



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA

UNAN - MANAGUA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA**

**INGENIERÍA EN GEOLOGÍA**

**“Seminario de Graduación para optar al Título de Ingenieros Geólogos”**

**Tema: Susceptibilidad de los movimientos en Masa a partir de variables que intervienen en la dinámica y desarrollo de fenómenos naturales, en el Volcán Concepción, Isla de Ometepe, durante el periodo Julio 2016-Julio 2017.**

**Autores:**

**Br: Jairo Danilo García Rocha**

**Br: Jancarlos Garcia Alvarez**

**Tutor:**

**MSc. Gema Velásquez Espinosa.**

**Asesor:**

**PhD. Carlos Rubí Téllez.**

**Managua, Abril de 2019**

## **DEDICATORIA.**

Dedico esta tesis primeramente a Dios ya que él es el que me permite levantarme cada día y me da la fuerza para seguir adelante, seguidamente de mis padres Rodolfo José García y María Lucrecia Alvarez, quienes me dieron la vida, educación, consejo y sobre todo el apoyo en todas y cada una de las decisiones tomadas, a mis hermanos, amigos y familiares, dedico especialmente este trabajo a mi hijo Darell Rodolfo García que desde que llegó a la vida se convirtió en mi gran motivación e inspiración para culminar esta etapa en mi vida.

Además de mis compañeros de estudio, con los que tuvimos un sin número de experiencias las que nos han servido para llegar hasta donde hemos llegado y de las cuales nos han enseñado que de los errores se aprende para seguir adelante y no darnos jamás por vencidos en todas y cada una de las metas a alcanzar.

***Jancarlos García***

Sobre todas las cosas a dedico este logro a Dios por nunca haberme dejado y proveer lo necesario para culminar la carrera y este trabajo investigativo, El da y quita en este caso me dio más de lo que merecía y esperaba, a mi familia por su apoyo incondicional y por creer siempre en mí, dedico especialmente este trabajo a mi hija Jaira Saraí García que desde que llegó se convirtió en mi gran motivación e inspiración para culminar esta etapa en mi vida.

***Jairo García***

## **AGRADECIMIENTO.**

Agradezco primeramente a Dios por haberme dado la vida, por protegerme, cuidarme y guiarme a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por brindarme una vida llena de aprendizajes y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres, Rodolfo José y María Lucrecia ya que han sido los pilares fundamentales en mi preparación, por apoyarme siempre a cada momento y por no permitirme desistir cuando estuve a punto de hacerlo, gracias por todos los consejos brindados, por los valores inculcados, por la educación que me han dado, le agradezco a mi padre por todo lo que me enseñó, todo el trabajo que realizamos juntos, te agradezco por enseñarme a respetar y a tratar a todas las personas por igual, gracias por todas las experiencias vividas.

Te agradezco padre ya que tú fuiste el primero en brindarme el apoyo de poder estudiar una profesión y aconsejarme a que culminara mi carrera sin importar todas las adversidades por las que hemos pasado.

A mis hermanos por apoyarme y estar ahí cuando los he necesitado, a todos los familiares que siempre han estado apoyándome, a mi mamá María Lucrecia que toda la vida me ha cuidado, ayudado, me ha brindado apoyo y me ha enseñado andar siempre por el buen camino, de igual forma a todas las amistades que siempre han estado ahí en todo momento para para apoyarme a seguir siempre adelante.

A María Antonia por ser una parte muy importante en mi vida, por dedicarme tiempo y saber comprenderme, gracias por todo el apoyo y por acompañarme en las buenas y en las malas y sobre todo por tu paciencia y amor incondicional.

Gracias al IGG-CIGEO al darnos la oportunidad de realizar este trabajo en conjunto con ellos, por el apoyo total en el desarrollo de nuestro trabajo. A todos y cada uno de sus colaboradores que siempre estuvieron disponible para resolver cualquier duda.

Agradezco de manera especial al MSc. Franciscos Espinoza por depositar su confianza ya que por medio de el tuvimos el llamado para que pudiéramos realizar este trabajo en conjunto con el IGG-CIGEO.

Al PhD Fernando Guarín por su paciencia, tiempo y dedicación, gracias por su guía y valiosos consejos, por compartir de sus conocimientos que fueron de gran ayuda para nuestro trabajo.

A nuestra tutora MSc. Gema Velásquez, por dedicar su tiempo, paciencia y dedicación durante el desarrollo de nuestro seminario de graduación.

A nuestro asesor PhD Carlos Rubí Téllez, por dedicar su confianza y tiempo para revisar nuestro trabajo.

A todos los maestros, a los que están y los que ya han partido a la presencia del señor, gracias por brindarnos sus conocimientos y darnos siempre un apoyo incondicional.

***Jancarlos Garcia***

Agradezco a Dios por haber provisto de todo lo necesario en la carrera desde principio a fin sin Él nunca hubiera sido posible llegar hasta aquí, a mis padres Anastasio Garcia y Francisca Rocha por todo su esfuerzo para poder llegar hasta aquí, por haber creído en mí y darme siempre su apoyo incondicional, paciencia y consejos sin ustedes no hubiera llegado hasta donde estoy, a mis hermanos por estar pendiente de mí, a nuestra tutora Msc. Gema Velásquez gracias por su paciencia consejos, a mi compañero de trabajo por su paciencia y dedicación a la investigación Jancarlos y muchas otras personas que por espacio no las puedo mencionar pero que sin duda alguna han hecho este trabajo posible.

***Jairo Garcia***

## Resumen

El área de estudio de la investigación es el volcán Concepción, se encuentra ubicado en la Isla de Ometepe en la región sur de Nicaragua, comprendiendo 176 Km<sup>2</sup>, con un relieve moderado a abrupto, geológicamente está conformado por rocas volcánicas recientes productos de erupciones volcánicas y unidades generadas por movimiento en masa. El estudio se desarrolló con apoyo del Instituto de Geología y Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (IGG-CIGEO-UNAN-MANAGUA), en el marco del Proyecto USAID-CSUCA.

La investigación tiene como objetivo zonificar áreas potencialmente susceptibles a todo tipo de movimientos en masa en la Isla de Ometepe, por medio del método heurístico el cual consiste en combinar mapas temáticos calificados, asignándoles pesos, según el grado de importancia que estos tengan, con el uso de la herramienta SIG (Sistemas de Información Geográficas), utilizando el programa ArcMap 10.2 para así obtener mapas de susceptibilidad a movimientos de masa en el área.

En lo que respecta a la obtención del mapa de Susceptibilidad a Escala 1: 50000 se analizan 8 variables que son: Pendiente, Geología, Uso de suelo, Drenajes, Escarpes, Precipitaciones, Sismos y Fallas. Las variables de fallas, sismos, drenajes y escarpes se le asignan un multibuffer debido a las posibles derivaciones que puedan tener al momento de un movimiento de ladera.

Además, se tomaron cuatro rangos de Susceptibilidad: I: Baja; II; Media; III; Alta; IV; Muy alta para el análisis dentro del estudio. De acuerdo a los resultados y las características involucradas en cada mapa las zonas con una alta susceptibilidad corresponden a las comunidades de: La Concepción, La Flor, San Marcos, La Paloma, Parte Oeste de San José del Sur, Santa Teresa, Los Ramos, La unión, Urbaité y Sintiope. Estas son las principales comunidades que son afectados por la susceptibilidad Muy Alta, y el principal factor detonante son las precipitaciones.

Esta investigación contribuirá al desarrollo socioeconómico del área de estudio y la toma de decisiones de las autoridades correspondiente dentro del municipio, así como también aporta al conocimiento científico para futuras investigaciones que se logren desarrollar en este mismo contexto.

## Contenido

Resumen .....	6
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedente. ....	3
1.2. Justificación.....	6
1.3. Planteamiento del problema. ....	7
1.4. Objetivos .....	8
1.5. Ubicación del área de estudio. ....	9
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1. Definición de movimientos en masa .....	11
2.2. Tipos de movimientos en masa.....	12
2.2.1. Caída .....	12
2.2.2. Volcamiento .....	12
2.2.3. Deslizamiento.....	13
2.2.4. Flujo .....	14
2.2.5. Reptación .....	17
<b>III. GEOLOGÍA REGIONAL DE CENTROAMERICA.....</b>	<b>18</b>
3.1. Tectónica. ....	18
3.2. Geología de Nicaragua. ....	21
<b>IV. METODOLOGÍA DE ESTUDIO.....</b>	<b>24</b>
4.1. Trabajo de gabinete.....	24
4.2. Trabajo de campo. ....	25
4.3. Elaboración del mapa de Susceptibilidad. ....	29
4.3.1. Trabajo de campo. ....	29
4.3.2. Inventario de movimientos en masa. ....	29
4.3.3. Metodología de elaboración del mapa de susceptibilidad 1: 50000.29	
4.3.4. Método heurístico.....	31
4.4. Metodología Sistema de Información Geográfica (SIG). ....	31
4.5. Metodología de la elaboración de mapas de variables de predicción. 35	
4.5.1. Mapa de drenajes.....	35
4.5.2. Mapa de escarpes.....	37
4.5.3. Mapa geológico.....	39

4.5.4. Mapa de pendiente.....	41
4.5.5. Mapa de uso de suelo.....	43
4.5.6. Mapa de precipitaciones. ....	46
4.5.7. Mapa de fallas. ....	49
4.5.8. Mapa de sismos .....	51
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>53</b>
5.1. Uso de suelo. ....	53
5.2. Geología local. ....	53
5.3. Estratigrafía local.....	54
5.3.1. Unidad de depósitos lacustres.....	54
5.3.2. Unidad de Tobas .....	56
5.3.3. Unidad Flujos Piroclásticos.....	57
5.3.4. Unidad de avalanchas de escombros .....	59
5.3.5. Unidad de lava. ....	61
5.3.6. Unidad de flujos de detritos.....	62
5.3.7. Unidad de Tefra.....	64
5.3.8. Unidad aluviones - suelo residual.....	64
5.4. Geología estructural.....	65
5.4.1. Estructuras volcánicas.....	65
5.5. Análisis del factor Pendientes.....	73
5.6. Análisis del factor densidad de drenajes. ....	74
5.7. Análisis del factor Uso de Suelos. ....	74
5.8. Análisis del factor geológico. ....	74
5.9. Análisis del factor meteorológico. ....	75
5.10. Análisis de mapa de susceptibilidad. ....	75
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>80</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>
<b>IX. ANEXO.....</b>	<b>85</b>

## Índice de Figuras.

Figura 1: Mapa de ubicación .....	10
Figura 2: Ejemplo de caída de roca. Fuente: (Skinner & Porter, 1992).....	12
Figura 3: Ejemplo de volcamiento de rocas. Fuente: (Skinner & Porter, 1992).13	
Figura 4: Ejemplo de deslizamiento traslacional. Fuente: (Skinner & Porter, 1992).....	14
Figura 5: Ejemplo de deslizamiento rotacional. Fuente: (Skinner & Porter, 1992).....	14
Figura 6: Flujo de lodo. Fuente: (Skinner & Porter, 1992).....	15
Figura 7: Ejemplo de flujos de detritos. Fuente: (Skinner & Porter, 1992). ....	16
Figura 8: Ejemplo de volcamiento de rocas. Fuente: (Skinner & Porter, 1992).17	
Figura 9: Mapa De Tectónica Regional. Fuente: Webserver2.Ineter.Gob.Ni ...	20
Figura 10: Mapa de sitios de campo visitado. ....	27
Figura 11: Ejemplo de codificar las diferentes variables. ....	32
Figura 12: Pasos para convertir a raster .....	33
Figura 13: Realización de mapa de Susceptibilidad .....	34
Figura 14: Mapa de drenaje (Tomado del proyecto USAID-CSUCA, 2017).....	36
Figura 15: Mapa de escarpes (Tomado del proyecto USAID-CSUCA, 2017) ..	38
Figura 16: Mapa Geológico de (Borga 2003) editado por (Br. Jancarlos García y Br. Jairo García, septiembre 2017) .....	40
Figura 17: Mapa de pendiente.....	42
Figura 18: Mapa de uso de suelo (Tomado del proyecto USAID-CSUCA, 2017 .....	45
Figura 19: Mapa de precipitación. ....	48
Figura 20 Mapa de fallas (Tomado del proyecto USAID-CSUCA, 2017) .....	50
Figura 21: Mapa de sismos. ....	52
Figura 22: Mapa de Lineamiento, Cráteres y Anticlinal (tomado de Borga, 2003) .....	68
Figura 23: Mapa Geológico (corte tomado de Borga, 2003) .....	69
Figura 24: Columna Estratigráfica del área de estudio.....	70
Figura 25: Mapa de Susceptibilidad. ....	72

## Lista de Tablas

Tabla 1. Tipos de Movimientos en Masa.....	11
Tabla 2. Coordenadas de sitios visitados.....	28
Tabla 3. Multibuffer drenajes.....	35
Tabla 4. Multibuffer escarpes.....	37
Tabla 5. Pesos asignados a unidades Geológicas.....	39
Tabla 6. Pesos asignados a los % de pendientes.....	41
Tabla 7. Clasificación de acuerdo al Tipo de vegetación. OpenStreetMap de ArcMap 10.2, del año 2015. ....	44
Tabla 8. Pesos asignados a las precipitaciones.....	47
Tabla 9. Multibuffer fallas.....	49
Tabla 10. Multibuffer sismos.....	51

## Listado de Fotos

<b>Foto 1.</b> Afloramiento de depósitos de toba. Coordenadas 647814 E, 1270824 N .....	25
<b>Foto 2.</b> Contacto entre avalancha de roca y depósito lacustres. Coordenadas 657612 E, 1273137 N.....	26
<b>Foto 3.</b> Afloramiento de depósitos Lacustre punta el Helequeeme. Coordenadas 643942 E, 1279970 N.....	55
<b>Foto 4.</b> Muestra de mano, depósito lacustre, comunidad la Concepción. Coordenadas 643958 E, 1279790 N.....	55
<b>Foto 5.</b> Depósitos de tobas de cenizas en la comarca San José del Sur. Coordenadas 647863 E, 1271087 N.....	56
<b>Foto 6.</b> Tobas Volcánicas (San José del Sur). Coordenadas 647863 E, 1271087 N.....	57
<b>Foto 7.</b> Flujos Piroclástos. Coordenadas 649412 E, 1274600 N. ....	58
<b>Foto 8.</b> Flujos Piroclástos parte Oeste del Volcán. Coordenadas 649479 E, 1275945 N.....	58
<b>Foto 9.</b> Fragmento de Roca andesítica. (Avalancha de Escombros). Coordenadas 651959 E, 1278729 N.....	60

<b>Foto 10.</b> Depósito de avalancha de escombros (comunidad La Polonia). Coordenadas 651730 E, 1278803 N. ....	60
<b>Foto 11.</b> Flujo de lava al norte de la comunidad San José del Sur. Coordenadas 648922 E, 1274352 N. ....	61
<b>Foto 12.</b> Contacto entre Escoria y Lava. Coordenadas 648981 E, 1274475 N. .....	62
<b>Foto 13.</b> Flujo de Detrito (Cauce San José del Sur). Coordenadas 648340 E, 1273615 N. ....	63
<b>Foto 14.</b> Flujo de Detrito. Coordenadas 648508 E, 1273738 N. ....	63
<b>Foto 15.</b> Tefra en la parte proximal al cráter. Coordenadas 649218 E, 1276084 N. ....	64
<b>Foto 16.</b> Unidad Suelo Residual Parte Este del Volcán comarca Moyogalpa. Coordenadas 646843 E, 1276969 N. ....	65
<b>Foto 17.</b> Falla normal, Comarca El Tesoro Municipio Moyogalpa. Coordenadas 643380 E, 1275636 N. ....	67

## **I. INTRODUCCIÓN.**

El presente documento corresponde al trabajo monográfico para optar al título de Ingenieros Geólogos, cumpliendo así con el reglamento de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua) para la graduación profesional.

