

ELABORACIÓN DE MODELACIÓN DE LAHARES EN LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS PANTALEÓN Y CENIZA

Guatemala, Centroamérica



ELABORACIÓN DE MODELACIÓN DE LAHARES EN LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS PANTALEÓN Y CENIZA

.

Elaborado por: Carla María Fernanda Chun Quinillo;ICC	
Impreso:	
Guatemala, 2020	
Tiraje:	
ISBN:	

## CITA BIBLIOGRÁFICA

ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático) 2020.ELABORACIÓN DE MODELACIÓN DE LAHARES EN LAS MICROCUENCAS DE LOS RÍOS PANTALEÓN Y CENIZA. Guatemala. 34 p.



#### Resumen

Los productos volcánicos que ha generado el volcán de Fuego durante los últimos años aportan material no consolidado a las faldas del volcán en especial a las barrancas, durante la época de lluvia este material es transportado a la parte baja de las barrancas en forma de lahares. Esta actividad representa una amenaza principal para las comunidades cercanas al volcán.

La implementación de diversas técnicas para actualizar los mapas de amenazas volcánicas en volcanes con eventos eruptivos recientes es importante, ya que son herramientas para la gestión de riesgos en comunidades. Estas técnicas se basan en el análisis de la historia eruptiva del volcán, mapeo geológico en la zona volcánica, recopilación de datos y simuladores de amenazas volcánicas.

Utilizando estas técnicas y tomando en consideración la probabilidad de ocurrencia y condiciones atmosféricas en la región, se identificaron 4 escenarios de amenaza volcánica: Amenaza muy alta, amenaza alta, amenaza media y amenaza baja.

Se identificaron 166 poblados según los 4 escenarios de amenaza por lahares, estos corresponden a los siguientes municipios: Siquinalá, Escuintla, San Pedro Yepocapa, Santa Lucia Cotzumalguapa y La Democracia.

## **ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS**

INSIVUMEH Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología

CONRED Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres

SECONRED Secretaría Ejecutiva de la Coordinadora Nacional para la Reducción de

Desastres

MED Modelo de Elevación Digital

PDC's Corrientes de Densidad Piroclástica

## Contenido

1. INTRO	DUCCION	
2. OBJET	IVOS	2
2.1.	OBJETIVO GENERAL	
2.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
3. ANTEC	EDENTES	2
4. METO	DOS	3
4.1.	FASE DE CAMPO	
4.1.1.		
4.1.2.		
4.2.	FASE DE GABINETE	
4.2.1.		
4.3.	FASE DE MODELAMIENTO	jError! Marcador no definido.
5. RESUL	TADOS Y DISCUSIÓN	16
6. CONCL	.USIONES	24
7. RECON	MENDACIONES	24
8. BIBLIO	GRAFÍA	24
9. ANEXO	<b>)</b>	28
9.1. P	ASOS PARA CORRER LAHARZ	29

# Índice de figuras

Figura 1. Mapas preliminares de amenaza de lahares, Crisis eruptiva del volcán de Fuego (junio 2018). A- escenario de lluvias moderadas. B- escenario de lluvias muy intensas
Figura 3. Recorrido de campo en las barrancas principales del flanco suroestedel volcán de Fuego ¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Se observa depósitos de corrientes de densidad piroclástica y tefra en las paredes de la barranca Ceniza
Figura 5. Depósitos de corrientes de densidad piroclástica más recientes
Figura 7. Depósitos de lahares en donde se observan diferentes eventos
ríos principales y en las barrancas afectadas
Figura 10. Perfil y columna de la barranca Ceniza
Figura 11. Perfil y columna del Río Pantaleón
Figura 13. Simulaciones con laharz para barrancas secundarias. Utilizando el modelo de elevacion digital de marzo 2019
Figura 14. Simulaciones con LaharZ para barrancas: Seca y Ceniza. Utilizando el modelo de elevacion digital de noviembre 2019
Figura 15. Simulaciones con LaharZ para barrancas secundarias. Utilizando el modelo de elevacion digital de noviembre 2019
Figura 16. Escenarios de Amenaza Volcánica por lahares
Tabla 1. Espesores establecidos para las barrancas principales, divididos en secciones de acuerdo al trayecto de la barranca
Tabla 3. Localización de puntos para iniciar las simulaciones en las barrancas principales y otras que podrían ser afectadas por el descenso de lahares
Tabla 4. Volúmenes establecidos para realizar las simulaciones con diferentes parámetros 15 Tabla 5. Numero de poblados que pueden ser afectados por la amenaza, de acuerdo al municipio que pertenecen, en la cuenca Coyolate
Tabla 6. Numero de poblados que pueden ser afectados por la amenaza de acuerdo al municipio que pertenecen, en la cuenca Achiguate
Tabla 7. Total de poblados que pueden ser afectados por la amenaza, clasificados por municipio.23



## 1. INTRODUCCION

Las amenazas volcánicas pueden afectar áreas pobladas y el desarrollo económico de la región, por lo que el estudio de los volcanes es importante en el país. La identificación, caracterización y evaluación de amenazas volcánicas es muy importante para la prevención de desastres volcánicos.

El volcán de Fuego es uno de los volcanes más activos en Guatemala, los productos volcánicos que origina afectan directa e indirectamente a las comunidades que se encuentran localizadas en los alrededores. Durante los ultimos años se han generado eventos eruptivos los cuales han depositado material volcánico en las barrancas principales, este material no consolidado al ser mezclado con agua originada por las fuertes lluvias forma lahares.

El descenso de lahares afecta principalmente los pasos vehiculares, dejando incomunicadas a las comunidades por horas e incluso días. Debido a la actividad volcánica hay registro de lahares que descienden a altas temperaturas, estos transportan rocas de diversos tamaños, troncos y ramas de árboles (INSIVUMEH, 2018) y pueden ser clasificados, según la cantidad de sedimentos que transporten, como hiperconcentrados o flujos de escombros.

El estudio de los volcanes y de los productos que estos generan es uno de los retos más grandes a nivel mundial, por lo que se han realizado diversas técnicas para identificar las zonas que pueden ser afectadas por uno o más productos volcánicos.

La metodología utilizada en esta investigación para la actualización de mapas de amenaza por lahares para el volcán de Fuego en el flanco suroeste se basa en un conjunto de técnicas que van desde conocer la historia eruptiva del volcán, llevar a cabo un mapeo geológico enfocado a la amenaza volcánica, integrar datos de campo para realizar modelamiento de la amenaza.

La herramienta utilizada para identificar las zonas que pueden ser afectadas por el descenso de lahares en esta investigación fue LaharZ. Este programa se basa en dos ecuaciones semiempíricas que se encuentran calibradas por análisis estadísticos de áreas de sección inundadas y de áreas planimétricas inundadas (Iverson et al., 1998).

Analizando los resultados de cada técnica se pueden identificar escenarios de posibilidad de ocurrencia de lahares, estos son 4 escenarios que se encuentran clasificados como: Amenaza Muy Alta, Amenaza Alta, Amenaza Media y Amenaza Baja.

### 2. OBJETIVOS

#### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Elaboración de mapeo de las microcuencas de los ríos Pantaleón y Ceniza, para identificar zonas de amenaza por lahares y correlacionarlos con modelaciones utilizando LaharZ.

#### 2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- √ Mapeo geológico enfocado en depósitos de lahares y cambios geomorfológicos de la zona.
- ✓ Identificar las propiedades y volúmenes de depósitos de lahares.
- ✓ Simular el descenso de lahares pre-temporada y post-temporada de lluvia.
- ✓ Establecer escenarios de amenaza volcánica por lahares.

### 3. ANTECEDENTES

El Volcán de Fuego es uno de los volcanes más activos en Centroamérica y forma parte de la Cadena Volcánica del Cuaternario de Guatemala, tiene una edad aproximada de 17,000 - 20,000 años y se encuentra localizado al sur del volcán Acatenango (INSIVUMEH, 2017).

