-	03:00 a.m.	0.00	44.96	0.00	8.43
330	-	-	-	-	-	03:10 a.m.	0.00	44.96	0.00	8.17

En la Figura 22 se presenta gráficamente el comportamiento de la tormenta que ocasionó los lahares de Los Ramos 1, Los Ramos 2 y La Chirca. Esta tormenta tuvo una duración de 150 minutos y un acumulado de lluvia de 46.74 mm (Gráfica 22.1). En el hietograma de la Gráfica 22.2 se visualiza la lluvia caída durante esta tormenta en intervalos de 10 minutos y en la Gráfica 22.3 se muestran las intensidades de esta tormenta en el mismo intervalo, observándose que la precipitación e intensidad máxima en 10 minutos fue de 7.87 mm y 47.22 mm/h registrada a los 80 minutos. Se estima que la lluvia detonante de los fenómenos lahéricos ocurridos se dio a los 110 minutos de duración (según reporte de ocurrencia de guías turísticos y agricultores) con una lluvia acumulada de 36.07 mm (Gráfica 22.1) y con una intensidad de 19.67 mm/h (Gráfica 22.4).

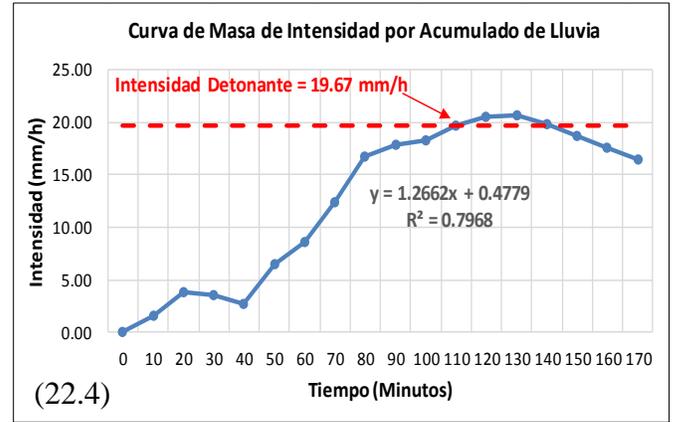
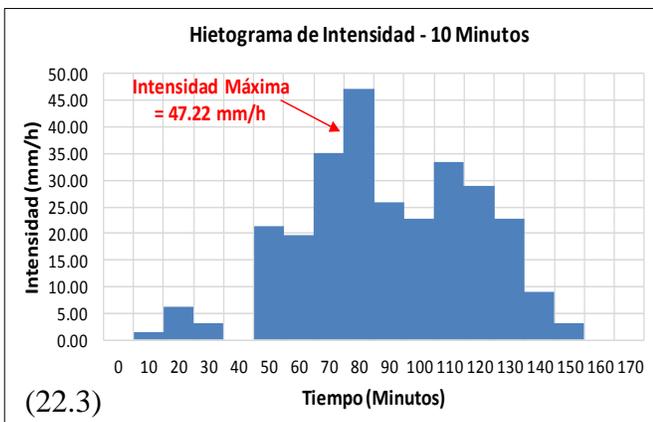
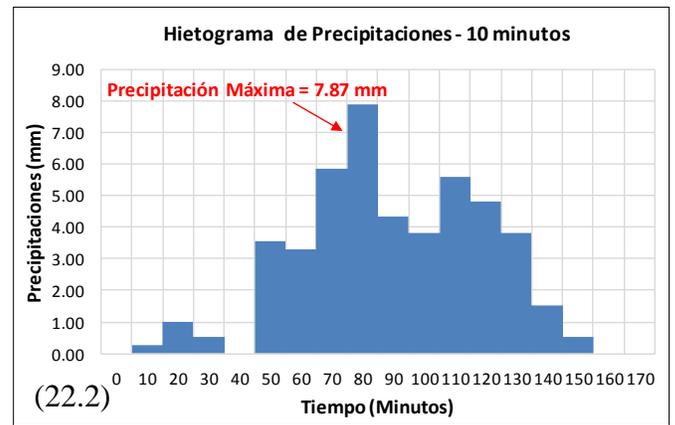
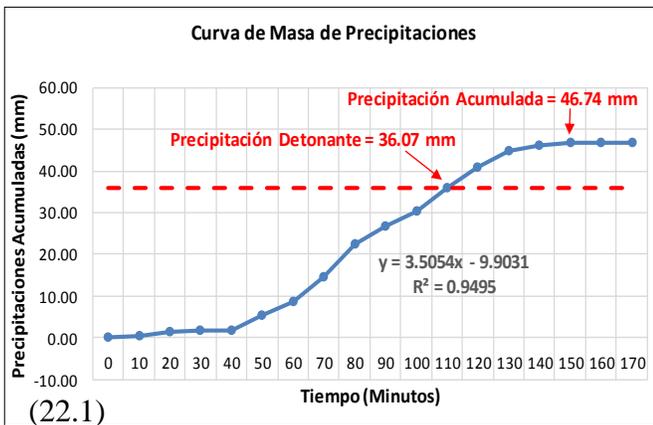


Figura 22. Descripción Gráfica de la Tormenta que ocasionó los Lahares en Los Ramos 1, Los Ramos 2 y La Chirca - 03/10/2016. (22.1) Curva de masa de precipitaciones representando el acumulado de precipitaciones durante toda la tormenta (46.74 mm) y momento detonante de ocurrencia de lahares (36.07 mm). (22.2) Hietograma de precipitaciones indicando que la precipitación máxima alcanzada en intervalos de 10 minutos de 7.87 mm. (22.3) Hietograma de intensidad mostrando la intensidad máxima alcanzada en intervalos de 10 minutos de 47.22 mm/h. (22.4) Curva de masa de intensidad indicando la intensidad detonante de 19.67 mm/h que ocasionó los fenómenos lahéricos.

En la Figura 23 se presenta la descripción gráfica de la tormenta que ocasionó el lahar de Sintoiope. Esta tormenta tuvo una duración de 310 minutos y una magnitud de lluvia de 44.96 mm (Gráfica 23.1). En la Gráfica 23.2 se visualiza el comportamiento de esta tormenta en intervalos de 10 minutos, siendo la precipitación máxima alcanzada de 8.13 mm, el hietograma de intensidad (Gráfica 23.3) muestra que la intensidad máxima alcanzada en este mismo intervalo es de 48.78 mm/h registrada a los 20 minutos. Se estima que la lluvia detonante del lahar de Sintoiope se dio al igual que en Los Ramos y La Chirca a los 110 minutos de duración (según reporte de ocurrencia de guías turísticos y agricultores) con una lluvia acumulada de 35.32 mm y con una intensidad de 19.27 mm/h (Gráficas 23.1 y 23.4).

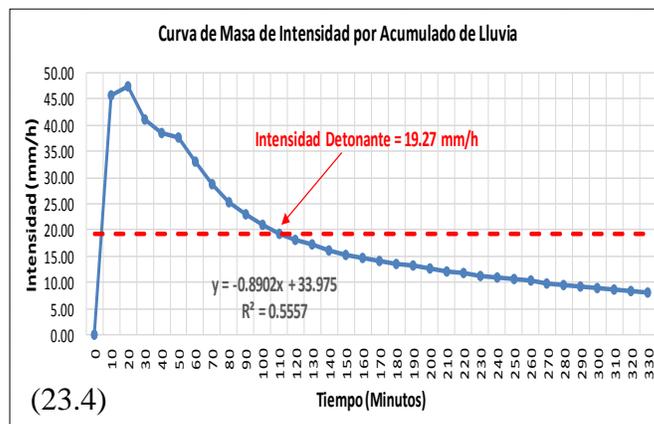
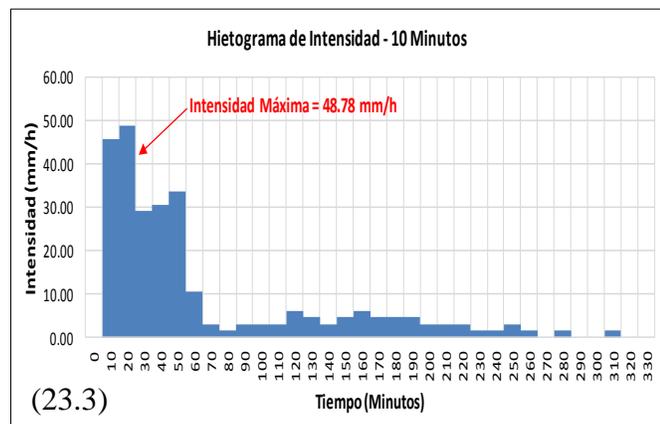
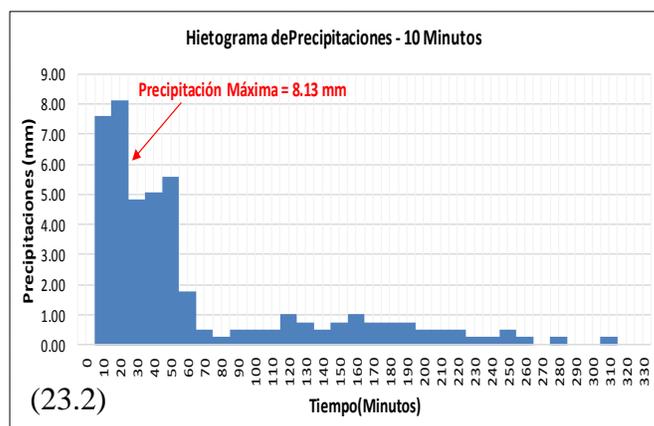
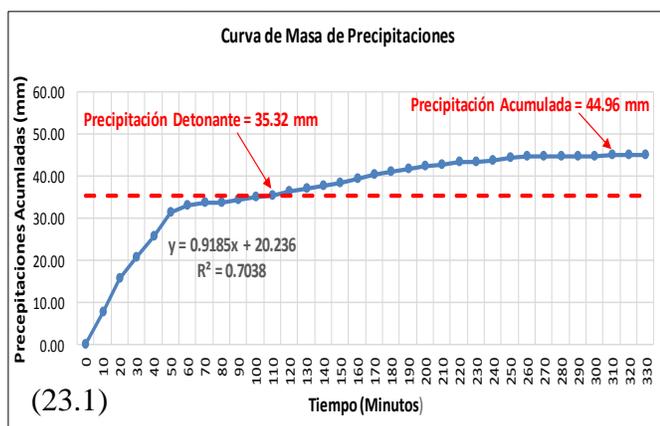


Figura 23. Descripción Gráfica de la Tormenta que ocasionó el Lahar de Sintoiope - 06/10/2016. (23.1) Curva de masa de precipitaciones representando el acumulado de precipitaciones durante toda la tormenta (44.96 mm) y momento detonante de ocurrencia de lahares (35.32 mm). (23.2) Hietograma de precipitaciones indicando que la precipitación máxima alcanzada en intervalos de 10 minutos es de 8.13 mm. (23.3) Hietograma de intensidad mostrando la intensidad máxima alcanzada en intervalos de 10 minutos de 48.78 mm/h. (23.4) Curva de masa de intensidad indicando la intensidad detonante de 19.27 mm/h que ocasionó el lahar de Sintoiope.

4.1.3.2. Análisis de Umbrales de Precipitaciones Detonantes del Año 2016

En el Cuadro 13 se presentan las precipitaciones evento que ocasionaron los lahares durante el año 2016, así como las precipitaciones correspondientes a eventos lluviosos que no ocasionaron lahares, a fin de establecer una comparación de tormentas que ocasionan este tipo de fenómeno y tormentas que no lo ocasionan. En el Cuadro 13 también se presentan las precipitaciones acumuladas antecedentes a estos eventos hasta un período de 30 días a fin de relacionar que precipitaciones acumuladas se tienen al momento de las tormentas que ocasionan este tipo de fenómeno.

Cuadro 13. Registro de Precipitaciones Evento y Acumuladas Antecedentes a Eventos y No Eventos de Lahares (Año 2016).

Lahares / Eventos Lluviosos	Fecha	Estación	Precipitaciones Evento (mm)	Precipitaciones Acumuladas los Días Antecedentes						
				D1 (mm)	D3 (mm)	D10 (mm)	D15 (mm)	D20 (mm)	D25 (mm)	D30 (mm)
Los Ramos 1	03/10/2016	Altagracia - Proyecto	36.07*	1.01	1.01	17.26	48.22	51.76	86.78	140.57
Los Ramos 2			36.07*	1.01	1.01	17.26	48.22	51.76	86.78	140.57
La Chirca			36.07*	1.01	1.01	17.26	48.22	51.76	86.78	140.57
Sintiope	06/10/2016		35.32*	0.00	48.76	66.02	91.90	97.74	131.48	178.41
Promedios			35.88	0.76	12.95	29.45	59.14	63.26	97.96	150.03
Eventos Lluviosos sin Fenómenos Laháricos	11/06/2016	Altagracia - Proyecto	35.31	0.25	33.51	192.39	211.38	211.38	227.83	241.53
	21/06/2016		48.71	0.00	0.00	37.34	71.86	212.70	249.73	249.73
	19/07/2016		40.12	5.03	5.03	39.98	65.09	131.04	143.20	195.20
Promedios			41.38	1.76	12.85	89.90	116.11	185.04	206.92	228.82

*Precipitación detonante.

Los resultados presentados en el Cuadro 13, indican que en promedio los eventos lluviosos con fenómenos laháricos presentan menores precipitaciones durante la tormenta de 35.88 mm y los días acumulados antecedentes en un período de uno a treinta días de 0.76 mm a 150.03 mm que los eventos lluviosos que no ocasionaron fenómenos laháricos, en promedio con precipitaciones durante la tormenta de 41.38 mm y con lluvias acumuladas antecedentes de uno a treinta días en promedio de 1.76 mm a 228.82 mm. En Nicaragua se tienen casos de lahares que a diferencia del Volcán Concepción han ocurrido con altos acumulados de precipitaciones, como el caso del lahar del Volcán Casita, que según Sheridan et al. (1998) se dió con altos acumulados de lluvia, el día 27 de Octubre de 1998 la precipitaciones alcanzaban 100 mm por día y se incrementaron continuamente hasta llegar a casi 500 mm el 30 de Octubre de 1998, día en que ocurrió el lahar. Las lluvias del día 30 de Octubre de 1998 fueron excepcionales, el promedio normal para el mes de Octubre en la zona del Volcán Casita es de 328 mm, en Octubre de 1998 la precipitación alcanzó 1984 mm, cifra 6 veces mayor al promedio normal.

En la Figura 24, se observa que aunque los eventos lluviosos sin fenómenos laháricos tienen un mayor acumulado de lluvia, estos tienen mayor tiempo de duración que los eventos lluviosos que si ocasionaron fenómenos laháricos. Basándose en estos resultados, la ocurrencia y no ocurrencia de estos fenómenos, esta vinculada al comportamiento en cuanto a la duración e intensidad de estas tormentas y no únicamente al acumulado lluvia. Según Aleotti (2004), cuando la intensidad de la lluvia aumenta, realiza una disminución en la cohesión aparente, que a su vez, disminuye la

resistencia al cortante, debilitando el factor de seguridad y llegando a producir deslizamientos superficiales. Por su parte Rahardjo, Ong, Rezaur y Leong (2007) hacen referencia a que las lluvias de larga duración aumentan el nivel de agua freática, e inmediatamente la presión de poros aumenta, llegando a producir deslizamientos profundos.

