

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
UNAN-MANAGUA
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO.**

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

PRESENTADOPOR:

Bra. Aybis Mariela García Arauz.

Bra. Ada Luz Mercado Rodríguez

TUTOR:

MSc. Gema Velásquez

ASESOR:

PhD. Armando Saballos.

Managua, Nicaragua 2017.

DEDICATORIA

“...Porque para Dios no hay nada imposible...”

Isaías 1.37

Dedico mi trabajo:

A Dios, por ser el protagonista de la vida, ser la razón de mi existencia y ensueños, dador del don de entendimiento y la razón por los cuales podemos enriquecer nuestro intelecto y espíritu; por su amor incondicional, por ser mi motor y mi fortaleza a lo largo de este arduo camino.

A nuestra Madre, porque Madre solo hay una, y como ella ninguna. Se lo dedicamos con todo nuestro corazón, por el regalo de la vida, por ser madre, padre y amiga, por su amor incomparable y fuerza interminable, por su apoyo incondicional, por habernos enseñado el camino del bien y de los principios y valores morales, por acompañarnos en nuestros triunfos y apoyarnos en nuestras derrotas, por darme una carrera profesional y por la confianza depositada en mí y finalmente, por haber recorrido conmigo el camino de realización de este trabajo.

A mis hermanos, sangre y sabia compartida; por ser fuertes pilares en mi vida, por su amor de hermanos, por su apoyo incondicional en cada momento, por compartir sus vidas conmigo y por estar presentes en los momentos más importantes de mi vida, en los felices y en los tristes y por acompañarme en otro momento tan importante de mi vida.

Y a mi familia en general, regalo maravilloso de Dios, tesoro valioso de la vida, a la que amo de principio a fin, sin medida, porque donde sea que voy siempre seré parte de ella y ella será parte de mí, por ser una base importante en mi vida y por estar presentes siempre.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todas esas personas especiales que nos acompañaron en el proceso de realización de nuestro seminario monográfica, brindándonos todo su apoyo y cariño:

Primeramente, a nuestro Dios Todopoderoso, por el don de la vida, por ser nuestra base y fuerza más importante, por su amor incondicional y por permitirnos culminar con éxito esta etapa tan importante de nuestras vidas.

A nuestros Padres, dones del cielo y de la tierra, fuerzas de nuestros corazones, guía y luz en todos los caminos que hemos recorrido, por estar presentes en todas las etapas de nuestras vidas, por darnos la posibilidad de ser profesionales, por habernos educado y colaborado en nuestro desarrollo como personas, por sus sabios conocimientos, apoyo incondicional y entusiasmo para poder culminar con satisfacción este trabajo.

Nuestra familia, apoyo y parte fundamental de nuestras vidas, por su fuerza infaltable y cariño interminable.

Nuestros amigos, ecos del alma y del corazón, quienes nos han acompañado en el recorrido de este camino, por sus consejos, palabras de ánimo y aliento.

Contenido

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 General.....	2
1.1.2 Específico.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Generalidades del área	5
1.4.1 Datos Generales del municipio de Moyogalpa	5
1.4.2 Localización del área de estudio	5
1.4.3 Vías de acceso.....	6
1.4.4 Clima	8
1.4.5 Vegetación	10
1.4.6 Fauna.....	10
1.5 Metodología	11
1.5.1 Trabajo de gabinete preliminar.....	11
1.5.2 Obtención de datos mediante trabajo de campo.....	11
1.5.3 Análisis de interpretación de datos	15
CAPITULO 2. MARCO TECTÓNICO Y GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
2.1 Arco volcánico central	20
2.2 Cadena volcánica de Nicaragua	20
2.3 Geología de Nicaragua	22
2.3.1 Provincia de la Depresión de Nicaragua	23
2.4 Volcán Concepción	24
2.4.1 Generalidades.....	24
2.4.2 Historia eruptiva	25
2.4.3 Geología.....	27
2.4.4 Estratigrafía.....	29
2.4.5 Estructural.....	30
CAPITULO 3. ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR INESTABILIDAD DE LADERA	31
3.1 Clasificación de la inestabilidad de ladera.....	31
3.1.1 Por el grado de actividad.....	31

3.1.2 Por la velocidad de propagación de materiales.....	31
3.1.3 Por la profundidad de la superficie de rotura.....	32
3.1.4 Por el mecanismo de movilización	32
3.1.5 Clasificación de la inestabilidad de laderas según Varnes.....	32
3.2 Amenaza	32
3.3 Lahar	33
3.3.1 Tipos de Lahares	34
3.4 Evaluación de amenaza volcánica	35
3.5 Susceptibilidad	37
CAPITULO 4. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE MÉTODOS POTENCIALES	40
4.1 Método del tamizado para granulometría.....	40
4.1.1. Análisis granulométrico realizado en el laboratorio	40
4.1.2. Interpretación de los resultados en base a la granulometría.....	44
4.2 Modelación del Software TITAN2D	45
4.2.1 Aplicación.....	46
4.2.2 Interpretación de los resultados del software TITAN 2D	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
Conclusiones:.....	50
Recomendaciones:	51
BIBLIOGRAFIA	53
ANEXOS.....	56
Anexo 1. Datos de las precipitaciones del municipio de Moyogalpa.....	57
Anexo 2. Datos básicos de la estación meteorológica de Moyogalpa.....	58
Anexo 3. Fases de la ejecución del plan del COMUPRED	58

INDICE DE ILUSTRACIÓN

Figuras

Figura N°1: Mapa de pendiente del suroeste del volcán Concepción.....	3
Figura N°2: A. Mapa de Nicaragua, ubicación del área de estudio en la Isla de Ometepe. B. Lago de Nicaragua, en el rectángulo representan sitio de estudio. C. Mapa topográfico reflejando área de estudio lado Sur-oeste volcán concepción.....	6
Figura N° 3: Mapa de puntos de recolección de nuestras.....	2
Figura N°4: Marco geológico de América Central, (basado en De Mets (2001), Horlow y White (1995) y Gusman-Speziale (2001)).....	16
Figura N° 5: Cadena volcánica de Nicaragua, obtenida de un informe realizado por la alcaldía de Moyogalpa,(COMUPRED, 2016).....	18
Figura N° 6. Provincias Geológicas de Nicaragua (Hogdson, 1998).....	20
Figura N° 7: Mapa Geológico del área de estudio.....	23
Figura N° 8: Mapa de susceptibilidad (INETER 2016).....	39
Figura N° 9: Mapa de amenaza ante un lahar.....	41

Fotos

Foto N° 1: Depósitos del lahar reciente donde se observa los diferentes tamaños de clastos y restos de árboles. Coordenadas: 646767E, 1272592N.....	11
Foto N° 2: Recolección de muestras. Coordenadas:.....	12
Foto N° 3: Desprendimientos de material suelto de las paredes de la cárcava. Coordenadas: 649043E, 1274533N.....	29
Foto N° 4: Pendiente donde se observa el desplazamiento de suelo y arena. Coordenadas: 650000E, 127500N.....	29
Foto N° 5: Flujo de detrito en donde se observan los clastos adheridos al suelo. Coordenadas: 649043E, 1274530N.....	30
Foto N° 6: Antiguo Flujo de lava que favorece el transporte. Coordenadas: 649016E, 1274479N.....	30

Índice de gráficos y tablas

Tabla N°1: Comarcas del municipio de Moyogalpa.....	5
Tabla N° 2: Coordenadas del área de estudio.....	6
Tabla N° 3: Valores del ángulo de fricción interna (Harmsen, 2002).....	17
Tabla N° 4: Eventos eruptivos ocurridos en el volcán Concepción.....	18
Tabla N° 5: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHTOT27.....	40
Tabla N° 6: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHTO T 27.....	41
Tabla N° 7: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHTO T 27.....	33
Tabla N° 8: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHTO T 27.....	42
Tabla N° 9: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHTO T27.....	43
Tabla N° 10: Clasificación de tipo de suelo según AASHTO T27.....	27
Gráfica N° 1: Gráfica representación de los años con mayor precipitación.....	9
Gráfica N° 2: Gráfica representación de los meses con mayor precipitación.....	10
Gráfica N° 3: Gráfica del análisis granulométrico de la muestra 1.....	41
Gráfica N° 4: Gráfica del análisis granulométrico de la muestra 2.....	41
Gráfica N° 5: Gráfica del análisis granulométrico de la muestra 3.....	42
Gráfica N° 6: Gráfica del análisis granulométrico de la muestra 4.....	43
Gráfica N° 7: Gráfica del análisis granulométrico de la muestra 5.....	44

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad aportar en la propuesta de escenarios de inestabilidad de ladera al SW del volcán Concepción, teniendo como antecedentes los eventos ocurridos en las comunidades de San José del Sur, Sacramento, San Lazaro y Los Ángeles.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se realizó un análisis de amenaza por lahar donde fue posible identificar en el área terrenos inestables, superficies de rupturas así como cambios en la topografía en la ladera del volcán Concepción. Concluyendo que el sector de San José del sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro presenta 3 niveles de amenaza: alta, media y baja, esto se determinó a través del software TITAN2D con una simulación de la trayectoria de un flujo de lodo antiguo, además se determinó que el material encontrado es arena de tamaño grueso en el origen de la cárcava y fino en zona de acumulación.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

El volcán Concepción forma parte del cinturón volcánico Cuaternario de América Central y está ubicado en la Isla de Ometepe u Ometepepec (Picos Gemelos). Se trata de un volcán basáltico alto en alúmina-dacítico, en el que habitan alrededor un gran número de poblaciones en dirección SW de Moyogalpa hasta la comunidad de San José del Sur, las cuales son vulnerables a cualquier tipo de fenómenos que se pueda dar en el volcán.

Según las investigaciones realizadas en el 2014, en el área de estudio han ocurrido eventos geológicos por desprendimiento de materiales en la ladera, lo cual han causado grandes pérdidas de vida y materiales, hecho que demostró que una de las mayores amenazas son los flujos de lodo o lahares, movilizados por intensas precipitaciones y que arrasan con todo a su paso, causando que el material proveniente de la parte superior del volcán se desplace con facilidad por caminos que fueron formados anteriormente o bien crear nuevos caminos. Según el análisis realizado se obtuvo como resultado que el material que se encuentra en la zona SW del volcán es arena de grano fino suelto de fácil transporte, provocando que el área quede más expuesta a la erosión.

En base a los antecedentes se realizó una evaluación de escenarios ante un flujo de lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro en las cercanías del volcán Concepción para relacionar los eventos anteriores, siendo el tipo que más se observó el de flujos de detritos que comprende un desplazamiento de material suelto. De los estudios de campo en la zona, se obtuvo información de datos y muestras de suelo las que fueron analizadas en el laboratorio de suelo y materiales UNAN-Managua, obteniendo como resultado tablas de cálculos granulométricos, las que fueron representadas por gráficos, además se elaboró un mapa donde se simuló por donde podría generarse un lahar, el cual demuestra los diferentes escenarios reflejando la mayor fuerza de este fenómeno en el momento de producir daño y así poder evitar pérdidas de vidas humanas e infraestructura.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Evaluar la amenaza por inestabilidad de ladera en el área de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro en la Isla de Ometepe, Nicaragua.

1.1.2 Específico

1. Determinar la distribución de los tamaños de los granos por medio de un análisis granulométrico en los diferentes depósitos encontrados en la ladera suroeste del volcán Concepción.
2. Determinar el impacto que ocasiona la inestabilidad de laderas del volcán Concepción en el municipio de Moyogalpa.
3. Realizar una simulación numérica con el software TITAN2D para evaluar probabilísticamente el impacto de posibles nuevos eventos de inestabilidad de laderas en la parte suroeste del volcán Concepción.

1.2 Planteamiento del problema

El volcán Concepción es uno de los volcanes más altos y activos de Nicaragua, se localiza en la cordillera volcánica de América Central, tiene forma cónica, casi simétrica, tipo estratocono, con un diámetro basal de 10 km y una altura de 1,610 m.s.n.m. Además, se encuentra a una distancia de 5 a 10 km de varias poblaciones como San José del Sur y San Lázaro (Vallance et al., 2001). En las cercanías del cráter existen acumulaciones de depósitos de flujos piroclásticos, que están inestables por encontrarse cercanas a fallas, fracturas o en la proximidad de áreas fumarólicas. Estos depósitos en época de lluvia son los que generan los lahares.

El volcán Concepción tiene pendientes empinadas (Figura N°1), siendo la parte más empinada escasa de vegetación a causa de que no hay suelo y la parte más baja con un grado mayor de vegetación. Por otro lado en las pendientes intermedias se encuentran depósitos de tefra con espesores considerables en el sector oeste, siendo fácilmente removidos por las lluvias torrenciales (Vallance et al., 2001).

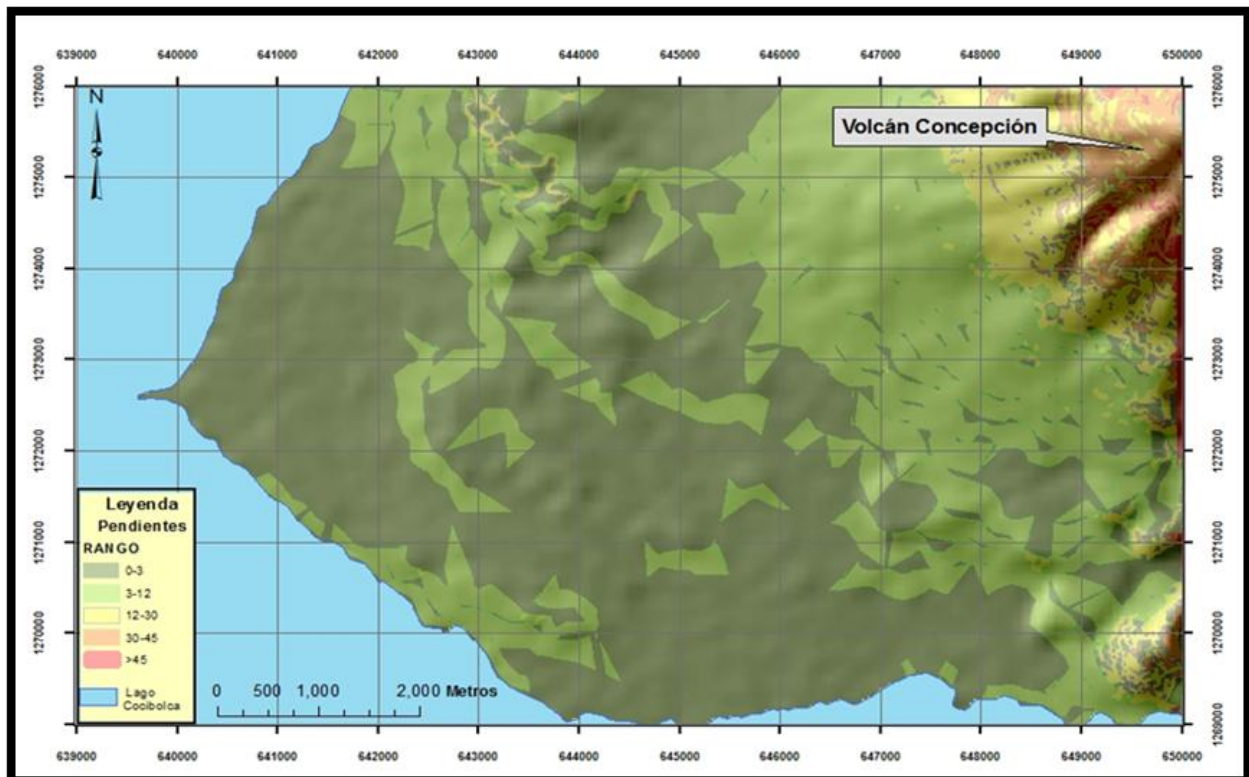


Figura N°1: Mapa de pendiente del suroeste del volcán Concepción.

1.3 Justificación

Se realizó el estudio en base a documentos que tuvimos como antecedentes del área de estudio donde años anteriores se dio la oportunidad de representar un mapa de lahar en base al programa LaharZ realizado por INETER y JICA (Delgado H., Navarro M., 2002); dada la facilidad de ocurrencia anual de este fenómeno (lahar) nos propusimos realizar una simulación actualizada con un programa denominado TITAN 2D el cual pueda hacer una simulación a una distancia considerable del deslizamiento (flujos de detritos o lahares) que va en dependencia a las variaciones del clima de lluvia fuertes o moderadas en zonas que presenta un clima tropical .