Del año 2015 al año 2018 según boletines especiales del INSIVUMEH, se registraron 47 eventos eruptivos, en algunos casos estos originaron el descenso de corrientes de densidad piroclástica. Las erupciones que ha tenido el volcán de Fuego son de alta peligrosidad, ha destruidos pueblos y la población se ha visto obligada a evacuar.

Los mapas de amenazas volcánicas que se han generado para el volcán de Fuego se han ido actualizando por diversos autores, en el año 2001 el Servicio Geológico de los Estados Unidos presenta el reporte "Volcano Hazards at Fuego and Acatenango, Guatemala" en donde muestra una serie de mapas y principalmente uno de zonas de afectación por el descenso de lahares. En este reporte se identifican las zonas proximales y distales de amenaza por lahares, en donde utilizaron el programa LaharZ para llevar a cabo una serie de simulaciones.

Una de las erupciones más importantes en los últimos años es la del 3 de junio de 2018, en donde se originaron corrientes de densidad piroclástica en dirección a las barrancas principales del volcán, este material no consolidado origina el descenso de lahares en época lluviosa.

El INSIVUMEH tras la erupción del 2018 publica 3 diferentes mapas para la crisis eruptiva, estos en base a dos amenazas principales: Corrientes de densidad piroclástica y lahares. Los mapas de lahares se llevaron a cabo utilizando la herramienta LaharZ (USGS, 1998), en donde se muestran dos mapas Figura 1. Mapas preliminares de amenaza de lahares, Crisis eruptiva del volcán de Fuego (junio 2018). A- escenario de lluvias moderadas. B- escenario de lluvias muy intensas.

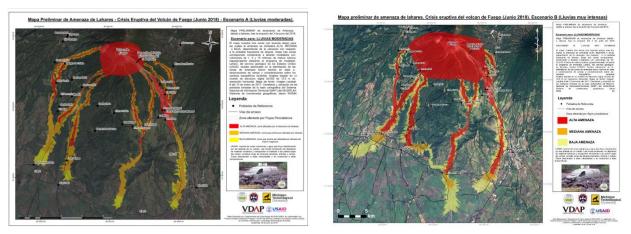


Figura 1. Mapas preliminares de amenaza de lahares, Crisis eruptiva del volcán de Fuego (junio 2018). A- escenario de Iluvias moderadas. B- escenario de Iluvias muy intensas.

Fuente: https://insivumeh.gob.gt/geofisica/vulcanologia/mapas-de-amenaza-volcanica/

En el año 2019 según boletines especiales se registraron 149 lahares (INSIVUMEH, 2019) en dirección a las barrancas principales, estos afectaron principalmente los pasos vehiculares, dejando incomunicadas a las comunidades que se encuentran en las cercanías. Esta actividad causa grandes cambios en la zona volcánica por lo que es importante actualizar cada cierto tiempo los mapas de amenaza volcánica.

## 4. METODOS

La elaboración de mapas de amenaza volcánica debe basarse en: la histórica eruptiva del volcán y su estado actual, la frecuencia eruptiva del volcán y estudios geomorfológicos a través de datos de campo. La combinación de los resultados obtenidos permite llegar a la zonificación de áreas que podrían ser afectadas por eventos eruptivos (M. Monsalve, 2000).

El estudio de la actividad volcánica y de las amenazas que los volcanes generan es uno de los retos más grandes a nivel mundial, identificar las zonas que pueden ser afectadas por los productos volcánicos ha llevado a la creación de herramientas que simulen la trayectoria de estos.

La metodología utilizada para esta investigación se centra en la combinación de diversas técnicas para la producción de mapas de amenaza volcánica. Técnicas como: investigación bibliográfica, cartografía y geología de campo, reconstrucción de eventos y modelamiento de lahares, como se observa en la Figura 2. Ilustración de los métodos aplicados para la elaboración de mapas de amenaza volcánica.

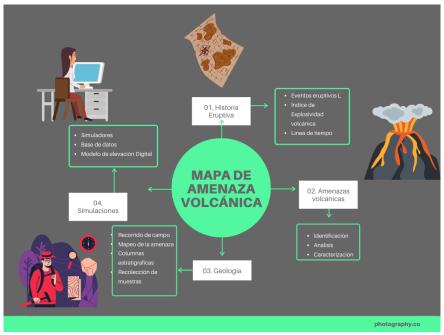


Figura 2. Ilustración de los métodos aplicados para la elaboración de mapas de amenaza volcánica. Fuente: "Actualización de mapa de amenazas volcánicas" Carla Chun 2019.

## 4.1. FASE DE CAMPO

Esta etapa consistió en realizar un recorrido en las zonas afectadas por lahares, principalmente en la recolección de datos y descripción de depósitos de lahares. Se consideraron afloramientos tomando en cuenta las características de las diferentes unidades observadas dentro de las barrancas.

Dentro de los depósitos localizados en las paredes de las barrancas se describieron propiedades físicas y estratigráficas de estos, para identificar las características de los depósitos de lahares y llevar a cabo estimaciones de volúmenes.

Se identificaron los diferentes tipos de depósitos de lahares que existen para comprender el transporte de estos.

## 4.1.1. UBICACIÓN

El recorrido se realizó en las barrancas ubicadas en el flanco suroeste del volcán de Fuego, barrancas que han sido afectadas por corrientes de densidad piroclástica y por lahares en los últimos años.

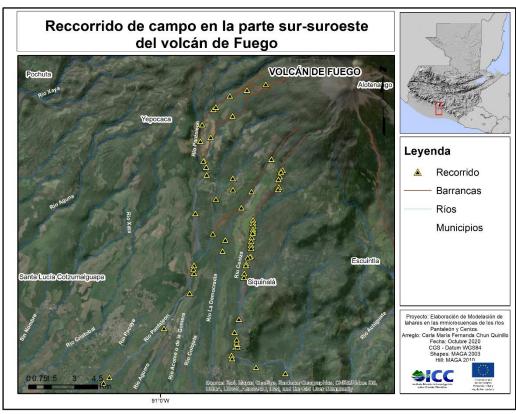


Figura 3. Recorrido de campo en las barrancas principales del flanco suroestedel volcán de Fuego.

Las barrancas que han sido afectadas por el constante descenso de lahares son: Seca, Santa Teresa, El Mineral, Taniluyá y Ceniza.

La barranca Ceniza es una de las barrancas más afectadas por el descenso de lahares esto se debe a que en años anteriores se ha depositado material volcánico dentro de esta barranca debido a las constantes erupciones. Los depósitos de corrientes piroclásticas más significativos han sido los del año 2017 en donde recorrieron una distancia de 8.6 km y se estimó un volumen de 11 Mm³ (INSIVUMEH, 2017) y los depósitos originados en la erupción del 2018 en donde se estimó un volumen de 6.2 Mm³ (Rüdiger Escobar, 2019).

- Las Barrancas Seca y Santa Teresa han sido rellenadas con material volcánico e incluso en el año 2017 se originó un desborde en las barrancas, esta actividad introdujo material a otras barrancas afluentes de estas. El descenso de PDC´s ha afectado principalmente a comunidades como: Sangre de Cristo, Finca Palo Verde, Santa Emilia, entre otras. Así mismo los lahares son una de las principales amenazas en este sector ya que las comunidades pueden quedar incomunicadas, debido a que los lahares destruyen la carretera que conduce de Sangre de Cristo a San Pedro Yepocapa.
- El río "El Mineral" llamada así por la población que se encuentra en los alrededores, es un cauce que desde el año 2017 comienza a presentar el descenso de lahares, debido a que en la parte superior de la barranca se conecta con la barranca Seca, y en la erupción de mayo de 2017 se originó un desborde de material para esta zona. Esto hizo que el material se depositara en la barranca por lo que podemos decir que esto originó la activación de la barranca con relación al descenso de lahares. Este cauce es afluente del río Pantaleón.
- La barranca Taniluyá es una de las barrancas que ha sido afectada por el descenso de lahares, sin embargo, en los últimos años no se han registrado tantos lahares por esta barranca a comparación de otras barrancas. Las zonas más afectadas por correntadas y lahares son los pasos vehiculares en especial el que conduce de Siquinalá a Morelia.