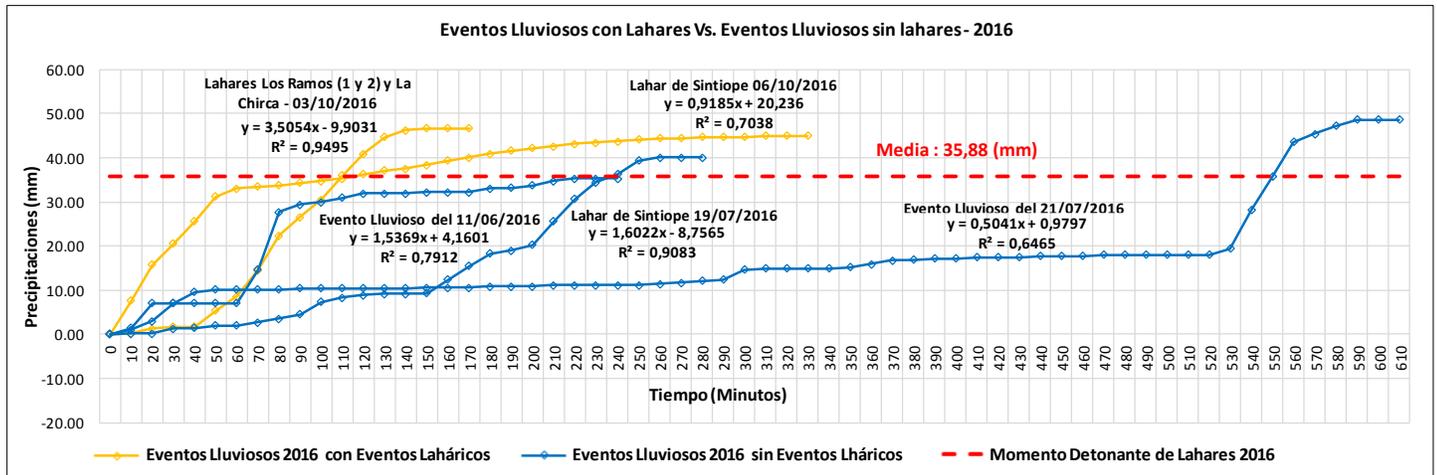


Figura 24. Precipitaciones Acumuladas de Eventos Lluviosos de Fenómenos Laháricos y No Laháricos.

Asociando la intensidad y duración de los eventos lluviosos con ocurrencia y sin ocurrencia de lahares, en el Cuadro 14 se tiene que los eventos laháricos del año 2016 de Los Ramos 1, Los Ramos 2 y La Chirca se dieron cuando la tormenta alcanzó 110 minutos de duración y presentaba una magnitud de lluvia de 36.07 mm e intensidades de 19.67 mm/h, teniendo un acumulado de lluvia de tres días antecedente bastante bajo con 1.01 mm y de 140.57 mm a los 30 días (Cuadro 13).

El momento detonante del lahar de Sintiope también se dio con 110 minutos de duración con una magnitud de lluvia al momento detonante de 35.32 mm e intensidades de 19.27 mm/h (Cuadro 14), teniendo un acumulado de lluvia de tres días antecedente de 48.76 mm y de 178.41 mm a los 30 días (Cuadro 13). Se observa que los eventos lluviosos sin fenómenos laháricos aunque tienen un mayor acumulado de lluvia, en promedio tienen un mayor tiempo de duración y menor intensidad que las tormentas que ocasionaron los lahares del año 2016.

En promedio se tiene que los lahares del año 2016 en Volcán Concepción ocurrieron con eventos lluviosos que acumularon durante toda la tormenta 46.30 mm en 190.00 minutos de duración con una intensidad de 16.20 mm/h, siendo el momento detonante que originó los lahares a los 110 minutos de duración en promedio cuando las tormentas alcanzaban los 35.88 mm con una intensidad de 19.57 mm/h. Por otro lado, se tienen eventos lluviosos con mayores precipitaciones que no ocasionaron fenómenos laháricos en promedio con 41.38 mm e intensidades de 7.95 mm/h, con una duración de 356.67 minutos, sin embargo, si estos eventos lluviosos se analizan a los 110 minutos de duración (momento detonante de los eventos lluviosos que si ocasionaron lahares) se tienen en promedio lluvias de magnitud de 16.59 mm e intensidades de 9.05 mm/h, menores a las precipitaciones e intensidades que si ocasionaron lahares (Cuadro 14).

Según el Informe Regional de Sistemas de Alerta Temprano y Monitoreo presentado por el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en America Central (CEPREDENAC, 2008), en Nicaragua existen casos de lahares que han ocurrido con precipitaciones similares a las que provocaron los lahares del año 2016 en el Volcán Concepción, como es el caso del Cerro Volcán Viejo en el municipio de Dipilto, Nueva Segovia, donde las precipitaciones causantes de lahares corresponden a lluvias de 60 mm con duración de 3 horas (20 mm/h) y las lluvias que provocan grandes lahares corresponden a precipitaciones mayores a 300 mm.

En el país existen otros casos de lahares que se han disparado con precipitaciones mayores a las que ocasionaron los eventos laháricos del año 2016 en el Volcán Concepción, como es el caso del Volcán San Cristobal en Cinandega dónde se han disparado lahares con 50 mm. CEPREDENAC (2008), cita que una investigación relevante es la de Sandersen (2003) del Instituto Geotécnico de Noruega con datos de lluvia y deslizamientos de Nicaragua donde estimó que los contenidos de humedad en el subsuelo y la escorrentía se incrementan hasta un nivel capaz de producir lahares cuando la acumulación de lluvia de 4 días alcanza un valor de 100 mm y se produce una intensidad de lluvia equivalente a 60 mm/h. A nivel internacional una de las investigaciones más reconocida ha sido la desarrollada por Lumb (1975) de la Oficina de Ingeniería Geotécnica de Hong Kong donde determinó que una cantidad considerable de lahares pueden ocurrir cuando la lluvia en 24 horas excede los 100 mm y la lluvia acumulada de 15 días excede 350 mm, mientras que una proporción menor de lahares se producirán cuando la lluvia de 24 horas alcanza los 100 mm y la lluvia acumulada de 15 días excede 200 mm.

Existen otros casos que a diferencia del los lahares 2016 del Volcán Concepción, no se deben a la intensidad de la lluvia, si no a lluvias a largo plazo, como lo es el caso de la provincia de Concepción en Chile donde Según Pradenas Gonzáles (2015), el umbral característico de esta provincia es condicionado por las lluvias a largo plazo, específicamente para aquellas superiores a 44 mm en 30 días.

Cuadro 14. Precipitaciones e Intensidad de Lluvia de Eventos Laháricos y no Laháricos.

Lahares / Eventos Lluviosos	Fecha	Estación	Precipitación Detonante (mm)*	Tiempo de Lluvia para Alcanzar Precipitación Detonante (Minutos)	Intensidad de Lluvia Detonante (mm/h) **	Lluvia Acumulada durante Todo el Evento Lluvioso (mm)	Duración de Todo el Evento Lluvioso (Minutos)	Intensidad Total durante el Evento Lluvioso (mm/h)
Los Ramos 1	03/10/2016	Altagracia - Proyecto	36.07	110.00	19.67	46.74	150.00	18.70
Los Ramos 2			36.07	110.00	19.67	46.74	150.00	18.70
La Chirca			36.07	110.00	19.67	46.74	150.00	18.70
Sintiope	06/10/2016		35.32	110.00	19.27	44.96	310.00	8.70
Promedios			35.88	110.00	19.57	46.30	190.00	16.20
Eventos Lluviosos sin Fenómenos Laháricos	11/06/2016	Altagracia - Proyecto	30.99	110.00	16.90	35.31	220.00	9.63
	21/06/2016		10.41	110.00	5.68	48.71	590.00	4.95
	19/07/2016		8.38	110.00	4.57	40.12	260.00	9.26
Promedios			16.59	110.00	9.05	41.38	356.67	7.95

*Precipitación con 110 minutos de duración.

**Intensidad de Lluvia con 110 minutos de duración.

Anteriormente, se ha señalado que la mayor causa de ocurrencia lahares en el Volcán Concepción durante el año 2016 recae en la intensidad de lluvia con que se da una tormenta. La litología, la morfología y el régimen climático son factores que permiten comprender porque la intensidad de lluvia es el factor determinante en la ocurrencia de estos fenómenos en el Volcán Concepción.

Los lahares 2016 de Los Ramos 2, La Chirca y Sintiope tienen su origen en la parte alta del Volcán Concepción, donde se identifica la serie de suelos de Afloramientos Rocosos y Suelos Miscelaneos Varios (Figura 25). Los Suelos Miscelaneos Varios, como se cito en el sub acápite 3.1.1 “Generalidades del Volcán Concepción”, según Aguirre y Acuña (2009), son suelos franco arenosos en la superficie, francos a francos arenosos en el subsuelo, bien drenados, tienen permeabilidad alta y baja capacidad de retención de humedad. Suarez (2009) indica que en los perfiles de suelos permeables poco profundos, los deslizamientos pueden activarse por un evento de gran intensidad, sin que exista lluvia antecedente o acumulada.

En el caso del lahar de Los Ramos 1, tuvo su origen en la parte media del volcán donde se identifican Suelos Vérticos (Figura 25), los cuales por ser de textura franco arcillosa en la superficie y textura arcillosa en el subsuelo según Aguirre y Acuña (2009), tienen una capacidad de infiltración moderadamente lenta. Alonso, Gens, Lloret y Delahaye (1995) señalan que el tiempo que se requiere para que una lluvia produzca un deslizamiento es mayor en los suelos arcillosos que en los suelos arenosos, así mismo Suarez (2009) hace referencia a que en suelos arcillosos, la lluvia acumulada de varias semanas, es determinante para la activación de deslizamientos.

En cuanto a la pendiente, los lahares de Los Ramos 2, La Chirca y Sintiope tienen pendientes muy fuertes a moderadamente escarpadas que oscilan de 44.50 % a 67.00 %, en el lahar de Los Ramos 1 también se tienen pendientes fuertes en su ladera que van desde 22.00 % a 44.50 % (Figura 14). Por lo que al momento de lluvias de gran intensidad los taludes más altos fallan con más frecuencia que los de pendiente moderada, factor que se atribuye a la disminución de las tensiones negativas, aunque en los taludes de menor altura y pendiente, el ascenso del nivel freático es mayor (Rahardjo et al. 2007).

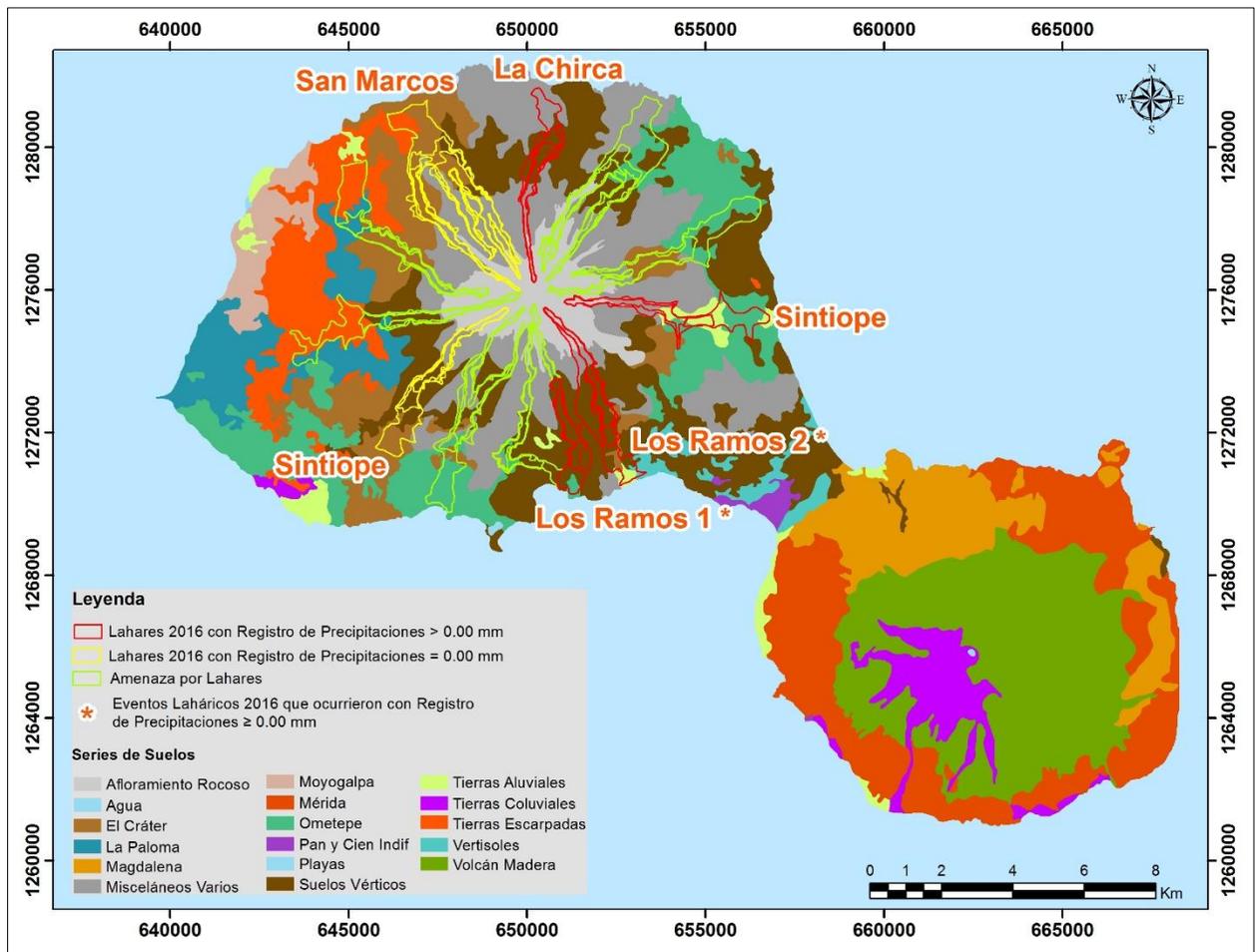


Figura 25. Mapa de Series de Suelos con Lahares ocurridos Durante el Año 2016.