Es muy difícil, predecir la ocurrencia de los fenómenos de inestabilidad de laderas como los lahares. Sin embargo, generalmente pueden reconocerse las condiciones de riesgo que favorecen la formación de los mismos. Las lluvias torrenciales, que comúnmente dan inicio a las advertencias de inundación, pueden servir como indicadores de condiciones favorables para el desprendimiento de tierra y lahares, los cuales representan un peligro para las viviendas y pobladores en su trayectoria o cercanía. Estos procesos son susceptibles a ocurrir principalmente en la estación lluviosa, es por ello la importancia de reconocer su condición, el grado de amenaza y riesgo para los pobladores.

En este estudio se pretende realizar una evaluación de inestabilidad de laderas por lahar, en el sector suroeste de dicho volcán, se presentan las condiciones que determinan el desarrollo y formación de lahares que podrían afectar las comunidades de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro dirigiéndose al lado este del volcán mencionado, lo cual se infiere por las grandes cárcavas visibles en las laderas del volcán Concepción.

De esta forma estaremos contribuyendo a la reducción y mitigación a que se genere un desastre como el ocurrido en el 2014, donde hubo pérdidas económicas y vidas humanas ante la ocurrencia de eventos como lahares, afectando las comunidades de Los Ramos, Zinacapa, Sintiope, Urbaite, La Unión y Santa Teresa.

1.4 Generalidades del área

1.4.1 Datos Generales del municipio de Moyogalpa

Referencia geográfica:

El municipio de Moyogalpa se ubica en la isla de Ometepe, al lado oeste del departamento de Rivas, encontrándose a 137 Km del municipio de Managua.

Límites:

Al Norte: con la comunidad de San Marcos (Municipio de Altagracia)

Al Sur: con la comarca San José del Sur (Municipio de Altagracia)

Al Este: con el Municipio de Altagracia.

Al Oeste: con el gran Lago de Nicaragua.

Superficie:

La división territorial es de 7 comunidades (Tabla N° 1) con una extensión territorial de 66 km² y una densidad poblacional de 138 habitantes por km²

Aspectos demográficos

Población Total: 9,098 habitantes

Distribución demográfica:

- Distribución urbana: 3,390
- Distribución rural: 5,708

COMUNIDAD	POBLACION	COMUNIDAD	POBLACION
San José del Sur	990	Los Ángeles	1,117
La Flor, San Pedro	1,742	Moyogalpa	3,390
Esquipulas	1,242	Sacramento	336
San Lázaro	281		

Tabla N°1: Comarcas del municipio de Moyogalpa.

1.4.2 Localización del área de estudio

El área de estudio se localiza en el departamento de Rivas en las hojas topográficas de Moyogalpa 3050-I y San José del Sur 3050-II, a escala 1:50,000 editada por el Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER) en el año 1988 (Figura N°2 y Tabla N° 2), el

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

polígono que representa el área de estudio se encuentra delimitada por los vértices referenciados con las coordenadas UTM siguientes:

COORDENADAS UTM NAD27		
N°	ESTE	NORTE
1	640000	127600
2	650000	127600
3	640000	126900
4	650000	126900

Tabla N° 2: coordenadas del área de estudio

1.4.3 Vías de acceso

El acceso al área de estudio partiendo de la ciudad de Managua es a través de la carretera Panamericana Sur hasta el municipio de San Jorge, departamento de Rivas a 115 km de la ciudad capital y posteriormente se transporta vía acuático mediante ferry, lanchas o pangas hacia el puerto de Moyogalpa o puerto Las Brisas en San José del Sur, esta vía es transitable todo el año.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

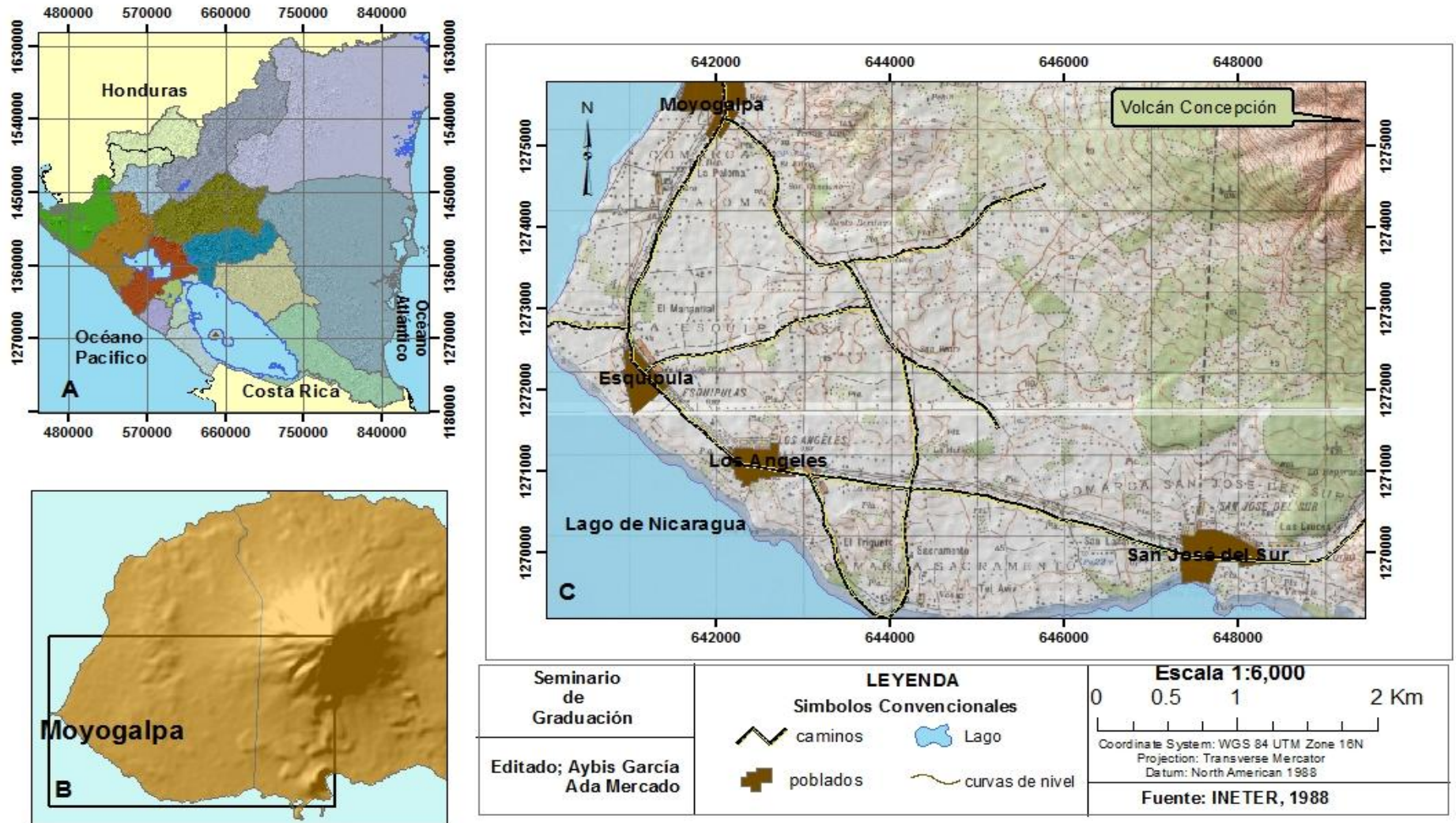


Figura N°2: A. Mapa de Nicaragua, ubicación del área de estudio en la Isla de Ometepe. B. Lago de Nicaragua, en el rectángulo representan sitio de estudio. C. Mapa topográfico reflejando área de estudio lado Sur-oeste volcán concepción.

1.4.4 Clima

Las temperaturas son bastantes estables, en general el día es caluroso y puede alcanzar temperaturas entre los 34° y 36°C. Las noches son bastante cálidas, llegan a bajar a los 24° a 26°C. La amplitud térmica diaria (diferencia de temperaturas entre el día y la noche) es de 9° a 10°C (Marena 2000).

En este trabajo se representa los resultados del análisis de datos de precipitación usando registros de la estación meteorológica ubicada en Moyogalpa, orientado al estudio de inestabilidad de laderas por lahar.

La importancia para el análisis de lluvia que cae en ciertos meses y años es el factor precipitación debido a los procesos de erosión. La lluvia es el factor determinante en la erosión por el golpeteo de las gotas, la erosión por lavado superficial en cárcavas, depende de la generación de escorrentía superficial. Esto significa, por ejemplo, que una precipitación menos erosiva de baja intensidad, pero larga duración, puede saturar el suelo, producir escorrentía por lo tanto provocar mayor tasa de erosión que un evento intenso de larga duración.

La relación entre el factor precipitación y pérdida de suelo varían también según las características de la zona considerada, es decir, de los otros factores implicados en la generación de escorrentía. Este tipo de Información es igualmente necesario debido a que la precipitación índice que afecta de manera indirecta, sobre la degradación de suelo. La cantidad de precipitación determina el crecimiento de las plantas, es decir sobre la cubierta vegetal, que a su vez constituye el factor más importante en los procesos considerados. Entre los factores climáticos que mayor variabilidad registra año a año se encuentra la cantidad de lluvia caída.

El clima en el área de estudio (Isla de Ometepe dirección SW) es tropical. En el veranos tiene una buena cantidad de lluvia, mientras que en el inviernos tiene muy pocos. La temperatura promedio en el área de la Isla de Ometepe es de 26.7 °C. Hay alrededores de Precipitaciones de 15,318.2 mm considerando un total de registro anualmente (2000-2011) (Ver Anexo N° 1).

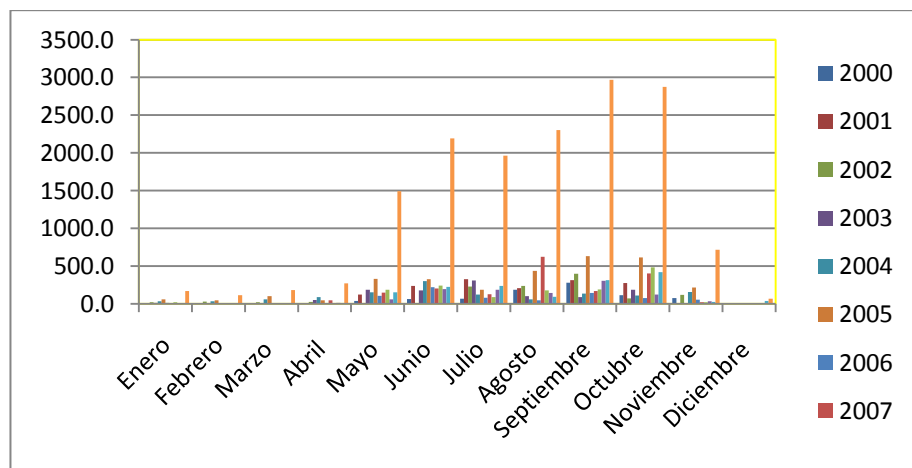
“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

El mes más seco mensualmente es en diciembre con 68.5 mm de lluvia. La mayor parte de la precipitación aquí cae en Septiembre, promedio 2,969.7 mm. Hay una diferencia de 2901.2 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos. A lo largo de los años entre 2000 y 2011. Para cada año, se encontrará datos sobre precipitación (mm).

En el anexo N° 1 se presenta las precipitaciones máximas, mínimas y promedios a nivel mensual y anual donde da como resultado las representaciones en gráficos 1 y 2. La máxima precipitación en la zona del proyecto sería 631.8 mm y la mínima 0 mm.

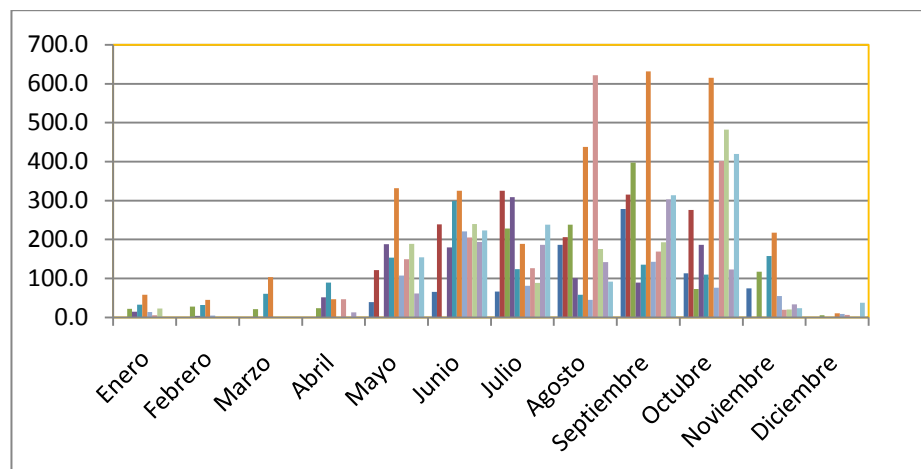
El año más húmedo fue en 2005, el año más seco fue en 2006 en las gráficas 1,2 se aprecia que los meses de Junio a noviembre es época húmeda y los meses de enero a mayo son meses secos.

En resumen podemos decir que los datos obtenidos por parte de INETER (ver Anexo N° 1) nos reflejan que entre el año 2000 y 2011 el año 2005, fue el que presento mayor precipitación en este municipio con una sumatoria que alcanza los 3000 mm anualmente (Gráfica N° 1), además que el mes de Septiembre es el que más precipitación refleja en el municipio de Moyogalpa teniendo un aproximado de más de 600 mm en el mes (Gráfico N° 2)



Gráfica N° 1: Gráfica representación de los años con mayor precipitación.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”



Gráfica Nº 2: Gráfica representación de los meses con mayor precipitación

1.4.5 Vegetación

En la cumbre del cráter está sin vegetación debido a los gases que continuamente emana el volcán, más la humedad hacen que se forme una neblina acida que evita el desarrollo de todo tipo de vegetación en esta zona del volcán.

Por otra parte en el resto de la zona de estudio se han identificado al menos cinco tipos de zonas con vegetación y sin vegetación (formaciones litológicas):

- Bosque sub-tropical transición a húmedo
- Bosque montañoso transición a húmedo
- Bosque tropical transición a húmedo
- Arenas volcánicas
- Coladas de lava

Esta combinación de ecosistemas es uno de los aspectos más sobresalientes de la isla desde el punto de vista ecológico, existiendo en ella 38 especies vegetales distribuidas en estas cinco diferentes formaciones vegetales (MARENA 2000).

1.4.6 Fauna

La fauna dentro del territorio está registrada, ya sea como residente o migratoria. En el caso de las aves, las especies que se encuentran amenazadas o en peligro de extinción y hayan sido incluidas dentro de las vedas nacionales o en las listas rojas de CITES (Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de la fauna y

flora). Se pueden encontrar Cebús Capucinus (mono cara blanca), Alouatta Palliata (mono Congo), Amazona Auropalliata (lora nuca amarilla), Procnias Tricarunculatus (pájaro campana), Boa Constrictor (boa común), Brotogeris Jugularis (chocoyo barbinaranja).

En cuanto a la fauna silvestre, especies como el Odocoileus Virginianus (venado cola blanca), Dasyprocta Punctata (guatuzá), Dasypus Novencinctus (armadillo), culturalmente han sido cazados para suplir las necesidades alimenticias de las familias, así como ingresos económicos al comercializar su carne (MARENA 2000).

1.5 Metodología

La realización metodológica de este trabajo, se dividió en 3 etapas:

1.5.1 Trabajo de gabinete preliminar

En esta etapa inicial de la metodología, se realizaron todos los preparativos necesarios para facilitar la investigación y la obtención de información y así lograr generar los datos necesarios para los análisis posteriores. Para establecer la metodología necesaria que utilizamos se definió como guía el documento recomendaciones técnica para la elaboración de mapa de amenaza por Inestabilidad de laderas (COSUDE, 2005) para poder clasificar la inestabilidad de laderas presentes en la zona, acompañado de este se utilizó el software TITAN2D.

Para realizar esta etapa se recopiló información documentada relativa al área de estudio, mediante archivos, mapas topográficos correspondientes al municipio de Moyogalpa y San José del Sur (hoja 3050 I-3050 II), mapas geológicos e informes anteriores de tectónica, vulcanología, meteorología entre otros.