La investigación se realizó en el marco del Proyecto USAID-CSUCA, ejecutado por el Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-MANAGUA).

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.

El volcán Concepción es un estrato volcán de cono perfecto del que se conocen 18 erupciones, siendo la última en noviembre de 1999 (INETER, n.d.). En las proximidades del volcán Concepción se encuentran los Municipios de Altagracia y Moyogalpa. El primero se localiza al noroeste del Volcán Concepción y cuenta con 19995 habitantes donde el 79.38% se distribuye en 20 comarcas, y el 20.62% representa a la población urbana.

El municipio de Moyogalpa, se localiza al oeste del Volcán Concepción, tiene una población de 9729 habitantes, el 29.85% se distribuye en ocho comarcas y el 70.15% corresponde a la población urbana (INIDE 2008A, INIDE 2008B). La población es fuertemente aumentada por la afluencia de grandes cantidades de turistas a lo largo del año, pudiendo llegar a recibir a un promedio de 22000 turistas (Sánchez, Urbina & Propin, 2008).

Las erupciones que ha tenido el volcán Concepción son de tipo Plineana, Estromboleana y freatomagmática. Las erupciones Plineanas se caracterizan por emisiones paroxísmicas de grandes columnas eruptivas y flujos piroclásticos, intensas explosiones que generan lluvias de ceniza y lapilli que pueden producir el colapso parcial del edificio volcánico. Las de tipo Estromboleanas presentan flujos de magma moderadamente fluidos y son ligeramente explosivas. Las de tipo freatomagmáticas se caracterizan por su gran explosividad debido al contacto directo del magma con el agua.

Dichos movimientos en masa son considerados como uno de los eventos más destructivo, ya que han sido responsables de al menos el 15% de la mortalidad mundial ocasionada por fenómenos naturales entre los siglos XVII y XIX en la Tierra (Thouret *et al.*, 2000).

Es importante señalar que la Isla de Ometepe es una de las zonas más susceptibles a ser afectado por estos fenómenos, por las variables geológicas, geomorfológicas, sísmicas, fisiografías y meteorológicas que presenta, según estudios anteriores realizados en el sitio (INETER, 2003).

Para esta investigación se analizan todas las condiciones anteriormente mencionadas, por medio del estudio individual, realizándose en un periodo de 12 meses, durante el año Julio 2016- Julio 2017, cabe señalar que se tomaron datos de precipitaciones y sismicidad en un periodo de 5 años, de la base de datos de INETER.

El estudio se realizó en un área de 176 Km<sup>2</sup> en la que se clasifican los distintos tipos de movimientos de masa que han ocurrido en la zona. La elaboración del mapa de susceptibilidad a escala 1:50000, se elabora por medio de la asignación de valores a cada variable mediante la ponderación de parámetros relevantes a la generación de movimientos en masa en la zona de estudio.

Al igual se considera que la elaboración de dicho mapa será de gran valor para investigaciones futuras sobre amenaza y vulnerabilidad en la Isla de Ometepe y para la toma de decisiones de las autoridades competentes sobre el ordenamiento territorial de cada municipio.

### **1.1. Antecedente.**

La Isla de Ometepe es una de las zonas que ha sido afectado por fenómenos de asociados a movimientos de masa, que ha dejado como consecuencia, destrucción en la infraestructura caminos, viviendas y pérdidas económicas, por tanto la zona de estudio ha sido analizada por varios investigadores que citamos a continuación:

**Ferrey, Williams, (1971)**, Geología de la isla de Ometepe: Esta investigación se realizó con el fin de delimitar y evaluar los probables riesgos volcánicos, que puedan ocurrir por el volcán Concepción activo actualmente y el impacto negativo que estos fenómenos naturales tienen en el desarrollo humano y económico de esta región.

Según la investigación realizada por Ferrey y Williams en 1971, los principales riesgos presentados en esta investigación lo constituyen los fenómenos de lluvias acidas, gases, flujos de lavas, cenizas, avalanchas, flujos de lodo (lahares).

Según Ferrey y Williams, 1971 estas avalanchas de lodo se están produciendo en la actualidad en los flancos meridionales del volcán Concepción y pueden afectar en un futuro inmediato a poblaciones importantes de estas localidades. Cabe mencionar que el desarrollo, actividades turística, ecoturísticas, ambientales, deportes y comerciales tienen una mayor concentración en la parte Este del volcán Concepción por ende estas se verían afectada ante cualquier fenómeno de Inestabilidad de ladera.

**Institutos de investigaciones sísmicas, (1975)**, Riesgos geológicos y volcánicos de la isla de Ometepe: Este estudio se realizó en mayo de 1975, para delimitar y evaluar los probables riesgos volcánicos (erupciones, deslizamientos, avalanchas de lodo y gases volcánicos) y analizar el impacto negativo en el desarrollo humano.

Una de las aportaciones en esta investigación fue la delimitación de depósitos volcánicos, así también conocer su marco geológico más claro para usarlo como base para investigaciones futuras.

**INETER, (1982)**, Geología y riesgo volcánico en Nicaragua. Los flancos entre el sur y este del volcán concepción son favorables para la ocurrencia de estos tipos de fenómenos debidos a la presencia de canales y cárcavas en los cuales se concentran grandes volúmenes de materiales incoherentes de ceniza, arena y bloques en la estación lluviosa a zona localizada con debilidades estructurales (fallas, fracturas y grietas). La capacidad de transporte y destrucción se ve favorecido por la alta pendiente de los flancos del volcán (35<sup>0</sup>).

**MORA-VAHRSON, (1991)**, Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Nicaragua, este mapa se realizó con la metodología propuesta por Mora-Vahrson, con esta metodología se pueden clasificar la amenaza por deslizamiento en áreas tropicales con alta sismicidad, tomando en cuenta los factores intrínsecos o de susceptibilidad con los factores externos o de disparos.

Para la realización del mapa de susceptibilidad a deslizamiento de Nicaragua se realizó con 5 variables: Relieve relativo, litología, humedad de suelo, actividad sísmica y precipitaciones, con un tamaño de pixel de 90 m.

Se obtuvo un mapa de susceptibilidad a deslizamientos a escala 1:500,000, siendo un 10.74% muy alta susceptibilidad, 74.7% alta susceptibilidad, 7.8% media susceptibilidad y 6.7% baja susceptibilidad.

**INETER, (1993)**, Estudio de la amenaza y vulnerabilidad generada por el deslizamiento San José del sur isla de Ometepe: Esta investigación se desarrolló con el objetivo de analizar las laderas San José del Sur, realizar una caracterización de este movimiento de masa, por su magnitud y asociaciones con erupciones volcánicas del volcán concepción.

En este estudio se tomó en cuenta principalmente el relieve de la zona también las precipitaciones, mostrando una alta amenaza ante los deslizamientos.

**INETER, (2001)**, Amenaza naturales de Nicaragua. En esta investigación se presentan las diferentes amenazas naturales en base a la información existente hasta la fecha del 2001, la amenaza principal del volcán Concepción consisten en flujos de lodo, caída de ceniza, flujos de lavas y deslizamiento. El mejor conocimiento de estos fenómenos naturales permitirá diseñar mejores mecanismos de prevención, mitigación y preparación ante estos fenómenos.

La conclusión de esta investigación resaltó que la parte más afectada por lahares hasta 2001 ha sido San José del sur, Los Ángeles, Sintiope y Esquipulas.

**INETER, (2003)**, Estudios de campos sobre los lahares ocurrido en octubre de 2002 en el volcán Concepción. Estos estudios tuvieron en cuenta: La evaluación de las áreas afectadas, la compilación de datos históricos relativos a lahares en las zonas y un mapa indicando el área de afectación de estos eventos.

**Borga & Van Wyk, (2003)**, Evolución Volcano-Tectónica del Concepción Nicaragua, esta investigación se realizó mediante la integración de la geología regional, la actividad eruptiva, Morfología, estratigrafía, petrología, estructura y el registro de la actividad de deformación mediante la utilización de una de GPS de alta precisión, realizando un mapa geológico dividido en cuatro unidades principales: Unidad de lava, Unidad de tephra, unidad de sedimentos lacustres, unidad de lahar y depósitos aluviales.

**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. Esta investigación se realizó con el fin de propiciar y promover una estandarización de criterios y leyendas en los mapas de amenaza, promover las pautas mínimas a considerar para la elaboración de los mapas con el fin de generar documentos comparables, mediante la utilización de los mismos criterios y simbologías.

**Armando, Saballos, (2013)** Gravedad y geodesia del volcán Concepción, Nicaragua, esta investigación se realizó para estudiar la estructura del edificio volcánico y sus alrededores a través de mediciones de gravedad relativas, también Caracterizar la deformación superficial alrededor del edificio volcánico, con este estudio se pudo saber que la densidad aparente promedio es muy alta, más bajo de lo que se pensaba,  $1764 \pm 111 \text{ kg / m}^3$ , comparable a los sedimentos no consolidados.

## **1.2. Justificación.**

El volcán Concepción se encuentra ubicado en el departamento de Rivas municipios de Moyogalpa y Altagracia Isla de Ometepe en el pacifico de Nicaragua, su geología corresponde a depósitos volcánicos Cuaternario de composición básica (Basaltos y Andesitas).

El volcán Concepción es un volcán activo es por ello que es una amenaza para la población ubicada en sus alrededores, pero la amenaza no finaliza ni se limita a expulsión propiamente de dichos materiales, (gases, caídas de cenizas, flujos de lava y flujos piroclásticos), si no que aumenta con la posibilidad que los materiales sean incluidos en otros fenómenos devastadores clasificados por Cruden y Varnes (1996), como movimientos de masa.

Debido a sus condiciones geológicas, geomorfológicas y el interés social, siendo la Isla de Ometepe un destino turístico importante para la economía nacional; este volcán representa un campo de investigación ideal para la realización de este estudio, generando una amplia información actualizada.

El aporte del mapa permitirá realizar una comparación con los otros diferentes mapas realizados para esta área (MORA-VAHRSON, 1991), así mismo el mapa incluye diferentes variables que no se habían tomado en cuenta en distintos proyectos realizados en esta área.

Es por ello que se tiene a fin elaborar un mapa de susceptibilidad a escala 1: 50,000 alrededor del volcán en un área de 176 km<sup>2</sup> así mismo pretendemos con dicho documento aportar conocimientos Geológico y reordenamiento territorial en los municipios de Moyogalpa y Altagracia del departamento de Rivas.

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, Sinecapa, Sintiope, Urbaite, La Unión y Santa Teresa.

### **1.3. Planteamiento del problema.**

Los estudios de movimiento en masa o de inestabilidad de ladera en Nicaragua se han realizado a escalas regionales (Mora-Vahrson, 1991), este tipo de investigación facilita tener una mejor visión regional del sitio de estudio, por ende dificulta la identificación de algunos factores desencadenantes propios de cada área.

Algunos pocos estudios que sean realizados en el país a escalas 1:50,000 (Proyecto San Nicolás, 2005) se ejecutó con una metodología propuesta por COSUDE, todas las investigaciones llevadas a cabo en el país se han realizado con esta metodología propuesta por COSUDE.

Así mismo nuestra investigación se realizó con otra metodología basada en la "Ponderación de Variable (Método Heurístico), adaptada a nuestra área de investigación. También para la región de estudio se realizó un mapa de susceptibilidad el cual no existe, tomando en cuenta las 8 variables que se analizaron.

## 1.4. Objetivos

- **Objetivo General.**

Evaluar la Susceptibilidad de los Movimientos en Masa a partir de variables que intervienen en la dinámica y desarrollo de fenómenos naturales, en el Volcán Concepción, Isla de Ometepe, durante el periodo Julio 2016 – Julio 2017.

- **Objetivo Específico.**

- Realizar cartografía geológica-estructural de la zona a escala 1:50,000 en el volcán concepción.
- Elaborar mapas temáticos de las variables condicionantes en el área estudiada, (Drenaje, Escarpes, Uso de Suelo, Precipitaciones, Fallas, Geología, Pendiente y Sismos).
- Determinar las zonas potencialmente inestables, para prevenir afectaciones a la población en el área de influencia del Volcán Concepción.
- Proponer un mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa del volcán concepción a escala 1:50,000.

### **1.5. Ubicación del área de estudio.**

El área de estudio se ubica 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 1998. Es importante mencionar que la Isla esta comunicada con el resto del país únicamente por vía aérea y lacustre. Esta última ruta es la más ocupada actualmente y es por donde se efectúa el mayor tráfico de carga y pasajeros, partiendo de Managua hacia la Isla de Ometepe, la vía de acceso es la siguiente:

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 enseguida se transporta vía acuática mediante ferry, lanchas o pangas hacia el puerto de Moyogalpa o puerto Las Brisas en la comunidad San José del Sur, esta vía es transitable todo el año.

La primera ruta mencionada es la más transitada y es por donde se tiene un acceso directo a nuestra área de estudio, la cual se puede transitar en vehículos simples (camionetas sencillas 2x4, motos etc.) y de doble tracción alrededor del volcán. Existen varios caminos por donde se puede tener acceso al cráter del volcán, la ruta más conocida y fácil para escalar el volcán es saliendo de la ciudad de Moyogalpa hacia la comunidad la Concha, en dirección Noreste y luego en dirección Sureste de la comunidad antes mencionada (Ver figura 1).