## 4.1.2. DESCRIPCIÓN DEL RECORRIDO

En la parte alta de las barrancas, dentro de estas, se identificaron depósitos de corrientes de densidad piroclástica estos depósitos aún poseen grandes dimensiones a lo largo de las barrancas. También se observaron depósitos en las paredes de las barrancas estos de material volcánico como corrientes de densidad piroclástica y caída de tefra, los cuales son más antiguos posiblemente de erupciones históricas como la de 1974 o anteriores.

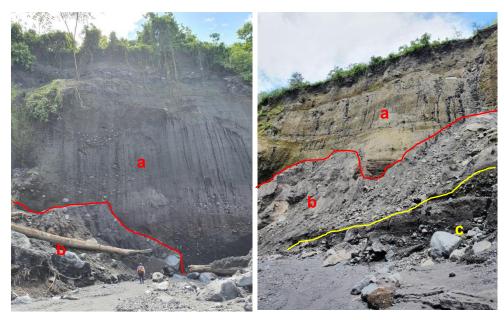


Figura 4. Se observa depósitos de corrientes de densidad piroclástica y tefra en las paredes de la barranca Ceniza (a), también se observan depósitos de corrientes de densidad piroclástica más recientes (b) y depósitos de lahares (c). Se observa erosión hídrica debido a la precipitación pluvial.

Fuente: tomadas por Carla Chun 2020.

Dentro del cauce de las se puede observar material joven, es decir material reciente de corrientes de densidad piroclástica estos se encuentran relacionados a erupciones como las de años anteriores. Los depósitos se encuentran erosionados y en el cauce hay material removido debido a la precipitación pluvial, la cual es un factor importante ya que erosiona y transporta el material aguas abajo. En algunas partes se puede observar que los depósitos de corrientes de densidad piroclástica recientes poseen espesores de 30 m, 10 m y 5 m. la mayoría de los depósitos de PDC´s es de tipo bloques y cenizas.





Figura 5. Depósitos de corrientes de densidad piroclástica más recientes se observan en los cauces de las barrancas esto se debe a la constante actividad volcánica durante los últimos años. Así mismo dentro del canal se puede observar que estos depósitos se encuentran erosionados por la precipitación pluvial.

Fuente: tomadas por Carla Chun 2020.

Dentro de los cauces ocurren desbordes de las paredes de las barrancas esto se debe a diversos factores como: el primero, es que el material se encuentra saturado de agua debido a la precipitación pluvial en la zona lo que origina inestabilidad en las paredes; segundo, deslizamientos ocasionados por la gravedad; los lahares cuando descienden transportan material volcánico de diversos tamaños esto puede desestabilizar las paredes de las barrancas en especial en curvas. El material que se desborda de las paredes es material que luego de caer al cauce es transportado aguas abajo en correntadas o lahares.





Figura 6. Deslizamientos dentro de las barrancas que aportan material para el descenso de lahares.

Fuente: tomadas por Carla Chun 2020.

Según el recorrido se observan pequeños espesores de material lahárico reciente y en las paredes de las barrancas depósitos de lahares antiguos. Esto se debe a que han existido eventos históricos que han depositado material volcánico el cual es transportado aguas abajo.

Los depósitos de lahares pueden variar de acuerdo con la zona en donde se localicen, un lahar puede ser de tipo de flujos de escombros o hiperconcentrado, sin embargo, según la trayectoria de estos y la cantidad de material que transportan, pueden variar y pasar de ser de un tipo a otro.



Figura 7. Depósitos de lahares en donde se observan diferentes eventos.

Fuente: tomadas por Carla Chun 2020.

Flujos de escombros: estos normalmente se encuentran dentro de las barrancas y han causado desbordes en algunas zonas, se puede observar material que va de partículas hasta grandes bloques (1-5 m de diámetro). Los bloques van de subangulosos a subredondos, material sin estratificación, mal sorteado y en algunos casos posee gradación inversa.





Figura 8. Depósitos de lahares de tipo flujo de escombros, se pueden observar en el trayecto de los ríos principales y en las barrancas afectadas.

Fuente: tomadas por Carla Chun 2020.

Lahares hiperconcentrados: se observan depósitos de lahares hiperconcentrados, estos tienen una menor cantidad de sedimentos y algunas rocas grandes aisladas, poseen un sorteo intermedio y en algunas ocasiones se puede observar una estratificación horizontal y cruzada. En algunas ocasiones se observa laminación de lodo en los contactos. Se observan depósitos en donde ocurren ambos flujos laháricos





**Figura 9. Depósito de lahares hiperconcentrados.** Fuente: tomadas por Carla Chun 2020.

## 4.2. FASE DE GABINETE

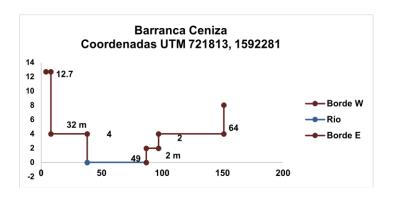
La fase de gabinete recolecta los datos de campo y se comparan con la actividad histórica del volcán en especial con el descenso de lahares (boletines especiales INSIVUMEH), en donde se identifican cuantos lahares han descendido por las barrancas de esta investigación después de la erupción del 3 de junio de 2018.

Así mismo los perfiles de las barrancas con los datos obtenidos en el campo y la elaboración de columnas estratigráficas de los depósitos.

## 4.2.1. Estimación de volúmenes de lahares

La estimación de volumen para los depósitos volcánicos se realizó en base a datos de campo, datos relacionados a los espesores de dichos depósitos, sin embargo hay que aclarar, que: los depósitos de lahares no corresponden al volumen total de un lahar, ya que estos son una mezcla de material volcánico y agua, por lo que el espesor es solo una parte del lahar; existen rastros como marcas en la vegetación que pueden indicarnos el nivel que alcanzo el lahar; se consideraron evidencias de lahares antiguos para identificar los volúmenes.

Los volúmenes se establecieron en base a perfiles que se levantaron en puntos estratégicos según el recorrido de campo, como se observa en la Figura 10. Perfil y columna de la barranca Ceniza. Este tipo de levantamiento se realizó para las diversas barrancas que abarcan el área de investigación, con el objetivo de establecer espesores de depósitos de lahares.



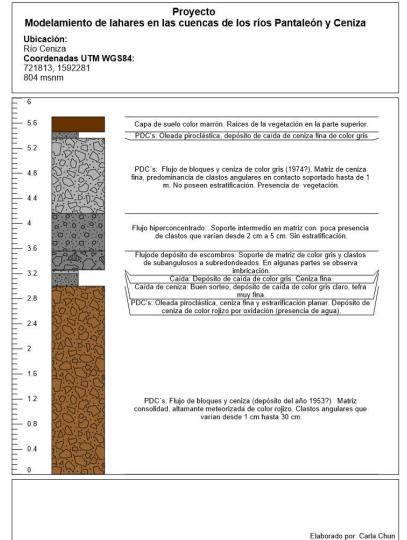


Figura 10. Perfil y columna de la barranca Ceniza.