4.2. Precipitaciones Detonantes de Lahares Históricos (2005 - 2016)

4.2.1. Correlación entre Precipitaciones Detonantes y Acumuladas Antecedentes de Lahares Históricos (2005 – 2016)

En el Cuadro 15 se presenta la base de datos seleccionada de eventos históricos de lahares (a partir del inventario de lahares presentado en el Anexo 4) a partir de la cual se hace la correlación de las precipitaciones caídas el día del evento lahárico y las precipitaciones acumuladas los días antecedentes al evento (1, 3, 10, 15, 20, 25 y 30 días).

En las gráficas de la Figura 26 se presenta la correlación entre las variables “Precipitación Registrada el Día del Evento (mm) y Precipitaciones Acumuladas los Días Antecedentes (mm) para las diferentes combinaciones de días”. Los gráficos están dividido en 4 áreas (A, B, C, D) delimitadas por líneas que indican la media correspondiente en el eje “X” para la lluvia acumulada antecedente y en el eje “Y” la lluvia acumulada el día del evento.

El área A muestra aquellos lahares ocurridos con precipitaciones por encima de ambas medias; en el área B están representados los lahares cuyas precipitaciones registradas el día del evento están por debajo de la media y las precipitaciones acumuladas los días antecedentes están por encima de esta; el área C muestra aquellos lahares generados con precipitaciones por debajo de las dos medias señaladas, representando así aquellos eventos que en su formación necesitaron menor cantidad de agua; por último, en el área D se encuentran aquellos lahares con precipitaciones acumuladas antecedentes por debajo de la media, pero por encima de esta las precipitaciones registradas el día del evento.

La correlación entre los valores de precipitaciones registradas el día del evento respecto a las precipitaciones acumuladas los días antecedentes no presenta una buena correlación en ninguna de las combinaciones (1, 3, 10, 15, 20, 25 y 30 días de lluvia acumulada antecedente), lo que indica que estos fenómenos pueden presentarse con diferentes escenarios de lluvia acumulada antecedente.

Los lahares ubicados en el área “C” de los gráficos, por ser los que menos agua necesitaron en su formación, determinaran el umbral mínimo que se busca determinar en este estudio. De referencia se tomaran los gráficos 26.1, 26.2 y 26.3 de la Figura 26 por ser los gráficos que en el área C presentan mayor porcentaje de lahares ocurridos (40.00 % a 56.66 %) con el menor número de días de precipitaciones acumuladas antecedente (uno, tres y diez días). El valor de porcentaje que se muestra en los gráficos corresponde al porcentaje de lahares dentro del umbral mínimo.

Cuadro 15. Selección de Lahares Históricos ocurridos en el Volcán Concepción.

Lahares (2005 - 2016)	Fecha	Estación	Precipitación Registrada el Día del Evento (mm)	D1 (mm)	D3 (mm)	D10 (mm)	D15 (mm)	D20 (mm)	D25 (mm)	D30 (mm)
La Flor	18/05/2005	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	44.70	0.00	85.10	108.50	125.60	125.60	143.10	145.00
La Chirca	29/06/2005	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	70.70	70.50	98.40	198.40	198.40	267.30	363.90	363.90
Los Ramos	04/10/2008	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	53.20	33.70	105.10	193.00	280.20	315.70	320.70	351.80
La Unión	04/10/2008	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	53.20	33.70	105.10	193.00	280.20	315.70	320.70	351.80
Urbaite	04/10/2008	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	53.20	33.70	105.10	193.00	280.20	315.70	320.70	351.80
Sintiope	04/10/2008	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	53.20	33.70	105.10	193.00	280.20	315.70	320.70	351.80
Los Ramos	05/10/2008	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	42.50	53.20	122.40	241.00	307.60	368.90	373.90	384.10
La Unión	05/10/2008	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	42.50	53.20	122.40	241.00	307.60	368.90	373.90	384.10
Urbaite	05/10/2008	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	42.50	53.20	122.40	241.00	307.60	368.90	373.90	384.10
Sintiope	05/10/2008	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	42.50	53.20	122.40	241.00	307.60	368.90	373.90	384.10
Los Ramos	12/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	42.50	0.00	0.00	263.20	299.40	335.40	395.60	444.20
Los Ramos	18/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
La Unión	18/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
Urbaite	18/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
Sintiope	18/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
La Chirca	18/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
Los Ramos	19/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
La Unión	19/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
Urbaite	19/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
Sintiope	19/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
La Chirca	19/10/2014	Estación 069068 de Altagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
La Concepción	19/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	43.40	5.30	9.20	119.70	354.30	371.10	436.90	446.70
La Flor	19/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	43.40	5.30	9.20	119.70	354.30	371.10	436.90	446.70
La Chirca	14/10/2015	Estación Telemétrica 69242 de Altagracia -Ineter	107.80	10.00	10.00	46.80	58.00	208.40	212.80	298.20
La Unión	14/10/2015	Estación Telemétrica 69242 de Altagracia -Ineter	107.80	10.00	10.00	46.80	58.00	208.40	212.80	298.20
Los Ramos	14/10/2015	Estación Telemétrica 69242 de Altagracia -Ineter	107.80	10.00	10.00	46.80	58.00	208.40	212.80	298.20
Los Ramos 1	03/10/2016	Altagracia - Proyecto	36.07 *	1.01	1.01	17.26	48.22	51.76	86.78	140.57
Los Ramos 2	03/10/2016	Altagracia - Proyecto	36.07 *	1.01	1.01	17.26	48.22	51.76	86.78	140.57
La Chirca	03/10/2016	Altagracia - Proyecto	36.07 *	1.01	1.01	17.26	48.22	51.76	86.78	140.57
Sintiope	06/10/2016	Altagracia - Proyecto	35.32 *	0.00	48.76	66.02	91.90	97.74	131.48	178.41
Promedio			45.45	23.54	54.01	172.62	261.88	308.09	340.17	381.21

*Precipitación Acumulada al Momento Detonante del Evento.

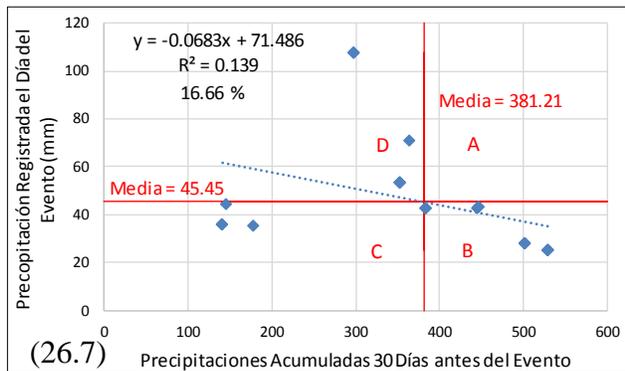
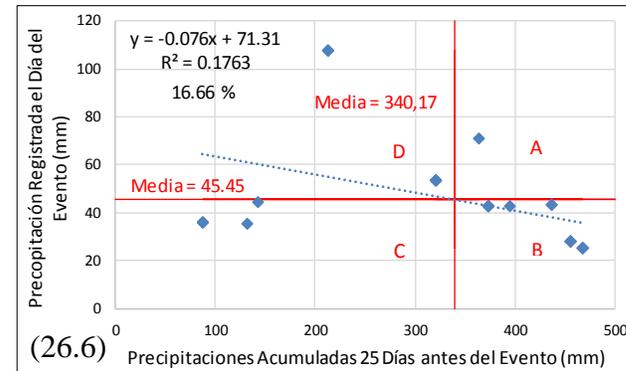
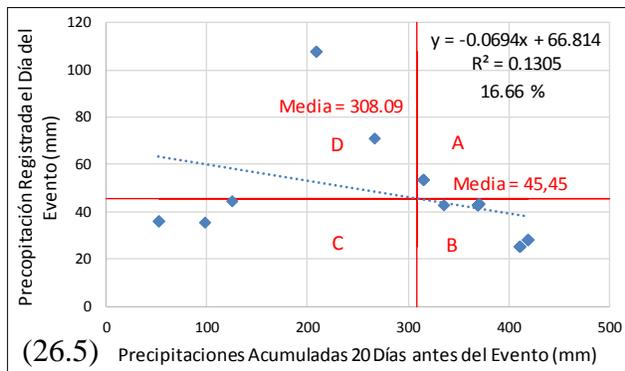
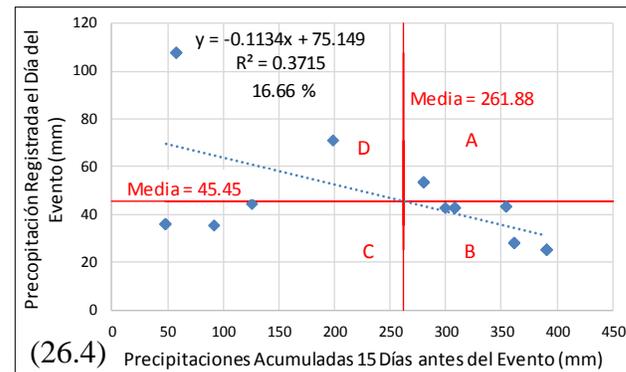
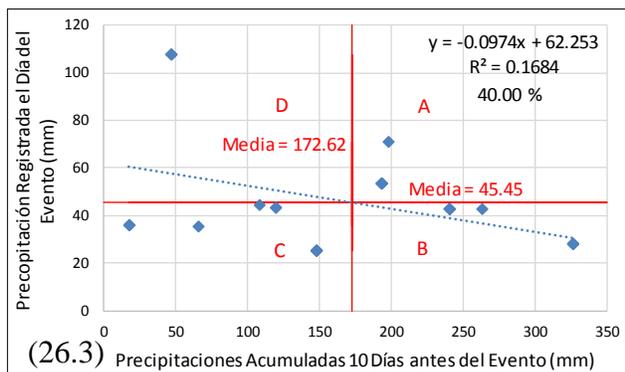
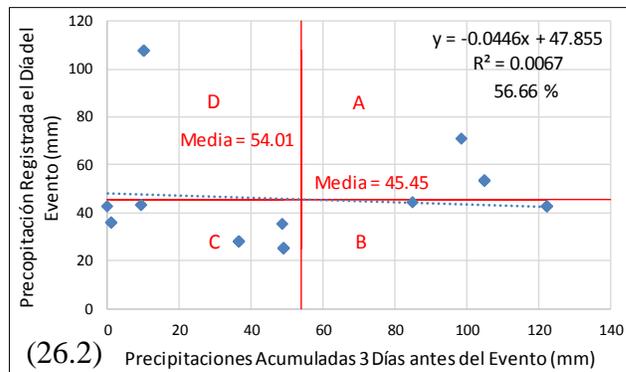
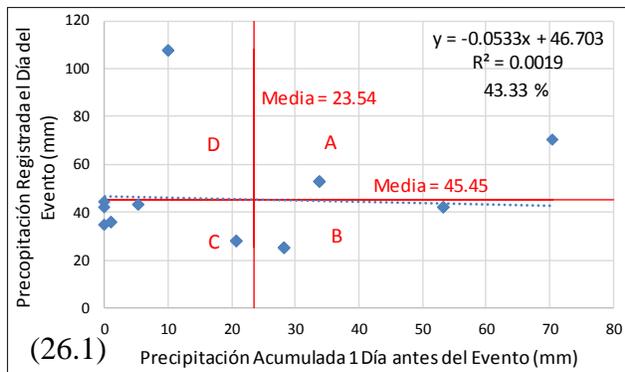


Figura 26. Correlación de Precipitaciones Registradas los Días de Eventos Laháricos y Precipitaciones Acumuladas Antecedentes para diferentes Combinaciones de Días.

4.4.1. Análisis Estadístico de Precipitaciones Históricas que han ocasionado Fenómenos Laháricos (2005 – 2016)

El análisis estadístico descriptivo para la serie de datos de precipitaciones registradas que ocasionaron eventos laháricos se hizo junto a la serie de datos de lluvia acumulada antecedente de uno, tres y diez días, por estimarse en la sección 4.2.1. que la mayoría de lahares han ocurrido dentro del umbral mínimo que se establece con precipitaciones acumuladas antecedentes de uno, tres y diez días.

En el Cuadro 16 se presentan los estadísticos descriptivos correspondientes a las precipitaciones que se han registrados los días de ocurrencia de fenómenos laháricos y los correspondientes para los acumulados de lluvia de uno, tres y diez días antecedentes al evento. Los resultados indican que en promedio estos eventos se dan con una precipitación de 45.45 mm con una media de acumulado de lluvia antecedente de un día de 23.54 mm, de tres días con 54.01 mm y de diez días con 172.62 mm; la mediana muestra que menos del 50 % de estos eventos se dan con precipitaciones menores o iguales a 42.50 mm y con una lluvia acumulada antecedente de un día ≤ 20.60 mm o menos, de tres días ≤ 48.83 , de 10 días ≤ 170.70 , otro 50% de estos eventos se dan con precipitaciones mayores o iguales a 42.50 mm, con una lluvia acumulada antecedente de un día ≥ 20.60 mm, de tres días ≥ 48.83 mm , de diez días ≥ 170.70 mm. En cuanto al registro de precipitaciones con mayor ocurrencia de lahares, los resultados indican que se tienen múltiples modas de precipitaciones con ocurrencia de este tipo de deslizamiento.

La desviación estándar de la serie de precipitaciones con ocurrencia de lahares y su acumulado de lluvia de uno, tres y diez días antecedentes al evento indica que la variabilidad de los datos es alta y por tanto se tiene una amplia incertidumbre en cuanto a las precipitaciones que ocasionan este tipo de fenómenos, lo que quiere decir que pueden ocurrir con diferentes escenarios de precipitaciones. De hecho, en el inventario de lahares seleccionados (Cuadro 15) se tiene que la menor precipitación que ocasionó fenómeno de lahares corresponde a 25.50 mm y la mayor precipitación que ha ocasionado estos eventos es de 107.80 mm, siendo el rango de diferencia entre los valores de 82.30 mm. De igual manera el rango de diferencia entre los valores de precipitaciones mínimos y máximos de lluvia acumulada antecedente que han provocado estos eventos es bastante amplio con 70.50 mm para un día, 122.40 mm para tres días y 309.34 para diez días.

Una de las razones a las que puede deberse esta amplia incertidumbre es que para hacer el análisis de eventos históricos (excepto para el caso de los lahares 2016) fueron utilizadas las precipitaciones acumuladas durante las 24 horas del día de ocurrencia del evento lahárico, debido a que es el único dato del que se dispone, no siendo posible delimitar con exactitud la precipitación acumulada al momento detonante que ocasionó los lahares. Por ejemplo, se tienen casos que durante un día determinado durante las 24 horas se acumularon 107.80mm, sin embargo no necesariamente el lahar ocurrió al acumularse los 107.80 mm en las 24 horas, este lahar pudo haber ocurrido cuando se alcanzaban 35 mm, 40 mm, 50 mm. Por esta razón, en este estudio se muestra la necesidad de monitorear las precipitaciones asociadas no únicamente al acumulado de lluvia en 24 horas, si no a monitorear las precipitaciones asociadas a la intensidad en intervalos de tiempo menores a 24 horas que permitan hacer evaluaciones puntuales de los eventos lluviosos que generan lahares.