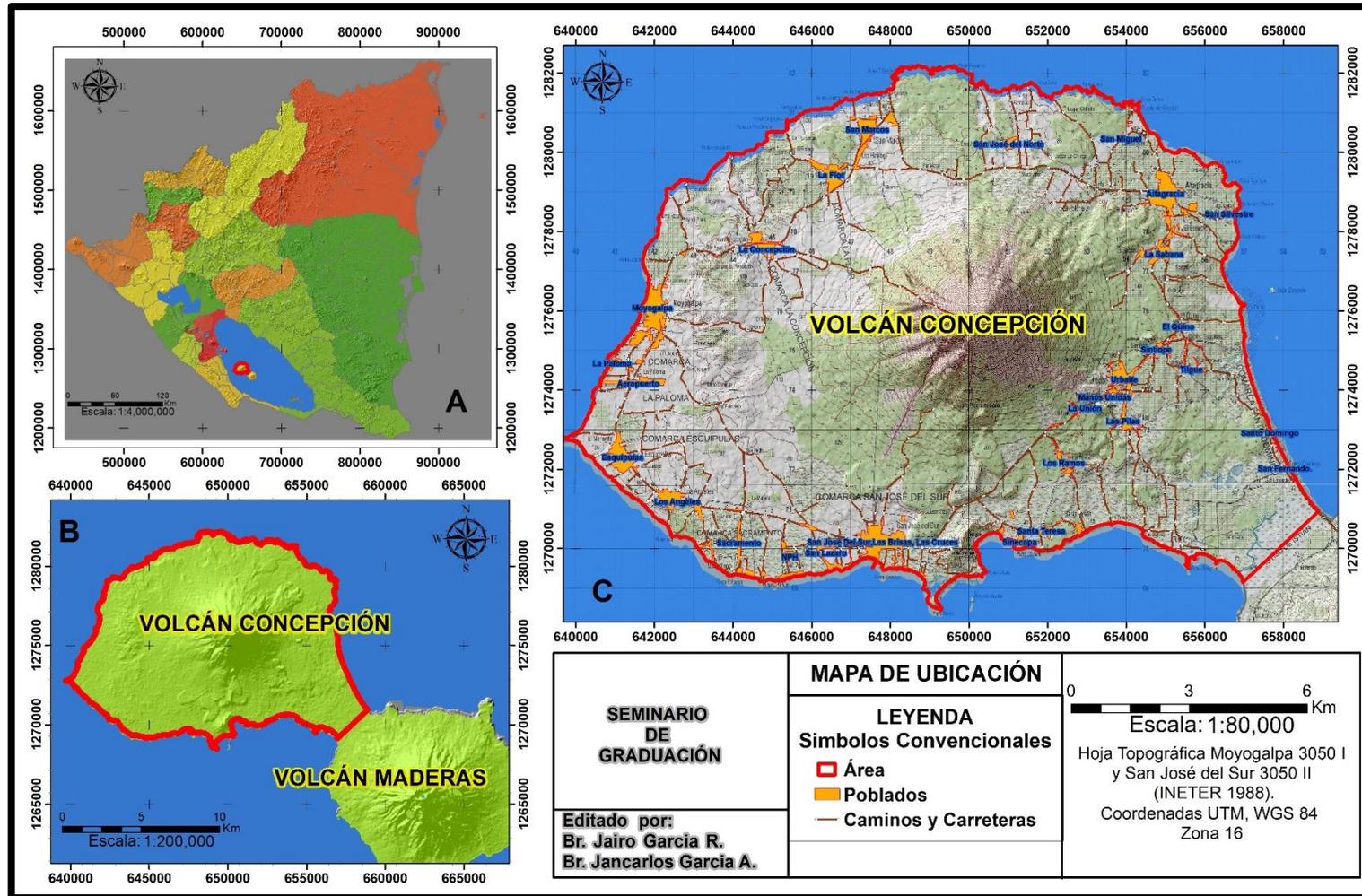


Figura 1: Mapa de ubicación

## II. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Definición de movimientos en masa.

Los movimientos son todos aquellos fenómenos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991). Unos movimientos en masa, como la reptación de suelos, son lentos y apreciarlo a simple vista, en cambio algunos deslizamientos pueden alcanzar velocidades altas cambiando el relieve (Crozier, 1999, en Glade y Crozier, 2005).

Existen diferentes definiciones para nombrar estos fenómenos la mayoría de estos se basan en el tipo de materiales, mecanismo de movimiento, grado de deformación del material y el grado de saturación, (Crozier, 1999, en Glade y Crozier, 2005).

La clasificaciones de movimiento en masa más aceptada en el mundo de habla Inglesa e Hispánica son las de Varnes 1958 y Hutchinson 1968, que se describe en la siguiente tabla 1.

<b>Tipo</b>	<b>Subtipo</b>
Caída.	Caída de roca (detritos o suelo).
Volcamiento.	Volcamiento de rocas (bloque). Volcamiento flexural de roca o de macizo rocoso.
Deslizamiento de roca o suelo.	Deslizamiento traslacional o deslizamiento en cuña. Deslizamiento rotacional.
Flujo.	Flujo de detrito. Flujo de lodo. Flujo de tierra. Avalanchas de detrito. Avalanchas de rocas. Deslizamientos por flujos o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detrito, roca fracturada).
Reptación.	Reptación de suelos.

Tabla 1. Tipos de Movimientos en Masa

Fuente: Proyecto Multinacional Andino (GEMMA, 2007).

## 2.2. Tipos de movimientos en masa

### 2.2.1. Caída

Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por la gravedad y la topografía pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. Ver figura 2.

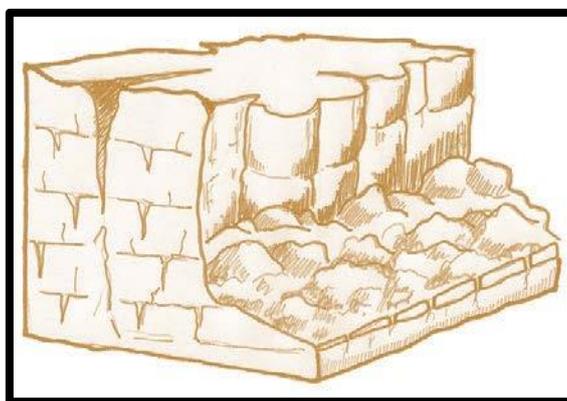


Figura 2: Ejemplo de caída de roca (Skinner & Porter, 1992).

### 2.2.2. Volcamiento

Varnes (1978), se denomina así a un tipo de movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas.

Asimismo Goodman y Bray (1976), diferencian el vuelco de bloques del vuelco flexural. El primero involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base, semejante al vuelco de libros en un estante. El vuelco flexural, en cambio, involucra roca más frágil y densamente diaclasada;

el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales. Ver figura 3.

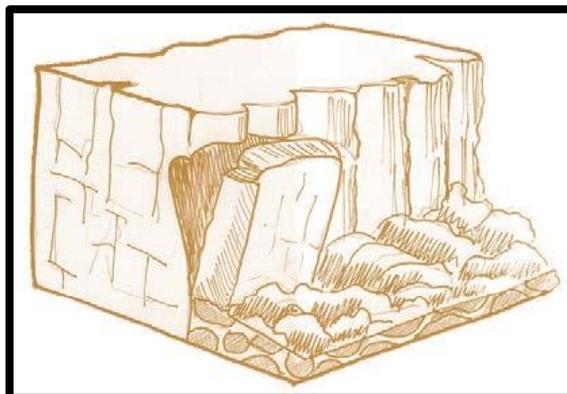


Figura 3: Ejemplo de volcamiento de rocas. (Skinner & Porter, 1992).

### **2.2.3. Deslizamiento**

Es definido como un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (Cruden y Varnes, 1996).

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en deslizamientos traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña los cuales se describirán a continuación:

#### **2.2.3.1. Deslizamiento traslacional**

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996). Ver figura 4.

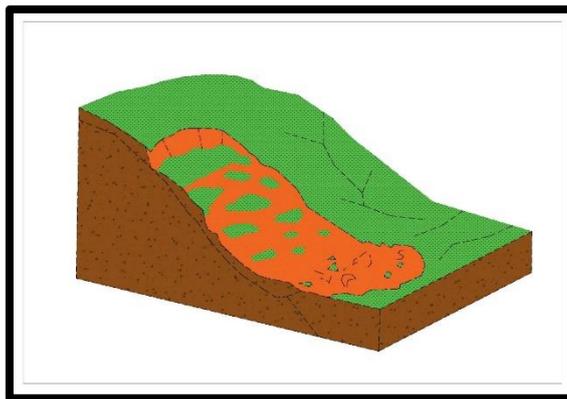


Figura 4: Ejemplo de deslizamiento traslacional. (Skinner & Porter, 1992).

### 2.2.3.2. Deslizamiento rotacional

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (Cruden y Varnes, 1996). Ver figura 5.

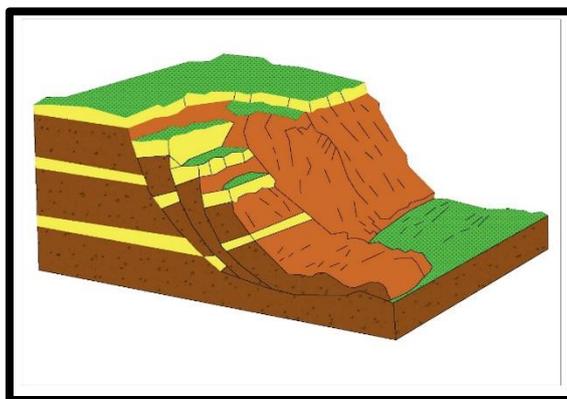


Figura 5: Ejemplo de deslizamiento rotacional (Skinner & Porter, 1992).

### 2.2.4. Flujo

Hungr et al., (2001), clasifican los flujos de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles; así mismo, aportan definiciones que enfatizan aspectos de uso práctico útiles para el estudio de amenazas.

#### **2.2.4.1. Flujo de detritos**

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos.

#### **2.2.4.2. Flujo de lodo**

Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (Índice de Plasticidad mayor al 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material (Movimientos de masa en la región Andina, GEMMA, 2007). Ver figura 6.

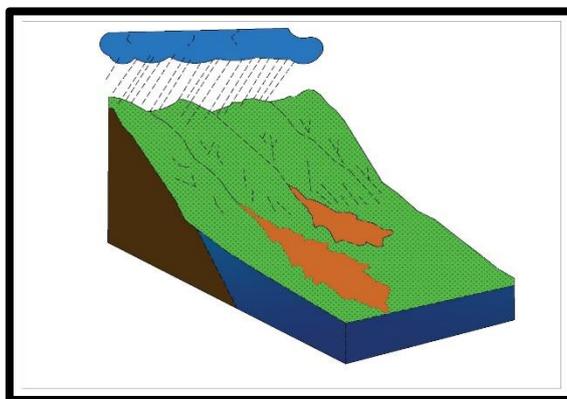


Figura 6: Flujo de lodo (Skinner & Porter, 1992).

#### **2.2.4.3. Flujo de tierra**

Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico (Hungry et al., 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutchinson, 1998). El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos. Ver figura 7.

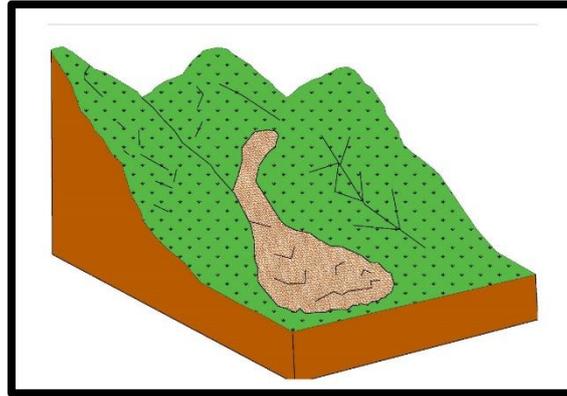


Figura 7: Ejemplo de flujos de detritos (Skinner & Porter, 1992).

#### **2.2.4.4. Deslizamiento por flujo (deslizamiento por licuefacción).**

Hungr et al. (2001) lo definen como flujo muy rápido o extremadamente rápido de una masa de suelo con estructura granular ordenada o desordenada. Este deslizamiento ocurre en taludes de pendiente moderada e involucra un exceso de presión de poros o licuación del material en la zona donde se origina el movimiento en masa.

#### **2.2.4.5. Avalancha de detritos**

Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo (Hungr et al., 2001).

#### **2.2.4.6. Avalancha de rocas**

Vinculado al concepto, las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable (Hungr et al., 2001). Pueden ser extremadamente móviles y su movilidad parece que crece con el volumen.

En ellas sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aun cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria. Algunos

depósitos de avalanchas pueden alcanzar volúmenes del orden de kilómetros cúbicos y pueden desplazarse a grandes distancias (Hungry et al., 2001).

### 2.2.5. Reptación

Se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (Movimientos de masa en la región Andina, GEMMA, 2007). Ver figura 8

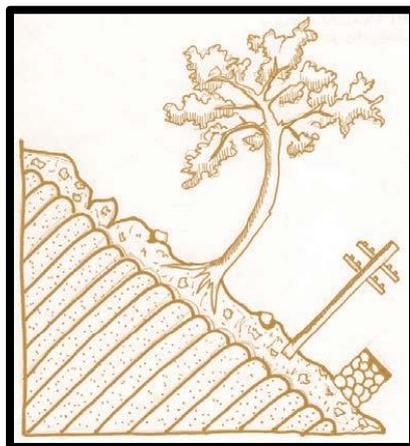


Figura 8: Ejemplo de volcamiento de rocas (Skinner & Porter, 1992).

### **III. GEOLOGÍA REGIONAL DE CENTROAMERICA**

#### **3.1. Tectónica.**

América central se localiza en la placa caribe entre las placas de Norteamérica y Sudamérica, las cuales involucran el movimiento de las placas Cocos y Nazca (Case et al., 1984). Nicaragua se localiza a lo largo del borde oeste de la placa Caribe, sus límites actuales están definidos por la distribución de la actividad sísmica (Molnar y Sykes, 1969). El límite de la placa Caribe se desarrolló debido a la posición relativa de Norte y Sudamérica después del rompimiento de Pangea en el Triásico-Jurásico tardío. En la mayoría de las reconstrucciones de Pangea, el área ocupada actualmente por la placa Caribe fue ocupada por norte y Sudamérica, (bullard et al., 1965).

Ducan y Hargraves, (1984), presentaron un modelo para la evolución del Caribe, en donde el núcleo de la capa fue formado a partir de la efusión de la lava sobre la placa fallaron mientras estas se movía hacia el este por encima del hot spot de las islas Galápagos. Hace aproximadamente 80 Ma, cuando el espacio entre el Norte y Sudamérica era suficientemente grande, la placa Caribe se incorporó dentro del espacio que se estaba abriendo.

En América central, el limite oeste de la placa Caribe está definido por la fosa mesoamericana donde ocurre la subducción entre la placa de Cocos y Caribe, la cual tiene una profundidad de 4 a 5 km, (Case et al., 1984) y aproximadamente se extienden a 130 km de la costa del pacífico de América Central, desde México hasta Costa Rica (Peraldo y Montero, 1999).

La dirección de la subducción de la placa Cocos por debajo del margen pacífico de la placa Caribe, es ligeramente oblicua respecto a límite de placa que subduce con una inclinación de 25° en la parte superficial y 84° a profundidades de 100 y 220 km, (Burbach, 1984).

Las velocidades estimadas de subducción varían de 70 a 80 mm/año, (Frischutter, 2002). Como consecuencia de esta subducción se origina la depresión de Nicaragua, definida por una zona alargada y paralela a la fosa Mesoamericana. Según algunos autores, (McBirney y Williams, 1965; Dengo,

1969) esta depresión empezó a formarse a finales del cenozoico, producto de los esfuerzos de tensión local que actúan en la cresta de un geoanticlinal, como consecuencia de la compresión regional que existe sobre la Fosa Mesoamericana. A finales del Plioceno, en el extremo noroeste de la depresión, inicia el vulcanismo que dio origen a la Cadena Volcánica de América Central, cuya porción nicaragüense se extiende desde el volcán Cosigüina en el norte, hasta el volcán Maderas en el sur.

El material fundido de la placa de Cocos asciende casi verticalmente penetrando la Placa Caribe, formando así la Cadena Volcánica nicaragüense, a lo largo de una línea casi recta y paralela con una distancia promedio de 200 km de la Fosa Mesoamericana, (Molnar, P & Sykes, L. R., 1969).

América central puede dividirse en cuatro grandes bloques estructurales, denominados: maya, Chortis, Chorotega y Choco, (Dengo, 1969; 1973; Escálate 1990). Los cuales se caracterizan por su diferente naturaleza tanto oceánica como continental y están ubicados de la siguiente manera:

El bloque Chortis está definido desde la parte sur de Guatemala, Honduras, la parte norte y occidental de Nicaragua. Este bloque tiene una corteza de tipo continental y está separado del bloque Maya por el sistema de fallas Motagua-Polochic. Por el sur está separado del bloque Chorotega por el accidente de Hess, (Di Marco, 1995). En la parte norte el bloque Maya y Chortis, presentan una naturaleza continental, los cuales se considera que estaban ligados a la parte occidental de la Placa de Norteamérica y que se movieron gradualmente hasta ocupar la posición actual como parte de la placa Caribe.