1.5.2 Obtención de datos mediante trabajo de campo

La fase de campo comprendió visitas en toda el área de estudio enfocándose en los puntos con mayor afectación siendo San José del Sur, San Lázaro y Sacramento. Se tomaron muestras in situ para el análisis granulométrico. Se identificaron las zonas vulnerables por inundación y la localización del material movilizado pendiente a bajo por lluvias fuertes y moderadas que pueden ocurrir del lado SW del volcán Concepción siguiendo el recorrido que dejaron los lahares en eventos anteriores del sitio, obteniendo

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

información del material que fue removido del lahar como restos de árboles, transportación de materiales de la parte superior del volcán en diferentes puntos de dicho lahar.

En el reconocimiento geológico, identificamos las zonas vulnerables por inundación y la localización del material movilizado pendiente abajo por lluvias fuertes y moderadas que puedan ocurrir del lado suroeste del volcán Concepción. La ruta que utilizamos fue por San José del Sur, siguiendo el recorrido que dejaron los lahares en eventos anteriores en el volcán concepción, obteniendo información del material que fue removido del lahar como restos de árboles, transportación de materiales desde la parte superior del volcán en diferentes puntos de dicho lahar.

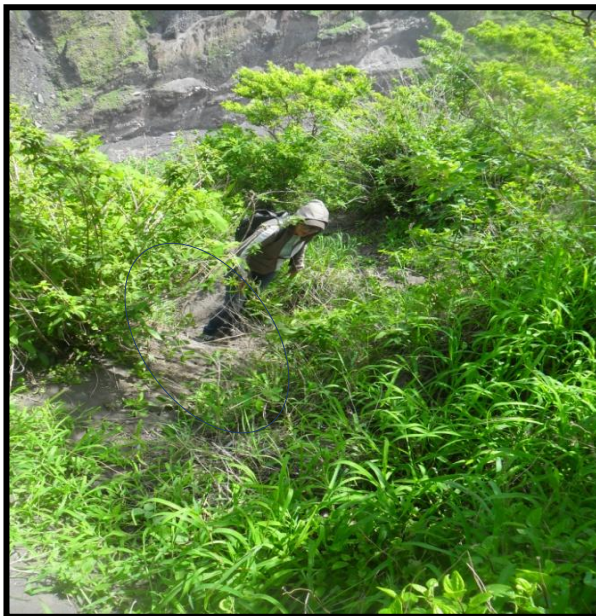


Foto N° 1: Depósitos del lahar reciente donde se observa los diferentes tamaños de clastos, restos de árboles y recolección de muestras. Coordenadas: 646767E, 1272592N

La visita al campo consistió en la recolección de muestras de suelo para el análisis granulométrico por tamizado y datos en los sitios determinados como coordenadas, medidas geométricas de la cárcava y muestras de suelo aproximadamente a 30 cm de profundidad (Foto N° 1, Foto N° 2 y Figura N°3) mediante el equipo necesario: cinta métrica, GPS, bolsas de recolección de muestras, libreta de campo, brújula, piqueta, mecate, etc. Con estos datos mencionados anteriormente obtenidos se realizó las pruebas necesarias con ayuda del laboratorio de geotecnia para conseguir los resultados fundamentales referentes a la granulometría del suelo que se encontraba en cada punto

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

de muestreado donde se encontraron depósitos de antiguo lahar tomándose las muestras en diferentes puntos recorridos del lahar.



**Foto N° 2: Recolección de muestras,
Coordenadas: 6648164E, 1274139**

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

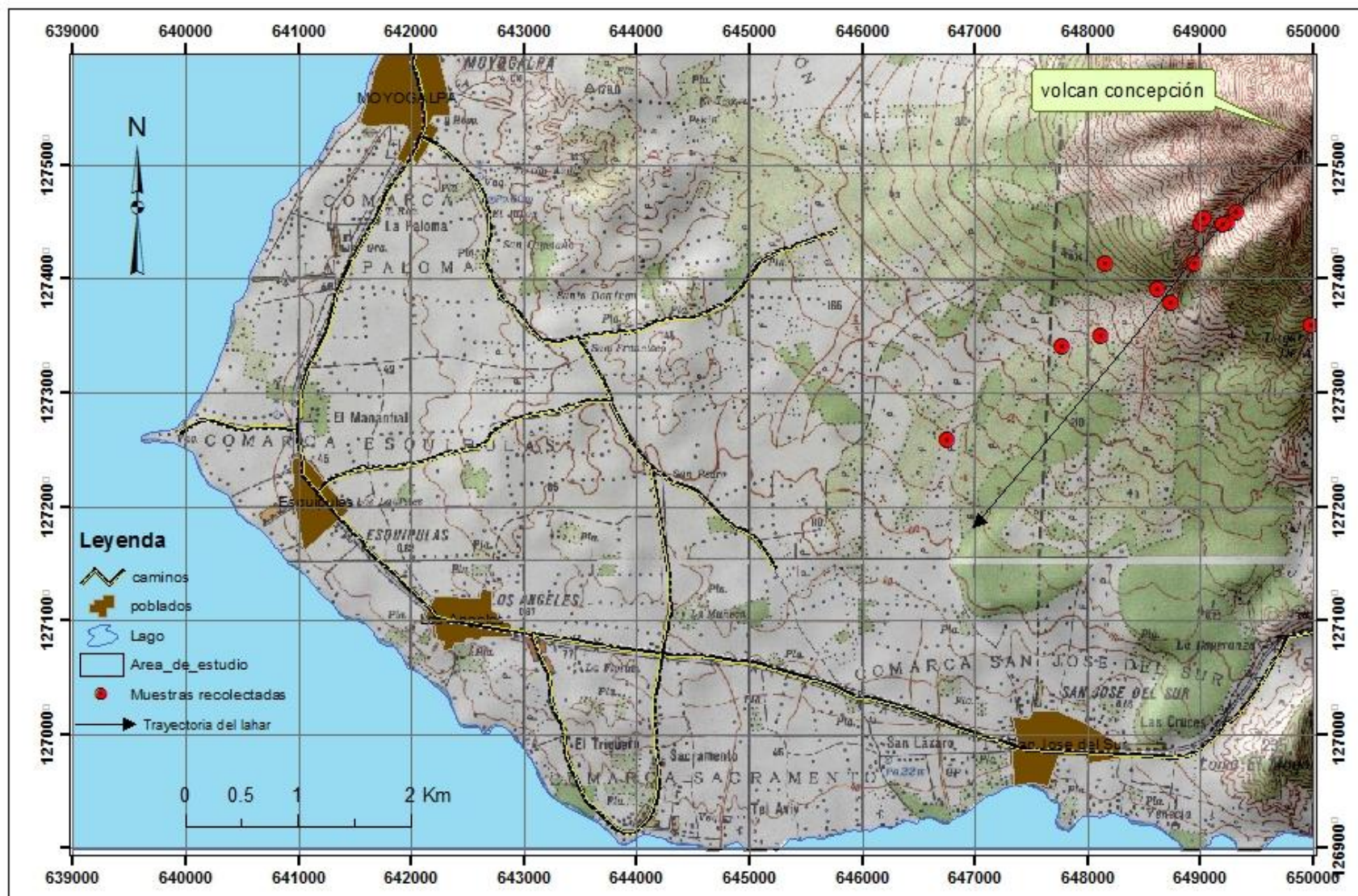


Figura Nº 3: Mapa de puntos de recolección de nuestras

Por otra parte, se consultó a pobladores del lugar sobre anteriores movimientos de rocas y suelos en este territorio, enfocados en la determinación de sitios de amenaza por lahar con vista a prever daños físicos en obras de ingeniería pública y privada en el área para efecto del ordenamiento territorial de esta zona.

1.5.3 Análisis de interpretación de datos

Una vez adquirido los datos: coordenadas, medidas geográficas de la cárcava, muestras de suelos en campo se prosiguió a su procesamiento e interpretación; esto se realizó con el apoyo del laboratorio de mecánica de suelo de la UNAN-Managua en el análisis granulométrico y utilización de software TITAN2D que trabaja en conexión con ArcGIS.

Interpretación granulométrica

Se recolectaron muestras de suelo obtenidas de tres zonas diferentes ubicadas en la parte de origen, trayectoria y en la zona de acumulación de la cárcava, esto para poder determinar la relación que presentan estos tres sitios con respecto al tamaño de sus granos, utilizando el método del tamizado para el análisis granulométrico, donde se determinaron las características de dichos suelos.

Las muestras se vierten sobre los tamices, las partículas finas del suelo caerán y las partículas grandes quedarán retenidas en los primeros tamices; Se utilizan tamices de metal, que retienen las partículas de mayor tamaño y dejan pasar las de menor diámetro, esto debido a que el suelo está formado por una mezcla de rocas de diferentes tamaños y con este proceso se clasifica las muestras a partir de la medida de las partículas.

Cada porcentaje que queda retenido en cada tamiz se pesa uno por uno, luego se lleva al horno y se deja por un tiempo determinada, después de sacar la muestra se vuelve a pesar para tener un peso total retenido en cada muestra.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

a) Tamices.



b) Balanza



c) Horno.



Elaboración de Mapa de Simulación

Para el procesamiento de los datos recolectados en campo se utilizó el software proporcionando los datos para realizar simulaciones de flujo sobre un DEM en una región definida. El archivo DEM contiene los datos de elevación que deben de estar en un formato que pueda ser operado en GRASS GIS, donde estos tienen que tener una precisión de 5 a 30m para la realización de la simulación que depende de gran medida el nivel de resolución y calidad del DEM esto quiere decir que entre más alta sea la resolución de la imagen genera una representación de manera más precisas de los acontecimientos de flujos de un evento geológico. La ejecución del programa se logra bajo el sistema operativo Linux, el cual requiere la incorporación de datos de entrada como son las coordenadas geográfica tomadas del sitio en campo para determina a donde se va a realizar el estudio, el volumen que determina la distancia en que se remueve el material y el ángulo de fricción interna y fricción basal que establecen las

fuerza de resistencia por fricción que se produce dentro del material que se simula, entre el material y la superficie basal.

El ángulo de fricción interno corresponde a la fricción resultante de la interacción entre partícula dentro del material que fluye. Este valor es equivalente a la pendiente natural de la superficie libre que se forma si una pila cilíndrica del material granular se coloca en una superficie plana y se deja al colapso bajo su propio peso, el valor obtenido tiene que estar en un rango determinado (Tabla N° 3),

Tipo de terreno	$\Phi(^{\circ})$
Arcilla suave	0° a 15°
Arcilla media	15° a 30°
Limo seco y suelto	27° a 30°
Limo denso	30° a 35°
Arena suelta y grava	30° a 40°
Arena densa y grava	25° a 35°
Arena suelta, seca y bien graduada	33° a 35°
Arena densa, seca y bien graduada	42° a 46°

Tabla N° 3: Valores del ángulo de fricción interna (Harmsen, 2002)

El ángulo de fricción basal corresponde a la fricción que se desarrolla debido a las interacciones de las partículas del suelo. Este valor es equivalente a la pendiente mínima que se debe obtener sobre una superficie para que un material colocado sobre esta comience a deslizarse desde su posición estática. Obteniendo estos datos se requiere a procesar los datos de manera que terminando se guarda en la carpeta en la que se está trabajando con nombre `imput7_titan2f.py`.

Se establecen atributos vinculados con el área basada por nuestro criterio geológico como la topografía, la precipitación, estructura, eventos volcánicos anteriores, que permite delinear zonas de peligro volcánico, asociados a la posible inundación generadas por flujos laháricos.

Programa Grass

(Acrónimo inglés de Geographi Resources Analysis Support System), GRASS es un software SIG (Sistema de Información Geográfica) de código abierto que puede soportar información tanto raster como vectorial y posee herramientas de procesamiento digital de imágenes. GRASS opera en varias plataformas a través de una interfaz gráfica de cada

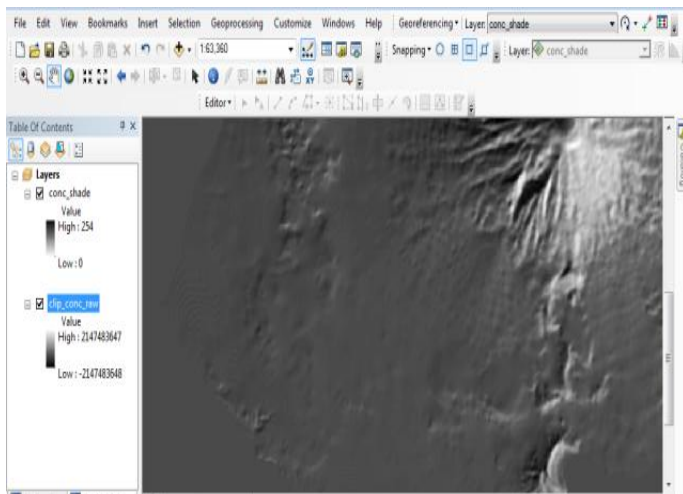
usuario y Shell en X-Windows. GRASS está disponible de forma gratuita bajo licencia de GNU General Public License (GPL).

Pasos para la ejecución de TITAN2D

- 1- Conectarse al servidor Linux mediante un programa que permita la conexión segura, ssh.
- 2- Ingresar a la carpeta de trabajo donde se el archivo de entrada (*input_titan2d.py*) necesario para correr el software TITAN2D.
- 3- Asegurarse que el DEM está en formato *grid* derivado con el programa del GRASS-GIS.
- 4- Modificar los parámetros de entrada del archivo *input_titan2d.py* con los correspondientes al trabajo en cuestión. Para esto, utilizamos un editor de texto como vi, vim, gedit, emacs, etc.
- 5- Ejecutar el archivo de entrada con el TITAN2D con el siguiente comando: *titan input_titan2d.py*.
- 6- Una vez terminado de correr la simulación con TITAN2D convierta el archivo de salida *pileheightrecord_00001* a formato ASCII con el script escrito en PERL *conv2asc.pl* para poder ser leído fácilmente con programas para desplegar datos geo-espaciales como ArcGIS, surfer, etc., y dele un nombre particular, por ejemplo: *titan2d_pile_hgt.asc*.
- 7- Cargue el archivo ASCII en ArcMap para poder sobreponerlo en el DEM del volcán bajo estudio.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

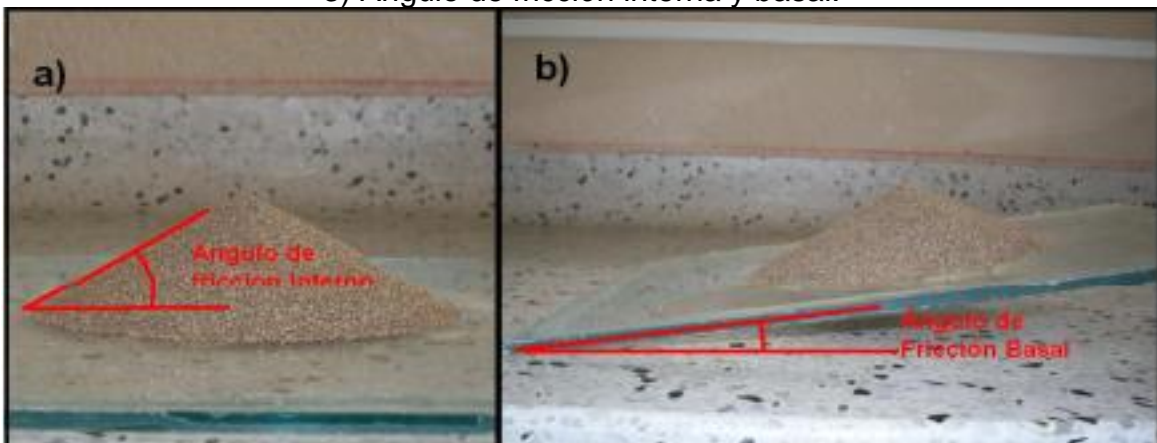
1) DEM concepción



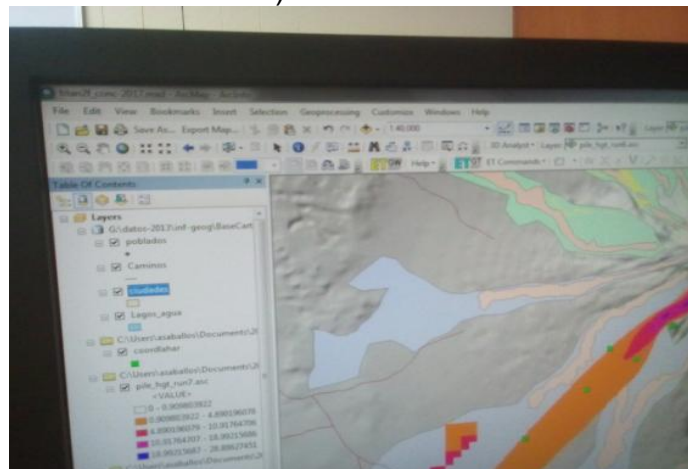
2) Coordenadas UTM



3) Angulo de fricción interna y basal.