El percentil 25 indica que del 100 % de eventos laháricos analizados, el 25 % ha ocurrido con precipitaciones ≤ 28.30 mm, con una lluvia acumulada antecedente de un día ≤ 5.30 mm, de tres días con precipitaciones ≤ 10.00 mm y de diez días con acumulados ≤ 97.88 mm ; el percentil 50 se corresponde a la mediana e indica que el 50% de lahares ocurrió con precipitaciones ≤ 42.50 mm con una lluvia acumulada antecedente de un día ≤ 20.60 mm, de tres días con precipitaciones ≤ 48.83 mm y de diez días con acumulados ≤ 170.70 mm ; el percentil 75 indica que el 75% de los eventos históricamente se han desarrollado con precipitaciones ≤ 53.20 mm con precipitaciones acumuladas de un día ≤ 33.70 mm, de tres días con precipitaciones ≤ 105.10 mm y de diez días con acumulados ≤ 241.00 mm.

Cuadro 16. Estadísticos de Precipitaciones el Día del Evento Lahárico y de Uno, Tres y Diez Días Antecedentes.

Parámetros Estadísticos		Estadísticos de Precipitaciones Registradas el Día del Evento (mm)	Estadísticos de Precipitaciones Registradas 1 Día antes del Evento (mm)	Estadísticos de Precipitaciones Registradas 3 Días antes del Evento (mm)	Estadísticos de Precipitaciones Registradas 10 Días antes del Evento (mm)
N	Válido	30.00	30.00	30.00	30.00
	Perdidos	0.00	0.00	0.00	0.00
Media		45.45	23.54	54.01	172.62
Mediana		42.50	20.60	48.83	170.70
Moda		25.50 ^a	20.60 ^a	36.40 ^a	148.40 ^a
Desviación estándar		23.80	19.20	43.54	100.29
Varianza		566.21	368.76	1895.37	10058.43
Rango		82.30	70.50	122.40	309.34
Mínimo		25.50	0.00	0.00	17.26
Máximo		107.80	70.50	122.40	326.60
Percentiles	25	28.30	5.30	10.00	97.88
	50	42.50	20.60	48.83	170.70
	75	53.20	33.70	105.10	241.00

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

4.3. Modelación de Probabilidades de ocurrencias de Lahares para diferentes Intensidades de Precipitaciones

En el cuadro 17 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en campo de los Ensayos de Penetración Estándar (SPT por sus siglas en inglés) (Golpes) y de Cohesión (kPa), así como los resultados obtenidos del ángulo de fricción interna (ϕ) establecidos a partir de los criterios de correlación establecidos por Meyerhof (1956) (Cuadro 5). En este estudio los resultados de las mediciones y estimaciones de estas variables se limita unicamente a ser utilizadas para disminuir la incertidumbre del programa de modelación de lahares y no a evaluar como intervienen estas variables en la ocurrencia de lahares. En la Figura 27 se observa el mapa de series de suelos con los resultados de estas pruebas.

Cuadro 17. Resultados de Ensayos de Penetración Estándar (SPT), Cohesión y Ángulo de Fricción Interna.

Ensayos de Campo	Coordenadas UTM		Metros Sobre el Nivel del Mar (msn)	Ensayo de Penetración Estándar (SPT/Golpes para 0.3 m de Espesor)	Ángulo de Fricción Interna (o)	Cohesión (kpa)
	Este	Norte				
1	642660	1277446	56	9	30 - 35	82.00
2	643741	1277434	123	8	30 - 35	22.00
3	643800	1277473	127	4	30 - 35	18.00
4	644508	1277676	120	6	30 - 35	20.00
5	645773	1277440	161	58	> 45	52.00
6	646244	1277288	185	6	30 - 35	54.00
7	646926	1277086	232	30	35 - 40	44.00
8	645750	1278545	149	2	< 30	28.00
9	647029	1279515	111	26	35 - 40	30.00
10	647684	1279581	117	7	30 - 35	34.00
11	647825	1279548	122	6	30 - 35	20.00
12	648283	1279555	139	10	30 - 35	18.00
13	649867	1279268	202	21	35 - 40	8.00
14	651907	1279657	138	6	30 - 35	20.00
15	653992	1279032	93	4	30 - 35	40.00
16	654127	1277114	145	13	35 - 40	56.00
17	655315	1275536	108	4	30 - 35	8.00
18	654364	1274979	143	16	35 - 40	12.00
19	653304	1273744	199	3	< 30	8.00
20	652894	1273560	221	16	35 - 40	10.00
21	651443	1272427	173	14	35 - 40	30.00
22	651107	1272074	160	5	30 - 35	12.00
23	650299	1271291	117	7	30 - 35	10.00
24	646807	1272017	126	21	35 - 40	12.00
25	646447	1270393	75	27	35 - 40	30.00
26	641073	1272569	53	8	30 - 35	50.00
27	641176	1273404	51	12	35 - 40	20.00
28	642090	1273998	69	26	35 - 40	30.00

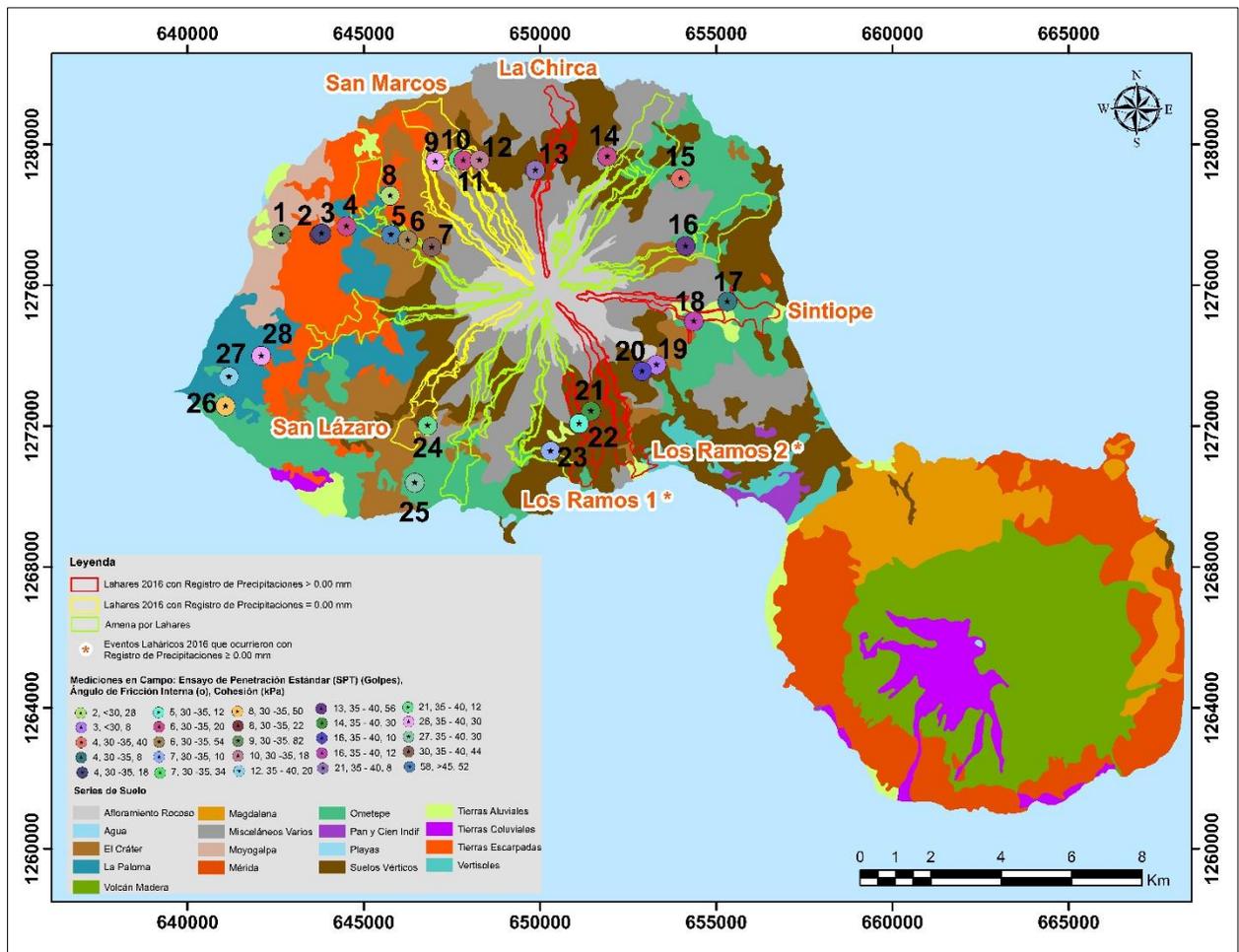
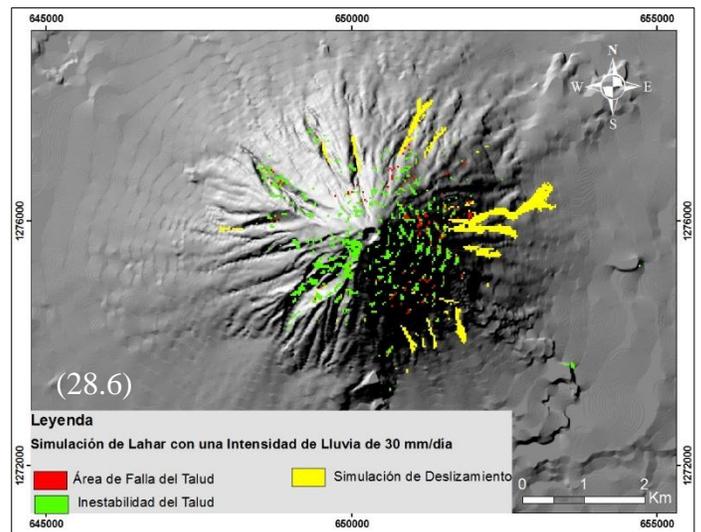
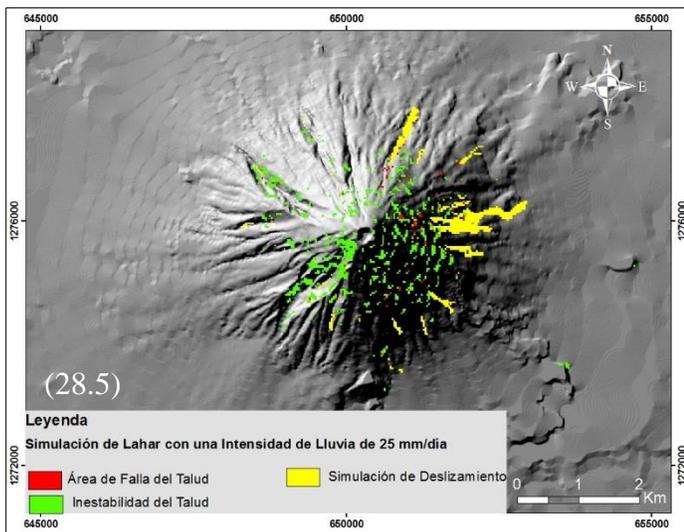
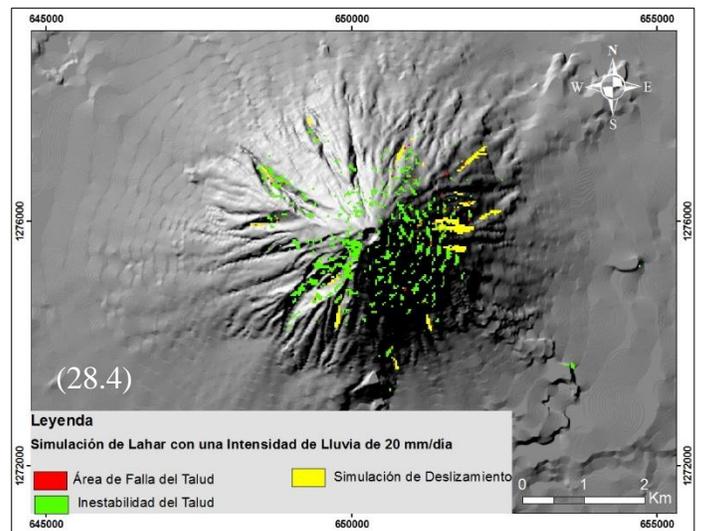
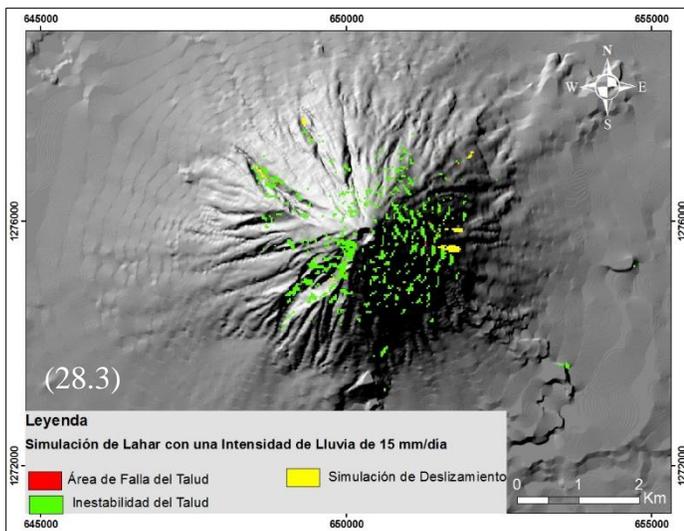
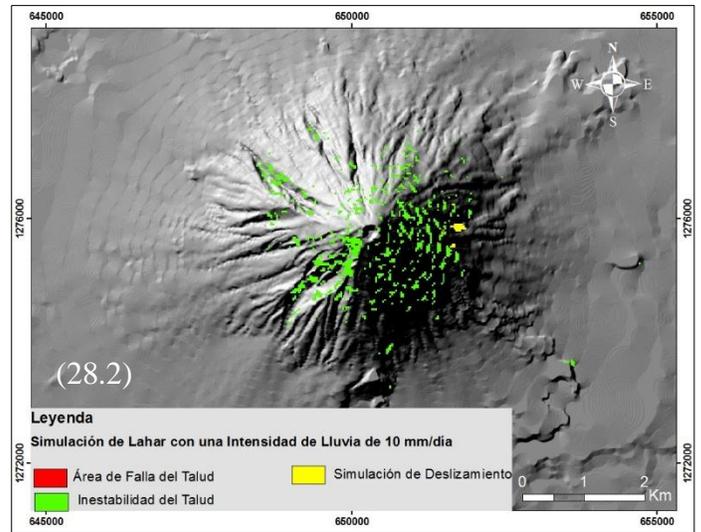
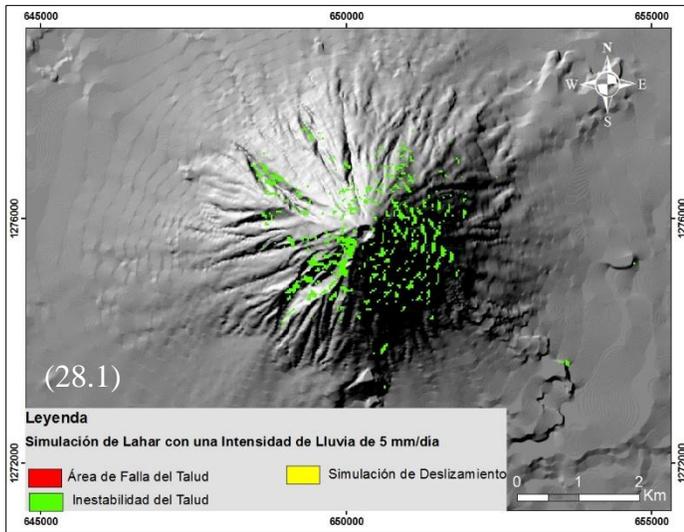