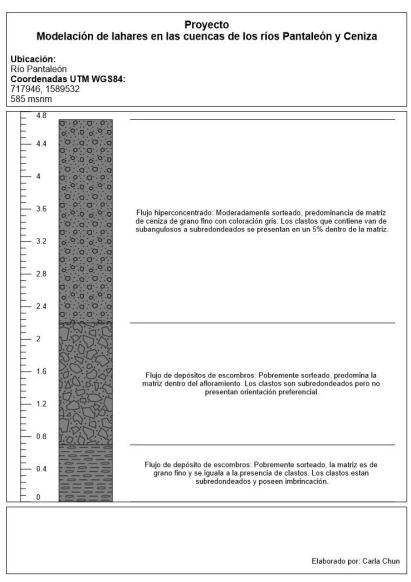


Figura 11. Perfil y columna del Río Pantaleón.

De acuerdo con los espesores recolectados en el campo se establecieron promedios de espesores para cada barranca.

En esta etapa se dividieron las barrancas en base a las características de los lahares, como: la ocurrencia, depósitos de material volcánico en la parte alta y depósitos de lahares antiguos. En esta parte de análisis se identificó a través de imágenes satelitales la zona afectada por lahares, por lo que se realizó una capa en archivo Shapefile para esta zona. Esto con el objetivo de dividir las barrancas en 4 y en 3 zonas, para darle diferentes espesores a las zonas, ya que los espesores son más grandes cuando los lahares se encuentran más cercanos al punto de origen y van disminuyendo el espesor conforme se alejan de dicho punto.

A través de los sistemas de información geográfica se identificó el área que ocupa cada polígono afectado por el descenso de lahares como se observa en la Tabla 1. Espesores establecidos para las barrancas principales, divididos en secciones de acuerdo al trayecto de la barranca.

**Tabla 1.** Espesores establecidos para las barrancas principales, divididos en secciones de acuerdo al trayecto de la barranca.

BARRANCAS	ESPESORES en m						
	SECCIÓN 1 SECCIÓN 2 SECCIÓN 3 SECCIÓN 4						
Seca y Santa Teresa	12	7	3	1			
Ceniza	13	8	5	1			
Taniluyá	5	3	2	1			
El Mineral	5	3	2	1			

De acuerdo a los espesores y a las áreas propuestas los resultados de volúmenes para cada sección se observan en la Tabla 2. Áreas estimadas para cada tramo de la barranca y volúmenes totales de depósitos laháricos.

Tabla 2. Áreas estimadas para cada tramo de la barranca y volúmenes totales de depósitos laháricos.

BARRANCAS		Volumen de			
	SECCIÓN 1	SECCIÓN 2	depósitos Mm <sup>3</sup>		
Seca y Santa	7706492	1025837	2034694	2328423	23 319868
Teresa					
Ceniza	544200	400175	1478663	1478663	19 147978
Taniluyá	160444	90685	135252	128794	1 473573
El Mineral	95238	191435	254356	224717	1 783924

Estos datos de volúmenes estimados para cada barranca nos ayudan a identificar los posibles volúmenes (Tabla 4. Volúmenes establecidos para realizar las simulaciones con diferentes parámetros.) que podrían descender en un lahar por lo que para las simulaciones se propusieron los siguientes valores para utilizar en LaharZ. Se incluyeron otros cauces que se encuentran cercanos a las barrancas los cuales podrían ser afectados por lahares o correntadas,

Tabla 3. Localización de puntos para iniciar las simulaciones en las barrancas principales y otras que podrían ser afectadas por el descenso de lahares.

**Tabla 3.** Localización de puntos para iniciar las simulaciones en las barrancas principales y otras que podrían ser afectadas por el descenso de lahares.

BARRANCA	COORDENADAS					
	X	Υ				
Seca y Santa Teresa	720571.103	1600652.334				
Ceniza	723856.396	1596544.934				
Taniluyá	723216.103	1596772.476				
El Mineral	722734.076	1601016.136				
Platanares	724335.293	1596190.180				
Cauce A	721338.219	1598548.495				
Cauce B	722163.060	1597941.937				
Cauce C	722459.393	1597608.561				
Cauce D	722988.561	1597264.602				

Tabla 4. Volúmenes establecidos para realizar las simulaciones con diferentes parámetros.

BARRANCAS	VOLUMEN EN Mm³							
	Α	В	С	D	E		F	
Seca y Santa Teresa	35	30	25	15	5	:	1	
Ceniza	35	30	25	15	5	:	1	
Taniluyá	20	45	10	_	_	1	Volumen en m³	
	20	15	10	5	1	0.5	0.1	
El Mineral	20	15	10	5	1	0.5	0.1	
Platanares	20	15	10	5	1	0.5	0.1	
Cauce A	20	15	10	5	1	0.5	0.1	
Cauce B	20	15	10	5	1	0.5	0.1	
Cauce C	20	15	10	5	1	0.5	0.1	
Cauce D	20	15	10	5	1	0.5	0.1	

### 4.3. FASE DE MODELAMIENTO

La fase de modelamiento se llevó a cabo usando la herramienta LaharZ la cual se encuentra accesible a través de ArcGIS. Para utilizar esta herramienta se necesita tener una computadora con ArcGIS instalado, datos de lahares y un modelo de elevación digital.

LaharZ es un módulo de un Sistema de Información Geográfico, creado por USGS en 1998, se encuentra basado en un modelo semi empírico el cual delimita zonas de inundación por lahares sobre un Modelo Digital de Terreno.

El programa usa dos ecuaciones semi-empíricas calibradas por análisis estadísticos de las áreas de la sección inundadas (A) y de las áreas planimétricas inundadas (B), medidas en 27 depósitos de lahares estudiados en 9 volcanes de USA, México, Colombia, Canadá y Filipinas (Iverson *et al.*, 1998).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a los parámetros establecidos se realizó una serie de simulaciones de lahares en la zona suroeste del volcán de Fuego, en donde se llevaron a cabo dos paquetes de simulaciones que corresponden a dos Modelos de Elevación Digital-DEM- obtenidos. El primero de marzo de 2019 y el segundo de noviembre de 2019.

Las primeras simulaciones hacen referencia al Modelos de Elevación Digital de marzo de 2019. Simulaciones con LaharZ para las barrancas Seca y Ceniza en donde se observan las posibles zonas de afectación por el descenso de lahares que van desde 1Mm³ hasta 35 Mm³, como se observa en Figura 12. Simulaciones con LaharZ para barrancas: Seca y Ceniza. Utilizando el Modelo de Elevación Digital de marzo 2019.

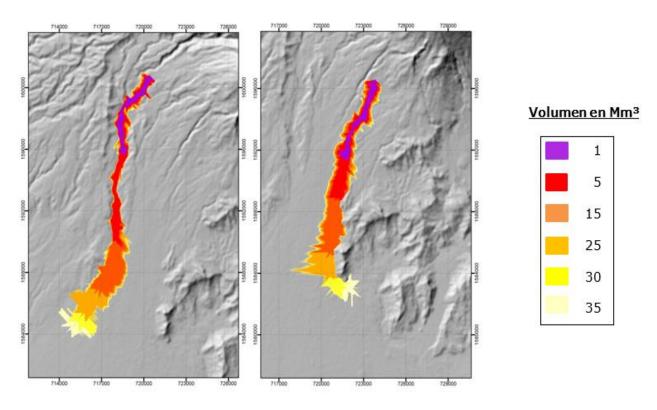


Figura 12. Simulaciones con LaharZ para barrancas: Seca y Ceniza. Utilizando el Modelo de Elevación Digital de marzo 2019.

Las simulaciones para otras barrancas en donde se originan lahares de menor magnitud, en donde se hicieron simulaciones que van de 100,000 hasta 1 Mm³, y el segundo escenario que muestra simulaciones de 1 Mm³ hasta 20 Mm³, como se observa en la Figura 13. Simulaciones con LaharZ para barrancas secundarias. Utilizando el Modelo de Elevación Digital de marzo 2019.