El bloque Chorotega es de origen oceánico, abarca la mayor parte de istmo Centroamericano, incluyendo la parte sudoriental de Nicaragua, que durante el Cretácico-Paleoceno tardío formaba el borde occidental de la Placa Caribe por lo que se supone que es el resultado de la actividad volcánica relacionada a la subducción de la placa de Cocos por debajo de la Placa Caribe. Las estructuras que limitan este bloque son poco conocidas (ver figura 9).

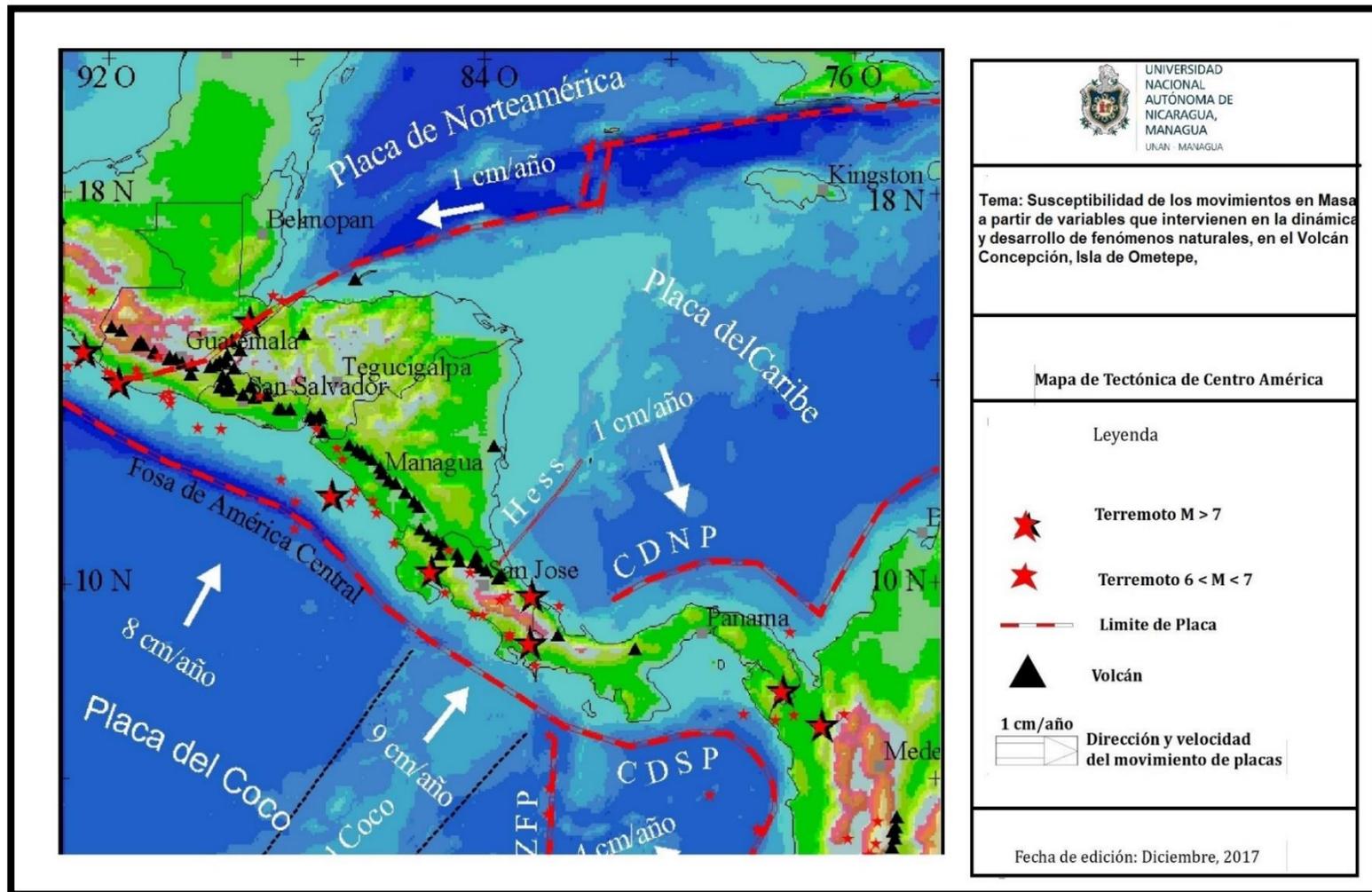


Figura 9: Mapa De Tectónica Regional. Fuente: Webserver2.Ineter.Gob.Ni

### **3.2. Geología de Nicaragua.**

La geología regional de Nicaragua presenta edades del Mesozoico Inferior al Cenozoico. Dentro de estas eras ocurrieron muchos eventos de origen geológicos como el establecimiento de la subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Caribe. Estos eventos marcaron la formación de potentes capas de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias distribuidas en todo el territorio con secuencias estratigráficas de diferentes épocas y edades. A continuación se describirán de una manera generalizada cada uno de estos depósitos tomando en cuenta su edad, de la más antigua a la más joven.

#### **A) Mesozoico**

##### **Cretácico Inferior:**

En el Cretácico Inferior se distinguen depósitos metamórficos, conocidos como Esquistos Verdes con diferentes grados de metamorfismo. Entre estas rocas tenemos filitas, esquistos sericíticos y micacitas filíticas (Del Guidice, 1960). En la región de Siuna, se encuentran rocas sedimentarias de este período como: arenisca, lutita y caliza (Mills, R.A. & Hugh, K.E., 1974).

Estos depósitos de rocas afloran en el norte del país en la región del departamento de Nueva Segovia, parte del departamento de Jinotega y la frontera con Honduras, también, en la región de Siuna, (RAAS, Atlántico Sur).

Los depósitos metamórficos presentan una edad del Cenozoico, en su Período Cretácico Inferior de  $\pm 125$  Ma (Del Guidice, 1960; Dengo, 1983 y Garayar, 1971).

##### **Cretácico Superior Al Cenozoico (Paleógeno Eoceno):**

En el período Cretácico Superior al período Paleógeno Eoceno se depositaron grandes espesores de rocas sedimentarias de origen pelágico y turbidíticos. La secuencia estratigráfica fue interrumpida varias veces con la deposición de materiales volcánicos e intrusiones ígneas. Así mismo, hubo levantamiento, hundimiento, invasión y retirada del mar. (Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D., 1958).

Estos depósitos se encuentran en la franja costera del Pacífico, desde Corinto hasta la frontera Sur con Costa Rica, al Oeste desde la Plataforma Continental del

Pacífico, al Este hasta la Cordillera de Mateare (Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D., 1958).

En estos depósitos, se han identificado 5 formaciones y 1 grupo: Formación Rivas, Formación Brito, Formación Masachapa, Formación El Fraile, Formación El Salto y Grupo Tamarindo, cuyas edades varían de  $\pm 72.1$  a  $\pm 26$  Ma, (Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D., 1958; Paz Rivera, 1964).

## **B) Cenozoico**

### **Paleógeno Oligoceno Al Neógeno Plioceno:**

Los depósitos de rocas del Cenozoico se formaron producto de intensas actividades volcánicas, dejando gran volumen y predominio de rocas volcánicas. Estos depósitos afloran al Oeste con la Depresión Nicaragüense, al Sur con el río Indio y al Este, con las áreas bajas de la Costa Atlántica. *McBirney & Williams (1965)*, clasificaron este depósito en dos grandes grupos: Grupo Matagalpa y Grupo Coyol.

*Grupo Matagalpa*: formado en la parte basal por sedimentos volcánicos, brechas laháricas, lavas basálticas y en menor cantidad, rocas andesíticas; la parte media está constituida por tobas e ignimbritas riolíticas, y la parte superior por lavas intermedias andesíticas a lavas félsicas, dacíticas y rocas piroclásticas. Se ha calculado que los depósitos rocosos de este grupo tienen una edad comprendida entre Oligoceno-Mioceno ( $\pm 23.03$  a  $7.25$  Ma).

*Grupo Coyol*, formado por pequeñas capas de lavas máficas e ignimbritas andesíticas a dacíticas. La edad de este grupo se ha estimado entre Mioceno-Plioceno ( $\pm 7.25$  a  $2.6$  Ma). *Ehrenborg (1996)*, propone una nueva estratigrafía para el Grupo Coyol y Matagalpa, en base a las facies distales de la fuente de emisión volcánica. Bajo este criterio los depósitos del Grupo Coyol se clasificaron de la siguiente manera: Domo Riolítico, Escudo Estratiforme, Unidad Volcánica de Escudo- Estratiforme y Escudo Ignimbrítico.

Así mismo, *Ehrenborg (1996)*, también describe una litología heterogénea de basaltos a basaltos andesíticos. Las rocas más comunes presentes en este grupo son: basalto, andesita, dacita, toba, ignimbritas, flujos piroclásticos dacíticos a riolíticos, brechas y aglomerados. A su vez, estos materiales son intruidos por

domos riolíticos.

El área de estudio se encuentra dentro de los depósitos del Grupo Coyol, con una clasificación de facie distal correspondiente a Unidad Volcánica de Escudo Estratiforme.

### **Cuaternario**

Los depósitos de rocas Cuaternarias se encuentran paralelas a la faja costera del Pacífico de Nicaragua. Están contenidos principalmente dentro de la Depresión Nicaragüense, la que a la vez contiene la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaragüense y los lagos de Nicaragua (Paz Rivera, 1964; McBirney, A & Williams, H., 1965). La litología que caracteriza esta unidad es depósitos aluviales intercalados con material piroclástico proveniente de la Cadena Volcánica Cuaternaria. Los depósitos piroclásticos se han agrupado en dos grupos: Grupo Las Sierras y Grupo Managua, cada uno con sus subdivisiones (Kuang, 1971).

#### **IV. METODOLOGÍA DE ESTUDIO.**

La metodología empleada para cumplir con los objetivos propuesto de dicha investigación consistió en 3 etapas que se describen en el orden que sigue:

Etapa de gabinete

Etapa de campo

Etapa de procesamiento e interpretación de los datos obtenidos en campo

##### **4.1. Trabajo de gabinete.**

###### **Revisión Bibliográfica.**

La investigación se empezó con la recopilación de información existente relacionada con el tema investigativo, incluyendo mapas topográficos, geológicos, publicaciones geológicas, artículos y publicaciones en periódicos o revistas, fotos multitemporales de Google Earth (2000 hasta 2017), que describen la historia del sitio, informes geotécnicos, geológicos, bases de datos, precipitaciones y uso de suelo, obtenida de INETER.

Las hojas topográficas y geológicas analizadas fueron: Isla de Ometepe Moyogalpa 3050 I y San José del Sur 3050 II a escala 1:50,000. Esta etapa sirvió para planificar la forma más viable para la realización de los trabajos de campo, esto también ayudo a delimitar el área de estudio y definir los puntos de ubicación para realización de la cartografía.

Se utilizaron imágenes satelitales multitemporales de Google Earth para definir los distintos deslizamientos, drenajes y principales escarpes ubicados en el área. Con los resultados obtenidos de la interpretación y del análisis de las imágenes satelitales Landsat del satélite Copernicus a partir del año 2000 hasta el 2017, se realizó un mapa base a escala 1:50,000 mediante el cual se logró información geológica y una caracterización previa del área antes de realizar la visita de campo.

## 4.2. Trabajo de campo.

En esta etapa se realizaron tres campañas de campo en el período noviembre 2016 - marzo y mayo del 2017. La caracterización geológica se realizó mediante la descripción litológica y estructural de afloramientos, así mismo esta información fue comparada con informes obtenidos y mapas geológicos del área.

El levantamiento geológico se realizó a una escala 1:50,000 en un área de 176 km<sup>2</sup>. Este consistió en la caracterización e identificación de la geología del terreno mediante la caracterización y descripción de afloramientos encontrados en campo, ver figura 10 y tabla 2.

Se describió y se determinan las estructuras geológicas presentes así mismo las formas en que se encontraban las distintas fracturas, y distintas juntas de fracturas, tomando todos los datos necesarios para su debida documentación: rumbo, buzamiento, dirección del buzamientos y coordenadas x, y con en Datum WGS 84.

Se realizó levantamiento geológico en cortes de caminos y carreteras, cabe mencionar que se tomaron muestras en lugares representativos para su debida interpretación macroscópicos (Identificación de minerales por medio de lupa 10x, dureza, sabor, textura y forma de la roca) ver foto 1 y 2.



**Foto 1.** Afloramiento de depósitos de toba. Coordenadas 647814 E, 1270824 N



**Foto 2.** Contacto entre avalancha de roca y depósito lacustres. Coordenadas 657612 E, 1273137 N

Se elaboró un mapa geológico con la ayuda del programa de ArcGis 10.2, integrando todas las unidades encontradas y cartografiadas así mismo se comparó y se integró la información existente, el mapa geológico se elaboró a una escala 1: 50,000. En la tabla 2 podemos encontrar las coordenadas de los sitios visitado en campo.

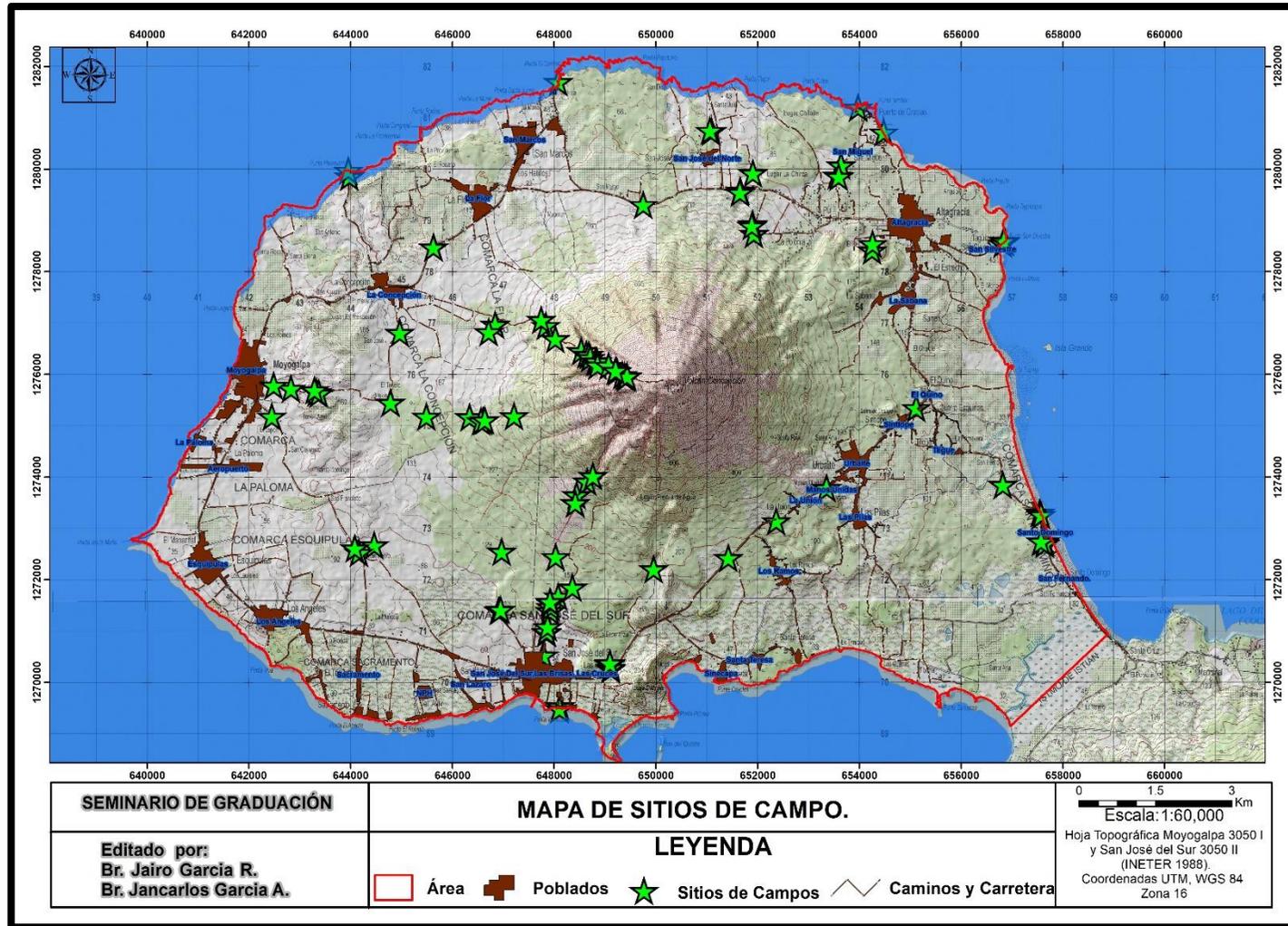


Figura 10: Mapa de sitios de campo visitado.