4) TITAN 2D



CAPITULO 2. MARCO TECTÓNICO Y GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Arco volcánico central

El Arco Volcánico Centroamericano se extiende a lo largo de la costa del Océano Pacífico, desde el norte de Guatemala, pasando por El Salvador, Honduras, Nicaragua, hasta la región fronteriza de Costa Rica y al sur de Panamá (Figura N°4). Se origina por la subducción de las placas tectónicas convergentes; con una extensión de 1500 km incluyendo cientos de formaciones volcánicas, que van desde estratovolcanes mayores, a domos de lava y conos de ceniza (Femina et al., 2002).

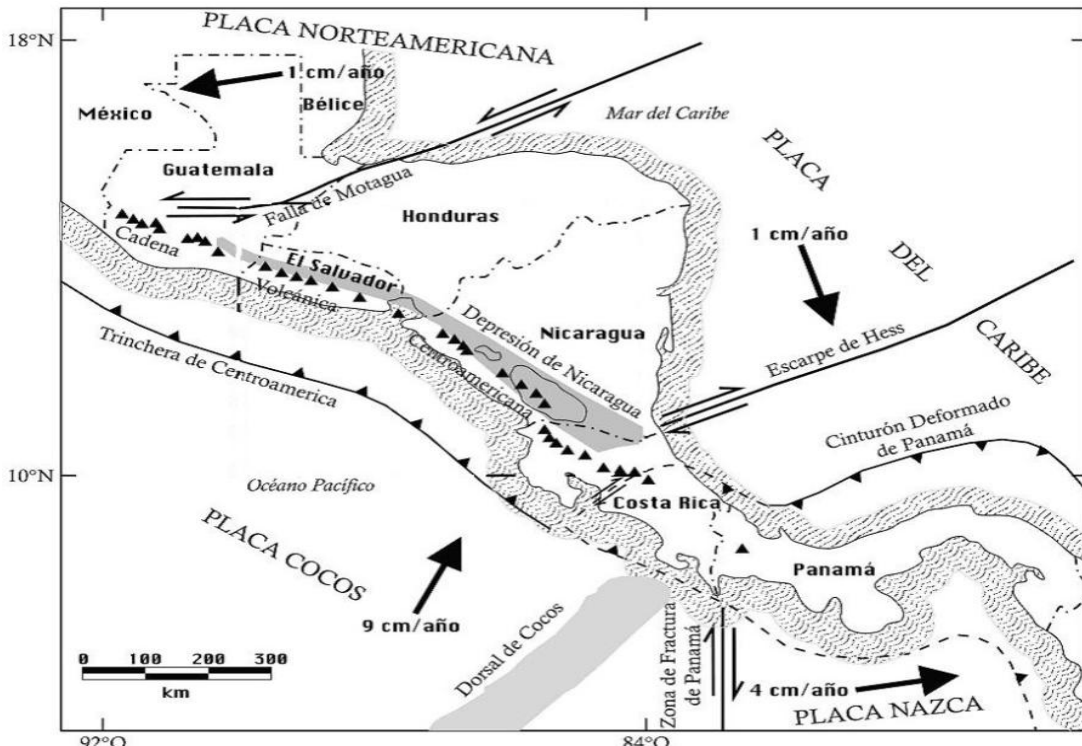


Figura N°4: Marco geológico de América Central, (basado en De Mets (2001), Horlow y White (1985) y Gusman-Speziale (2001)).

2.2 Cadena volcánica de Nicaragua

La cadena volcánica de Nicaragua se extiende desde el Golfo de Fonseca hacia el SE, unos 30 km hasta llegar a la frontera con Costa Rica y está íntimamente asociada con grandes depresiones tectónicas tales como el Golfo de Fonseca y los lagos de Managua y Nicaragua (Hogdson, 2002).

En la actualidad, los volcanes sobre placas tectónicas en colisión, conforman una cadena lineal de gran longitud, constituyendo un área débil, fluida y apropiada para las cámaras magmáticas que tienen origen a partir de fisuras profundas que conectan con la

superficie. El arco volcánico de Nicaragua presenta variaciones en el rumbo de su alineamiento en dos sectores, cuya distorsión se encuentra próxima a la ciudad de Managua (Hogdson, 2002).

Hogdson 2002, expreso que la cadena volcánica de Nicaragua se conforma en su sector NW por la Cordillera de Maribios con cinco grandes conos volcánicos, mientras que en el sector SE, se constituye de seis centros volcánicos (Figura N° 5, tomado de un estudio realizado por el COMUPRED del municipio de Moyogalpa). El volcanismo es efusivo al NW y predominante explosivo al SW. El volumen promedio de magma emitido por las erupciones puede alcanzar hasta los 10 km³ (en los últimos 450,000 años).

Por otro lado, es preciso mencionar que en Nicaragua existen 18 volcanes principales, si bien existen muchos otros que se encuentran extintos o son conos incipientes en proceso de evolución. De ellos 12 han mostrado históricamente alguna actividad (Rodríguez, A. et al., 2000), expresan que paralela a la costa del Pacífico de Nicaragua se localiza esta alineación de estructuras volcánicas de dirección NW–SE, extendiéndose por 300 km desde el Golfo de Fonseca hasta el lago de Nicaragua. Sobre esta línea se pueden contar unas 30 formaciones, entre las que figuran conos en diversos estados de desarrollo, calderas de hundimiento, cráteres, lagunas, conos adventicios, entre otros.

A su vez, Rodríguez 2000, dice que la flexión de la alineación en el área de Managua corresponde posiblemente a un cambio de inclinación o buzamiento de la parte frontal de la placa Cocos, al subducir debajo de la Placa Caribe, afectando no sólo la alineación volcánica sino la forma del litoral del Pacífico.



Figura N° 5: Cadena volcánica de Nicaragua, obtenida de un informe realizado por la alcaldía de Moyogalpa, (COMUPRED 2016).

2.3 Geología de Nicaragua

La geología de Nicaragua comenzó durante la era paleozoica y culminó con la intensa actividad volcánica del Cuaternario. Durante el Paleozoico medio inferior y el Mesozoico, América Central conformaba dos grandes provincias geológicas bien definidas. La Septentrional en el Norte y la Meridional en el Sur, culminando ambas en el Norte y Sur de Nicaragua respectivamente.

Nicaragua está dividida en cinco provincias geológicas y fisiográficas según (McBirney and Williams,1965, Hogdson, 1978): La Cuenca de Sedimentación de la Costa del Pacífico (Provincias Geológicas de la Costa del Pacífico), La Depresión o Graben de Nicaragua, Provincia Volcánica Terciaria (Provincia Geológica del área Central), Plataforma Paleozoica y Mesozoica (Provincia Geológica del Norte), Cuenca de Sedimentación de la Costa Atlántica (Provincia Geológica de los Llanos de la Costa Atlántica) (Figura N° 6). Las cuales se describen a continuación:

- Provincia de la Costa del Pacífico
- Provincia de la Meseta Central o Tierras Altas del Interior
- Provincia de la Tierras Altas del Norte
- Provincia la Planicie Costera del Atlántico
- Provincia de la Depresión de Nicaragua

El área de estudio se localiza en el terreno de la depresión de Nicaragua.

2.3.1 Provincia de la Depresión de Nicaragua

La segmentación del arco volcánico nicaragüense, al igual que la deformación del frente volcánico de Centroamérica, es el resultado de la subducción oblicua entre las placas Cocos y Caribe, propusieron que la subducción oblicua por debajo de Nicaragua, produce una compleja deformación cortical. El fallamiento en la Depresión nicaragüense consiste principalmente de fallas laterales izquierda orientadas NE que definen el fallamiento en dominó, en lugar de fallas laterales derecha orientadas NW (La Fémina et al., 2002). Este patrón de fallas podría ser una expresión inmadura de un régimen tectónico lateral derecho donde se desarrollan fallas de tipo R´ (Freund, 1974; Girard et al., 2005). El fallamiento en dominó origina a una rotación de bloques en el sentido horario a lo largo de la Cadena Volcánica nicaragüense y el resultado de esta configuración estructural, ha favorecido la segmentación de la cadena volcánica, la cual dio origen al Graben de Managua (Fémina et al., 2002).

Esta provincia separa a la provincia geológica de la costa del Pacífico de la provincia Central. Es de edad Cuaternaria y morfológicamente comprende las tierras bajas de Nicaragua, tiene un ancho de 40 a 70 km y una orientación NW-SE, y se extiende de Norte a Sur desde El Salvador hasta Costa Rica a lo largo de 1,000 km, paralela la Fosa Meso-Americana (Case and Holcombe, 1980; Mann et al., 1990).

Está ocupada por dos lagos: el Xolotlán o lago de Managua y el lago Cocibolca o de Nicaragua, siendo estos pocos profundos pero extensos y ambos cubren un área estimada de 9000 km² (McBirney and Williams, 1965, Funk et al., 2009).

La depresión de Nicaragua es una cuenca intra-arco en lugar de una cuenca tras-arco, porque la mayor parte de estrato-volcanes del frente volcánico están dentro de esta elongada depresión (Taylor, 1995, Funk et al., 2009).

La depresión nicaragüense ha sido fuente controversia ya que se han propuestos diferentes modelos estructurales para determinar el tipo de estructura y ha sido interpretada como un semigraben asimétrico por McBirney y Williams (1965); Carr (1976); Weinberg (1992), o una estructura de graben simétrico paralelo a la Costa con fallas de tipo lateral (Cruden, 1989).

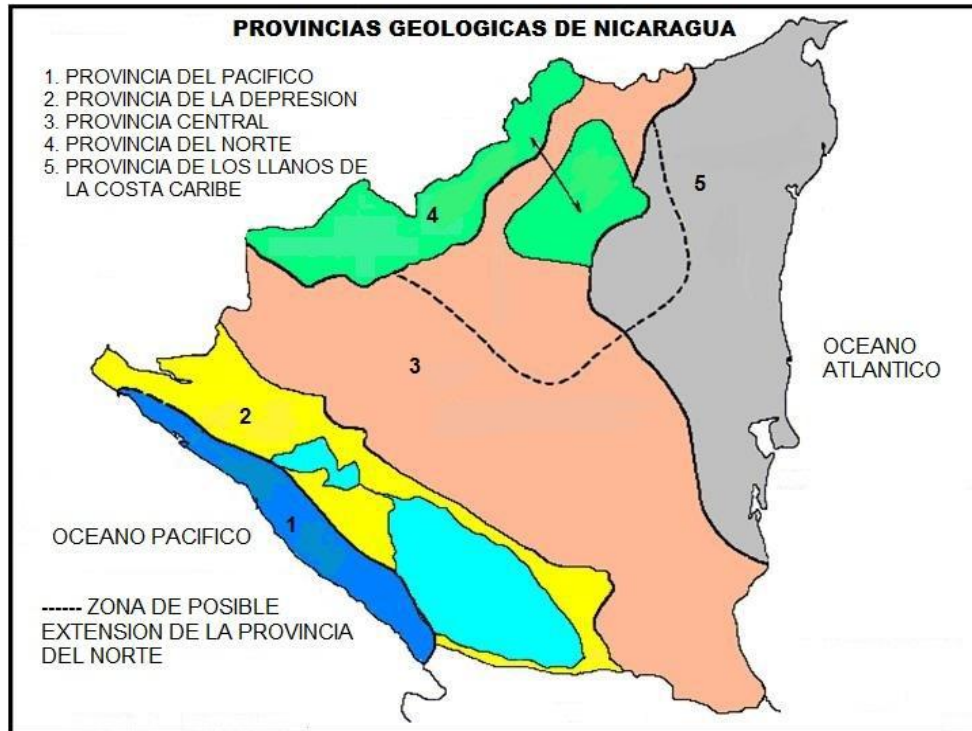


Figura N° 6: Provincias Geológicas de Nicaragua (Hogdson, 1998)

2.4 Volcán Concepción

2.4.1 Generalidades

El volcán Concepción forma parte del Cinturón Volcánico Cuaternario de Centro América y está ubicado en la Isla de Ometepe u Ometepepec (Picos Gemelos). Se trata de un volcán basáltico alto en alúmina-dacítico que ha tenido varias erupciones entre 1883 y 1986 (Simkin y Siebert, 1995)

La actividad más reciente está registrada en los sedimentos del lago como depósitos de oleadas piroclásticas húmedas y capas de ceniza de composición basáltica y andesítica (Borgia y WyK van de Vries, 2001). La actividad prehistórica subsiguiente está caracterizada por depósitos de erupciones plinianas dacíticas, subplinianas y estrombolianas y por flujos y domos de lava. Se han formado varias estructuras satelitales menores como mares, conos piroclásticos y flujos de lava asociados, todos ellos concentrados cerca de la base del volcán, particularmente a lo largo de patrones estructurales norte-sur (Femina, 2000)

El volcán Concepción está localizado a 40 km al SW de la Sierra Volcánica Terciaria, dentro de la Depresión de Nicaragua (McBirney y Williams, 1965). Al SW de la

depresión, se encuentra el Anticlinal Plioceno de Rivas, localizado a 20 km al suroeste de Volcán Concepción (Weinberg, 1992)

2.4.2 Historia eruptiva

El Volcán Concepción es uno de los volcanes más altos de Nicaragua, también figura entre los más activos. Su cono simétrico forma la parte NW de la isla de Ometepe en el lago de Nicaragua. El volcán Concepción está conectado por medio de un istmo estrecho con el vecino volcán Maderas. En el siglo pasado, hizo erupciones explosivas moderadas frecuentes, la mayoría de las cuales se originaron en el pequeño cráter de la cima del volcán (Borgia y Van Wyk de Vries, 2001), (Tabla N° 3).

Hasta 1977 la actividad histórica se había caracterizado por erupciones de magnitud variable de basaltos a andesitas silícicas aproximadamente cada 10 años y de flujos de lava de andesita silícica más o menos cada 20 años (Borgia y Van Wyk de Vries, 2001). Esta actividad es la responsable de la construcción de la mayoría del cono observable en la actualidad.

La última erupción ocurrió en 1986 pero en diciembre de 1992 y marzo de 1993, visitas al cráter confirmaron la presencia continua de actividad fumarólica encontrándose azufre de color amarillo-gris en las paredes Sur y Oeste del cráter, además no se observó incandescencia en el cráter, lo que sugiere que no existen fumarolas de alta temperatura

En diciembre de 1992 se analizaron muestras de SO₂(Warren Spring Laboratory, UK) con tubos de difusión ubicados en el jardín de una casa en Esquipulas, 8 km al Este del volcán, señalaron un promedio de la concentración de SO₂ de 60 g/m³. Eso indica que emisiones de gas proveniente del cráter fueron suficientes para causar una leve afectación de áreas pobladas. En Julio de 1997 se observaron cuatro pequeñas fumarolas a 50 m al Norte del borde del cráter. La actividad fumarólicas continúa hasta el presente.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

Fecha	Evento	Tipo	Materiales	Dirección (°)	Alcance (km)	Observaciones
02/01/1883	Explosión	estromboliana	cenizas y bloques	250	18	Las cenizas se depositaron en Moyogalpa
11/10/1885	Explosión	estromboliana	cenizas y bloques	250	4	Las cenizas se depositaron en Moyogalpa
01/21/1886		Estromboliana	cenizas y bloques	250	4	Las cenizas se depositaron en Moyogalpa
08/07/1908	Explosión	Estromboliana	Cenizas	250	4	Las cenizas se depositaron en Moyogalpa, se sintieron temblores
12/12/1921	Explosión	Estromboliana	cenizas y bloques	250	7	Las cenizas se depositaron en toda las isla, se sintieron temblores
07/07/1923	Explosión		Cenizas	250	7	Las cenizas se depositaron en Moyogalpa
15/04/1925	Explosión	Estromboliana	Cenizas	250	7	La columna de cenizas se observó desde chontales
26/01/1928	Explosión	Estromboliana	cenizas y bloques	250	25	Las cenizas se depositaron en Belén y Rivas, se sintieron temblores.
20/12/1944	Explosión	Estromboliana	Cenizas	270	4	Las cenizas se depositaron hacia Los Ángeles.
11/01/1945	Explosión	Estromboliana	Cenizas	180	5	Cenizas, bombas y bloques se depositaron en la cima del volcán.
29/08/1951	Explosión		Cenizas	250	3	Pequeñas explosiones de cenizas, se sintieron temblores.
18/12/1952	Explosión		Cenizas	250	2	Pequeñas explosiones de cenizas que se reducen al cráter.
25/04/1955	Explosión	Estromboliana	Cenizas y bloques	210	25	Las cenizas alcanzaron Rivas y Belén.
20/03/1957	Explosión	sub-pliniana	cenizas y bloques	270	30	Las cenizas cubrieron el territorio de Rivas y alrededores, se sintieron temblores.
30/11/1961	desgasificación		Cenizas y gases	270	2	Se observaron plumas densas de gases y pequeñas explosiones de ceniza.
12/02/1974	Explosión		Cenizas y gases	270	3	Las explosiones de ceniza fueron muy pequeñas y esporádicas.
20/04/1977	Explosión		Cenizas	270	3	Abundante salida de gases, se sintieron temblores.
15/03/1978	Explosión		cenizas y desgasificación	270	4	Pequeñas explosiones de ceniza.
07/03/1982	Explosión		cenizas y desgasificación	270	4	Poca salida de ceniza.
10/11/1982	desgasificación		Desgasificación	270		
08/04/1983	Explosión		Cenizas	250	5	Se sintieron temblores.