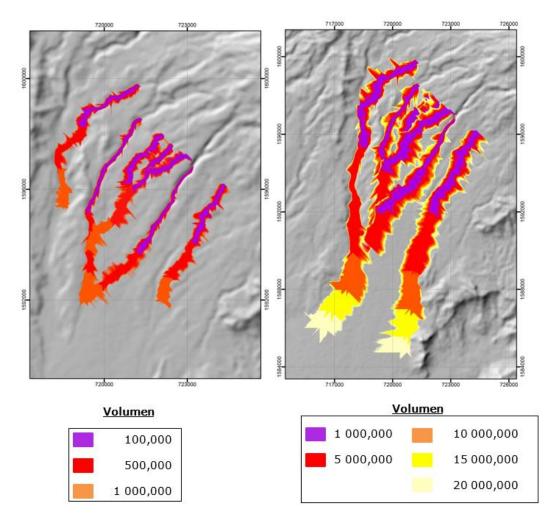


Figura 13. Simulaciones con LaharZ para barrancas secundarias. Utilizando el Modelo de Elevación Digital de marzo 2019.

El segundo conjunto de simulaciones hace referencia al Modelo de Elevación Digital de noviembre de 2019, como se observa en la Figura 14. Simulaciones con LaharZ para barrancas: Seca y Ceniza. Utilizando el Modelo de Elevación Digital de noviembre 2019. Así mismo, se presentan los resultados obtenido luego de la simulación con LaharZ para las barrancas Seca y Ceniza, donde se observan las posibles zonas de afectación por el descenso de lahares que van desde 1Mm³ hasta 35 Mm³.

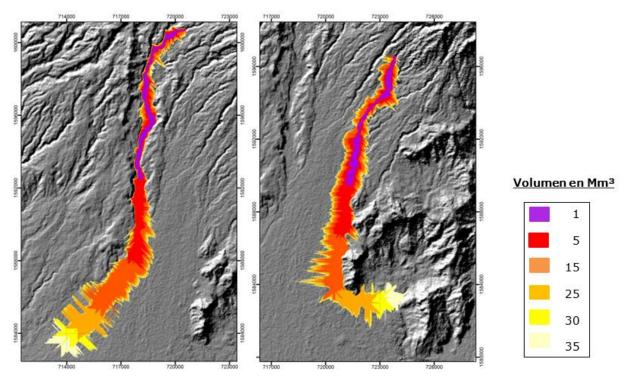


Figura 14. Simulaciones con LaharZ para barrancas: Seca y Ceniza. Utilizando el Modelo de Elevación Digital de noviembre 2019.

Se puede observar la comparación de las zonas inundadas con las simulaciones que se realizaron en base al modelo de elevación digital de marzo (Figura 12. Simulaciones con LaharZ para barrancas: Seca y Ceniza. Utilizando el Modelo de Elevación Digital de marzo 2019.) donde las zonas afectadas por el mismo volumen son diferentes ya que en los meses de marzo a noviembre descendieron lahares por esta zona modificando el cauce e introduciendo abundante material a las barrancas Ceniza y Seca. Esto es muy importante ya que sabemos que estos depósitos de lahar pueden originar cambios en la topografía y morfología de los diferentes cauces.

Las simulaciones para otras barrancas en donde se originan lahares de menor magnitud, en donde se efectuaron simulaciones que van de 100,000 hasta 1 Mm³, y el segundo escenario que muestra simulaciones de 1 Mm³ hasta 20 Mm³. Como se observa en Figura 15. Simulaciones con LaharZ para barrancas secundarias. Utilizando el modelo de elevación digital de noviembre 2019.

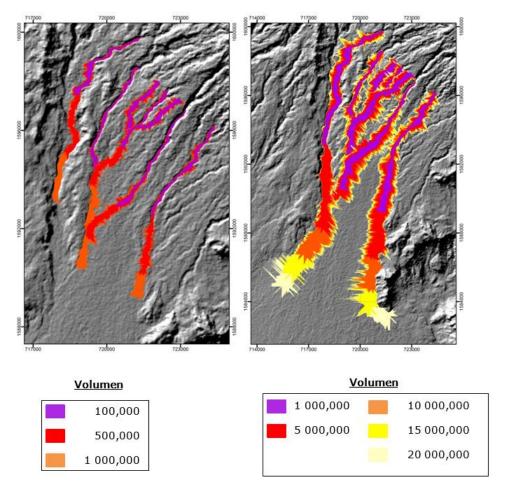


Figura 15. Simulaciones con LaharZ para barrancas secundarias. Utilizando el modelo de elevación digital de noviembre 2019.

Con la comparación entre las simulaciones y datos de campo, se identificaron las zonas que son más propensas al descenso de lahares en el flanco suroeste. Este análisis de localización de zonas requiere conocimiento de campo, ocurrencia de lahares en la zona y actividad eruptiva.

Las simulaciones en comparación a los mapas preliminares realizados por INSIVUMEH en el año 2018, varían de acuerdo a los volúmenes utilizados que se ingresaron en el simulador, utilizándose un volumen máximo de 60 Mm³ y un mínimo de 1 Mm³. En base a datos de campo y eventos históricos se realizaron estimaciones de volúmenes y estos van de 35 Mm³ a 100,000 m³, así mismo varían de acuerdo a las barrancas, ya que la intensidad y recurrencia no es la misma para todas las barrancas.

También se debe mencionar que los modelos de elevación digital son más recientes por lo que las zonas de afectación pueden variar de acuerdo a los mapas que ya están establecidos. Esto hace

referencia a que en volcanes tan activos como lo es el volcán de Fuego es necesario llevar a cabo la actualización de mapas de amenazas volcánica de manera recurrente.

Basándose en el análisis de resultados y ocurrencia de lahares, se pueden identificar 4 escenarios para el descenso de lahares, representados de forma gráfica y precisa en la Figura 16. Escenarios de Amenaza Volcánica por lahares. Estos se definen de la siguiente manera:

- Amenaza Muy Alta (rojo): zonas que son afectadas por el descenso de lahares con características débiles, moderados e incluso fuertes (con menor frecuencia), la ocurrencia de lahares en las barrancas principales es alta en época lluviosa, por lo que estas zonas son afectadas constantemente. Los lahares pueden arrastras rocas de diversos tamaños hasta material muy fino, troncos y ramas de árboles. Estos afectan principalmente los pasos vehiculares y pueden dejar incomunicada a la población. Con los datos obtenidos en las simulaciones se pueden representar lahares que van de 100,000 m³ hasta lahares de 15 Mm³.
- Amenaza Alta (naranja): zonas que podrían ser afectadas por el descenso de lahares moderados y fuertes, principalmente en época de lluvias intensas. La erosión que causan los lahares dentro de las barrancas puede variar la zona de afectación. En algunos casos se pueden dar desbordes de material y alimentar otros cauces. En esta zona da el transporte de material de diversos tamaños, sin embargo, las zonas con flujos de escombros pueden alcanzar distancias más lejanas al cráter. Estos afectan principalmente los pasos vehiculares y pueden dejar incomunicada a la población. En base a las simulaciones esta zona puede ser afectada por lahares que van de 100,000 m³ hasta lahares de 25 Mm³.
- ✓ Amenaza Media (amarilla): zonas que podrían ser afectadas por el descenso de lahares de mayor magnitud es decir lahares muy fuertes, que se encuentren condicionados por abundante material no consolidado de origen volcánico y lluvias intensas. Causan erosión dentro de las barrancas y pueden desbordar o alimentar otros cauces. Esta zona puede ser afectadas por material de diversos tamaños, sin embargo, las zonas con flujos de escombros pueden alcanzar distancias más lejanas al cráter al igual que los sedimentos. Afectan directamente a la población y causan inundaciones aguas abajo. Esta zona puede ser afectada por lahares que van desde 100,000 m³ hasta lahares de 35 Mm³.
- ✓ Amenaza Baja (beige): zonas que podrían ser afectadas por el descenso de lahares muy fuertes, se encuentren condicionados por abundante material no consolidado de origen volcánico y tormentas/huracanes, la zona es de mayor afectación. El impacto que estos eventos tendrán es mucho mayor que el anterior, por lo que puede causar desbordes en varias direcciones, cambiar la dirección del cauce de los ríos y originar abanicos aluviales en la parte baja. Esta actividad puede provocar el desbordamiento de los ríos generando inundaciones en comunidades y teniendo impactos directos en la población. Esta zona es delimitada en base a depósitos de campo, lahares que pueden generar desbordes e inundaciones de gran magnitud.