COORDENADAS UTM WGS 84 DE SITIOS DE CAMPOS														
Puntos	Este	Norte	Puntos	Este	Norte	Puntos	Este	Norte	Puntos	Este	Norte	Puntos	Este	Norte
1	647791	1270525	22	647842	1276950	43	656825	1273849	64	651664	1279585	85	647214	1275195
2	647854	1270983	23	646843	1276969	44	657654	1272748	65	651658	1279548	86	642830	1275727
3	647928	1271392	24	646719	1276831	45	657592	1272749	66	651913	1279922	87	643290	1275695
4	647937	1271471	25	648026	1276699	46	657551	1273307	67	651099	1280742	88	642452	1275183
5	647936	1271550	26	648536	1276460	47	657576	1273265	68	651067	1280754	89	642488	1275785
6	648086	1271676	27	648637	1276391	48	653562	1279884	69	648085	1281701	90	644968	1276816
7	648361	1271851	28	648686	1276380	49	651930	1278738	70	656827	1278556	91	643976	1279857
8	648032	1272446	29	648712	1276325	50	645634	1278482	71	656867	1278590	92	643955	1279975
9	648414	1273493	30	648816	1276257	51	651907	1278930	72	656846	1278601	93	647853	1270967
10	648443	1273655	31	648827	1276260	52	651890	1278896	73	654253	1278419	94	647857	1270991
11	649114	1270262	32	648846	1276253	53	647748	1277066	74	654264	1278547	95	647874	1271079
12	649117	1270288	33	648858	1276179	54	648119	1269538	75	653600	1279860	96	647936	1271550
13	649093	1270347	34	649075	1276172	55	648111	1269484	76	643332	1275655	97	647923	1271575
14	649095	1270361	35	649240	1276063	56	657655	1272708	77	643380	1275636	98	646913	1271404
15	649101	1270375	36	649343	1275992	57	657575	1272750	78	644785	1275450	99	646953	1271417
16	649957	1272211	37	649391	1275970	58	653645	1280078	79	645491	1275184	100	646972	1272550
17	651426	1272429	38	649417	1275946	59	656927	1278737	80	646605	1275102	101	648419	1273495
18	652369	1273146	39	649434	1275963	60	656982	1278716	81	646339	1275172	102	648651	1273916
19	653357	1273790	40	649210	1276079	61	645631	1278478	82	646564	1275089	103	648763	1274025
20	655120	1275349	41	648111	1269484	62	649758	1279309	83	646643	1275109	104	644468	1272676
21	644166	1272530	42	644087	1272614	63	654484	1280724	84	653979	1281202			

Tabla 2. Coordenadas de sitios visitados.

## **Instrumentos.**

Para la realización de este estudio se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Brújula
- Hoja topográfica Moyogalpa 3050 I y San José del Sur 3050 II
- GPS
- Libreta de campo
- Lápiz
- Borrador
- Machete
- Lupa
- Cinta métrica
- Cámara

### **4.3. Elaboración del mapa de Susceptibilidad.**

#### **4.3.1. Trabajo de campo.**

El trabajo de campo consistió en la realización de un inventario de movimientos en masa, con la ayuda de la fotointerpretación realizada en la primera etapa. Se documentaron antiguos movimientos en masa ocurridos en el área, estos fueron integrados al mapa geológico 1: 50,000.

Dentro del levantamiento se realizó la descripción del material desplazado, tipo de deslizamiento, forma y textura de los clastos y tipo de roca.

#### **4.3.2. Inventario de movimientos en masa.**

El inventario de movimientos en masa consistió en describir cada unidad identificada en el terreno sus características topográficas, geológicas y estructurales.

#### **4.3.3. Metodología de elaboración del mapa de susceptibilidad 1: 50000.**

Para la elaboración del mapa de Susceptibilidad se identificaron los principales parámetros relevantes para la generación de movimientos en masa en la zona de estudio, también llamadas variables de predicción.

De igual forma se le asignaron valores de forma subjetiva de acuerdo a que tan relevante se consideren. Esto requirió de un investigador familiarizado con el área de estudio ya que debe seleccionar los parámetros a ponderar y asignarles peso.

Es importante mencionar que esta investigación surge en el marco de un proyecto realizado por el Instituto de Geología y Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, (IGG-CIGEO UNAN-MANAGUA).

Posteriormente se combinaron utilizando un algoritmo matemático diseñado al respecto con la ayuda de programa Arcgis. Con la combinación de los valores de diferentes variables condicionantes se obtiene un número para cada unidad de terreno, la sumatoria de todas estas variables debe dar un porcentaje de 100%.

**Mapa de Susceptibilidad:  $\sum$  Geología + Drenaje + Fallas + Precipitaciones + Escarpes + Sismos + Uso de suelo + Pendiente= 100%**

La asignación de valores a cada variable se realizara de acuerdo a su influencia relativa a la inestabilidad. El método utilizado es el método Heurístico Geomorfológico. (Se basa en la utilización de reglas empíricas para llegar a una solución. El método heurístico conocido como "IDEAL", formulado por Bransford y Stein (1984), incluye cinco pasos: Identificar el problema; definir y presentar el problema; explorar las estrategias viables; avanzar en las estrategias; y lograr la solución y volver para evaluar los efectos de las actividades (Bransford & Stein, 1984).

A continuación se mencionan las variables usadas en la ponderación de parámetros de predicción:

- ✓ Pendiente (ángulo, orientación)
- ✓ Geología (asociación con la estratigrafía)
- ✓ Condiciones del drenaje a partir de las curvas de nivel.
- ✓ Uso de suelo
- ✓ Sismos
- ✓ Fallas

- ✓ Precipitaciones.
- ✓ Escarpes.

#### **4.3.4. Método heurístico.**

En este caso se identifican algunos parámetros relevantes para la generación de movimientos en masa en la zona de estudio (variables de predicción), se les asignan valores en forma subjetiva, acordes a que tan relevante se consideren y se combinan utilizando un algoritmo diseñado al respecto. Este método requiere un experto familiarizado con el área de estudio quien debe seleccionar los parámetros a ponderar y asignarles el peso.

#### **4.4. Metodología Sistema de Información Geográfica (SIG).**

El método empleado para la cartografía del área de estudio ha requerido en primer lugar la creación de una base de datos a partir de la elección y cartografía de los factores del terreno condicionantes y detonantes de la inestabilidad.

Para ello se han utilizado técnicas tradicionales, como la fotointerpretación y el reconocimiento directo de campo, junto con técnicas y tratamiento digital de imágenes satelitales (Landsat) y de imágenes del sombreado obtenida a partir de modelos de elevación del terreno (MDE) de 30 m, estos factores, una vez homogenizados en cuanto a su contenido, escala, proyección cartográfica se han integrado aun SIG.

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad se trabajó con el programa Arcgis 10.2. La elaboración de la información de los shapefiles (Geología, drenaje, escarpes, uso de suelo, pendiente) se obtuvo mediante las herramientas de ArcBruTile Y OpenStreetMap.

Los shapefiles de precipitaciones, sismos fueron obtenidos de la base de datos del INETER. El shapefiles de Geología se obtuvo mediante la cartografía geológica y la interpretación de imágenes Landsat.

Seguidamente a cada uno de estos shapefiles se les agrega un campo en la tabla de atributos para la clasificación y asignarle un peso en función de su influencia relativa de la inestabilidad (figura 11).

ClaseUso	Codigo
Agua	1
Bosque latifoliado abierto	1
Agua	1
Matorrales/malezas	3
Bosque latifoliado cerrado	1
Agua	1
Matorrales/malezas	3
Bosque latifoliado cerrado	1
Agua	1
Agua	1
Bosque latifoliado cerrado	1
Tacotales	2
Agua	1
Matorrales/malezas	3
Matorrales/malezas	3
Bosque latifoliado cerrado	1
Agua	3
Matorrales/malezas	3

Figura 11: Ejemplo de codificar las diferentes variables.

Después de realizar la clasificación a cada variable de esta misma forma se convierte, a raster el campo código (esto se hizo para cada una de las 8 variables).

La conversión a raster de cada shapefiles se efectuó mediante la caja de herramienta de Arcgis (ArcToolBox), seguidamente la herramienta de Conversion Tools, se continua seleccionando, To raster y después se insertan el archivo de entrada y el campo código (detalle en figura 12)

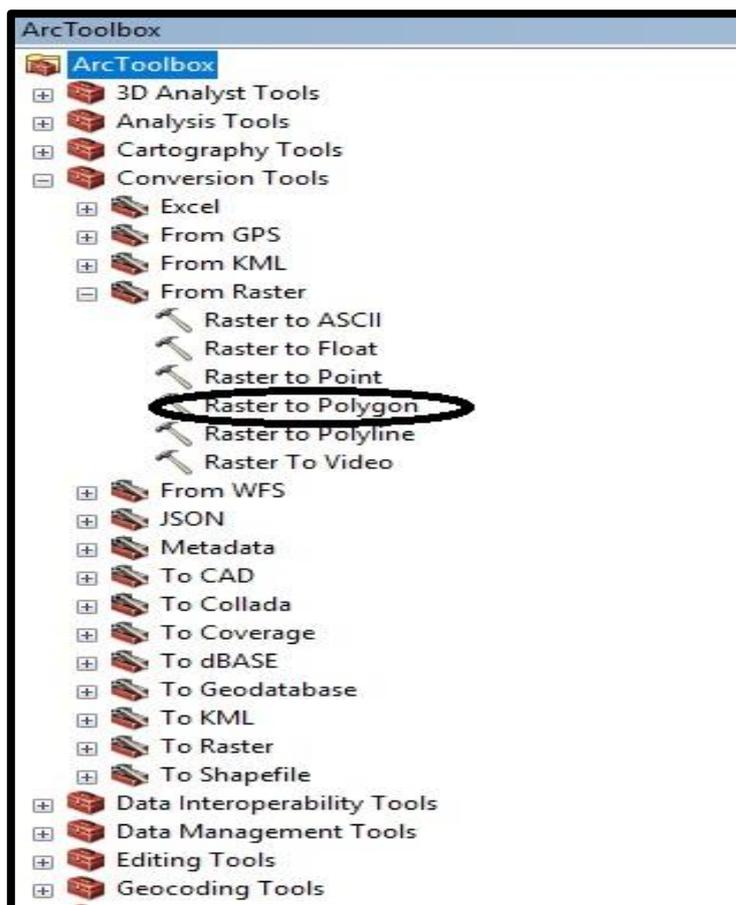


Figura 12: Pasos para convertir a raster

Una vez convertidos a raster las variables, se precede a la caja de Herramientas de ArcToolBox, seguidamente Spatial Analyst Tools y por ultimo Map Algebra, aquí se le asigna un peso a cada raster, estos son sumados hasta llegar a un total de 100%, (figura 13).

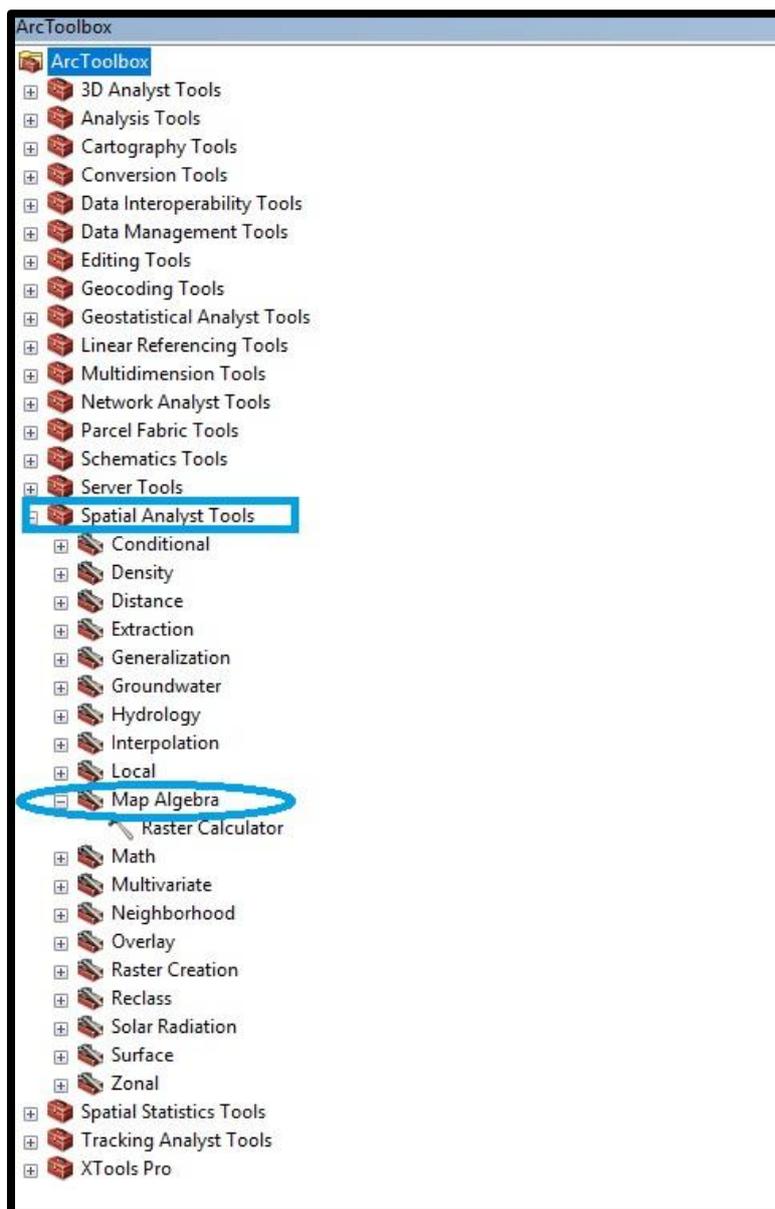


Figura 13: Realización de mapa de Susceptibilidad

Los valores de Susceptibilidad van desde 1 hasta 4.