Tabla N° 4: Eventos eruptivos ocurridos en el volcán Concepción.

2.4.3 Geología

El volcán Concepción es parte del cinturón volcánico Cuaternario de América, que se encuentra a unos 40 km al SW de la cordillera volcánica Terciaria, siguiendo el eje de la Depresión de Nicaragua (McBirney y Williams, 1965). La frontera SW de la depresión, situada a 20 km al SW del Volcán Concepción (Weinberg, 1992), está formada por rocas sedimentarias del Plioceno Anticlinal Rivas (Figura N° 7).

La unidad más profunda conocida en la región es el de Complejo de Nicoya, una doble ofiolita de edad Jurásico-Cretácico (Bóer, 1979). El Complejo de Nicoya está cubierto por flysch de las formaciones Rivas, Brito y Masachapa, de edades del Cretácico al Mioceno, que se depositan en Nicaragua.

En el Plioceno relacionado con la falla de empuje Rivas anticlinal creció dentro de las formaciones flysch, formando una cuenca de lengüeta (la Depresión de Nicaragua) entre este anticlinal y el rango volcánico Terciaria (Van Wyk de Vries, 1993). Desde el Plioceno en adelante, la erosión del crecimiento anticlinal proporcionado arena, limo y arcilla para la Depresión de Nicaragua. Por último, durante el Cuaternario tardío y el Holoceno, el eje de la actividad volcánica saltó hacia el SW de la gama volcánica Terciaria, edificios volcánicos de Zapatera, Concepción y Maderas en el lago de Nicaragua (Van Wyk de Vries, 1993).

Los materiales geológicos encontrados en el terreno son bloques de basalto de tonalidad variada, compacta con forma angulosa y diámetro no mayor a los 3 metros. Los suelos son de textura arenosa erosionable, sueltos y con tamaño de grano desde fino hasta grueso y coloración variable, la lava es de composición andesítica de coloración variable, compacta. Estos materiales se encuentran desde leve hasta fuertemente fracturados, meteorizados y alterados.

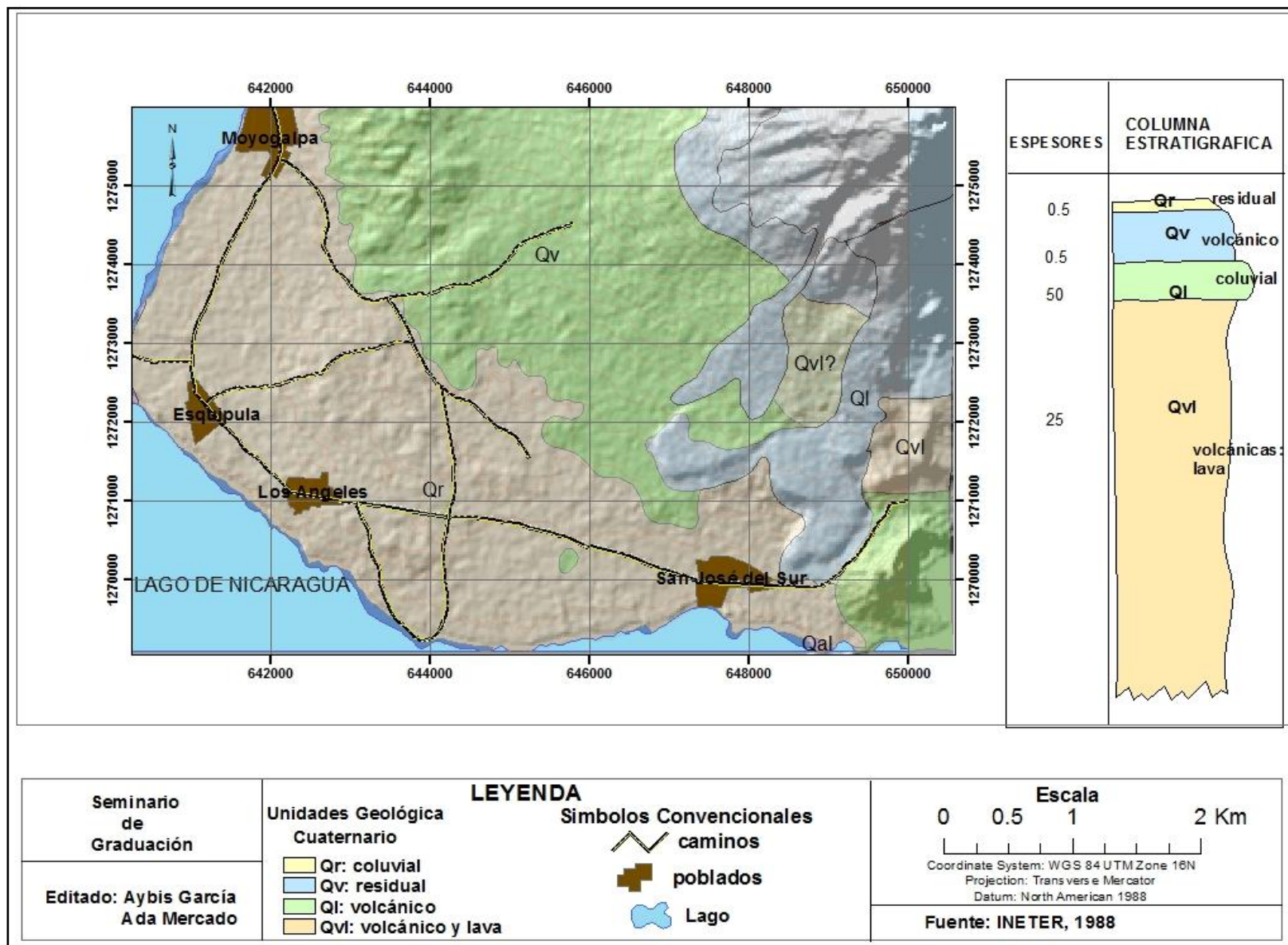


Figura N° 7: Mapa Geológico del área de estudio.

2.4.4 Estratigrafía

Borgia y Wyk Van de Vries (2001) reconocen cuatro unidades estratigráficas: sedimentos lacustres, tefras, lavas y depósitos laháricos

Las unidades estratigráficas inferiores expuestas en Concepción, son los sedimentos lacustres Pleistoceno-Holoceno del Lago de Nicaragua, 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 sub aérea suprayacente.

La secuencia de tefra 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.

La estratigrafía de las lavas comprende 6 grupos: Las Pilas, Sintiope, El Mogote, Lago, Piedra del Agua y Cráter.

La mayoría de los depósitos de lahar expuestos fueron emplazados durante los últimos 100 años (Figura 12). Los eventos laháricos más destructivos fueron registrados primero en 1957 (Ferrey y Williams, 1971), 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. Cabe señalar que Borgia y van Wyk de Vries, (2001) no reportan ningún depósito de avalancha que indique la ocurrencia previa de un colapso estructural del volcán.

2.4.5 Estructural

Como en otros volcanes, existe una relación íntima entre la morfología y la estructura. Existen estructuras compresivas en la base del volcán y un sistema de fisuras en la cumbre que sugieren un deslizamiento en proceso.

El cráter posee fracturas estrechas y profundas que cortan al cráter por su lado norte y sur. Se presume que estas fracturas podrían continuar hacia los centros eruptivos de El Mogote y Papaturro, indicando un control estructural en su localización. Las fracturas sur tienen azimut de 30° y se extienden a lo largo de la garganta suroeste, particularmente profundo (400 m). Las fracturas norte tienen azimut NE y aproximadamente 50 m debajo de la cumbre son el sitio donde se concentran fumarolas de baja temperatura, más activas en episodios eruptivos (GVN, 1986). Existen pocas fallas tangenciales en el sureste con bloque caído hacia la cima, no se observa fallamiento en las paredes del cráter (GVN, 1993). Las estructuras se vuelven más comunes debajo de los 300 m.

CAPITULO 3. ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR INESTABILIDAD DE LADERA

Entre las principales amenazas geológicas se encuentran la inestabilidad de laderas. La inestabilidad de laderas se define como el movimiento de masas de roca, detritos o tierra a favor de la pendiente, bajo la influencia directa de la gravedad (Cruden, 1991).

El material desplazado puede movilizarse de forma lenta (milímetros por año), rápida y extremadamente rápida (metros por día y por horas), según la topografía, el volumen de la masa de suelo o roca, el mecanismo de rotura y la acción del agua, entre otros factores. Pueden activarse o acelerarse a causa de terremotos, erupciones volcánicas, precipitaciones intensas, aumento de nivel de aguas subterráneas, por erosión, socavamiento de los ríos y por actividad humana.

3.1 Clasificación de la inestabilidad de ladera

Las inestabilidades de laderas son fenómenos que no necesariamente ocurren de manera individual, sino que generalmente evolucionan hacia mecanismos complejos que combinan diversas tipologías, siendo por ello muy difíciles de clasificar. Sin embargo, algunos autores como David Varnes (1978), J.N. Hutchinson, (1968), Skempton y Hutchinson, (1969) y otros, han propuesto clasificaciones para las inestabilidades de laderas de ocurrencia más frecuente.

Entre las clasificaciones existentes están por el contenido de agua, la velocidad del movimiento, la profundidad de la superficie de ruptura, el tipo de ruptura, estado de la actividad y el tipo de movimiento. A continuación se muestra una propuesta de varios tipos de clasificación:

3.1.1 Por el grado de actividad

Inactivo: No presenta movimientos actualmente.

Poco activo: Presenta poco movimiento

Activo: Presenta movimientos actualmente, con movimientos primarios y reactivaciones

3.1.2 Por la velocidad de propagación de materiales

Extremadamente rápido: $>5 \text{ m / s}$

Rápido: $> 1.5 \text{ m / día a } 5 \text{ m / s}$

Moderado: $1.5 \text{ m/mes a } 1.5 \text{ m / día}$ Lento: $1.5 \text{ m/año a } 1.5 \text{ m/mes}$

Muy lento: $<1.5 \text{ m/ año}$

3.1.3 Por la profundidad de la superficie de rotura

Superficial: entre 0 y 2 m

Semi-profundo: entre 2 y 10 m

Profundo: mayor de 10 m

3.1.4 Por el mecanismo de movilización

Derrumbes

Caídas de bloques

Basculamiento o volcamiento

Reptación

Deslizamientos

Flujos o coladas de detritos o tierra

3.1.5 Clasificación de la inestabilidad de laderas según Varnes.

1. Derrumbes y caídas de bloques
2. Avalanchas de rocas / de detritos
3. Volcamiento o Basculamiento
4. Reptación de suelos
5. Deslizamientos
6. Coladas de flujos
7. Deslizamientos compuestos

3.2 Amenaza

Es la probabilidad de ocurrencia de un evento (sismos, deslizamientos, inundaciones, huracanes, tsunamis, erupciones volcánicas, etc.) potencialmente dañino, caracterizado por una cierta intensidad, dentro de un periodo dado y en un área determinada (COSUDE, 2003).

Dentro de las amenazas que pueden ser generados por un volcán existen:

- La caída de cenizas, siendo este el material más fino y más fácilmente transportable puede afectar de diversas maneras a una gran extensión de población, se depositan en las cárcavas o puntos de erosión de las laderas favoreciendo su arrastre o transporte.

- Avalanchas y remociones volcánicas, que principalmente se producen por el colapso repentino o gradual de alguna parte de la estructura del volcán, alcanzando grandes velocidades y pudiendo sepultar grandes superficies de terreno.
- Flujos piroclásticos, corrientes de gases, cenizas rocas y escombros a grandes temperaturas (100°-600° C), que fluyen desde la pared del volcán pendiente abajo a grandes velocidades (10-200 m/s), y se producen por el colapso de la estructura eruptiva.
- Lluvias ácidas, se producen cuando el dióxido de azufre que se libera desde el volcán se mezcla con la humedad del aire, formando ácido sulfúrico que posteriormente puede precipitar afectando estructuras humanas, seres vivos y el suelo.
- Sismos, que se producen al comienzo y durante la actividad volcánica, en general, menores en magnitud a los producidos por las fallas tectónicas.
- Ondas expansivas, resultado de las explosiones volcánicas, que empujan el aire y generan una onda de choque que a veces puede ser bastante fuerte causando daños en infraestructura y personas.
- Explosiones laterales, en vez de que la energía sea liberada de forma vertical a través del cráter es expulsada por algunos planos de debilidad localizados en de flancos del volcán, pueden generar los mismos efectos que una explosión normal

3.3 Lahar

El termino lahar es una palabra del idioma de Java (Indonesia) que se utilizó para describir a una brecha volcánica transportada por el agua. Los lahares (Pierson and Scott, 1999) son divididos en base a la relación sedimento/agua en: flujos de escombros y flujos hiperconcentrados, (Pierson, Smith & Lowe, 1991) y transformaciones que llevan a la formación de flujos normales de corriente. En la actualidad hay una tendencia de usar flujos de escombros y lahar como sinónimos, para enmarcar todo el espectro de este tipo de flujos, en donde la fase hiperconcentrada es simplemente la respuesta a la dilución del lahar por incorporación de agua (Iverson and Vallance, 2001, Murcia, 2008)

Un lahar es un flujo de lodo compuesto por agua y material volcánico que se origina en las laderas de los volcanes o en sitios con fuertes pendientes. Estos flujos de lodo, roca y agua que pueden bajar torrencialmente por los valles, barrancas, quebradas y corrientes de agua pueden recorrer más de 80 kilómetros a velocidades de 32 a 65

kilómetros por hora. Algunos lahares contienen una cantidad tan elevada de detritus (del 60 al 90% en peso), que parecen ríos rápidos de concreto húmedo. Lejos de su fuente, estos flujos pueden inundar con lodo todo a su paso (Macias, Capra, 2005).

Históricamente los lahares han sido uno de los peligros volcánicos más mortíferos y pueden ocurrir durante una erupción o incluso cuando el volcán está tranquilo. El agua que crea los lahares puede provenir de la nieve o del hielo que se está derritiendo (en especial agua de un glaciar derretido por un flujo piroclásticos o por una oleada piroclásticas), o de lluvias intensas o del rompimiento de un lago situado en un cráter elevado (USGS, 1998)

Debido a su contenido elevado de material fino (limo y arena), los lahares son muy viscosos y densos, por lo cual se asemejan a coladas de concreto que les permite transportar grandes bloques de roca, arboles, casas, automóviles, etc., por varios kilómetros. Los lahares tienden a canalizarse por las barrancas y pueden moverse incluso en áreas de poca pendiente, por lo que pueden llegar mucho más lejos que otros peligros volcánicos. Por lo tanto, las zonas que pueden ser fácilmente afectadas por los lahares son aquellos de bajo relieve topográfico (Vallance, 2001).