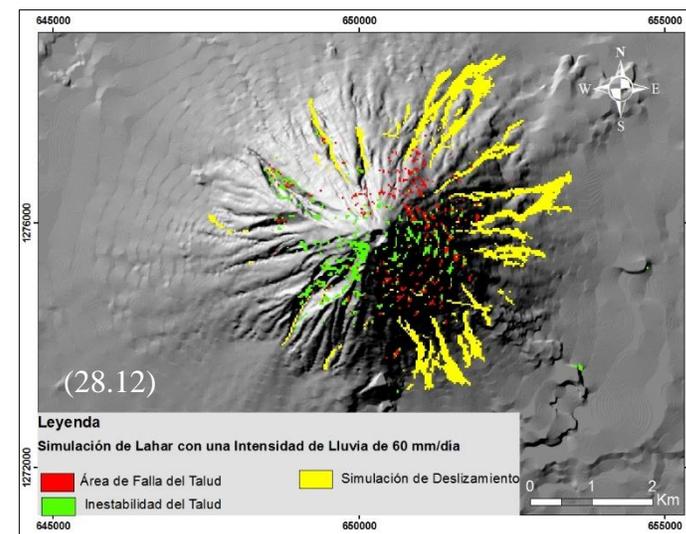
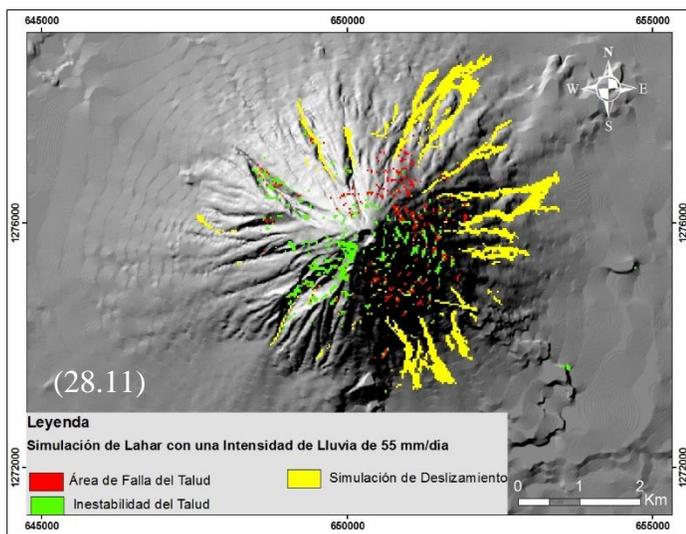
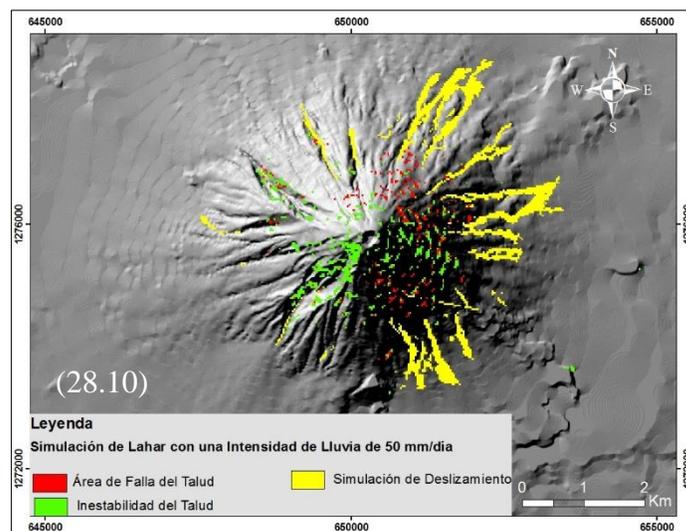
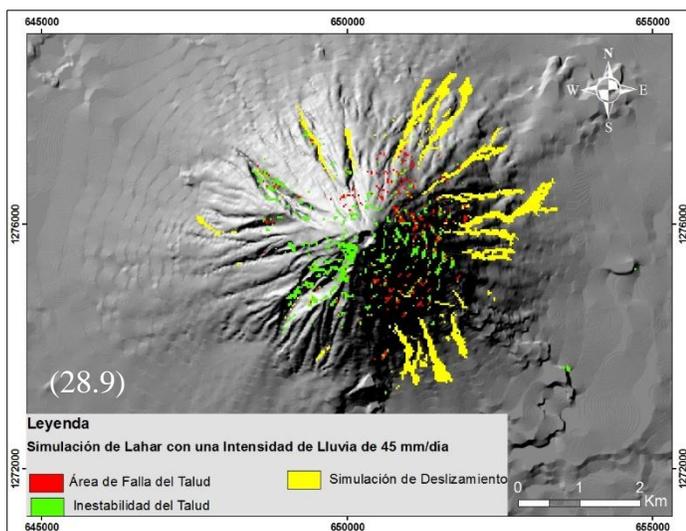
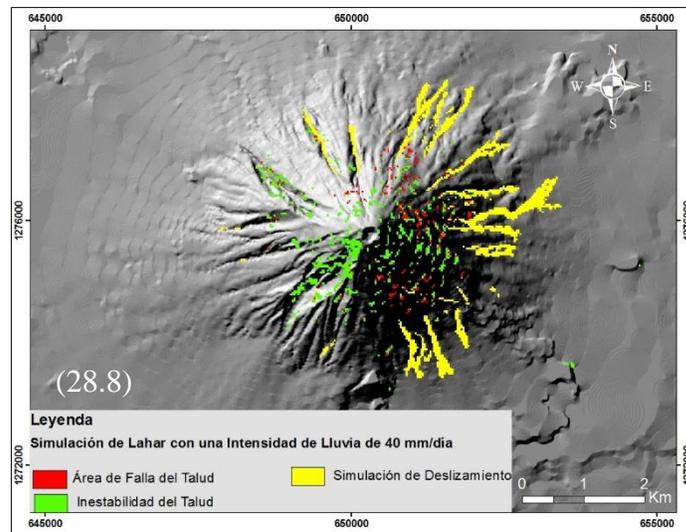
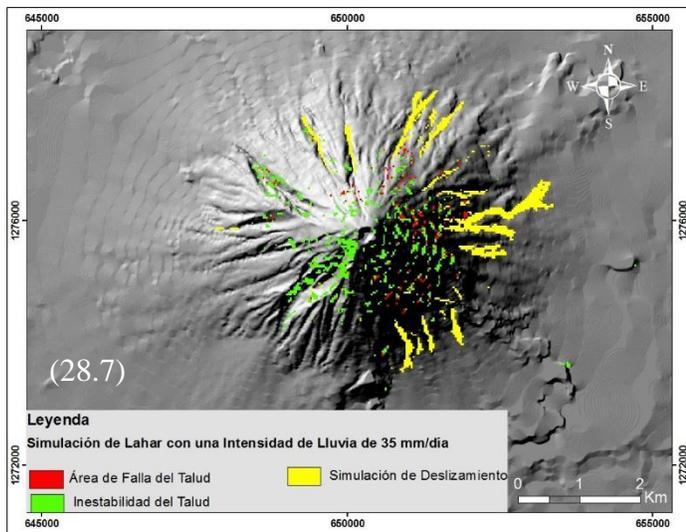
Figura 27. Mapa de Series de Suelos del Volcán Concepción con Resultados de Ensayos de Penetración Estándar (SPT) (Golpes), Ángulo de Fricción Interna (ϕ) y Cohesión (kPa).

A continuación se presenta la modelación de lahares para diferentes intensidades de lluvia (Figura 28). El Cuadro 18 presenta los criterios utilizados en cada simulación, los datos de conductividad y densidad aparente fueron estimados a partir de la clasificación de Lee (1996) y USDA (1975) según lo observado en campo para las diferentes clases texturales de suelo (Cuadros 6 y 7). En cuanto a los datos de cohesión (kPa) y ángulos de fricción interna (ϕ), se estimaron valores promedios y medianas representativas a los resultados de campo mostrados en el Cuadro 17. El dato de profundidad utilizado se corresponde al establecido por defecto en el programa para todo tipo de suelo. Se hace importante señalar que lo referido en el Cuadro 18 en cuanto a los usos de suelo (uso de suelo 1, uso de suelo 2, uso de suelo 3 y uso de suelo 4) se limita únicamente a que el programa identificó en el Modelo Digital de Elevación (MDE) 4 usos de suelo sin referir cuáles son tales usos de suelo.

Cuadro 18. Criterios Utilizados en Simulaciones de Lahares con LandslideSim2016 ®v.

Parámetros de Simulación	Usos de Suelo			
	Uso de Suelo 1	Uso de Suelo 2	Uso de Suelo 3	Uso de Suelo 4
Conductividad (m/día)	0.126	0.27	0.033	0.159
Densidad Aparente (g/cm ³)	1.45	1.55	1.60	1.55
Cohesión del Suelo (kPa)	28	25	21.25	26.86
Ángulo de Fricción Interna (o)	37.5	35	35	32.5
Profundidad (m)	3	3	3	3
Intensidad de Lluvia (mm/día)	5,10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180.	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180.	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180.	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180.
Tiempo Total de Simulación (s)	1800	1800	1800	1800
Tiempo de Pasos de Simulación (s)	1	1	1	1
Tiempo de cada Paso de Exportación (s)	10	10	10	10





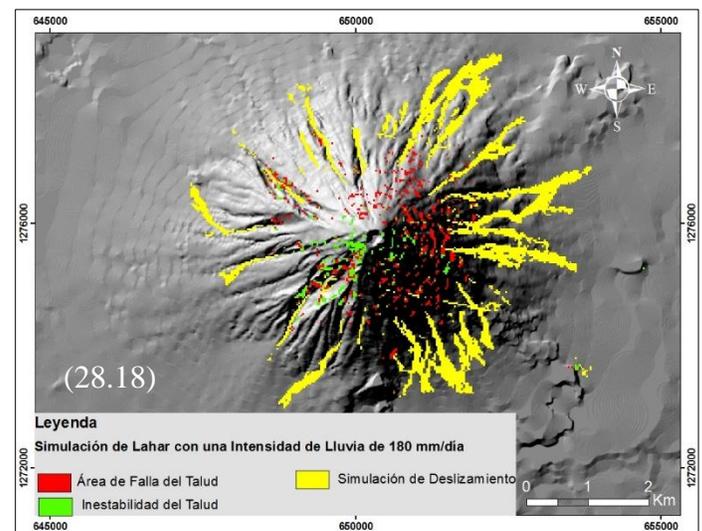
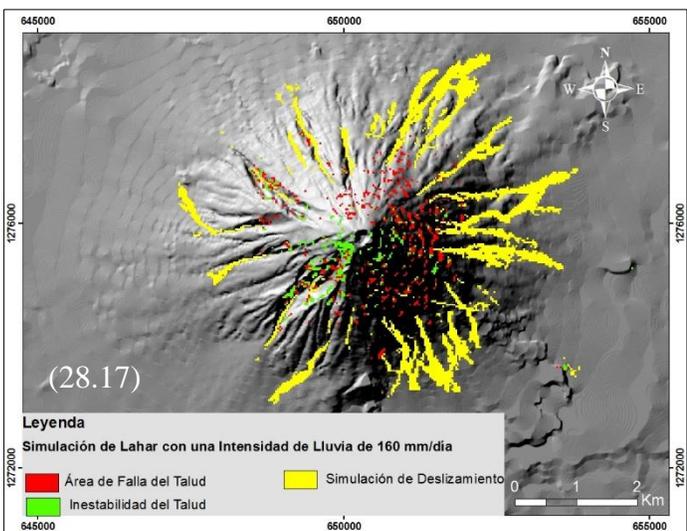
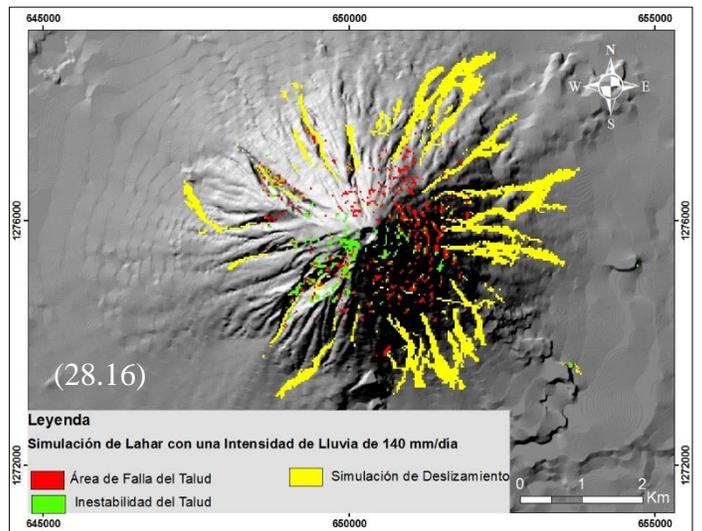
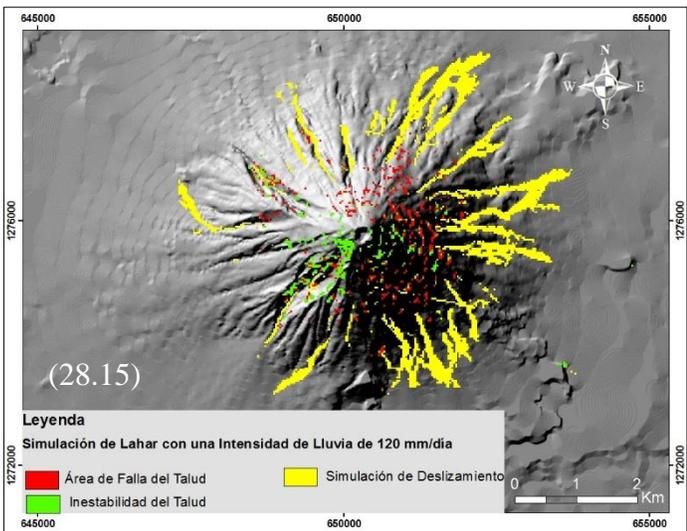
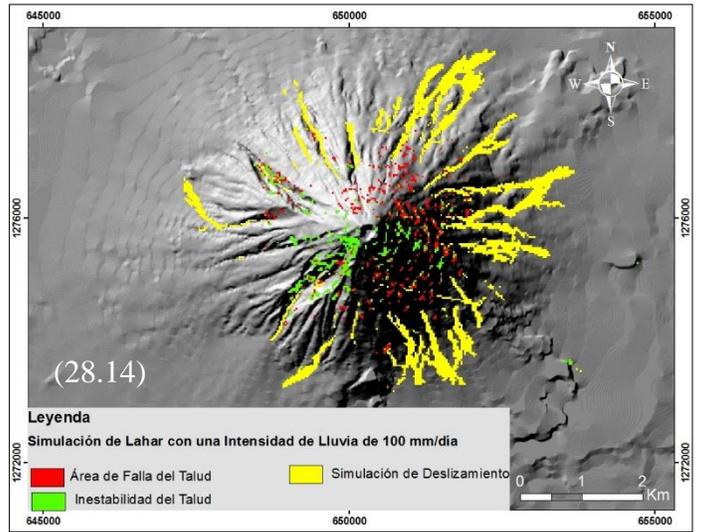
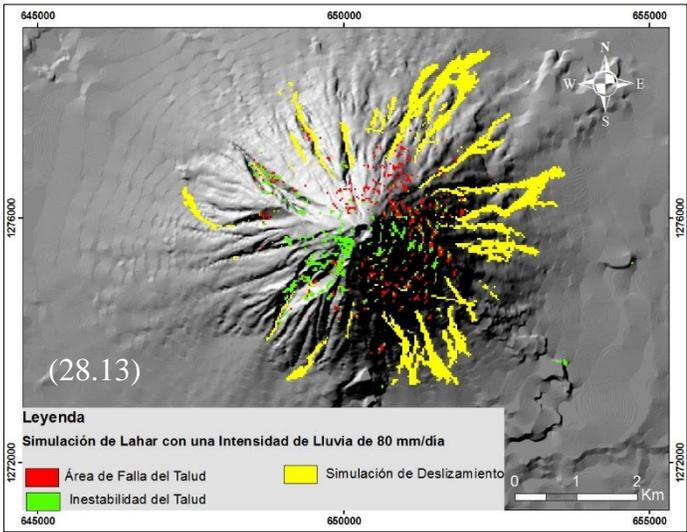