- 1: Susceptibilidad Baja.
- 2: Susceptibilidad: Media.
- 3: Susceptibilidad Alta.
- 4: Susceptibilidad Muy Alta.

#### 4.5. Metodología de la elaboración de mapas de variables de predicción.

Las variables analizadas en esta investigación, son los elementos que condicionan los fenómenos de inestabilidad de laderas y en la mayoría de ocasiones son factores desencadenante. Los valores asignados a cada variables, depende especialmente de la importancia que estos tienen al analizar el fenómeno.

##### 4.5.1. Mapa de drenajes

Este mapa se realizó a una escala 1:50,000 a partir de la herramienta ArcBru Tile de ArcGis 10.2, Google Earth e imágenes Landsat 2017. El cual se creó un shapefiles de línea, cartografiando cada uno de los drenajes, la mayoría de estos drenajes son caminos, por lo cual en periodos de inviernos estos son ocupados por escorrentías que logran llegar a las zonas pobladas ubicadas en la parte distal del volcán.

Considerando estos drenajes como un factor susceptible y tomando en consideración algunas cárcavas observados en San José del Sur (figura 14) y en diferentes áreas alrededor del volcán se tomó una distancia que detallamos en la tabla No 3.

Unos de los elementos desencadenantes de los fenómenos de inestabilidad de ladera son las lluvias, el drenaje es un factor importante para el análisis de la estabilidad o equilibrio de una ladera.

Las altas precipitaciones y la abundancia de material ubicado en las partes más altas del volcán generan una susceptibilidad alta.

DRENAJE			
Variable	Distancia m	Peso Asignado	Susceptibilidad
Multi-Buffer Drenaje	150	4	Muy Alta
	300	3	Alta
	450	2	Media
	600	1	Baja

Tabla 3. Multibuffer drenajes

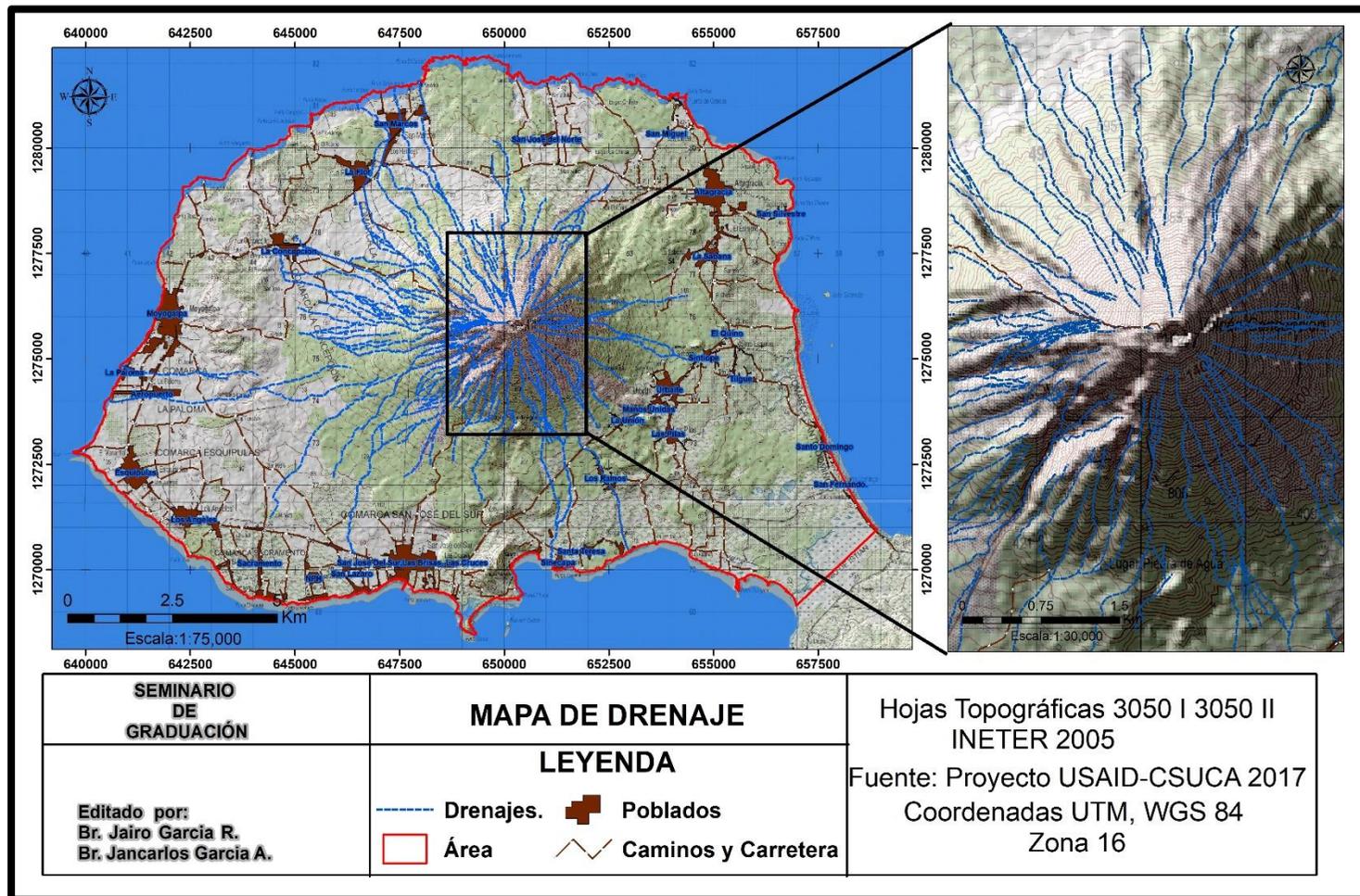


Figura 14: Mapa de drenaje (Tomado del proyecto USAID-CSUCA, 2017)

#### 4.5.2. Mapa de escarpes.

Se realizó mediante la herramienta de ArcBruTile de ArcMap 10.2. a escala 1:50000, con la ayuda de imágenes Landsat de Google Earth.

Aproximadamente el 80% de los escarpes se encuentran en el cráter del volcán, a esta variable se le asignó un multibuffer de 75 m de radio, para las diferentes tipos de susceptibilidad.

Los escarpes son algunos elementos topográficos que favorecen los derrumbes y aportan material, para que otros elementos puedan asociarse y desencadenen un fenómeno de inestabilidad de ladera. Ver figura 15 y tabla 4

La mayoría de los escarpes ubicados en el volcán Concepción se encuentran en las zonas con mayores pendientes, casi todos (90%) están relacionados con deslizamientos antiguos, siendo estos los principales aportadores de material.

ESCARPES			
Variable	Distancia m	Peso Asignado	Susceptibilidad
Multi-Buffer Escarpe	75	4	Muy Alta
	150	3	Alta
	225	2	Media
	300	1	Baja

Tabla 4. Multibuffer escarpes

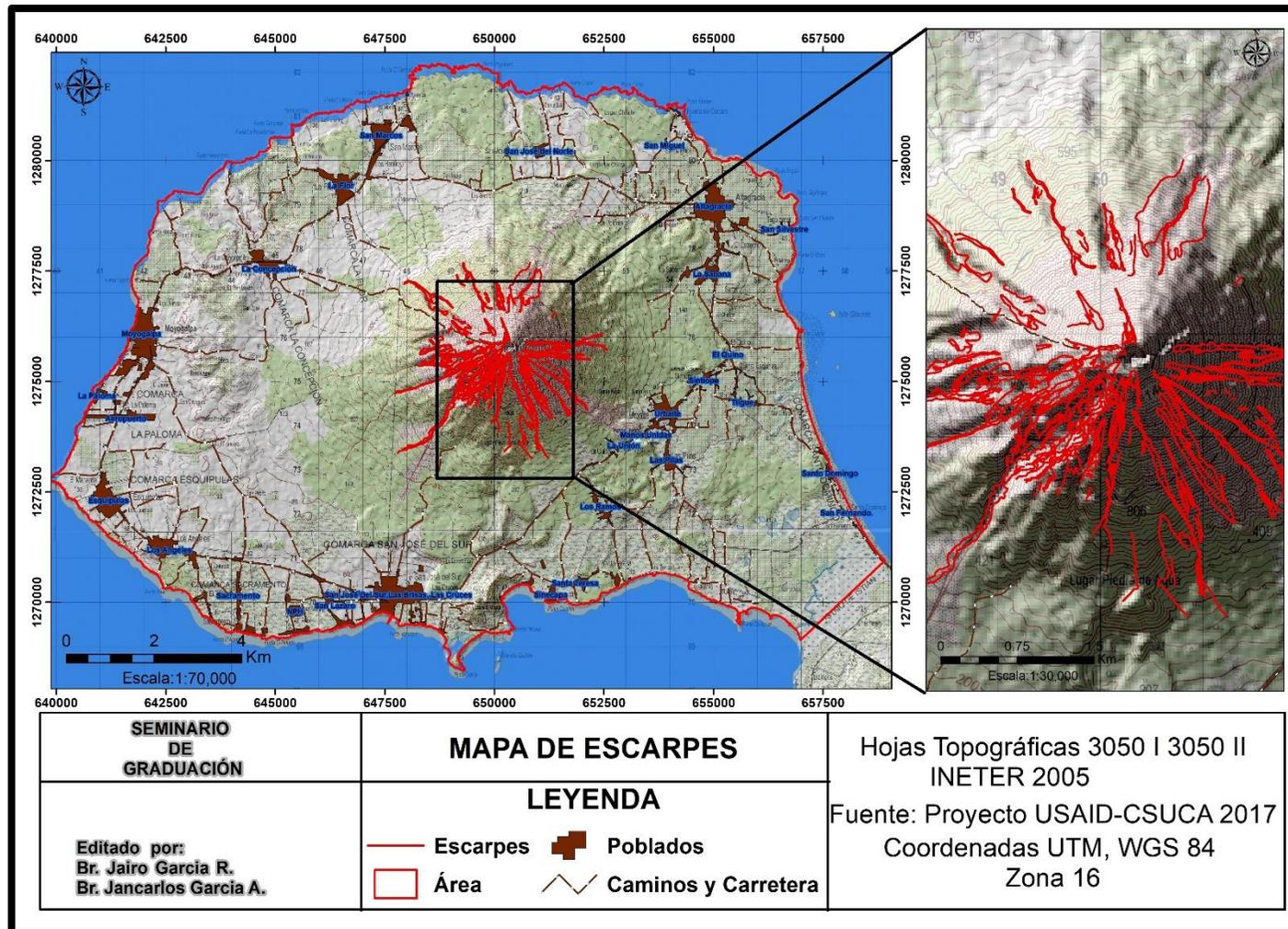


Figura 15: Mapa de escarpes (Tomado del proyecto USAID-CSUCA, 2017)

### 4.5.3. Mapa geológico.

Se elaboró por medio de la visitas de campo, con la ayuda de las fotografías aéreas satelitales a escala 1:50000, imágenes de Google Earth y la herramienta ArcBru Tile de (ArcMap).

Las rocas y los macizos rocosos están sometidos constantemente a tensiones y deformaciones que permiten evaluar su comportamiento mecánico, a partir del reconocimiento de las propiedades físicas y de las condiciones a las que están sometidas en la naturaleza. Las propiedades físicas controlan las características resistentes y deformación de la matriz rocosa y son el resultado del origen, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por la roca a lo largo de su historia. Adicionalmente, otros factores como las condiciones hidrogeológicas, las condiciones ambientales, el clima y otros fenómenos meteorológicos, inciden sobre el potencial comportamiento mecánico de los materiales. Ver figura 16 y tabla 5

Cabe resaltar que las pendientes, el grado de fracturamiento y las precipitaciones locales, son parámetros detonantes para la determinación de la susceptibilidad de una roca a los procesos de movimientos en masa.

GEOLOGÍA			
Variable	Litología.	Peso Asignado	Susceptibilidad
Geologia	Aluviones	2	Media
	Avalanchas de Escombros.	4	Muy Alta
	Lava	4	Muy Alta
	Flujos de detritos	3	Alta
	flujos piroclasticos	3	Alta
	Lacustres	1	Baja
	Tefra	2	Media
	Tobas	2	Media

Tabla 5. Pesos asignados a unidades Geológicas

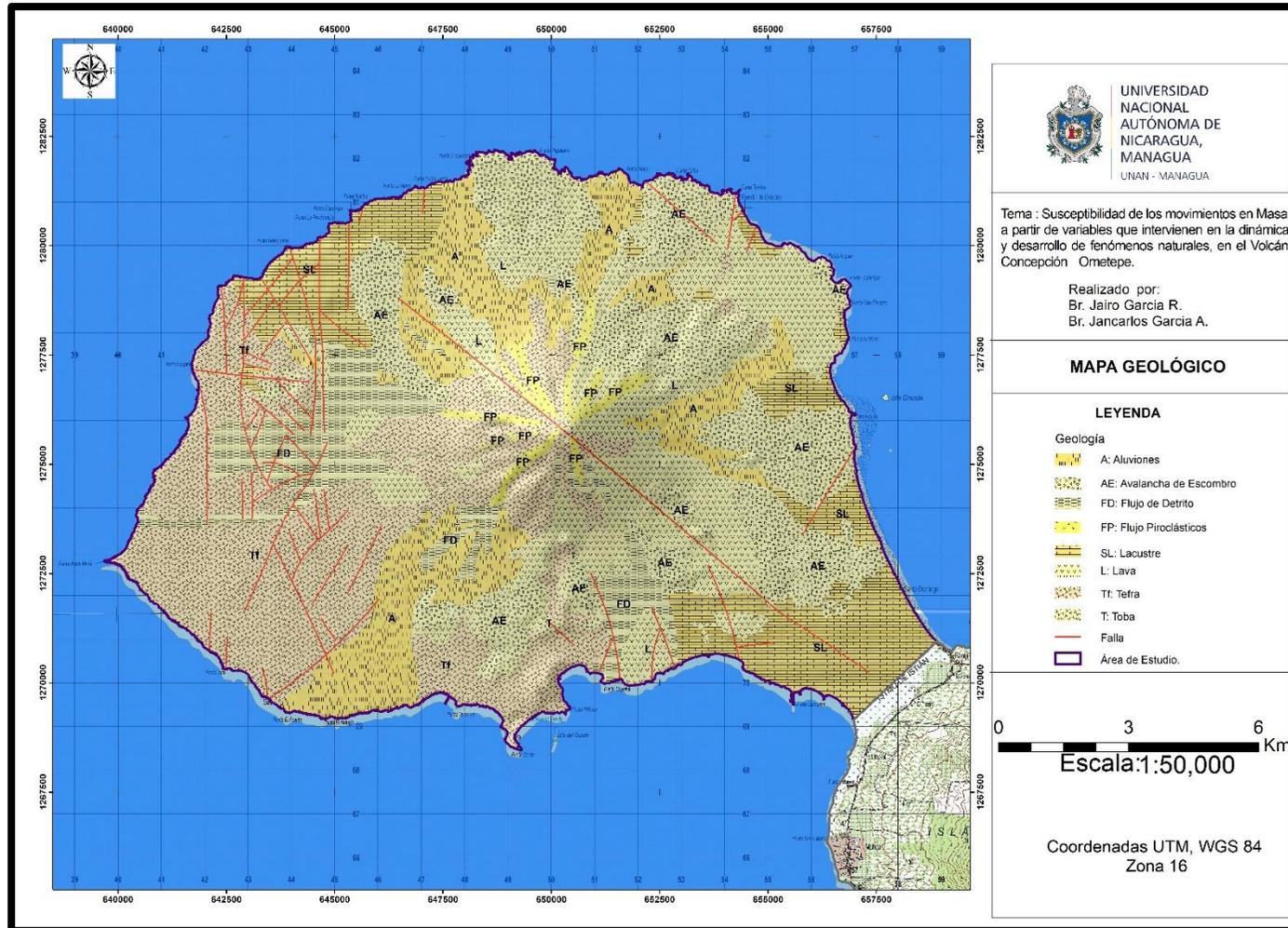


Figura 16: Mapa Geológico de (Borga 2003) editado por (Br. Jancarlos García y Br. Jairo García, septiembre 2017)

#### 4.5.4. Mapa de pendiente

Se elaboró a partir de las curvas de nivel de 10 m obtenida de la herramienta de OpenStreetMap de ArcMap 10.2, con una resolución de 5 megapíxeles, esto quiere decir que cada megapíxel es un millón de píxeles, por lo tanto un píxel es un punto en una imagen gráfica; todas las imágenes gráficas están hechas de cientos de pequeños y la calidad óptica adquiere mayor importancia. Se le asigno peso de acuerdo a los valores de pendiente.