3.3.1 Tipos de Lahares

Dentro de las distintas clasificaciones que se pueden otorgar a los lahares, destaca la geológica, que consiste básicamente en diferenciar los flujos laháricos en tres tipos: flujo acuoso, flujos de detritos y flujos hiperconcentrados, los que pueden identificarse gracias a la observación en el terreno y a la viscosidad del flujo (Pierson y Scott, 1985). Los cuales podemos diferenciarlos de la siguiente manera:

- **Flujo Acuoso:** estos son las condiciones normales de un río, cauce o afluente. En este caso la cantidad de materiales sólidos que comprenden el volumen total del flujo no supera el 20% de este y un 40% de la masa total. Los mecanismos de transporte de los sólidos se producen por suspensión en el flujo y por la carga del fondo.
- **Flujo de Detritos:** corresponden a una mezcla saturada de detritos y agua, con sedimentos mal seleccionados, con un rango que varía desde partículas de arcillas hasta bloques. Presentan características de flujos no newtonianos (no tiene una viscosidad

constante). Usualmente corresponden a flujos laminares, con velocidades similares a las de los flujos acuosos (Pierson et al., 1996). Las partículas tienen grandes dificultades para segregarse por tamaño o transportarse en suspensión, debido a que la mezcla de agua y sedimentos se mueven como una masa por la elevada concentración de sedimentos. Los sólidos corresponden a un 66 % del volumen total del fluido y entre un 50 a 75 % de su masa, dependiendo de la distribución del tamaño de los granos. La densidad se encuentra entre los rangos de 1,8 a 2,3 g/cm³ (Pierson et al., 1996). El depósito de estos flujos debería presentar una estructura sin estratificaciones, con una mala selección de los materiales, una alta consolidación y una gradación inversa.

- Flujo Hiperconcentrado: su densidad es menor a un flujo de detritos, poseen sedimentos en suspensión en el agua, con una baja concentración de sedimentos gruesos. Aunque son más viscosos y densos que un flujo acuoso, la turbulencia es apaciguada por la alta viscosidad de los flujos (Pierson y Scott, 1985). La concentración de los sólidos varía entre un 20 a 66 % del volumen total, dependiendo de la distribución del tamaño del grano. La mezcla hiperconcentrada de sedimentos y agua posee una baja resistencia elástica, en donde las grabas no son transportadas en suspensión. Sus depósitos poseen una textura gruesa de arenas a grava fina de mala selección, con estratificación horizontal, ausencia de estratificación cruzada y con algunos lentes de gravas o clastos. Estas características indican una depositación rápidamente accesional desde la suspensión (Pierson y Scott, 1985).

3.4 Evaluación de amenaza volcánica

Las amenazas principal del volcán Concepción, consiste en caída de coladas o flujos (flujo de lodo o detrito), flujo de lava y deslizamientos superficiales y complejo. Los flujos de lodo ocurrirían en la parte Sur afectando las comunidades de San Juan del Sur, Los Ángeles, Sintiope y Esquipulas. La mayor amenaza la tiene la comunidad de San José del Sur, ya que por mucho tiempo los detritos se han depositado en la base del volcán, sumado a esto, las cárcavas que se han profundizándola cual esta comenzó a desprender material en los últimos 100 años según los primeros estudios (Borgia y van Wyk de Vries, 2000), definiendo claramente un canal que se depositó sobre flujos de lava, sirviendo como vía de transporte de material hacia la base.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

En la cima del volcán se han comenzado a forma pequeñas escarpes de deslizamientos (Foto N° 3 y N° 4) que se originaron por viento, efecto de gravedad o por movimientos sísmicos leves registradas por la estación sísmica que se localiza en la comunidad La Esperanza cercana a San José del Sur. Esta área es la más vulnerable del volcán por su geomorfología, aumentando así el peligro para la población.

Por otra parte en la trayectoria de la cárcava identificamos depósitos de detritos de diferentes tamaños que van desde los 60 cm (Foto N° 5). Al mismo tiempo la cárcava producida por el lahar sirve de camino a los pobladores para trasladarse ya sea a los campos de cultivos o para facilitar la cacería (Foto N° 6).



Foto N° 3: Desprendimiento de material suelto de la cárcava. Coordenadas: 649043E, 1274533N



Foto N° 4: Pendiente donde se desplaza el suelo y arena. Coordenadas: 65000E, 127500N



Foto N° 5: Flujo de detritos en donde se observan clastos sueltos y adheridos al suelo. Coordenadas: 649043E, 12745330N.



Foto N° 6: Antiguo flujo de lava compacto que favorece el transporte. Coordenadas: 649016E, 1274478N

3.5 Susceptibilidad

Dado el termino susceptibilidad debe interpretarse como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, que en este trabajo se aplicará a los movimientos de laderas por inundaciones esporádicas. Por ello, el mapas de susceptibilidad realizado el cual representa en base a la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los fenómenos. Cuanto mayor sea el nivel de susceptibilidad mayor es la probabilidad de que se produzca el evento.

Con este criterio, para que exista un riesgo en una zona deben de cumplirse dos circunstancias. Que sea susceptible a un fenómeno (probabilidad de ocurrencia) y que el lugar sea vulnerable (sensible) al fenómeno. Por ello, las zonas que tienen riesgo alto son aquellas que en el caso de producirse un evento probable sufrirán importantes daños.

El sector de la comunidad de San José de Sur, Sacramento está presentes diferentes fenómenos geológicos y climatológicos, ya que conocida la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, se pueden adoptar medidas, principalmente de ordenación del territorio, para minimizar los riesgos sobre la sociedad.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

Los movimientos de ladera se pueden clasificar en función del mecanismo de rotura y de la propagación del movimiento empleando criterios morfológicos. Estos movimientos de ladera dependerán del tipo de movimiento y de la naturaleza de los materiales inestables, es decir, en la clasificación suelo-roca de estos. Por tanto, otro factor a tener en cuenta a la hora de la realización de los mapas de susceptibilidad de riesgo por movimientos de ladera se utilizara el de la pendiente del terreno, tipo de material, climatología Sismicidad, Vegetación, etc. Otro Factor es el humano: el cual consiste en siembras y ganadería. Estos factores nos han permitido, por tanto, realizar una zonación del terreno pudiendo establecer áreas con alta susceptibilidad de experimentar deslizamientos.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

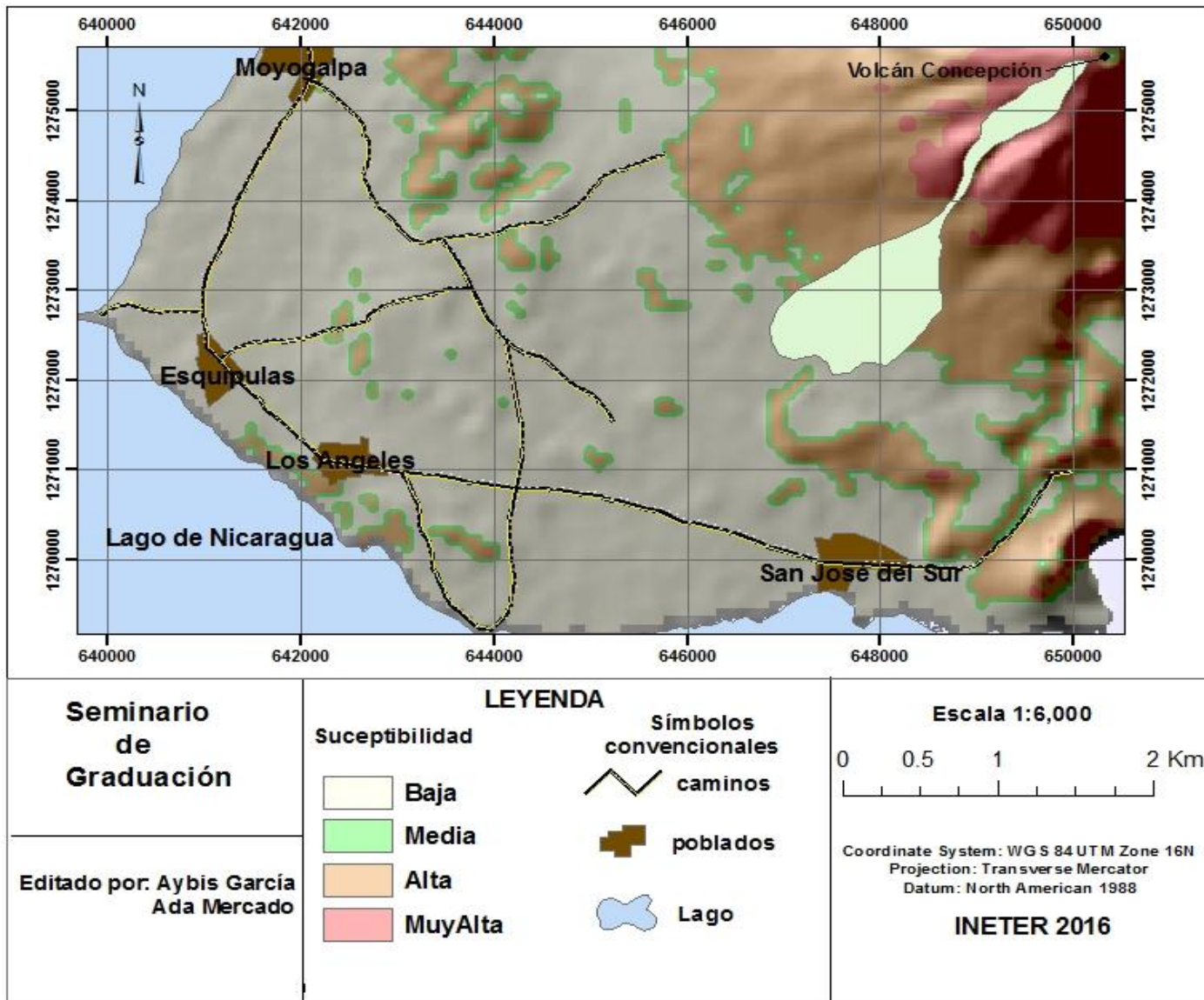


Figura N° 8: Mapa de susceptibilidad (INETER, 2016)

CAPITULO 4. FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE MÉTODOS POTENCIALES

4.1 Método del tamizado para granulometría

El análisis Granulométrico es la determinación de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestras de suelo y aunque no es de utilidad por sí solo, se emplea junto con otras propiedades del suelo para clasificarlo, a la vez que nos auxilia para la realización de otros ensayos. En los suelos granulares nos da una idea de su permeabilidad y en general de su comportamiento ingenieril, no así en suelos cohesivos donde este comportamiento depende más de la historia geología del suelo (Tomado de Normas ASTM y Guía de Laboratorio Construcción I, UCA, marzo de 1996).

Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría).

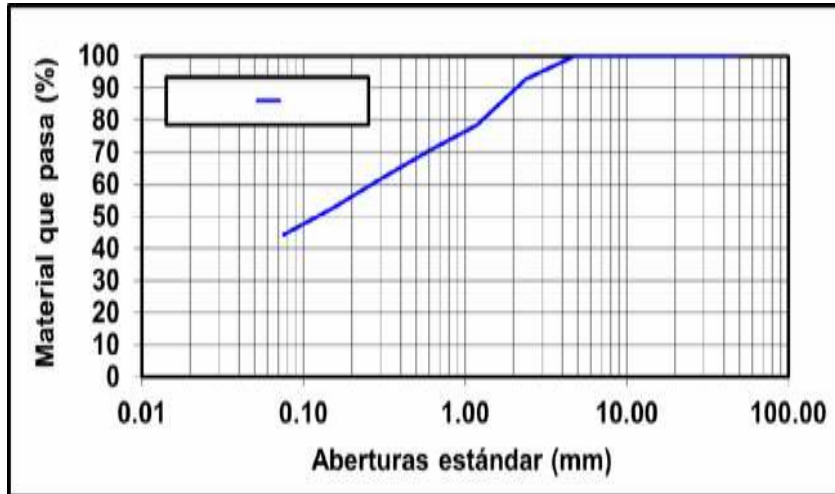
4.1.1. Análisis granulométrico realizado en el laboratorio

Muestra N° 1:

Pulg.	Mm	% que pasa
No.4	4.75	100
No.8	2.36	93
No.10	2.00	85
No.16	1.18	79
No.30	0.60	71
No.40	0.425	66
No.50	0.30	62
No.100	0.15	52
No.200	0.075	44.4

Tabla N° 5: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHTOT27

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

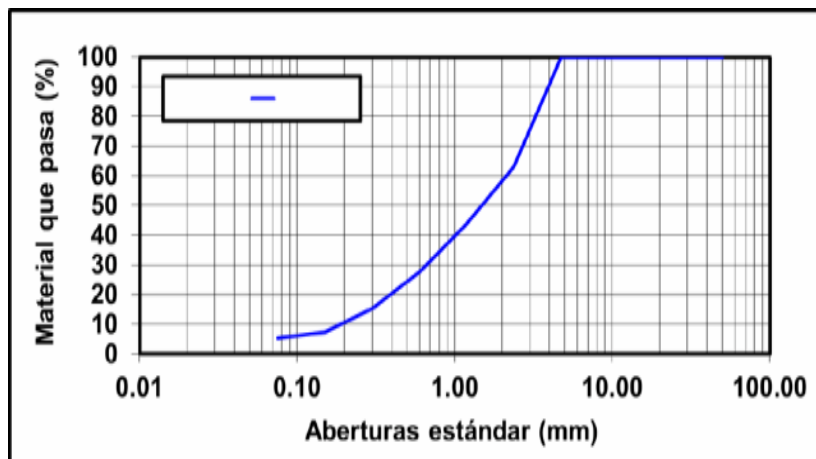


Gráfica N° 3: Gráfica del analisis granulometrico de la muestra 1.

Muestra N°2:

Pulg.	Mm	% que paso
No.4	4.75	100
No.8	2.36	63
No.10	2.00	58
No.16	1.18	44
No.30	0.60	28
No.40	0.425	21
No.50	0.30	15
No.100	0.15	7
No.200	0.075	5.3

Tabla N° 6: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHTO T 27:



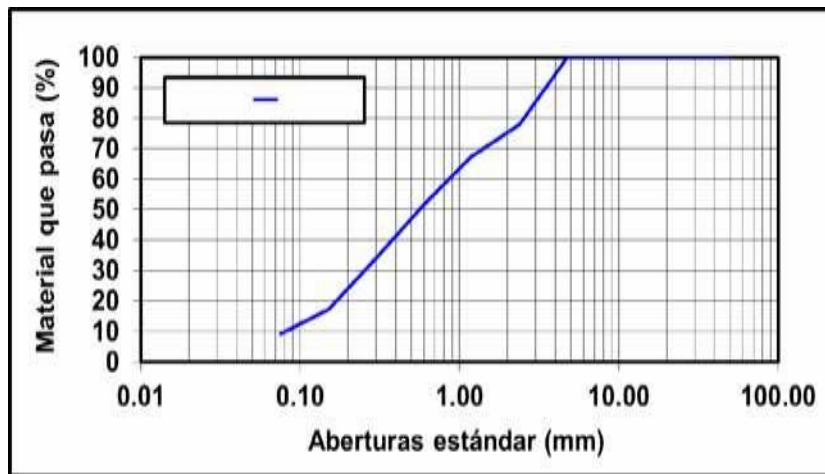
Gráfica N° 4: Gráfica del análisis granulométrico de la muestra 2.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

Muestra N° 3:

Pulg.	Mm	% que pasa
No.4	4.75	100
No.8	2.36	78
No.10	2.00	76
No.16	1.18	67
No.30	0.60	52
No.40	0.425	43
No.50	0.30	34
No.100	0.15	17
No.200	0.075	9.4

Tabla N° 7: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHTO T 27:



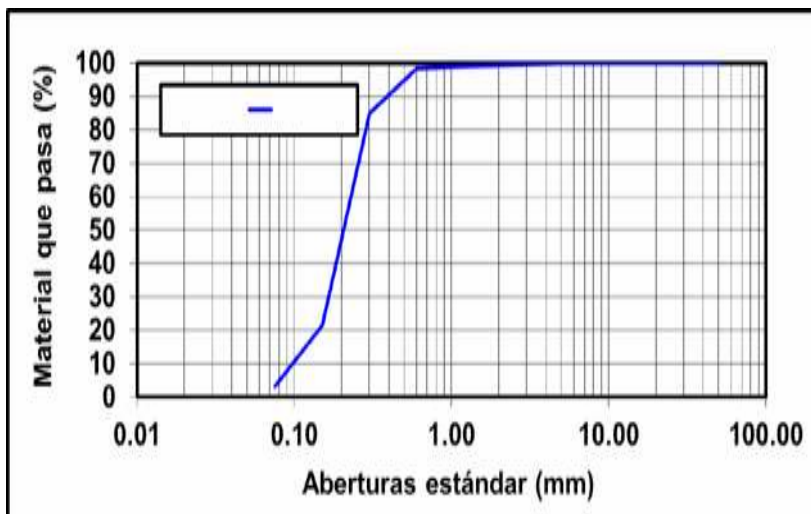
Gráfica N° 5: Gráfica del análisis granulométrico de la muestra 3

Muestra N° 4:

Pulg.	Mm	% que pasa
No.4	4.75	100
No.8	2.36	99
No.10	2.00	99
No.16	1.18	99
No.30	0.60	98
No.40	0.425	96
No.50	0.30	85
No.100	0.15	22
No.200	0.075	3.3

Tabla N° 8: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHT T27.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

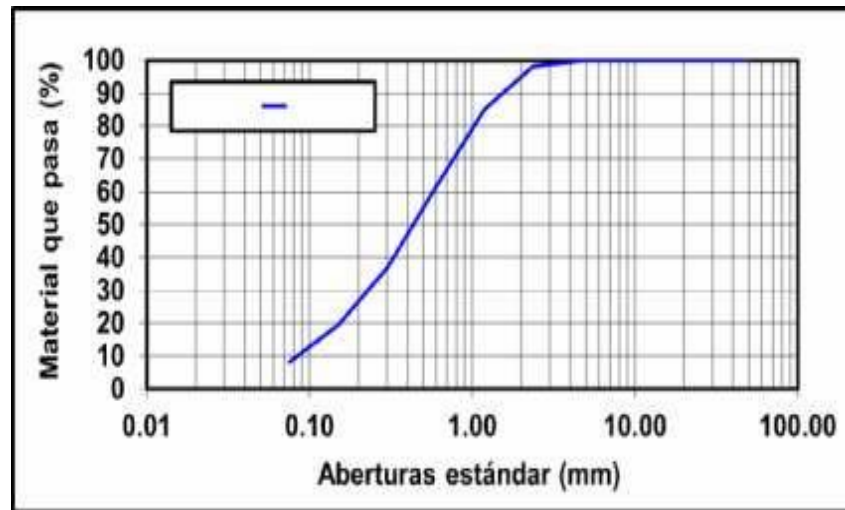


Gráfica N° 6: Gráfica del análisis granulométrico de la muestra 4.