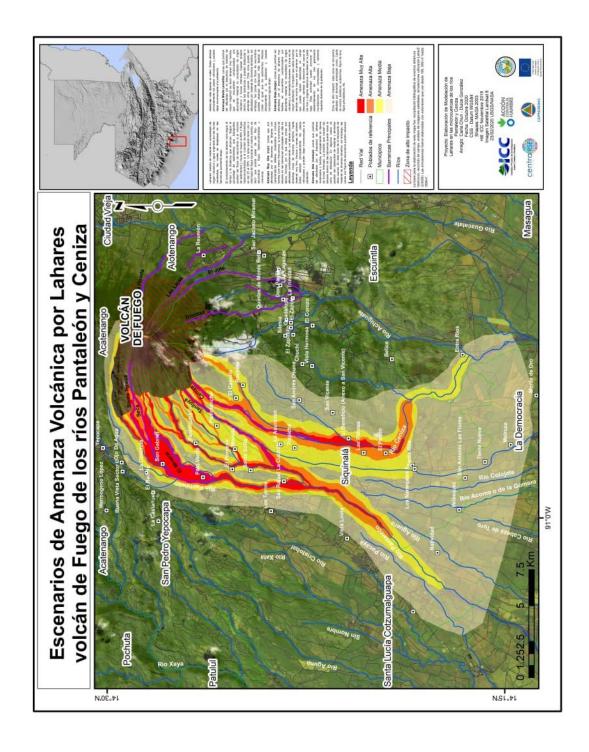


Figura 16. Escenarios de Amenaza Volcánica por lahares.

De acuerdo a los 4 escenarios obtenidos, en la cuenca Coyolate se identificaron comunidades que se encuentran expuestas a las amenazas por lahares, según los escenarios propuestos (Tabla 5. Numero de poblados que pueden ser afectados por la amenaza, de acuerdo al municipio que pertenecen, en la cuenca Coyolate.). Por lo tanto se identificaron 7 comunidades ubicadas en la zona de muy alta amenaza, 4 en la zona de alta amenaza, 20 en la zona de media amenaza y 61 comunidades en la zona de baja amenaza. Esto hace un total de 92 comunidades que pueden ser afectadas de los municipios San Pedro Yepocapa, Siquinalá y Santa Lucía Cotzumalguapa.

Tabla 5. Numero de poblados que pueden ser afectados por la amenaza, de acuerdo al municipio que pertenecen, en la cuenca Coyolate.

Amonoro	MUNICIPIOS					
Amenaza	San Pedr	о Үеросара	Siquinalá		Santa Lucía Cotz.	
Muy Alta	7	7				
Alta	4	11				
Media	11	22	5	5	4	4
Baja	9	31	5	10	47	51
Total, de comunidades		31	10		51	

Para la cuenca Achiguate se identificaron comunidades expuestas (Tabla 6. Numero de poblados que pueden ser afectados por la amenaza de acuerdo al municipio que pertenecen, en la cuenca Achiguate.), según los escenarios en: una comunidad afectada por la amenaza muy alta, 3 comunidades afectadas por la amenaza alta, 9 comunidades afectadas por la amenaza media y 61 comunidades afectadas por la amenaza baja. Esto suma un total de 74 comunidades afectadas de los municipios de Siquinalá, La Democracia y Escuintla.

Tabla 6. Numero de poblados que pueden ser afectados por la amenaza de acuerdo al municipio que pertenecen, en la cuenca Achiguate.

Amana-a	MUNICIPIOS						
Amenaza	Siquinalá		La Democracia		Escuintla		
Muy Alta	1	1					
Alta	3	4					
Media	9	13					
Baja	54	67	3	3	4	4	
Total, de comunidades	67		3		4		

Los poblados serán afectados de acuerdo al grado de exposición al que se encuentre, por lo tanto los poblados más cercanos al volcán se verán afectados por los escenarios de muy alta amenaza y alta amenaza, conforme la magnitud de los lahares incremento los poblados que se encuentran a mayores distancias del cono volcánico se verán afectados por las amenazas media y baja.

Como se representa en la Tabla 7. Total de poblados que pueden ser afectados por la amenaza, clasificados por municipio. De acuerdo a los 4 escenarios de amenaza por lahares pueden ser afectados 166 poblados cercanos a las cuencas Achiguate y Coyolate.

Tabla 7. Total de poblados que pueden ser afectados por la amenaza, clasificados por municipio.

	MUNICIPIOS						
Amenaza	Siquinalá	La Democracia	Escuintla	Santa Lucía Cotz.	San Pedro Yepocapa		
Muy Alta	1				7		
Alta	3				4		
Media	14			4	11		
Baja	59	3	4	47	9		
Total, de comunidades	77	3	4	51	31		
Total		166					

## 6. CONCLUSIONES

- ✓ Las diferentes técnicas utilizadas para la elaboración de escenarios de amenazas volcánicas ayudan a definir diversos parámetros para obtener un mapa contundente de la zona de investigación. El recorrido de campo muestra la historia geológica de una zona volcánica, en donde una de las principales amenazas son los lahares. La identificación de las zonas afectadas por el descenso de lahares en el pasado ayuda a comprender que eventos como los observados en el campo pueden volver a suceder.
- ✓ De acuerdo con las características físicas observadas en el campo de los depósitos volcánicos se identificaron depósitos de lahares de tipo: Hiperconcentrado y flujos de escombros. Los espesores de estos depósitos sirvieron para establecer volúmenes de lahares. Los volúmenes propuestos para la elaboración de las simulaciones van de 100,000 m³ hasta 30 Mm³.
- ✓ Se realizaron simulaciones de lahares utilizando LaharZ, clasificando las barrancas de acuerdo a la ocurrencia de lahares en la zona, en: barrancas principales y barrancas secundarias. Las principales son las que poseen abundantes depósitos de lahares debido a los constantes eventos que ocurren, y las secundarias, son las barrancas que tienen menor cantidad de depósitos de lahares y menor ocurrencia.
- ✓ Se identificaron 4 zonas que pueden ser afectadas por lahares, de acuerdo con la ocurrencia, propiedades de lahares y características meteorológicas, estas son: Zona de amenaza muy alta, zona de amenaza alta, zona de amenaza media y zona de amenaza baja.
- ✓ Las principales zonas de afectación por lahares son las de amenaza muy alta y alta, esto se debe que en la actualidad son zonas de alta probabilidad de ocurrencia de lahares, según los registros de INSIVUMEH la mayoría de lahares han descendido por estas zonas. Las zonas de menor ocurrencia son las zonas afectadas por amenaza media y amenaza baja, sin embargo, datos históricos y la geología de la zona nos indican que estas zonas han sido afectadas por lahares en años anteriores.
- ✓ Los poblados cercanos a las cuencas Coyolate y Achiguate de acuerdo a los diferentes escenarios pueden tener diferentes grados de afectación, por lo que se identificaron 8 poblados en la zona de muy alta amenaza, 7 en la zona de alta amenaza, 29 en la zona de media amenaza y 122 en la zona de baja amenaza. Esto hace un total de 166 poblados localizados en estas 4 zonas.
- ✓ De acuerdo a la ubicación de los poblados, los que se encuentren más cercanos al volcán y más cercanos a las barrancas se verán afectados por las zonas de muy alta amenaza y alta amenaza, si la magnitud y constancia de los lahares incrementa los poblados que se encuentran a mayores distancias del volcán se verán afectados por las amenazas media y baja.