Varnes (1978) y SHUK (1995), considera las pendientes de gran importancia en el estudio de los movimientos de ladera, estableciendo el ángulo de la pendiente, como la variable de mayor influencia en el desarrollo de movimientos de ladera de terrenos montañosos. Plantea además, que al aumentar el ángulo de la pendiente de la ladera, disminuye el peso y por consiguiente el volumen del material afectado por unidad de área. También establece que las pendientes en cualquier área, se relaciona estrechamente con la historia geológica. Ver figura 17 y tabla 6.

En general se ha aceptado por parte de los estudios del tema que un mayor grado de inclinación de los terrenos los hace más susceptibles a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa, aunque dicha premisa no aplique para algunas zonas en donde la presencia de vegetación arbórea, la dureza del material geológico aflorantes, la presencia de pendientes cortas y muy empinadas y la escasa capacidad de infiltración de las aguas de escorrentía, genera condiciones de mayor estabilidad que terrenos con menor inclinación.

PENDIENTE			
Variable	% de la Pendiente	Peso Asignado	Susceptibilidad
Pendiente	0-4	1	Baja
	4-15	2	Media
	15-25	3	Alta
	25-50	4	Muy Alta

Tabla 6. Pesos asignados a los % de pendientes.

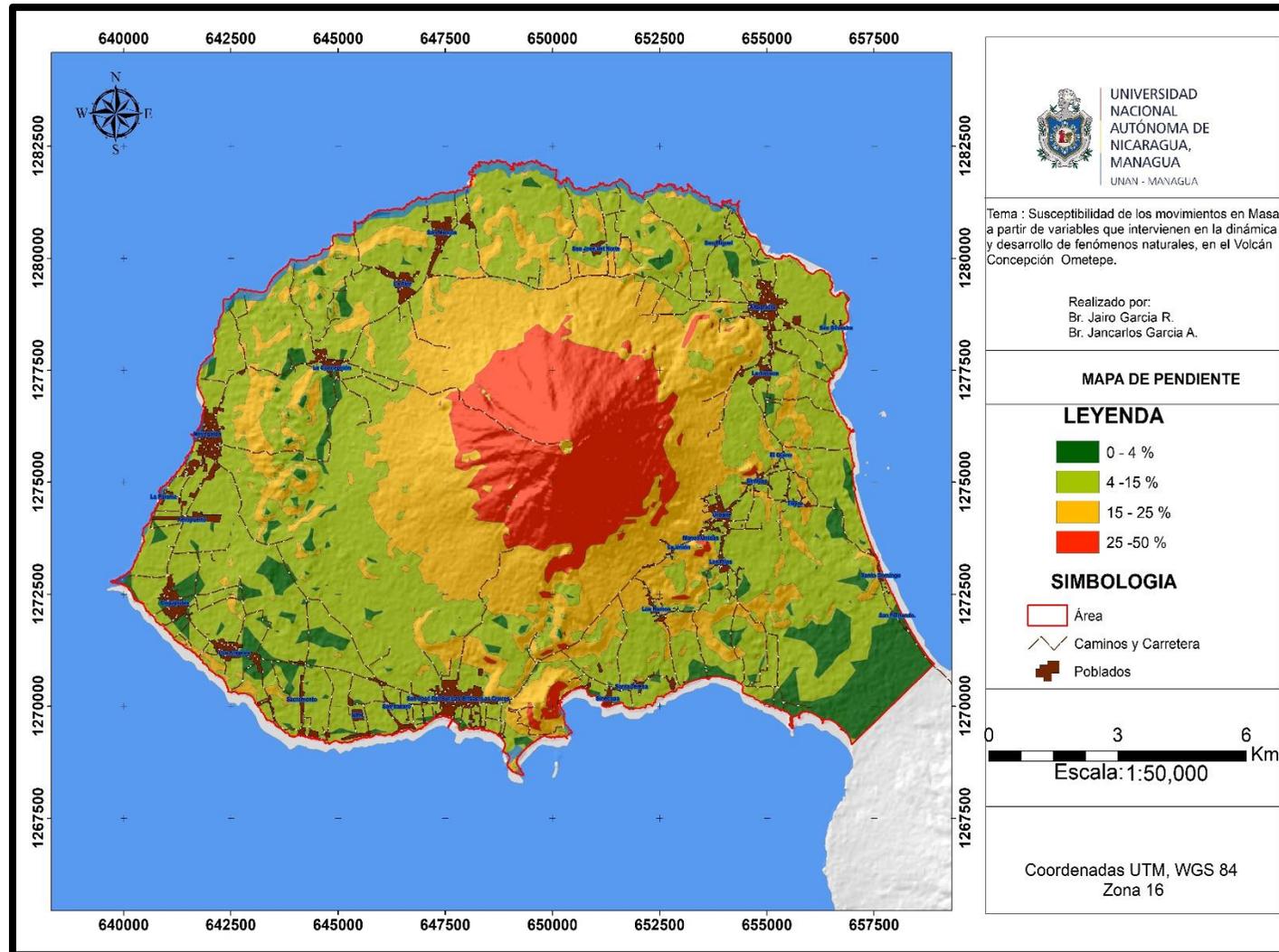


Figura 17: Mapa de pendiente.

#### **4.5.5. Mapa de uso de suelo.**

Este mapa se elaboró a partir de la herramienta de OpenStreetMap de ArcMap 10.2, del año 2015.

Según Morgan 1986 los procesos de movimientos en masa tiene una conexión directa, con el tipo de cobertura, encontrándose que menos del 1% de las cicatrices de movimientos en masa se presentan en áreas boscosas, 47% están en terrenos cultivados y otro 47% están en terrenos de pastos y rastrojo.

Aquellos que presentan sistemas de raíces de anclaje profundo y hacia los lados en el suelo como lo es la vegetación arbórea y arbustiva permite una resistencia a la ruptura, fracturación o fallamiento y generando la estabilidad del terreno a los procesos de movimientos en masa. Suárez (1998) afirma que en lo referente a control de erosión se ha encontrado que donde hay árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos. Además, se ha descubierto que las hierbas o malezas protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos.

La deforestación por cambios en el uso (pastos y cultivos) genera una inestabilidad de las formaciones superficiales siendo propensas a procesos de movimientos en masa. En zonas de pendientes fuertes la estabilidad se debe a raíces profundas (Rice, 1977 citado por Flórez, 1986), tanto por el anclaje vertical como por el horizontal (Gray, 1971, Dyrnes, 1967, citados por Flórez, 1986). Se concluye que a mayor cobertura vegetal con sistemas de raíces profundas y mayor variedad de especies vegetales, la susceptibilidad a la ocurrencia de procesos de movimientos en masa sería menor que en aquellos casos en donde el uso predominante son los pastos, suelos desnudos y cultivos limpios.

Para nuestro trabajo, los principales valores de altas susceptibilidad corresponden a terrenos sin vegetación.

Los valores con baja susceptibilidad pertenecen a suelos con presencia de bosques, (Bosques Latifoliados cerrados). Ver figura 18 y tabla 7.

USO DE SUELO			
Variable	Clase - Uso	Peso Asignado	Susceptibilidad
Uso de Suelo	Agua	1	Baja
	Areas Humanizadas	1	Baja
	Bosques Latifiliados cerrados	3	Alta
	Bosques Latifiliados abiertos	1	Baja
	Café con sombra	1	Baja
	Centro poblado	3	Alta
	Costa	1	Baja
	Cultivos anuales	1	Baja
	Cultivos y Pastos	4	Muy Alta
	Matorrales y Maleza	3	Alta
	Musaceas	2	Media
	Pastizales	1	Baja
	Suelo sin Vegetacion	4	Muy Alta
	Tacotales	2	Media
	Tierra sujeta a Inundacion	4	Muy Alta
	Vegetacion Arbustiva	2	Baja
	Vegetacion Herbacea	3	Alta

Tabla 7. Clasificación de acuerdo al Tipo de vegetación. OpenStreetMap de ArcMap 10.2, del año 2015.

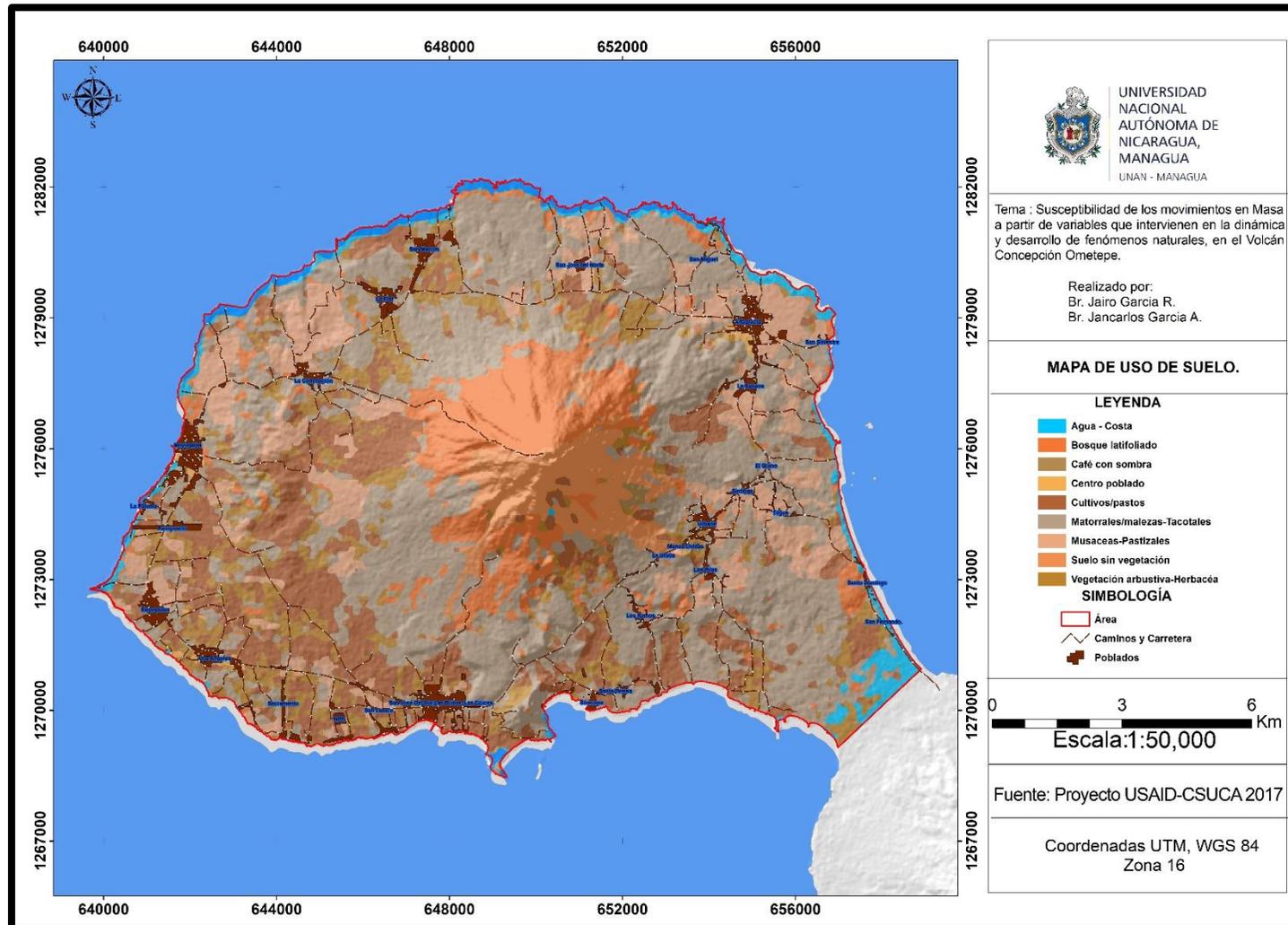


Figura 18: Mapa de uso de suelo (Tomado del proyecto USAID-CSUCA, 2017)

#### **4.5.6. Mapa de precipitaciones.**

El mapa de Precipitaciones se realizó con datos proporcionados por INETER desde 2000-2014, se tomó las precipitaciones promedio anual pero el trabajo de campo se realizó a partir de Julio 2016 – Julio 2017.

Según Suárez (1998) existen evidencias muy claras de la relación directa entre el régimen de lluvias y la ocurrencia de procesos de movimientos en masa, recomienda tener en cuenta para el análisis la intensidad de la lluvia en una hora, la lluvia de 24 horas y la lluvia antecedente por períodos hasta de tres meses. El autor plantea que se pueden diferenciar dos procesos.

Deslizamientos inmediatos por saturación: Estos ocurren durante o inmediatamente después de una lluvia y están relacionados con la eliminación de la succión al producirse la saturación por acción del frente húmedo de infiltración. Cuando las lluvias son muy intensas puede llegarse incluso a la saturación completa del talud durante la lluvia.

Deslizamientos diferidos por aumento de presión de poros: Su ocurrencia está relacionada con el régimen de aguas subterráneas el cual a su vez depende del régimen de lluvias del sitio y de la región.

La activación de un deslizamiento puede depender no solamente de la cantidad total de lluvia sino también de la duración y de la intensidad de las lluvias que producen saturación y del régimen de los periodos lluviosos. Existe un valor crítico de lluvia que activa un deslizamiento pero su cuantificación previa es muy difícil. Generalmente los valores por encima del promedio de lluvias son los que generan la mayoría de los problemas.

Entre más lenta sea la lluvia habrá más infiltración y menos escorrentía. En zonas de pluviosidad moderada las lluvias lentas pueden producir el mayor número de deslizamientos. La proporción escorrentía-infiltración depende de la intensidad de la lluvia, la pendiente, la cobertura vegetal y la permeabilidad del suelo subsuperficial. En general se puede inferir que existe una relación directa entre las tasas pluviométricas y la susceptibilidad de los terrenos a la ocurrencia de deslizamientos, incrementándose dicha susceptibilidad en la medida que

disminuye la cobertura vegetal y aumenta la pendiente, asociándose de manera complementaria un incremento de la humedad de los suelos.

Las precipitaciones con mayor susceptibilidad corresponden a 1400 mm equivalente a un peso de 4, por ende las precipitaciones menores corresponden a 1200 mm equivalente a un peso de 3.

Este mapa se realizó mediante datos meteorológicos obtenido de INETER del año 2000-2014 en el cual estos datos fueron dados por tres estaciones meteorológicas ubicadas en Altagracia, Moyogalpa y Mérida. Ver figura 19 tabla 8.