Muestra N° 5:

Pulg.	Mm	% que pasa
No.4	4.75	100
No.8	2.36	98
No.10	2.00	96
No.16	1.18	85
No.30	0.60	62
No.40	0.425	50
No.50	0.30	37
No.100	0.15	19
No.200	0.075	8.2

Tabla N° 9: Análisis granulométrico de los agregados, Ensayo AASHTO T27



Gráfica N° 7: Gráfica del análisis granulométrico de la muestra 5

4.1.2. Interpretación de los resultados en base a la granulometría

La granulometría es la determinación de la proporción en que se encuentran distribuidos los distintos tamaños de las partículas presentes en el suelo. Después de realizar el análisis por tamizado se puede determinar la cantidad de material que pasa por cada malla. Esto se obtiene al graficar en escala semi-logarítmica, el logaritmo de abertura del tamiz en mm en las abscisas en porcentaje que pasa cada tamiz.

A través del análisis granulométrico realizado a las 5 muestras, se determinó que en la muestra N° 1 recolectada en la parte de origen de la cárcava, pasó más del 44% del total de la muestra, siendo un suelo arcilloso limoso de color gris. La muestra N° 2, recolectada en la parte de origen de la cárcava, pasó un 5.3% del total de la muestra, habiendo fragmentos de piedra, grava de color gris oscuro. En el caso de la muestra N° 3, recolectada en la parte de la trayectoria de la cárcava, pasó un 9.4% del total de la muestra, encontrándose fragmentos de piedra, grava y arena de color gris oscuro. En la muestra N° 4, recolectada en la parte de la trayectoria de la cárcava, pasó un 3.3% del total de la muestra, siendo arena de grano fino de color gris oscuro. Y en la muestra N° 5, recolectada en la parte de zona de acumulación de la cárcava, pasó un 8.2% del total de la muestra, donde hay fragmentos de piedra, grava y arena de grano fino de color gris oscuro.

MUESTRAS	TIPO DE SUELOS AASHTO T27	NOMBRE
Muestra N° 1	A-4	Suelo arcilloso limoso
Muestra N° 2	A-1, a-1-b	Fragmento de piedra, grava y arena
Muestra N° 3	A-1, a-1-b	Fragmento de piedra, grava y arena
Muestra N° 4	A-3	Arena fina
Muestra N° 5	A-1, a-1-b	Fragmento de piedra, grava y arena

Tabla N° 10: clasificación de tipo de suelo según AASHTO T27.

Por lo tanto el material encontrado es arena de grano variado, a excepción de una de las dos muestras recolectadas en el origen de la cárcava siendo un suelo arcilloso limoso, evidenciando que en la zona de origen de la cárcava hay una variedad en el tamaño del grano, y en las otras dos zonas de recolección de las muestras el tamaño de grano es variado que va desde grava hasta arena fina.

4.2 Modelación del Software TITAN2D

TITAN2D es un programa informático desarrollado con el propósito de simular avalanchas granulares secas o húmedas sobre modelos de elevación digital del terreno natural. Este programa está diseñado para simular flujos de masas geológicas tales como avalanchas de escombros y deslizamientos de tierra. TITAN2D combina simulaciones numéricas de un flujo con datos de elevación digital del terreno natural soportados a través de la interfaz gráfica de un sistema de información geográfica (SIG).

El programa TITAN2D se basa en un modelo de profundidad promedio para medio continuo incompresible, en el cual se cumplen las leyes de Coulomb para un flujo granular de “aguas poco profundas”. Las ecuaciones de conservación de masa y momento se resuelven con un término de fricción tipo Coulomb para la interacción entre los granos al interior del flujo y entre el material granular y la superficie basal. El sistema hiperbólico de ecuaciones resultante se resuelve mediante un esquema de Godunov, paralelo y de malla adaptativa. El Message Passing Interface (MPI) [<http://www-unix.mcs.anl.gov/mpi/>] Interfaz de Programadores de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés), permite el uso de múltiples procesadores incrementando así el

poder de cómputo, disminuyendo el tiempo de procesamiento y permite el uso de grandes conjuntos de datos. Adaptar la grilla permite la concentración de la capacidad de procesamiento en las regiones de especial interés.

TITAN2D opera a través de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI, por sus siglas en inglés) escrita en lenguaje Python. A través de esta interfaz el usuario introduce los parámetros necesarios para ejecutar correctamente el programa tales como dimensiones del material granular, coordenadas de partida de dicho material, determinación de los ángulos de fricción interna y basal además del tiempo de simulación. La simulación se calcula sobre un modelo de elevación digital (DEM) de la región deseada y los resultados se pueden visualizar a través del visualizador de TITAN2D, u otros paquetes de software de visualización. Los visualizadores del programa están diseñados para presentar a los usuarios una clara representación de las diversas propiedades del flujo, así como la altura de material granular y la magnitud de la velocidad. Las propiedades incorporadas en los elementos de datos que constituyen la malla poligonal están codificadas por colores y se aplican como una textura sobre el terreno.

4.2.1 Aplicación

La utilización de éste software tiene gran importancia, ya que se ha puesto en práctica en varios países como: México, Colombia, Costa Rica entre otros, para crear diferentes escenarios y así poder prevenir desastres tanto económicos como vidas humanas. Aplicación del Software TITAN 2D:

1- Simulación de flujos piroclásticos del volcán cerro Machín, Colombia, mediante la aplicación de herramientas de ArcGIS

Con el fin de recrear erupciones pasadas y estimar las afectaciones que causarían erupciones futuras, algunos investigadores emplearon métodos directos como las simulaciones computacionales. En el caso particular del Volcán Cerro Machín, se han efectuado trabajos, empleando programas de simulación como VAFTAD, Flow 3D y el TITAN 2D, con resultados notables que permitieron generar mapas de amenaza por flujos piroclásticos.

2- Aplicación de modelos numéricos de "aguas someras" para el análisis de peligros de flujos volcánicos: El caso de Titan2D y volcán Turrialba (Costa Rica)

Este artículo introduce Titan2D, un modelo de aguas someras para flujos granulares incompresibles tipo Coulomb. Titan2D ha sido utilizado extensamente para predecir la inundación de flujos block-and-ash y avalanchas de detritos.

4.2.2 Interpretación de los resultados del software TITAN 2D

Para la interpretación de los resultados se anexaron las coordenadas, volumen (1, 611,637.003800 m³), el coeficiente de fricción interna 33° y el coeficiente de fricción basal 23° siendo el grado mínimo para que se realice un lahar en el software; esta información es de suma importancia para dicho programa ya que crea una probabilidad de futuros eventos que puedan ocasionar daños a la población.

Luego de haber incluido los datos en el software se realizó la simulación del lahar, dando como resultado el mapa de amenaza de la parte SW del volcán Concepción (Figura N° 8); de igual manera se tomaron en cuenta las características geológicas y climáticas que presenta el área de estudio teniendo en cuenta que es el área donde se han generado la mayoría de lahares; haciendo uso de estos datos fue posible la determinación de tres zonas con mayor afectación y que se mencionan a continuación:

1. Zona de amenaza alta: es el área donde se produce con mayor frecuencia la inestabilidad de ladera ante un lahar identificándose con color rojo, donde se concentra en la parte más alta de las laderas con 900 m, con pendientes verticales de más de 45° siendo objeto de generación de lahares.
2. Zona de amenaza media: cubre las laderas medias del volcán, encontrándose la mayor cantidad de materiales granulares y sueltos que pueden ser removidos con facilidad y formar un lahar, causando un gran impacto si se llega a mezclar con la vegetación presente en esa zona del volcán presentando altura promedio 467 m y pendiente entre 30 y 45°, representada por el color naranja.
3. Zona de baja amenaza: por lo general es la zona de acumulación de los flujos finales ya que son zonas de pendientes bajas que van desde 3 hasta 12° donde por lo general se encuentran restos de escombros de vegetación, lahares

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

antiguos, representado por el color amarillo, además en esta zona es donde hay más participación de los pobladores ya sea porque hay tienen sus viviendas o sus lugares de trabajo por lo tanto es la zona donde podría llegar a haber pérdidas humanas y económicas.

4. Por otra parte, no porque una zona determinada no esté en el rango de ocurrencia de dicho fenómeno, no queda exenta que en futuros eventos con un grado mayor de precipitación pueda abarcar más área de afectación que la determinada en este documento.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

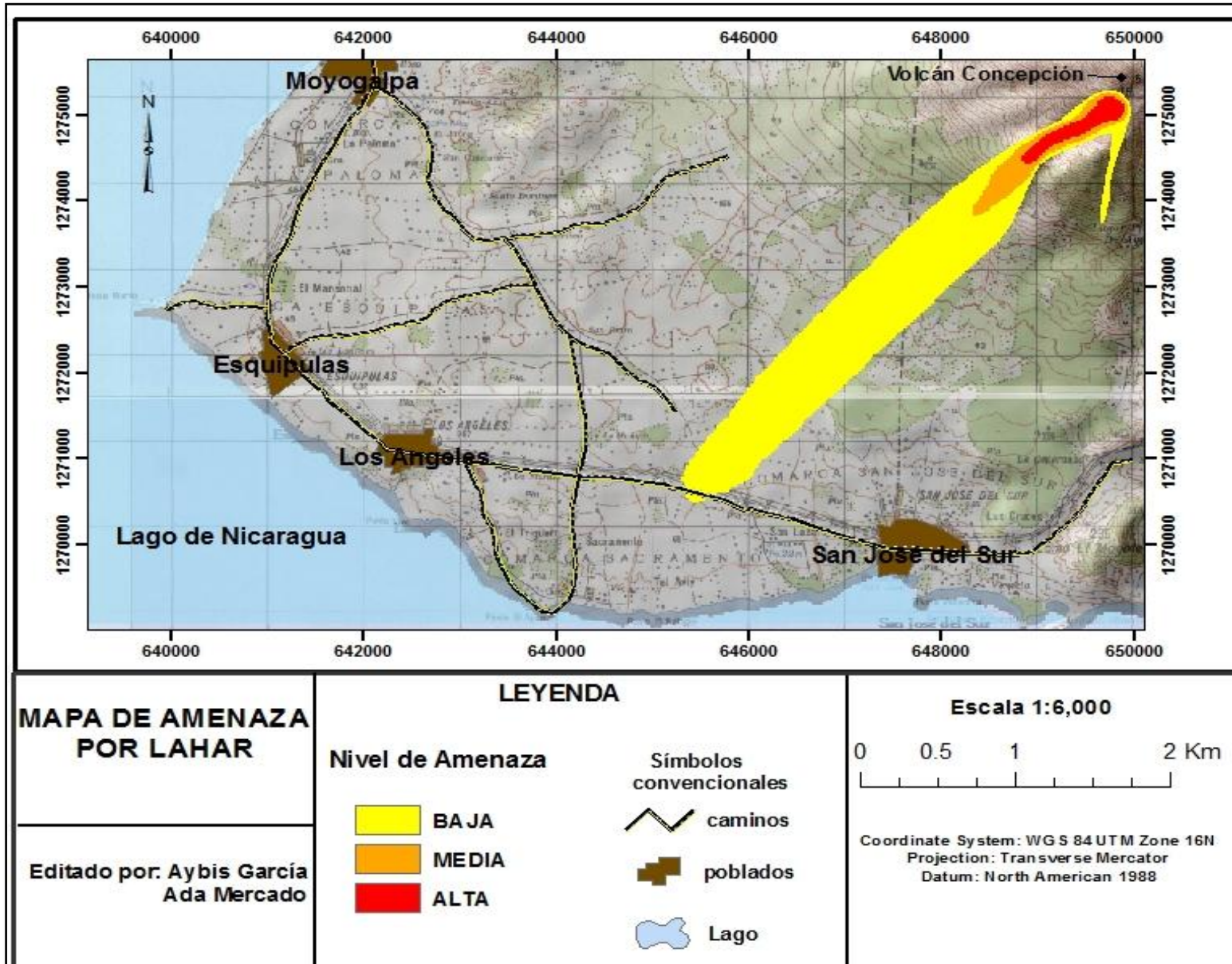


Figura N° 9: Mapa de amenaza ante Lahar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

La propuesta metodológica que utilizamos para este estudio brindo los pasos necesarios para facilitar la obtención de datos y la interpretación de resultados. Por tanto concluimos lo siguiente:

- 1- El análisis granulométrico dio como resultado, que el tipo de suelo encontrado es arena gruesa en la parte superior de la cárcava y arena fina en la zona de acumulación, por lo tanto esto favorece a que en conjunto con las lluvias y la pendiente del volcán esta zona sea más propensa a la creación de lahares.
- 2- Por las características que presenta el suelo del área de estudio, se concluye que existe un peligro en la zonas cercanas al volcán Concepción principalmente en la época de lluvia o invierno donde presenta un grado mayor de precipitación, siendo los poblados más afectados San José del Sur, San Lázaro y Sacramento aunque algunos pobladores no lo ven como una amenaza permanente, hay quienes lo utilizan como un lugar turístico, otros para la agricultura y ganadería.
- 3- Debido a la topografía y altas precipitaciones del área de estudio, se determina que esta zona es propensa a la generación de lahares, ya que el material es potencialmente inestable en la pendiente del volcán.

Recomendaciones:

1- Actualizar y/o ampliar la información volcánica contenida en Mapas de Amenaza por lahares de la Isla de Ometepe, especialmente, en el área del Volcán Concepción.

2- Implementar prácticas de conservación de suelos (barreras vivas, cultivo en curvas de nivel, reforestación.), en las áreas de pendientes donde se practique la agricultura, así como evitar desproveer al suelo de cobertura vegetal boscosa.

3- Realizar mantenimiento de los caminos rurales y de todo tiempo para evitar problemas de incomunicación entre comunidades, pues esto facilitara el proceso de evacuación.

4- Considerar la intensidad y duración de lluvias, concentradas en el flanco sur del volcán Concepción de acuerdo al conocimiento local de la población.

5- Alertar a los ciudadanos y transportistas de Moyogalpa específicamente al poblado de San José del Sur de la eventual ocurrencia de flujos de escombros peligrosos, por la autoridad local antes del inicio de los periodos lluviosos.

6- Se recomienda a las autoridades correspondientes realizar campaña nacional de sensibilización sobre la amenaza volcánica y el riesgo al que se expone la población al asentarse en las cercanías del volcán, mediante charlas, reuniones y simulacros de evacuación.

7- Poner en práctica a cabalidad en las fases de evacuación del COMUPRED, facilitándole esta información a todos los pobladores de las zonas más afectadas (ver anexo N° 3).