Figura 28. Simulaciones de Lahares para diferentes Intensidades de Lluvia con el programa LandslideSim2016.

En las simulaciones de la Figura 28 se aprecian 3 aspectos: Área de falla del talud, inestabilidad del talud y simulación del lahar. En la simulación 28.1 se observa que con una intensidad de lluvia de 5 mm/día no se producen fallas en el talud en ninguna de las áreas del Volcán Concepción; en la parte Noreste cuando se alcanza una intensidad de 10 mm/día (simulación 28.2) se empiezan a formar pequeñas fallas en el talud y a generar pequeños deslizamientos, sin embargo, estos son prácticamente nulos; en la parte Sureste, Suroeste y Noroeste, las fallas y pequeños deslizamientos en el talud se empiezan a notar cuando se alcanzan de 15 mm/día a 20 mm/día (simulaciones 28.3 y 28.4); a los 25 mm/día (simulación 28.5) se intensifican las fallas y deslizamientos del talud para la parte Noreste del volcán y a los 35 mm/día (simulación 28.7) en la parte Sureste y Noroeste. A partir de los 50 mm/día las fallas y deslizamientos del talud incrementan aún más en la parte Noreste, Sureste y Noroeste del volcán y se intensifican en la parte Suroeste (simulaciones 28.10 a 28.12); cuando se alcanzan los 80 mm/día las fallas y deslizamientos del talud son muy significativas y de alto riesgo en todo el volcán (simulación 28.13).

Las simulaciones muestran que las partes Noreste y Sureste del Volcán Concepción son más susceptibles a presentar fallas y ocurrencia de lahares, en cambio la parte Suroeste y Noroeste requieren de mayor intensidad de lluvia para que ocurra un lahar, este resultado puede corroborarse con los datos de lluvia del año 2016. En el Anexo 5 se muestra un cuadro de eventos lluviosos registrados con la estación de los Ángeles que se ubica en la parte Suroeste del volcán (Figura 1), estos eventos lluviosos tienen un mayor acumulado de lluvia sin ocasionar lahar que los eventos lluviosos registrados al Noreste del Volcán Concepción (en la estación de Altagracia) que sí ocasionaron lahares. Por otra parte, aunque el inventario de lahares históricos (Anexo 4) muestra la poca ocurrencia de lahares en la parte Noroeste y Suroeste del volcán, se tienen lahares ocurridos con registro de precipitaciones de 0.00 mm y de 4.10 mm, entre otras bajas precipitaciones registradas por la estación 069075 de INETER en Moyogalpa, por lo que es probable que estos eventos hayan sido producidos por eventos sísmicos cuando el suelo se encontraba saturado o bien por mayores precipitaciones en la parte donde se dio origen a los eventos y que no fueron registradas por la estación 069075 de INETER.

Para evaluar la diferencia de mayor susceptibilidad de ocurrencia de lahares en la parte Noreste y Sureste con respecto a la parte Suroeste y Noroeste que tienen menor susceptibilidad, se hace necesario en el Volcán Concepción caracterizar y estudiar otras variables como la litología, morfología, geología, vegetación y uso del suelo.

4.4. Umbrales de Precipitaciones para la Activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) ante la ocurrencia de Fenómenos Laháricos

Según CEPREDENAC (2008), en el Volcán Concepción las estaciones meteorológicas fueron calibradas para alerta cuando el acumulado horario superara los 60.00 mm de lluvia. Sin embargo, CEPREDENAC (2008) menciona que se ha observado que muchos de los eventos se disparan con acumulados horarios menores a 60.00 mm (como es el caso de los lahares históricos presentados en el Cuadro 15 y en el Anexo 4) y no se da la alarma, por tanto sugiere que se deben redefinir los umbrales de lluvias que desencadenan lahares.

El monitoreo eficaz de las precipitaciones es un aporte elemental para la activación del Sistema de Alerta Temprana (SAT) cuando se está bajo el riesgo de ocurrencia de un lahar. En este estudio se han registrado las precipitaciones durante el año 2016 y ha sido la base para estimar el umbral de lluvia detonante que ocasionó los lahares de los Ramos 1, Los Ramos 2, La Chirca y Sintiope, por lo que son estos cuatro eventos los referentes para dar inicio a esta metodología que consiste en monitorear la ocurrencia de lahares asociado a la evaluación de los eventos lluviosos que los producen en términos de precipitaciones acumuladas e intensidades de las tormentas.

Tomando en cuenta la intensidad de lluvia que ocasionó los lahares 2016 en promedio con una precipitación detonante de 35.88 mm e intensidades de 19.57 mm/h, así como los estadísticos históricos que indican que la mayoría de lahares en el Volcán Concepción en promedio han ocurrido con precipitaciones detonantes de 45.45 mm y dentro del umbral mínimo que se establece con una lluvia acumulada antecedente en promedio de 23.54 mm de 1 día, 54.01 mm de 3 días y 172.62 mm de 10 días, así como las modelaciones para diferentes intensidades de lluvia que indica que los principales cambios en el comportamiento de los lahares se dan con lluvias de magnitud de 15 mm/día a 25 mm/día, de 25 mm/día a 50 mm/día, de 50 mm/día a 80 mm/día, de 80 mm/día a 100 mm/día y > 100 mm/día.

Así mismo, considerando lo establecido por la “Ley Creadora del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres” con sus Reformas Incorporadas (2014) que indica que en Nicaragua la alerta verde debe declararse cuando se identifica la presencia de un fenómeno natural o provocado y por su peligrosidad puede causar afectaciones, la alerta amarilla a partir del momento en que se evalúa el fenómeno identificado y éste presenta tendencia a su crecimiento de forma peligrosa y la alerta roja cuando se produce un fenómeno de forma súbita y que de forma intempestiva causa un determinado impacto y de inmediato se deben de determinar las medidas de búsqueda, salvamento y rescate (Cuadro 8); se propone que las alerta ante la ocurrencia de lahares en el Volcán Concepción sean activadas bajo los criterios planteados en el árbol de decisiones de la Figura 29, haciendo referencia a que cuando se tengan eventos lluviosos con las magnitudes de las precipitaciones planteadas (árbol de decisiones) no significa que ocurrirá un lahar, si no que “existen condiciones para que se produzca un lahar”, estos umbrales tienen como propósito informar y alertar ante la ocurrencia de lahares, en ningún momento asegura la ocurrencia de este fenómeno.

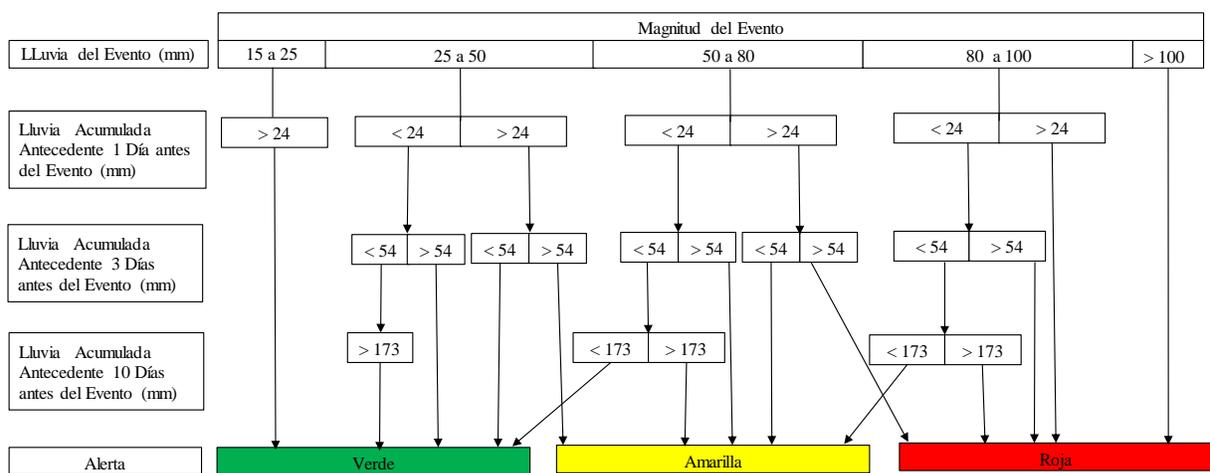


Figura 29. Árbol de Decisiones para Emitir Alerta de Lahares en el Volcán Concepción.

En el árbol de decisiones se observa que los rangos de precipitaciones para diferenciar la magnitud de los eventos laháricos y activar los diferentes tipos de alertas en el Volcán Concepción, oscilan de 15 mm a 25 mm, 25 a 50 mm, 50 mm a 80 mm, 80 a 1000 mm y > 100 mm. En Nicaragua se han realizados otros estudios de estimación de umbrales detonantes de este tipo de fenómeno, la investigación de Cruz (2005) sugiere que en base a las condiciones de las precipitaciones y su duración el estado de alerta en el municipio de Dipilto, Nueva Segovia, en el área del Cerro El Volcán y las comunidades La Tablazón, El Volcán, Las Nubes y Dipilto Viejo, la alerta verde debe ser emitida con lluvias de 60 mm con 3 horas de duración, la alerta amarilla con lluvias de 100 mm con 6 horas de duración, iniciando procesos de evacuación con lluvias de 150 mm a 300 mm con 12 horas de duración y hacer la declaración de alerta roja con lluvias > 300 mm con 24 horas de duración. Estos umbrales, en su mayoría son de mayor precipitación que los estimados para el Volcán Concepción, por lo que se hace importante mencionar que los umbrales de precipitación como detonantes de fenómenos laháricos varían para cada lugar según las condiciones climáticas, geológicas, geomorfológicas, entre otras variables de cada sitio.

Considerando lo planteado por Baker (2012), un Sistema de Alerta Temprana (SAT) puede definirse como un sistema o procedimiento diseñado para advertir con la debida anticipación de un riesgo potencial o un problema inminente, con la finalidad de apoyar a los tomadores de decisiones para la adopción con tiempo anticipado de medidas de respuesta pertinentes ante la presencia de un evento catastrófico, protegiendo así a las personas y sus bienes materiales. Así como lo señalado por Pradenas González (2015), que hace referencia a que un Sistema de Alerta Temprana ante la ocurrencia de lahares usualmente está compuesto de tres elementos básicos: sensores de lluvia y telemetría, umbrales críticos de lluvia definidos por modelos físicos o empíricos y medios para la comunicación de las alertas a las autoridades y comunidades. Por tanto, los umbrales de precipitaciones resultantes de este estudio para la declaración de alertas ante la ocurrencia de lahares pueden evaluarse para ser integrados a un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para lahares en el Volcán Concepción, los valores encontrados pueden ser utilizados como valores de disparo en sistemas de alerta (las estaciones meteorológicas pueden calibrarse con estos datos para la emisión de alerta); lo que resulta muy valioso para la toma de decisiones respecto a la evacuación de zonas de riesgo, así como para la implementación de medidas de prevención y protección. Finalmente, debe ser necesario un sistema de información eficiente que permita la participación y organización comunitaria, capacitación, planes de emergencia, instrumentación y estaciones en red para monitorear la ocurrencia de lahares.

V. Conclusiones

- Los umbrales de precipitación que ocasionaron los fenómenos laháricos en el Volcán Concepción durante el año 2016 corresponden en promedio a precipitaciones detonantes de 35.88 mm con una intensidad de 19.57 mm/h, estos resultados sugieren que la tendencia de ocurrencia de fenómenos laháricos en el Volcán Concepción se debe más a la intensidad de los eventos lluviosos que los producen que a las lluvias de baja intensidad y larga duración.
- Históricamente los lahares en el Volcán Concepción ocurren en promedio con precipitaciones detonantes de 45.45 mm, con una media de acumulado de lluvia antecedente de un día de 23.54 mm, de tres días con 54.01 mm y de diez días con 172.62 mm. Según la correlación de las precipitaciones eventos con las precipitaciones acumuladas los días antecedentes, en el Volcán Concepción las precipitaciones acumuladas antecedentes que ejercen mayor influencia en la ocurrencia de lahares corresponden a períodos de uno a diez días.
- Basado en los resultados de las modelaciones, lahares ocurridos durante el año 2016 y el análisis de eventos históricos, se proponen cinco intervalos de precipitaciones para su integración en un Sistema de Alerta Temprana (SAT) bajo el riesgo de ocurrencia de lahares: 15 mm a 25 mm, 25 a 50 mm, 50 mm a 80 mm, 80 mm a 100 mm, y > 100 mm, el tipo de alerta a emitir verde, amarilla o roja estará ligado a la lluvia acumulada antecedente de un día, tres días o diez días.