## 7. RECOMENDACIONES

- ✓ La evaluación del riesgo es una herramienta para la gestión del riesgo, por lo que la identificación y caracterización de las amenazas volcánicas son dos de los pasos para realizar una evaluación del riesgo, esta investigación puede ser utilizada como herramienta para elaborar una evaluación del riesgo en los 5 municipios.
- ✓ Esta investigación se basa en la amenaza por lahares, existen otros factores como la vulnerabilidad y exposición los cuales no fueron contemplados, también existen otras amenazas de origen volcánico y geológico en la zona. Para hacer un mapa multi-amenaza las municipalidades deberán de coordinar y gestionar la implementación de mapas de diferentes amenazas.
- ✓ En colaboración con actores gubernamentales, no gubernamentales y participación ciudadana este mapa es una herramienta para la toma de decisiones y puede ser de utilidad para: identificar los puntos de reunión, rutas de evacuación, planificación territorial, ubicación de poblados y rutas alternas.
- ✓ Existen 15 comunidades localizadas en las zonas de muy alta amenaza y alta amenaza, una de las principales afectaciones es la destrucción de pasos vehiculares, esto deja incomunicadas a las comunidades por lo que se debe de buscar rutas alternas para la evacuación o alguna emergencia que se dé durante el descenso de un lahar.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Chun C., Chigna G. (2019). *AMENAZAS VOLCÁNICAS DEL VOLCÁN DE FUEGO: Descenso de corrientes de densidad piroclástica y lahares en los alrededores del volcán.* INSIVUMEH.
- Hoblitt, R.P., Walder J.S., Driedger C., Scott K., Pringle P. and Vallance J.W. *Volcano harzads from Mount Rainier, Washington*. Geological Surver Open-File Report 95-273
- Iverson R. M, Schilling S., J. Vallance (1998) Objective delineation of lahar-inundation hazard zones GSA Bulletin; August 1998; v. 110, no. 8; p. 972-984.
- Mariño, J., Rivera, M., Cacya, L., Thouret, J.-C. (2008). *Mapa de Peligros del volcán Misti*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.
- Monsalve M. (2000). *Guía para la evaluación de la amenaza volcánica y elaboración de mapas de amenaza volcánica potencial en Colombia*. Observatorio Vulcanológico y sismológico de Manizales INGEOMINAS.
- Ordoñez J., Samaniego P., Mothes P., Schilling S. (2011). Las potenciales zonas de inundación por lahares en el volcán Cotopaxi.
- Rivera M. (2008). *Geología y evaluación de peligros del volcán Ubinas*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, Lima, Perú.
- Schilling, S.P., 2014, Laharz\_py—GIS tools for automated mapping of lahar inundation hazard zones: U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1073, 78 p., http://dx.doi.org/10.3133/ofr20141073.
- Vallance J.W., Schilling S., and Devoli G. *Lahar Hazards at Mombacho volcano, Nicaragua*. U.S. geological survey Open-File Report 01-455, Vancouver, Washington U.S.A. 2001.
- Vallance J.W., Schilling S.P., Matías O., Rose W., and Howell M.M. *Volcano hazards at Fuego and Acatenango, Guatemala*. Open-File Report 2001-431https://doi.org/10.3133/ofr01431

## 9. ANEXOS

## 9.1.1 PASOS PARA UTILIZAR LAHARZ

Para utilizar LaharZ debemos tener:

- ✓ Una computadora.
- ✓ Software ArcGIS instalado.
- ✓ Modelo de elevación digital.
- ✓ Parámetros establecidos de volumen.
- ✓ Descargar la herramienta laharz py.

A continuación, se muestra una serie de pasos para llevar a cabo las simulaciones con los parámetros establecidos.

• **Paso 1**. Crear una carpeta donde se encuentren los archivos: *ejercicio, laharz\_py* y la extensión de la herramienta Laharz.

```
      iii ejercicio
      23/09/2020 8:36 p...
      Carpeta de archivos

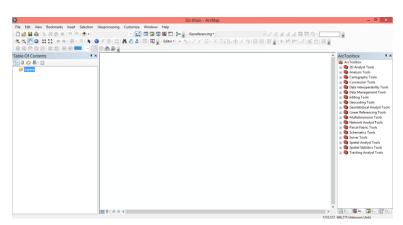
      iii laharz_py
      23/09/2020 8:36 p...
      Carpeta de archivos

      iii Laharz_py.tbx
      19/07/2016 1:43 p...
      ArcGIS Toolbox
      417 KB

      iii Laharz_py_example_MountRainier_2016.p...
      23/08/2016 1:02 p...
      Adobe Acrobat D...
      3,188 KB
```

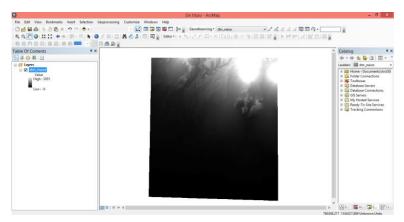
Anexo 1. Ejemplo de cómo encontrar la extensión laharz\_py

• Paso 2. Para utilizar LaharZ se necesita tener instalado ArcMap. Se abre el programa.



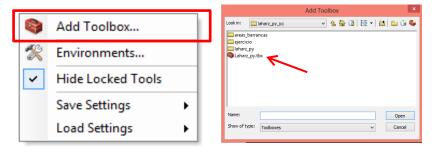
Anexo 2. Ventana de ArcMap, nuevo proyecto.

• **Paso 3**. Se carga el Modelo de Elevación Digital el cual se debe encontrar en formato RASTER.



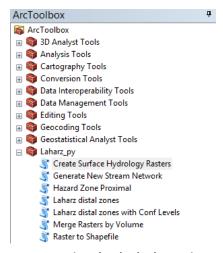
Anexo 3. Cargar un Raster del área de investigación.

• Paso 4. Para añadir la herramienta Laharz, se va al *ArcToolbox* y se debe dar click derecho, se abrira una ventana con diversas opciones, se debe elegir *Add Toolbox*, seguidamente buscar la carpeta donde se encuentra la herramienta y abrirla.



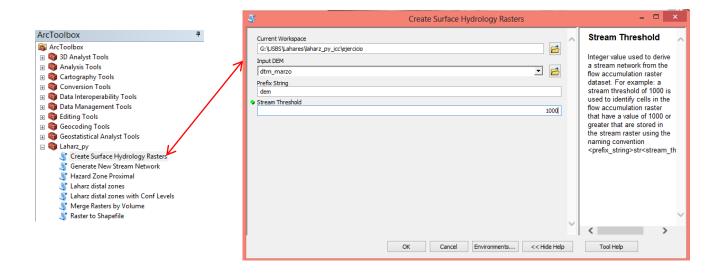
Anexo 4. Ejemplo para añadir una herramienta en ArcMap.

• **Paso 5**. En el *ArcToolbox* aparecera la herramienta LaharZ, de debe desplegar las diferentes acciones que requiere para comenzar las simulaciones.



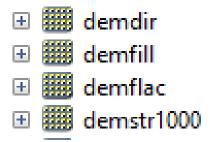
Anexo 5. Ejemplo de la herramienta LaharZ visualizada en la plataforma ArcMap.

Paso 6. Se debe elegir la primer opción - Create Surface Hydrology Rastes, esta opción creará un sistema de drenaje en base a la topografía del raster. Se guarda el proyecto en la carpeta que se generó en el paso 1, la cual fue denominada como "ejercicio"; se utiliza el Modelo de Elevación Digital, cadena de prefijo y la red de límite.