8- Realizar más pruebas para simular con TITAN 2D con diferentes valores de ángulo de fricción interna provenientes de laboratorio.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

9- Se recomienda levantar nuevos datos en cárcavas que no se estudiaron para futuras investigaciones.

10-Actualizar datos en campo para poder realizar una representación más amplia del volcán concepción.

BIBLIOGRAFIA

Borgia, A., and Van Wyk de Vries, B., (2001). “The volcanotectonic evolution of Concepcion, Nicaragua”. Bulletin of Volcanology. Vol. 65, p, 248-266.

Carr, M., (1976) “underthrusting and Quaternary faulting in Centro America”. Geological Society of American Bulletin, Vol. 87. P, 825-829.

Case, J. E., Holcombe, T. L and Martin, R. G. (1984), “Map of geological provinces in the Caribbean region, in The Caribbean-south American Plate Bondary and Regional tectonics”. Geol. Soc. Am. Mem., Vol. 162, p, 1-30.

COMUPRED, (2001). Comité Municipal de Prevención, Mitigación y Atención de Desastres. Fases de la ejecución del plan del COMUPRED

COSUDE, (2005). Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Recomendaciones técnicas para la elaboración de mapas de amenaza por inestabilidad de laderas. Managua, Nicaragua. MET-ALARN INETER-COSUDE.

Cruden A, R (1989), “The structure of south-wester Nicaragua a preliminary assessment” Swedish Geological SGAB, International AB, project: INMINE/SAREC, IDnr; URAP 89001, - INETER – Archiv, p, 28.

DeMets, C., (2001) A new estimate for present-day Coco- Caribbean plate motion: Implications for slip along the Central American volcanic arc: Geophysical Research Letters, v. 28, no. 21, p. 4043–4046, doi: 10.1029/ 2001GL013518.

Freund, R., (1974), “kinematics of transform and transcurrent faults.” Tectonophysics, Vol. 21. P. 93 – 134.

GMFG, (2010), Geophysical Mass Flow Group, University at Bufalo, NY, USA. Guia del usuario TITAN2D

Guzman- Speziale M., 2001, Active seismic deformation in the grabens of northern Central America and its relationship to the relative motion of the North America–Caribbean plate boundary: Tectonophysics, v. 337, p. 39–51.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

Harlow, D. H., and R. A. White (1985), Shallow earthquakes along the volcanic chain in Central America: Evidence for oblique subduction, Earthquake Notes, 55, 28.

Harmsen Teodoro E. (2002) Pontificia Universidad Católica del Perú, Diseño de estructuras de concreto armado.

Hodgson, V. G., (1978). “Geología de Nicaragua” Servicio Geologico Nacional, Managua, Nicaragua, p, 105.

Hodgson, V. G. (1998). Fundamentos de Geología (Relativo a Nicaragua). 3ª. Ed. Managua, Nicaragua.

Hogdson. G. (2000). Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua.

INETER (1995), Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, “Mapa Geológico Generalizado de Nicaragua”, escala 1:500,000

Iverson, R, M. and Vallance, J.W. (2001) News views of granular mass flows.-Geology, 29: 115-118.

La Femina, P., et al., (2002) “Bookshelf faulting in Nicaragua”, Geological Society of America. Vol. 30, Num. 8, p.751- 54.

Macias, Capra (2005). Los volcanes y sus amenazas.

MARENA (2000) Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Marco conceptual del co-manejo de areas protegidas de Nicaragua, (USAID, FUNCOD).

Mc Birney, A., and Williams, H. (1965). Volcanic History of Nicaragua. University of California. Publications in the Geological Sciences, Vol. 55, p, 1-69

Obando R. T, 2009. Reconocimiento geológico de amenaza por deslizamientos y lahares en Los Ramos, San Pedro y Sintiope al Sur del Volcán Concepción

Parson Corporation., (1972). The geology of western Nicaragua, Tax Improvement and Natural Resources Inventory Project.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

Pierson, T.C., and Scott, K.M., 1985, Downstream dilution of a lahar: Transition from debris flow to hyperconcentrated stream flow: *Water Resources Research*, v. 21, p. 1511-1524.

Pierson, T.C.,(July-October 1991) Flow and Deposition of Post eruption Hot Lahars on the East Side of Mount Pinatubo,

Pierson, T.C. and Scott, K.M. 1999, Superficial hydrologic hazards and volcanoes: Debris avalanches, lahars and floods: Processes, interpretation of deposits, and techniques of hazard assessment and mitigation. U.S. Geological Survey Open-File Report. 137 p

SINAPRED, Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres, Inestabilidad de Laderas.

Smith, G.A., and Lowe, D.R., 1991, Lahars: volcano-hydrologic events and deposition in the debris flow--hyperconcentrated flow continuum, *in* Fisher, R.V., and Smith, G.A., eds., *Sedimentation in volcanic settings: SEPM (Society for Sedimentary Geology), Special Publication No. 45*, p. 59-70.

Taylor, B., Ed. (1995). ``BackarcBasins''. New York, Plenum Press, p, 554.

USGS, (1998) UnitedState Geological Survey, Evaluación de la amenaza debido a deslizamientos generados por eventos hidrológicos.

Vallance, J.W., Schilling S.P., Devoli, G., andHowell, M.M., 2001, Lahar Hazards at Concepción Volcano, Nicaragua, U.S. Geological Survey Open-File Report 01-457, p. 14.

Van Wyk de Vries, B (1993), `` Tectonics and Magma Evolution of Nicaraguan Volcanic Systems''Diss. The Open University London, Dep, of Easth Sci., p, 328

Warren Spring Laboratory, UK, (1974-1983). Departament of Industry

Weinberg, R. F. (1992) ``Neotectonic development of Wester Nicaragua''. *Tectonics*Voi. 11, p, 1010-1017

ANEXOS:

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento,
Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

Anexo 1. Datos de las precipitaciones del municipio de Moyogalpa.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	39.4	65.5	66.6	186.2	278.4	113.3	74.6	0.0	824.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	121.1	238.6	325.5	206.2	315.3	276.0	0.0	0.0	1,482.7
2002	21.8	27.8	20.7	23.2			228.4	238.2	397.9	72.8	117.4	5.7	1,153.9
2003	14.3	3.7	0.0	51.1	188.0	179.6	309.0	100.7	89.5	186.7			1,122.6
2004	32.9	32.1	60.7	89.5	153.5	299.0	123.8	57.7	135.4	109.9	157.6	0.0	1,252.1
2005	58.1	44.8	102.9	46.6	331.4	325.2	188.5	437.5	631.8	615.1	217.6	10.2	3,009.7
2006	13.5	4.5	0.0	0.0	107.5	220.5	81.4	44.9	142.9	76.3	54.4	8.9	754.8
2007	5.2	0.0	0.0	46.7	149.5	204.8	125.9	621.7	168.7	401.8	19.1	6.4	1,749.8
2008	23.1	0.0	0.0	0.0	188.5	239.9	88.8	176.0	192.6	481.9	20.0	0.0	1,410.8
2009	0.0	0.0	0.0	12.5	61.1	193.5	186.2	142.1	303.4	123.3	33.8	0.0	1,055.9
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	154.2	223.4	238.2	92.1	313.8	419.6	23.3	37.3	1,501.9
Suma	168.9	112.9	184.3	269.6	1494.2	2190.0	1962.3	2303.3	2969.7	2876.7	717.8	68.5	15318.2
Media	15.3	10.3	16.8	24.5	135.8	199.1	178.4	209.4	270.0	261.5	65.3	6.2	1,392.56
Max	58.1	44.8	102.9	89.5	331.4	325.2	325.5	621.7	631.8	615.1	217.6	37.3	3009.7
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	39.4	65.5	66.6	44.9	89.5	72.8	0.0	0.0	754.8

Tabla N° 1: Precipitaciones del Municipio de Moyogalpa desde el año 2000 hasta el año 2011.
Fuente: INETER.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

Anexo 2. Datos básicos de la estación meteorológica de Moyogalpa.

Estación: MOYOGALPA	Código: 69075
Departamento: Rivas	Municipio: Moyogalpa
Latitud: 11⁰ 32' 12"	Elevación: 63 m.s.n.m
Años: 2000- 2011	Longitud: 85°41'42"
Parámetros: precipitación (mm)	Tipo: Pv

Anexo 3. Fases de la ejecución del plan del COMUPRED

Mecanismo de activación de las Estructuras:

El Comité Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres, por medio de la Secretaría Ejecutiva, en coordinación con el CODE nacional, declarará los estados de alertas correspondientes.

La activación del COMUPRED podrá realizarse a través de dos formas:

1. Previa evaluación y análisis realizado por el COMUPRED en base a la evolución y comportamiento del fenómeno.
2. A través de una declaratoria de alerta emitida por la Secretaria Ejecutiva del SINAPRED por recomendaciones del CODE nacional e INETER.

En cualquiera de los casos a nivel del Municipio se cumplirán las siguientes disposiciones:

Tipos de alertas:

Alerta Verde:

Se declara una vez identificada y localizada la presencia de un fenómeno natural o provocado y que por su peligrosidad puede afectar o no, todo o parte del territorio municipal:

Disposiciones para el estado de alerta verde:

- Se informa al nivel departamental de la situación existente.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

- Se informa a todos los miembros del COMUPRED.
- Se da a conocer la situación a los coordinadores de Comisiones y Equipos de trabajo.
- Se analiza la situación existente, se proponen y aprueban acciones de Emergencia.
- Se da a conocer la situación a los comités y líderes comunitarios de las posibles afectaciones.
- Se informa a la ciudadanía en general de la situación y se dan recomendaciones.
- Se continúa el monitoreo del fenómeno, evaluando su situación a fin de que sirva de base para las decisiones que tomará la autoridad superior.

Alerta Amarilla:

Se declara a partir del momento en que el fenómeno identificado presenta tendencia a su crecimiento de forma peligrosa para todo o una parte del territorio municipal.

Disposiciones para el estado de alerta amarilla:

- Activación del plan de aviso del COMUPRED.
- Todos los delegados institucionales deberán presentarse obligatoriamente al CODE municipal y a la mayor brevedad posible.
- Se activan los planes de respuesta institucional y sectorial.
- Se activan los centros de albergue temporales para la población.
- Se inician los procesos de evacuación de las áreas críticas hacia los albergues temporales.
- Se emiten recomendaciones generales a la población.
- Se continúa el monitoreo del evento adverso.

Alerta Roja:

Se determina cuando el fenómeno ha impactado en parte o en todo el territorio municipal. Cuando de manera súbita ha afectado directamente parte o todo el territorio municipal.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

Esta alerta puede declararse sin haber pasado las anteriores Alertas, en caso de no haber sido posible la detección y monitoreo previo de un fenómeno, volviéndose más compleja la situación en cuando a la atención a los afectados.

Las medidas para esta situación, van encaminadas a preservar la vida de las personas, sus bienes y la vitalidad de las instituciones productivas y de servicio, que se prevé sean afectados por el impacto de un fenómeno.

Entre las acciones principales a ejecutarse estando bajo la influencia del fenómeno, están las siguientes:

- Se apoyará la evacuación de las familias o comunidades que no se hayan evacuado durante la alerta amarilla, con recursos humanos, técnicos y materiales de los organismos de socorro.
- Pasado el impacto del fenómeno, la Comisión de Operaciones Especiales, con personal y medios de las instituciones públicas, organismos y sectores de la Sociedad Civil que integran esta comisión y de común acuerdo, realizarán las operaciones de búsqueda, salvamento, rescate y evacuación a solicitud de las localidades afectadas o por decisión del COMUPRED.
- La comisión de Salud garantizará la atención médica a la población tanto en los centros de albergue y centros asistenciales del municipio.
- Se realiza la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades por el equipo EDAN.
- La Comisión de Suministros garantizará la alimentación, agua y vestuario a las personas evacuadas en los albergues temporales según las normas nacionales así como el control de su distribución.
- El equipo EDAN, elaborará y enviará el informe preliminar antes de las 08 horas post-impacto al CODE nacional y cada 12 horas enviará informe sobre el comportamiento del evento. El Informe Complementario deberá enviarse por el COMUPRED al Nivel Departamental y Nacional a las 72 hrs. después del impacto.
- La comisión de Infraestructura y transporte trabajará en función del restablecimiento de las vías de acceso y garantizará los medios para el envío y

recepción de la ayuda humanitaria con estrecha coordinación con la Comisión de Suministro.

- El COMUPRED en pleno, analizará las condiciones del municipio de acuerdo a los daños causados por el fenómeno y determinará las actividades y acciones para la rehabilitación y reconstrucción del municipio.
- El vocero oficial nombrado por el COMUPRED informará a la población sobre la situación en el territorio por los efectos del fenómeno y organizará entrevistas de los miembros del COMUPRED con los medios de comunicación.

PLAN CONTINGENTE ANTE LAHAR

Como parte de los daños causados por este tipo de amenaza se podría observar bloqueo de tramos de carreteras por flujos o lahares y la salida de lava.

Fases para la ejecución del plan

En la ejecución del plan de respuesta se debe considerar lo siguiente:

- 1) Que el fenómeno pueda ser de ocurrencia súbita o progresiva, se puede predecir si puede pronosticar, solo monitorear y darle seguimiento.
- 2) La intensidad del fenómeno durante el periodo de duración.
- 3) Se deben desarrollar los procedimientos operativos durante la declaratoria de los diferentes estados de alerta, según sea el nivel declarado (verde, amarillo o rojo).
- 4) La capacidad técnica y activa del municipio para atender sus puntos críticos.

Los elementos mencionados son indicadores fundamentales para la toma de decisiones en la ejecución de aquellas medidas preventiva que sirvan para salvaguardar a la población; considerando que el desarrollo de estos aspectos son simultáneos y no aislados.

En todo momento se debe considerar los efectos secundarios que pueda producir el fenómeno en su periodo de duración, y a que estos pueden crear situaciones en las que se debe actuar de manera rápida y eficaz.

Evaluación Cuantitativa del Riesgo.

La existencia de la amenaza y el grado de exposición de la población y su infraestructura ante esta, define la cantidad de viviendas familias y personas que podrían resultar afectadas de ocurrir un lahar, datos que se estiman en las siguientes cifras: 233 familias con un total de 1,087 personas.

Plan de Evacuación.

Como principal medida de protección ante los efectos destructivos de un LAHAR lo constituye la evacuación, por lo que se debe de considerar este elemento que es particular para cada comunidad pero que tiene el fin común de salvar vidas. El siguiente análisis es una idea conclusiva del Comité Municipal de Prevención, Mitigación y Atención de Desastres trabajada sobre la base de la información técnica suministrada por el INETER y la realidad del municipio para la utilización de los medios de transporte para realizar la evacuación, aconsejados por el Estado Mayor de la Defensa Civil.

La ruta de evacuación a utilizar será:

No.1: puntos críticos la flor, el sector tanque, sector parada de bus la población afectada será trasladada a pie o en transporte, llevados hacia las pendientes altas de san Pedro a pie o con medio de transporte.

No.2: puntos críticos La Concepción, población será trasladada hacia pendientes altas de la comunidad. (Casa de Carlos Avellán) los traslados se realizaran a pie o con medio de transporte.

No.3: Punto crítico La Paloma, población afectada será evacuada a pie o en transporte terrestre hacia la zona de seguridad ubicada en casco urbano de Moyogalpa.

No.4: Punto crítico San Lázaro y San José del sur, la población será evacuada en transporte terrestre hacia las comunidades de Los Ángeles y Cicrin, como albergues temporales el instituto Los Ángeles y las iglesias evangélicas.

“Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San José del Sur, Sacramento, Los Ángeles y San Lázaro, Isla de Ometepe-Rivas”

Departamento:
Rivas

Municipio: Moyogalpa

Amenaza: Lahar

Nº	Barrio o Comunidad	Nivel de Riesgo			No casas	No Familias	No Personas	Personas vulnerables	Tercera edad	Embarazo	Discapacitados	Menor de 5 años
		A	M	B								
1	La Flor	A			304	285	1497	368	80	6	20	70
2	La Concepción	A			210	152	778	244	30	4	16	45
3	San Pedro	A			73	80	318	70	11	0	3	21
4	La Paloma	A			163	65	528	192	18	1	4	28
5	San Lázaro	A			83	46	280	70	8	1	6	10
6	San José del Sur	A			165	162	984	591	29	1	21	55
	TOTAL	6	0	0	998	790	4385	1535	176	13	70	229

Tabla N° 2: Comité de prevención, mitigación y atención ante desastres municipal de Moyogalpa.