VI. Recomendaciones

- La determinación de umbrales de precipitación detonantes para que se desarrollen fenómenos laháricos requiere de años de observación de ocurrencia de estos eventos asociados al acumulado de lluvia, así como de la intensidad, duración y frecuencia de la tormenta que los produce. Por lo anterior, se requiere dar continuidad al monitoreo de estos fenómenos asociado a estas variables para poder contar con una base de datos con un mayor número de observaciones con diferentes años en precipitación y así poder utilizar estos datos con eficacia en la activación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT). Este estudio da inicio a este tipo de monitoreo a fin de que pueda tener seguimiento por otras instituciones, investigadores y estudiantes que deseen dar continuidad al estudio.
- Evaluar la cantidad y distribución de estaciones meteorológicas que se requieren acorde a la superficie del Volcán Concepción para que estas sean instaladas y se obtengan registros de precipitaciones representativas para cada zona vulnerable a este tipo de fenómeno.
- Deben incorporarse al estudio variables como la humedad del suelo a fin de estimar el estado de saturación que se debe alcanzar para que se de este tipo de deslizamiento. La litología, morfología, geología, vegetación y uso del suelo son otras variables que deben estudiarse a detalle.
- Además de considerar los umbrales de precipitaciones detonantes de fenómenos laháricos para ser integrados a un Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para ocurrencia de lahares, se hace necesario que la población sea capacitada en referencia a esta temática en cuanto al uso y manejo de la información correspondiente a “ Umbrales de Precipitaciones para la Declaración de Alertas ante la ocurrencia de Lahares” y que de esta manera las comunidades puedan apropiarse de los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) ante la ocurrencia de fenómenos laháricos.

VII. Literatura Citada

- Aguirre, C., & Acuña, E. (2009). *Suelos, Capacidad de Uso de La Tierra y Conflictos de Uso en el Municipio de Altagracia*. Altagracia.
- Aguirre, C., & Acuña, E. (2009). *Suelos, Capacidad de Uso de La Tierra y Conflictos de Uso en el Municipio Moyogalpa*. Moyogalpa.
- Aleotti, P. (2004). A warning system for rainfall-induced shallow. *Engineering Geology*, 73, 247 - 265.
- Alonso, E., Gens, A., Lloret, A., & Delahaye, C. (1995). Effect of rain infiltration on the stability of slope. *Proceedings of the first international conference on unsaturated soils, paris*, 241 - 249.
- Baker, J. (2012). *Sistemas de Alerta Temprana Manual Informativo*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). San José: UNESCO.
- Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en America Central - CEPREDENAC. (2008). *Sistemas de Alerta Temprana y Monitoreo*. America Central: Programa de Fortalecimiento de Capacidades para el Manejo de Peligros por Deslaves.
- Chachuana Andia, A., & Yugar Morales, W. (2009). *Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología CI V- 233*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.
- Cruz, L. (2005). Monitoreo del Deslizamiento Cerro El Volcán y Evaluación de la Vulnerabilidad en Cuatro Comunidades Aledañas, Municipio de Dipilto, Nueva Segovia (Nicaragua). Tesis de Maestría. *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN, Managua), Centro de Investigaciones Neocientífica (CIGEO, Managua)*. Managua.
- D'Ercole, R. (1989). *La catástrofe del Nevado del Ruiz, ¿Una enseñanza para el Ecuador? El caso del Cotopaxi*. Quito: Estudios de Geografía, Corporación Editora Nacional.
- Delgado Granados, H., & Navarro Collado, M. (2002). *Mapa de Amenaza Volcánica*. Instituto de Geofísica, UNAM e Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, INETER, Departamento de Vulcanología y Dirección de Vulcanología, México, D.F.
- Devoli, G., Álvarez, A., Chávez, G., & Talavera, E. (09 de Abril de 2015). *Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)*. Recuperado el 25 de Octubre de 2016, de Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER): <http://web-geofisica.ineter.gob.ni/boletin/2003/02/eventos-importantes.htm>
- Dirección de Meteorología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). (2016). Registro de Precipitaciones Anuales. *Estación de Ineter 69068 en Altagracia y 69075 en Moyogalpa*.
- Granados, H. D. (2002). *Lahares*. Universidad Nacional Autónoma de México, Vulcanología . Mexico: UNAM.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2012). *"Resumen para responsables de políticas" en el Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. Informe especial de los Grupos de trabajo I y II del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y New York, Nueva York, Estados Unidos de América: Edición a cargo de C. B. Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G. -K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, y P. M. Midgley.

- Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE). (2008). *Altagracia en Cifras*. INIDE, Rivas, Altagracia.
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE). (2008). *Moyogalpa en Cifras*. INIDE, Rivas, Moyogalpa.
- Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (INETER) - Catastro Físico. (1971). *Mapa Geológico Escala 1:50000*.
- Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (INETER). (2005). *Historia Volcánica en Nicaragua - Volcán Concepción*. Dirección General de Geofísica. Managua: INETER.
- Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (INETER). (2016). *Monitoreo Volcán Concepción, Isla de Ometepe Rivas*. Managua: INETER - Dirección de Geología Aplicada.
- Lavigne, Thouret, Franck, & Claude, J. (2002). Sediment transportation and deposition by rain-triggered lahars at Merapi Volcano, Central Java, Indonesia. *Geomorphology* 49, 45 - 69.
- Lee, T. S. (1996). Groundwater conditions. Slope stability and stabilization methods. *Wiley interscience*, 107 -169.
- Ley Creadora del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres, con sus Reformas Incorporadas. (2014). Normas Jurídicas de Nicaragua. *Gaceta No. 221 del 20 de Noviembre del 2014*.
- Meyerhof, G. (1956). Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soil. *J Soils Mechanics and Foundation Division ASCE, (SM1)*, 82.
- Ordóñez, J., Samaniego, P., Mothes, P., & Schilling, S. (2013). *Las Potenciales Zonas de Inundación por Lahares en el Volcán Cotapaxi*. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Pradenas Gonzáles, M. A. (2015). *Umbral Empírico de Deslizamiento por Precipitación, para la Provincia de Concepción*. Universidad del Bio - Bio, Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Concepción, Chile.
- Rahardjo, H., Ong, T., Rezaur, R., & Leong, E. (2007). Factors controlling instability of homogeneous soil slopes under rainfall. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental*, 133, 1532 - 1542.
- Sheridan, M., Siebe, C., Bonnard, C., Strauch, W., Navarro, M., Cruz, J., & Buitrago, N. (14 de Noviembre de 1998). *Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (INETER) - Geofísica - Vulcanología*. Recuperado el 29 de Agosto de 2018, de Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (INETER) - Geofísica - Vulcanología: <http://webserver2.ineter.gob.ni/vol/casita/rep-sheridan-es.html>
- Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINIA). (2015). *Volcán Concepción*. Recuperado el 20 de Marzo de 2016, de SINIA: <http://www.sinia.net.ni/multisites/NodoSINAP/index.php/sinap/areasprotegidas?layout=edit&id=26>
- Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres (SINAPRED). (2005). *Reporte sobre las Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgos ante Inundaciones, Deslizamientos, Actividad Volcánica y Sismos*. Altagracia.
- Smith, Lowe, Gary, & Donald. (1991). Lahars: Volcano - Hydrologic Events and Deposition in the Debris Flow-Hyperconcentrated Flow Continuum: Sedimentation in Volcanic Settings, 45. *SEPM Special Publication*, 59 - 69.
- Sousa, V., Driessnack, M., & Costa, I. (Junio de 2007). Revisión de diseños de investigación resaltantes para enfermería. Parte 1: Diseño de investigación cuantitativa. *Rev Latino - am Enfermagem*, 15(3), 1 - 6.

- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (Vol. 1). Santander, España: Universidad Industrial de Santander, UIS Facultad de Ingenierías Físico Mecánica Escuela de Ingeniería Civil.
- Terlien, M. (1998). The determination of statistical and deterministic hydrological landslide - triggering thresholds. *Environmental Geology*, 35(2 - 3), 124 - 130.
- United States Department of Agriculture (USDA). (1975). *United States Department of Agriculture*. Recuperado el 20 de Agosto de 2017, de United States Department of Agriculture: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-9/ESTIMACION-DE-LA-DENSIDAD-APARENTE.pdf>
- Vallance, J., Schilling, S., Devoli, G., & Howell, M. (2001). *Lahar Hazards at Concepción Volcano, Nicaragua*. U.S. Geological Survey, Washington, Vancouver.
- Van y Andrade, B. (2008). *Volcanismo y Sismicidad*. Girona, España: Andrés,P y Rodríguez,R.(Eds).

Anexos

Anexo 1. Historia Eruptiva del Volcán Concepción

Según INETER (2005), el historial eruptivo del Volcán Concepción es el siguiente:

Año 1883: Primera erupción de la que se tiene historia, potentes y prolongadas explosiones, derrame de lava. La fase eruptiva más violenta ocurrió a finales de febrero y principios de marzo. El 4 de mayo del mismo año presentó actividad eruptiva de grandes proporciones.

Año 1908: Marcada actividad eruptiva durante los meses de julio y diciembre. Enormes llamaradas salían de su cráter y prolongados retumbos estremecían la Isla de Ometepe.

Año 1921: En diciembre, arrojó grandes rocas encendidas y largas corrientes de lava bajaron por sus laderas. Los habitantes de la Isla de Ometepe salieron hacia Granada y Rivas.

Año 1922: Durante las noches de febrero produjo potentes retumbos y el fuego que salía de su cráter iluminaba gran parte del Lago Cocibolca. Sus potentes explosiones se escuchaban hasta la ciudad de Granada.

Año 1923: En el mes de julio presentó marcada actividad eruptiva.

Año 1928: El 25 de enero volvió a entrar en actividad produciendo potentes retumbos que se escuchaban en la ciudad de Rivas mientras una densa nube de ceniza oscurecía esta ciudad. Muchas personas huyeron en lanchas hacia San Jorge.

Año 1944: Produjo fuertes retumbos y lanzó ceniza a distancia considerable durante el mes de diciembre.

Año 1945: Fuerte actividad eruptiva durante el mes de enero. Sus retumbos eran escuchados en la ciudad de Masaya. Hubo derrame de lava en dirección a Altagracia; arrojó piedras de gran tamaño que caían dentro y fuera del cráter mientras la columna de humo se elevaba a mil pies de altura. Las explosiones ocurrían cada minuto. Hacia el mes de agosto las corrientes de lava destruyeron plantíos de arroz y frijoles.

Año 1951: El 29 de agosto de 1951 violentos movimientos sísmicos estremecieron la Isla de Ometepe mientras el volcán presentaba marcada actividad eruptiva.

Año 1952: En diciembre estuvo en fuerte actividad escuchándose sus retumbos en todos los pueblos de Granada y Masaya.

Año 1955: A finales de abril arrojó lava, arena y ceniza. La ceniza afectó la ciudad de Rivas y sus alrededores. Sus retumbos se escuchaban constantemente.

Año 1957: VEI 2 (VEI = Índice de Explosividad Volcánica, 1 = muy bajo, 5 = muy alto). Durante el mes de marzo entró en un período de violenta actividad. Gran cantidad de personas huyeron en lanchas hacia Granada y San Jorge. Llamadas de hasta 15 metros de altura se observaban en su cráter y una copiosa lluvia de ceniza y arena caía sobre la ciudad de Rivas. Fuertes retumbos estremecían la isla y ríos de lava descendían del sector occidental del volcán. La actividad eruptiva incremento en el mes de julio con fuertes emanaciones de gases, ceniza, arena y lava.

Año 1961: Estuvo arrojando gran cantidad de humo.

Año 1962, junio: VEI 2, explosiones, ceniza.

Año 1963, mayo: VEI 2, explosiones, ceniza.

Año 1973, diciembre: VEI 2, explosiones, ceniza.

Año 1974, diciembre: Erupciones menores de ceniza.

Año 1977, abril: VEI 2, Erupción el 4 de Abril, seguida por algunas semanas de pequeñas explosiones de ceniza.

Año 1978, marzo: VEI 2, fuerte erupción de ceniza.

Año 1982, enero: VEI 2, pequeña pluma de vapor.

Año 1983, marzo: VEI 2, fuerte erupción de ceniza, no hubo daños.

Año 1984, diciembre: VEI 2, explosiones, ceniza.

Año 1985, diciembre: VEI 2, explosiones, ceniza.

Año 1999, diciembre: VEI 1, pequeñas explosiones arrojan ceniza.

Año 2005, julio 28: Explosión, caída de ceniza en Ometepe y zona de Rivas y alrededores, fuerte emanación de gases.

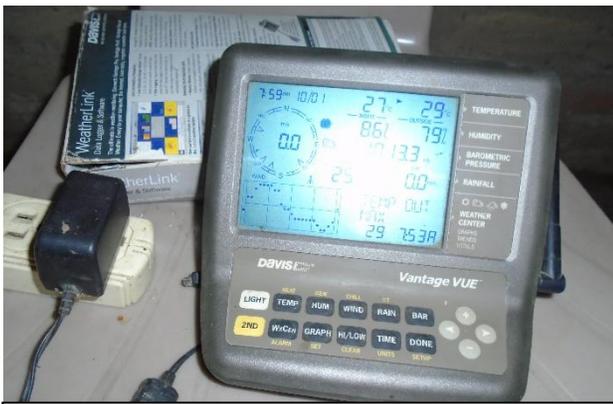
Anexo 2. Imágenes del Proceso Investigativo



Pluviógrafo Instalado en Los Ángeles, Moyogalpa.



Pluviógrafo Instalado en Altagracia.



Obtención de Datos de Lluvia de Consola Conectada al Pluviógrafo.



Recorrido de Campo en Lahares Ocurridos.



Ensayos de Penetración Estándar (SPT por sus siglas en inglés).



Mediciones de Cohesión.

Anexo 3. Registro Diario de Precipitaciones por Estación.

Cuadro 19. Registro Diario de Precipitaciones (mm), Estación de Altagracia (Año 2016).