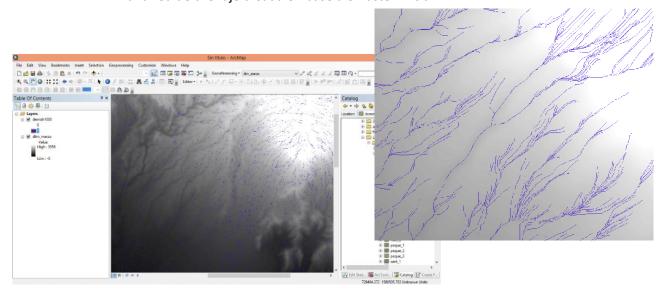
Anexo 6. Crear un raster de la superficie hidrológica

Esta herramienta creara 4 archivos Raster, que iniciarán con el nombre que se le asigno, para este ejemplo serán:



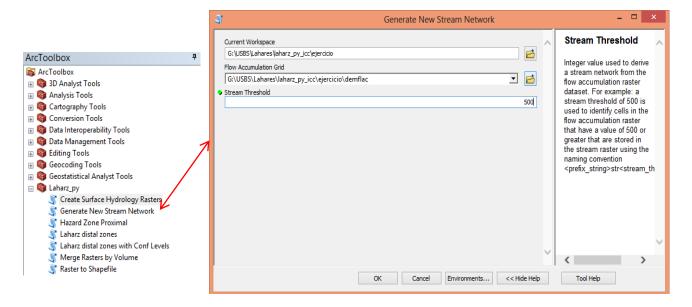
Anexo 7. Raster resultantes.

• **Paso 7.** Se debe cargar el raster con nombre *demstr1000*, en donde se observará una red de drenaje creada en base a el ráster inicial.



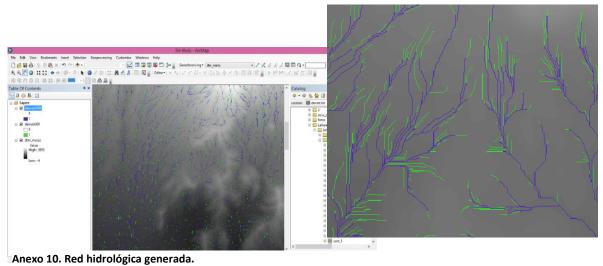
Anexo 8. Ráster que muestra la red hidrológica crea a través del modelo de elevación digital.

• **Paso 8.** Se genera una nueva red de trabajo, se elige *Generate New Stream Network*, guardar en la carpeta de trabajo, utilizar el *demflac* y en la red de límite se deberá colocar "500".

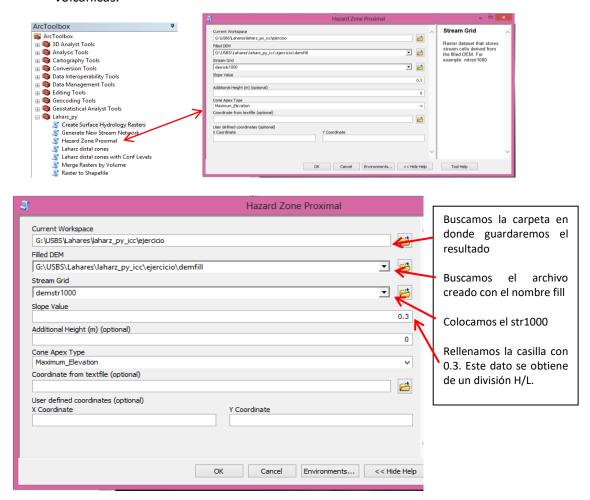


Anexo 9. Generar una nueva red de transmisión.

Esto originará una red de drenaje a mayor detalle. Como se observa en la siguiente figura.

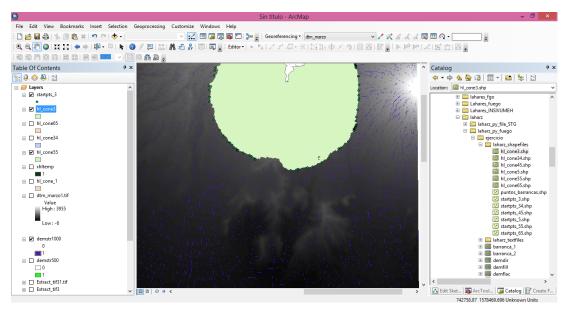


 Paso 9. Para originar la zona de amenaza proximal se ingresan los parámetros requeridos en base a los pasos anteriores. Esto genera una capa en la carpeta laharZ\_shapefiles, este cono de energía ayuda a delimitar la zona en donde inician los lahares según la altura de volcán y distancia que alcanzan las amenazas volcánicas.



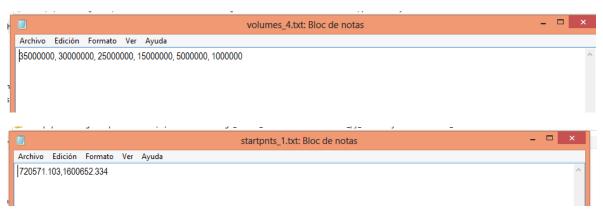
Anexo 11. Zona de peligro proximal.

También originará una capa de puntos, los cuales se localizan en las redes de drenaje, posibles puntos de inicio de las simulaciones. Sin embargo, según los datos observados en campo y el registro de descenso de lahares de Fuego, se realizó la ubicación de puntos estratégicos para las simulaciones.



Anexo 12. Capa resultante de la zona de peligro proximal.

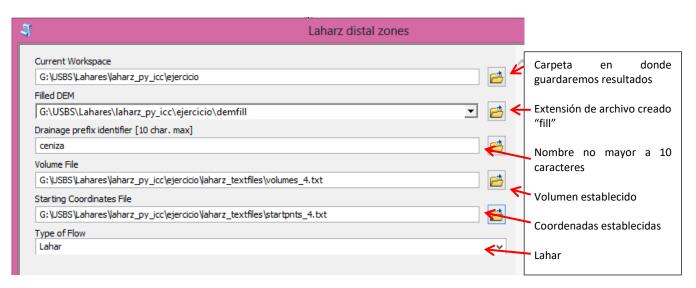
• Paso 10. Se crean dos block de notas: en el primero se coloca los volúmenes que establecimos según datos de campo o actividad histórica, en el segundo los puntos de inicio es decir los puntos en donde comenzaran las simulaciones. Ambos archivos se encuentran en .txt y se encontraran en una carpeta llamada laharz\_textfiles.



Anexo 13. Archivos editables en bloc de notas con formato txt

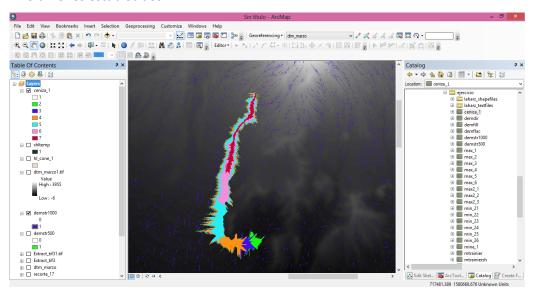
• Paso 11. Zonas de lahares distales, para iniciar la modelación de lahares como es en este caso, se utiliza el *fill* y se le asigna un nombre para identificar las redes que se crearan, en el ejemplo se colocó "ceniza" debido a que se hicieron diferentes simulaciones para las barrancas. El archivo de volumen y de puntos de inicio, se trabaja en un block de notas en donde se ingresan los volúmenes que se utilizaran

para la simulación y los puntos de inicio de estas. En el tipo de flujo se escoge el de lahar.



Anexo 14. Lahares en zonas distales.

El resultado de las simulaciones se encontrará en un raster con el nombre que se le asigna, en donde cada color representa las diversas simulaciones en base a los volúmenes establecidos.



Anexo 15. Resultado de simulaciones de lahares.