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	-	0.00	-	0.00	-	28.94	22.84	0.00	0.00	0.00	31.49	0.00
2	-	0.00	-	0.00	-	42.66	13.46	1.26	0.00	1.01	20.06	0.00
3	-	0.00	-	0.25	0.00	12.64	2.51	0.75	0.00	48.51	1.52	0.00
4	-	0.00	-	0.00	0.00	8.37	0.00	2.02	0.25	0.25	1.00	1.77
5	-	0.00	-	0.00	0.00	48.23	0.51	0.00	10.67	0.00	0.00	3.81
6	-	0.00	-	0.76	80.98	0.00	0.25	0.00	12.66	37.60	0.00	2.52
7	-	0.00	-	0.00	0.00	1.76	22.34	0.00	30.21	27.66	0.00	0.00
8	-	0.00	-	0.00	-	31.50	2.01	0.25	0.00	8.59	0.00	0.75
9	-	0.00	-	1.27	-	0.25	7.04	-	4.06	22.07	0.00	1.77
10	-	0.00	-	0.00	0.51	1.01	3.81	0.25	0.00	0.75	0.25	0.00
11	-	0.00	-	0.00	0.00	35.31	17.51	0.76	0.00	0.00	0.50	14.46
12	-	0.00	-	0.00	0.00	1.53	3.80	26.67	30.96	29.95	0.00	15.17
13	-	0.00	-	0.00	0.00	0.00	2.54	24.87	1.78	0.00	0.00	1.52
14	-	0.00	-	0.00	0.00	0.50	0.25	11.92	0.25	0.00	12.44	0.00
15	-	0.00	-	0.00	13.70	0.00	0.00	10.92	0.75	0.25	0.00	2.80
16	-	0.00	0.00	0.00	1.52	0.00	0.00	0.00	0.76	0.51	0.00	0.25
17	-	0.00	0.00	0.00	6.06	0.00	0.00	1.77	0.00	7.61	0.00	2.29
18	-	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	5.03	0.25	0.00	3.81	0.25	1.78
19	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.12	0.25	0.00	5.04	0.00	0.76
20	-	0.00	0.00	0.00	7.62	0.00	0.00	1.25	5.08	3.80	0.25	2.02
21	-	0.00	0.00	0.00	0.00	35.76	2.80	3.82	25.63	8.61	0.00	0.00
22	-	0.00	0.00	0.00	0.00	14.21	1.77	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00
23	-	-	0.00	0.00	0.00	2.03	0.00	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00
24	-	0.00	0.00	0.00	0.00	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	24.10	1.78
25	-	-	0.00	0.00	0.00	4.82	1.01	0.00	0.00	0.00	7.59	1.02
26	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	0.00	0.76	7.36	4.55	0.76
27	-	-	0.00	58.93	15.22	1.78	1.52	0.00	1.27	0.00	0.25	0.00
28	-	-	0.00	0.25	1.27	0.00	4.56	0.00	13.97	5.60	0.00	0.25
29	0.00	-	0.00	-	1.25	24.61	0.75	0.00	0.25	18.27	0.00	4.58
30	0.00	-*	0.00	-	1.25	2.53	6.60	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
31	0.00	-*	0.00	-*	18.04	-*	0.25	0.00	-*	0.00	-*	0.00
Suma	0.00	0.00	0.00	61.46	148.67	304.00	164.30	87.01	139.56	239.26	104.25	60.06
Media	0.00	0.00	0.00	2.20	5.51	10.13	5.30	2.90	4.65	7.72	3.48	1.94
Máximo	0.00	0.00	0.00	58.93	80.98	48.23	40.12	26.67	30.96	48.51	31.49	15.17
Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lluvia	0.00	0.00	0.00	5.00	12.00	20.00	24.00	15.00	17.00	22.00	13.00	19.00
Sin Lluvia	3.00	23.00	16.00	23.00	15.00	10.00	7.00	15.00	13.00	9.00	17.00	12.00
Sin Datos	28.00	6.00	15.00	2.00	4.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cuadro 20. Registro Diario de Precipitaciones (mm), Estación de Los Ángeles (Año 2016).

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	-	-	-	0.00	0.00	24.09	0.00	0.25	0.76	17.52	44.44	0.00
2	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.50	11.68	15.98	0.00
3	-	-	-	0.00	0.00	45.71	-	0.00	0.25	0.25	2.27	0.00
4	-	-	-	0.00	20.56	3.79	-	2.52	0.25	0.00	0.25	6.85
5	-	-	-	1.27	8.62	17.27	-	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00
6	-	-	-	1.77	0.00	0.00	-	0.00	37.06	86.85	0.00	9.91
7	-	-	0.75	0.00	0.00	0.00	-	2.29	23.87	20.50	0.00	-
8	-	-	0.00	0.00	0.00	1.00	-	0.25	0.00	1.77	0.00	-
9	-	-	0.00	0.00	0.00	72.64	0.00	0.00	16.23	8.88	0.00	-
10	-	-	0.00	0.00	0.00	12.45	16.25	1.51	0.00	0.00	0.00	-
11	-	-	0.00	0.00	0.00	2.79	0.00	10.66	0.00	0.00	3.80	-
12	-	-	0.00	0.00	0.00	39.88	-	-	3.80	53.57	0.00	-
13	-	-	0.00	0.00	1.01	0.00	5.08	-	56.89	0.00	0.00	-
14	-	-	0.00	0.00	0.76	0.00	0.76	0.00	8.12	0.00	2.03	-
15	-	-	0.00	0.00	0.00	1.52	0.00	0.75	130.27	0.00	0.00	-
16	-	-	0.00	0.00	3.77	7.87	1.78	-	2.53	3.03	1.27	-
17	-	-	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	-	0.00	35.52	0.00	0.00
18	-	-	0.00	0.00	0.25	0.00	7.84	-	5.59	16.47	5.59	0.50
19	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	17.28	0.25	3.30	20.78	0.00	2.03
20	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	8.61	0.00	9.89
21	-	-	0.00	0.00	0.00	61.95	0.00	9.14	8.88	40.60	0.00	0.00
22	-	-	0.00	0.00	0.50	17.77	7.61	1.77	0.00	6.86	0.00	0.00
23	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	1.50	0.00	1.01	0.00	0.00
24	-	-	0.00	0.00	0.00	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00	27.66	2.01
25	-	-	0.00	0.00	0.00	3.80	0.00	15.75	0.00	0.00	13.93	0.00
26	-	-	0.00	17.28	4.31	0.00	0.00	-	0.00	30.48	5.32	0.25
27	-	-	0.00	1.52	0.00	0.00	1.26	0.00	1.51	0.25	0.25	0.00
28	-	-	0.00	1.77	43.90	0.00	1.01	8.39	32.01	6.35	0.51	2.27
29	-	-	0.00	-	25.63	4.54	0.00	6.58	0.00	68.29	0.00	5.59
30	-	-	0.00	-	-	2.54	3.80	5.57	0.00	1.01	2.28	0.25
31	-	-	0.00	-*	-	-*	0.00	0.00	-*	0.00	-*	0.00
Suma	-	-	0.75	23.61	109.81	321.38	62.92	67.18	332.57	440.28	125.58	39.55
Media	-	-	0.03	0.84	3.79	10.71	2.74	2.69	11.09	14.20	4.19	1.88
Máximo	-	-	0.75	17.28	43.90	72.64	17.28	15.75	130.27	86.85	44.44	9.91
Mínimo	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lluvia	-	-	1.00	5.00	11.00	17.00	11.00	15.00	19.00	21.00	14.00	10.00
Sin Lluvia	-	-	24.00	23.00	18.00	13.00	12.00	10.00	11.00	10.00	16.00	11.00
Sin Datos	-	-	6.00	2.00	2.00	0.00	8.00	6.00	0.00	0.00	0.00	10.00

Anexo 4. Lahares Históricos del Volcán Concepción.

Cuadro 21. Inventario de Lahares Históricos en el Volcán Concepción (2005 – 2016).

Lahares (2005 - 2016)	Fecha	Estación	Precipitación Registrada el día del evento (mm)	D1 (mm)	D3 (mm)	D10 (mm)	D15 (mm)	D20 (mm)	D25 (mm)	D30 (mm)
La Flor	18/05/2005	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	44.70	0.00	85.10	108.50	125.60	125.60	143.10	145.00
San José del Norte	18/05/2005	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	94.10	271.80	271.80	271.80	271.80	271.80	323.60
La Concepción	29/06/2005	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	0.00*	0.00	61.50	82.00	122.70	194.00	325.20	325.20
La Flor	29/06/2005	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	0.00*	0.00	61.50	82.00	122.70	194.00	325.20	325.20
La Chirca	29/06/2005	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	70.70	70.50	98.40	198.40	198.40	267.30	363.90	363.90
La Chirca	18/09/2006	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	30.20	37.10	92.30	127.60	159.30	167.50
Los Ramos	04/10/2008	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	53.20	33.70	105.10	193.00	280.20	315.70	320.70	351.80
La Unión	04/10/2008	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	53.20	33.70	105.10	193.00	280.20	315.70	320.70	351.80
Urbaite	04/10/2008	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	53.20	33.70	105.10	193.00	280.20	315.70	320.70	351.80
Sintiope	04/10/2008	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	53.20	33.70	105.10	193.00	280.20	315.70	320.70	351.80
Los Ramos	05/10/2008	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	42.50	53.20	122.40	241.00	307.60	368.90	373.90	384.10
La Unión	05/10/2008	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	42.50	53.20	122.40	241.00	307.60	368.90	373.90	384.10
Urbaite	05/10/2008	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	42.50	53.20	122.40	241.00	307.60	368.90	373.90	384.10
Sintiope	05/10/2008	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	42.50	53.20	122.40	241.00	307.60	368.90	373.90	384.10
Los Ramos	08/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	206.50	0.00	26.20	92.90	128.90	174.40	237.70	237.70
La Unión	08/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	206.50	0.00	26.20	92.90	128.90	174.40	237.70	237.70
Urbaite	08/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	206.50	0.00	26.20	92.90	128.90	174.40	237.70	237.70
Sintiope	08/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	206.50	0.00	26.20	92.90	128.90	174.40	237.70	237.70
Los Ramos	09/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	206.50	217.00	263.20	320.10	380.90	444.20	444.20
La Unión	09/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	206.50	217.00	263.20	320.10	380.90	444.20	444.20
Urbaite	09/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	206.50	217.00	263.20	320.10	380.90	444.20	444.20
Sintiope	09/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	206.50	217.00	263.20	320.10	380.90	444.20	444.20
La Chirca	09/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	206.50	217.00	263.20	320.10	380.90	444.20	444.20
La Concepción	09/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	4.10*	21.20	21.20	38.00	103.80	113.60	197.60	216.20
La Flor	09/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	4.10*	21.20	21.20	38.00	103.80	113.60	197.60	216.20
Los Ramos	11/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	0.00*	0.00	206.50	263.20	299.40	350.90	411.40	444.20
La Chirca	11/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	0.00*	0.00	206.50	263.20	299.40	350.90	411.40	444.20
Los Ramos	12/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	42.5	0.00	0.00	263.20	299.40	335.40	395.60	444.20
Los Ramos	16/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	83.70	316.40	346.90	383.10	444.90	505.40
La Unión	16/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	83.70	316.40	346.90	383.10	444.90	505.40
Urbaite	16/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	83.70	316.40	346.90	383.10	444.90	505.40
Sintiope	16/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	83.70	316.40	346.90	383.10	444.90	505.40
La Chirca	16/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	83.70	316.40	346.90	383.10	444.90	505.40
La Concepción	16/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	0.00*	7.50	74.10	345.10	345.10	365.00	437.50	437.50
La Flor	16/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	0.00*	7.50	74.10	345.10	345.10	365.00	437.50	437.50
Los Ramos	18/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
La Unión	18/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
Urbaite	18/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
Sintiope	18/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
La Chirca	18/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	28.30	20.60	36.40	326.60	362.10	419.50	455.50	501.00
La Concepción	18/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	5.30	3.90	11.40	327.80	349.00	365.80	431.60	441.40
La Flor	18/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	5.30	3.90	11.40	327.80	349.00	365.80	431.60	441.40
Los Ramos	19/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
La Unión	19/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
Urbaite	19/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
Sintiope	19/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
La Chirca	19/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	25.50	28.30	48.90	148.40	390.40	411.60	468.50	529.30
La Concepción	19/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	43.40	5.30	9.20	119.70	354.30	371.10	436.90	446.70
La Flor	19/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	43.40	5.30	9.20	119.70	354.30	371.10	436.90	446.70
Los Ramos	22/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	61.20	209.60	416.10	472.80	509.00	545.00
La Unión	22/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	61.20	209.60	416.10	472.80	509.00	545.00
Urbaite	22/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	61.20	209.60	416.10	472.80	509.00	545.00
Sintiope	22/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	61.20	209.60	416.10	472.80	509.00	545.00
La Chirca	22/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	0.00*	0.00	61.20	209.60	416.10	472.80	509.00	545.00
La Concepción	22/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	1.80	37.40	86.10	169.40	440.40	440.40	457.20	523.00
La Flor	25/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	4.20	0.00	1.80	104.60	203.50	442.20	442.20	462.10
La Chirca	25/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	5.30	0.00	4.20	130.10	213.80	446.50	477.00	513.20
La Flor	26/10/2014	Estación 069075 de Moyogalpa -Ineter	0.00*	4.20	4.20	101.30	181.50	446.40	446.40	466.30
La Chirca	26/10/2014	Estación 069068 de Atlagracia -Ineter	9.00	5.30	9.50	119.60	219.10	436.10	482.30	518.50
La Chirca	14/10/2015	Estación Telemétrica 69242 de Atlagracia -Ineter	107.80	10.00	10.00	46.80	58.00	208.40	212.80	298.20
La Unión	14/10/2015	Estación Telemétrica 69242 de Atlagracia -Ineter	107.80	10.00	10.00	46.80	58.00	208.40	212.80	298.20
Los Ramos	14/10/2015	Estación Telemétrica 69242 de Atlagracia -Ineter	107.80	10.00	10.00	46.80	58.00	208.40	212.80	298.20
San Lazaro	15/07/2016	Estación Los Angeles	0.00*	0.76	5.84	22.09	24.63	32.97	114.46	123.85
Los Ramos 1	03/10/2016	Atlagracia - Proyecto	36.07	1.01	1.01	17.26	48.22	51.76	86.78	140.57
Los Ramos 2	03/10/2016	Atlagracia - Proyecto	36.07	1.01	1.01	17.26	48.22	51.76	86.78	140.57
La Chirca	03/10/2016	Atlagracia - Proyecto	36.07	1.01	1.01	17.26	48.22	51.76	86.78	140.57
Sintiope	06/10/2016	Atlagracia - Proyecto	35.32	0.00	48.76	66.02	91.90	97.74	131.48	178.41
Los Ramos 2	11/10/2016	Atlagracia - Proyecto	0.00*	0.75	54.98	146.44	162.69	188.57	194.41	228.15
San Marcos	18/10/2016	Atlagracia - Proyecto	3.81	7.61	8.37	69.73	183.75	198.98	201.01	231.97

Anexo 5. Eventos Lluviosos Registrados por la Estación de Los Ángeles, Moyogalpa.

Cuadro 22. Eventos Lluviosos Registrados con el Pluviógrafo de Los Ángeles en la Zona de Moyogalpa.

Fecha de Eventos Lluviosos	Estación	Eventos Lluviosos sin Lahares	D1 (mm)	D3 (mm)	D10 (mm)	D15 (mm)	D20 (mm)	D25 (mm)	D30 (mm)
21/06/2016	Los Ángeles - Proyecto	69.05	0.00	0.00	52.06	138.15	229.01	302.85	303.35
06/10/2016	Los Ángeles - Proyecto	95.18	0.00	0.25	62.97	71.85	83.52	282.60	359.76
29/10/2016	Los Ángeles - Proyecto	68.29	6.35	37.08	114.94	114.94	232.41	341.53	370.98
Promedios		77.51	2.12	12.44	76.66	108.31	181.65	308.99	344.70