Variable	Valores de las Precipitaciones mm	Peso Asignado	Susceptibilidad
Precipitaciones	1000 - 1400	3	Alta
	1400 - 1800	4	Muy Alta

Tabla 8. Pesos asignados a las precipitaciones.

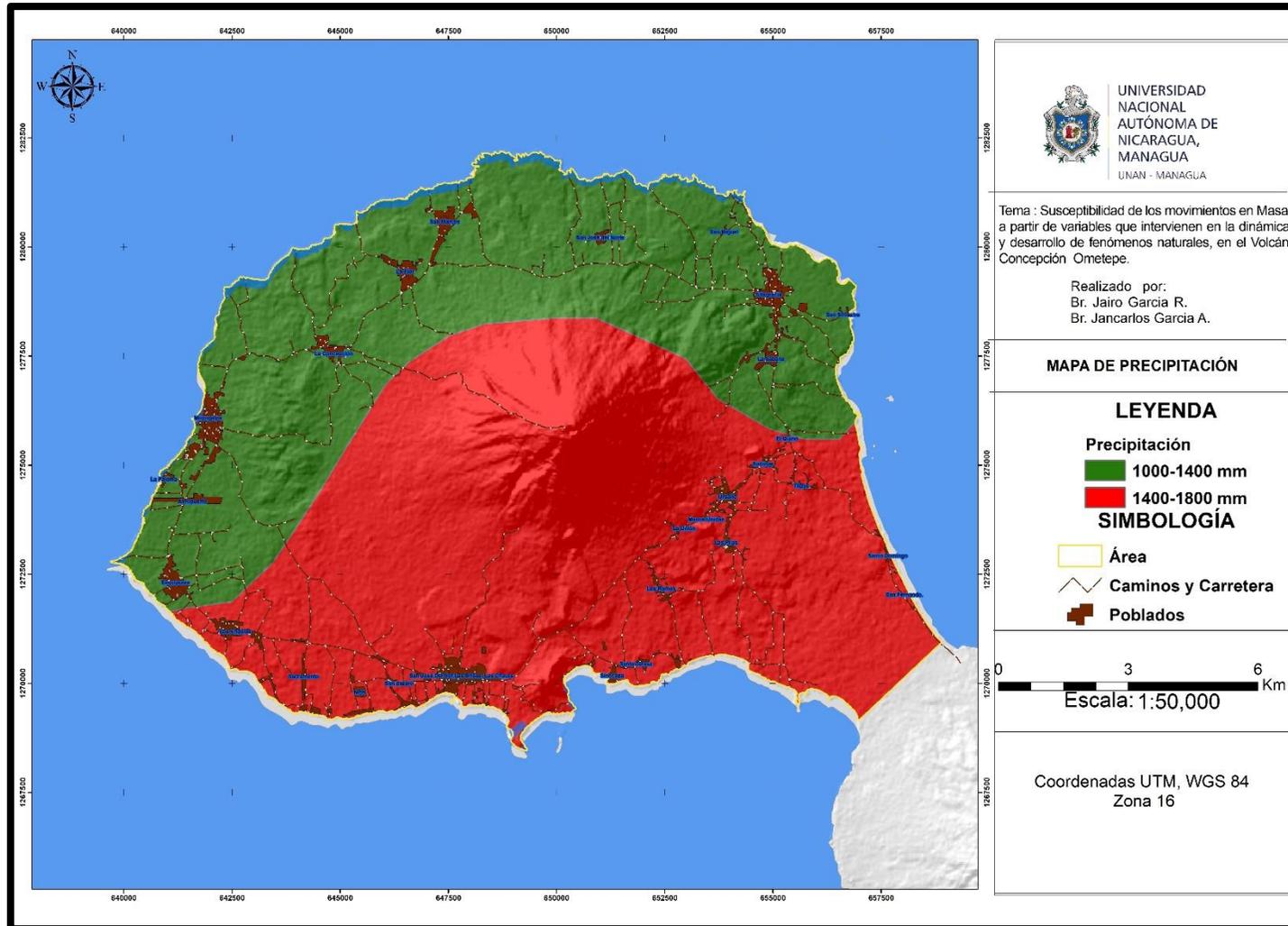


Figura 19: Mapa de precipitación.

#### 4.5.7. Mapa de fallas.

Se elaboró mediante la fotointerpretación de imágenes pancromáticas aéreas a escala 1: 50000 y la comprobación directa en el terreno. Así mismo bibliografía del trabajo realizado por Borga 2003.

Radbruch-Hall (1976) observó que las zonas altamente falladas son áreas de incidencia particularmente alta en la potencial ocurrencia de procesos de movimientos en masa. De igual forma, Varnes (1984) llegó a la conclusión que el grado de fracturamiento y de cizallamiento de un macizo rocoso juega un papel importante en la determinación de la estabilidad de taludes o laderas. En general, la tectónica contribuye a la inestabilidad de las laderas por la presencia de estructuras geológicas: fracturas, fallas, diaclasas y juntas. Ver figura 20 tabla 9.

FALLAS			
Variable	Distancia m	Peso Asignado	Susceptibilidad
Multi-Buffer Fallas	450	4	Muy Alta
	900	3	Alta
	1350	2	Media
	1800	1	Baja

Tabla 9. Multibuffer fallas

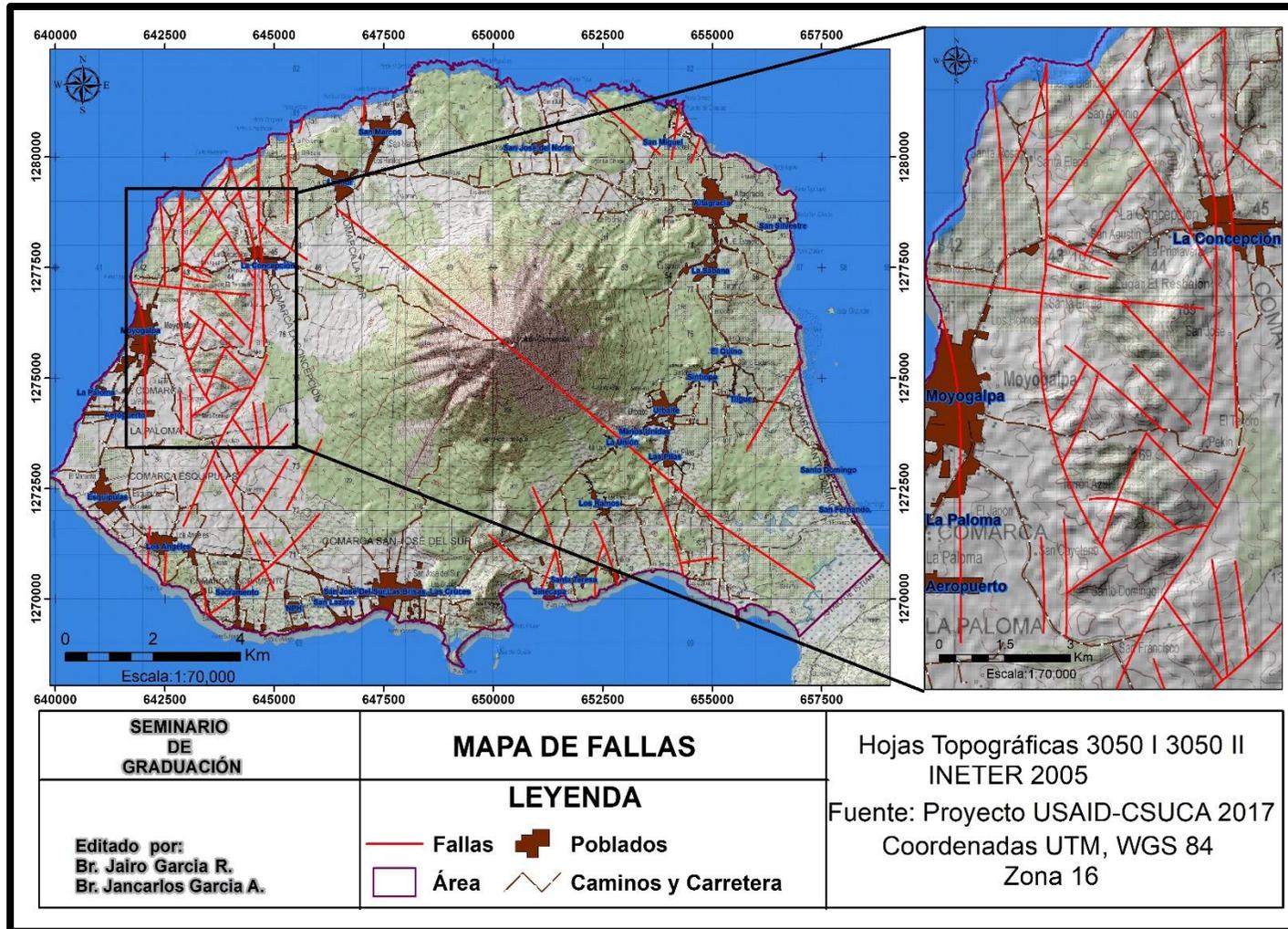


Figura 20 Mapa de fallas (Tomado del proyecto USAID-CSUCA, 2017)

#### 4.5.8. Mapa de sismos

Se elaboró mediante datos sísmicos recopilados en INETER desde el Año 2000-2014, ya que el trabajo de campo se ejecutó durante Julio 2016 – Julio 2017. Las magnitudes más altas registradas a estas fechas corresponden a 3.7 en la escala de Richter. Ver figura 21

Este mapa se realizó con el programa ArcGis 10.2 haciendo un shapefiles de puntos, donde la información que obtiene es donde se ubica el sismo y la magnitud con la que se dio. Luego estos puntos se le efectúan un multibuffer con distintas distancias como está reflejado en la tabla 10, y para culminar se pasa raster.

SISMOS			
Variable	Distancia m	Peso Asignado	Susceptibilidad
Multi-Buffer Sismo.	500	4	Muy Alta
	1000	3	Alta
	1500	2	Media
	2000	1	Baja

Tabla 10. Multibuffer sismos.

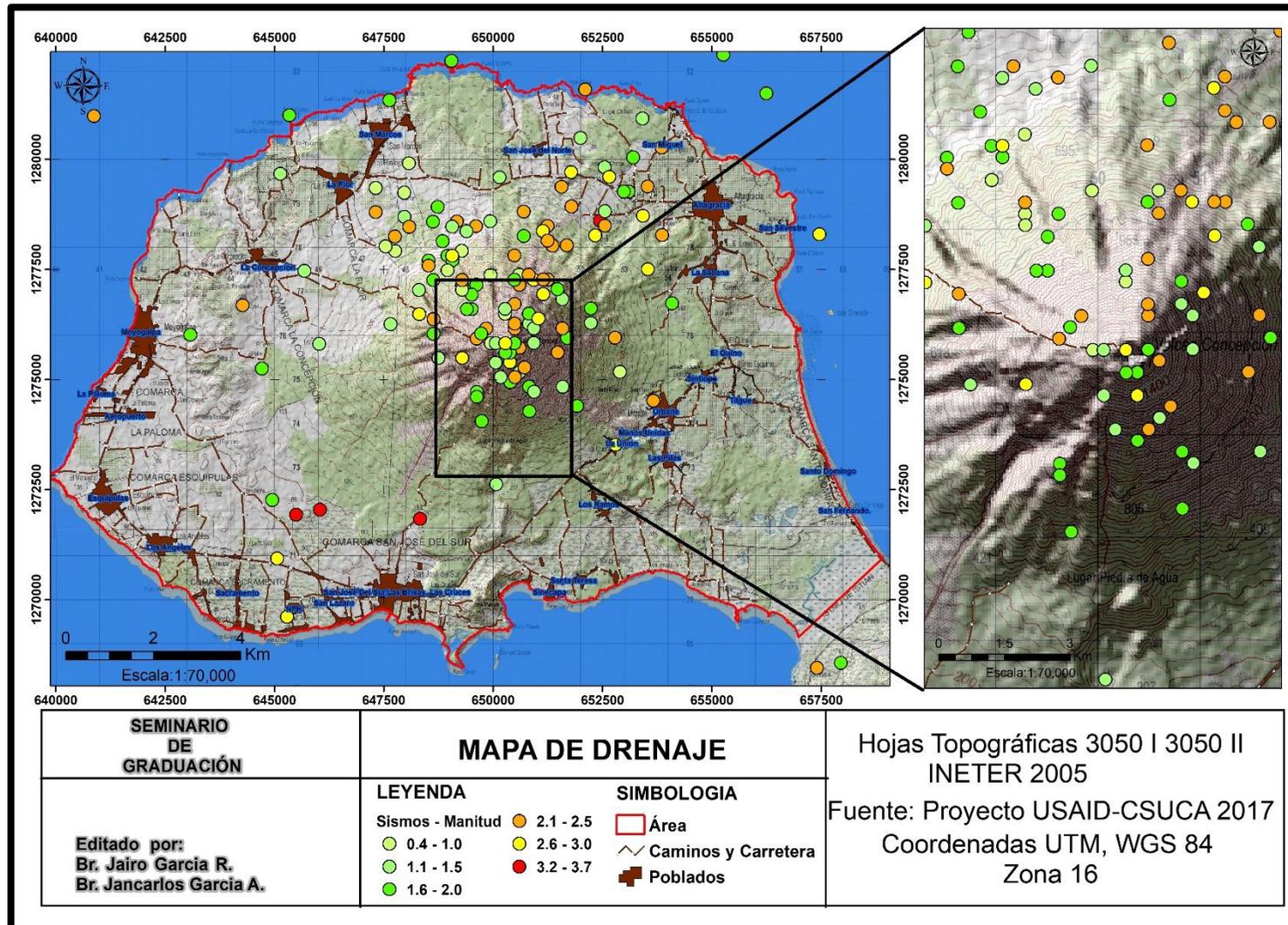


Figura 21: Mapa de sismos.

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.**

De acuerdo a nuestra investigación y bibliografías consultadas mencionamos algunos elementos fundamentales al momento de analizar el mapa de Susceptibilidad.

### **5.1. Uso de suelo.**

El uso de suelo constituye todas las actividades alteraciones e intervenciones que realizan las personas sobre una superficie para mantenerla o modificarla (FAO, 1997a; FAO/UNEP, 1999).

El suelo se puede valorar de diferentes perspectivas desde productiva, agroforestal, económica, social, organizativa e histórica. En este caso para esta investigación se valoró desde el punto de agroforestal.

Según mapa de uso de suelo el área está compuesta por 9 usos, siendo la principal compuesta por Tacotales-Musáceas-Malezas, cabe destacar que esta información se obtuvo de la herramienta de ArcGis 10.2 OpenStreetMap, para el año 2016, obtenido del proyecto USAID-CSUCA, 2017

### **5.2. Geología local.**

La Isla de Ometepe se encuentra en el último segmento de la cadena volcánica Nicaragüense, forma parte de provincia geológica de la depresión, ubicada en la cordillera volcánica nicaragüense en la parte Sureste, (Ferrey Williams 1971).

Las diferentes unidades encontradas están influenciadas, por fases sucesivas de actividad volcánica y de diferentes movimientos en masa ocurridos en el pasado geológico.

La zona de estudio se definió como una zona compuesta de depósitos volcánicos y diferentes tipos de movimientos en masa (avalanchas de escombros, flujos de detritos, flujos de escombros), así también se encontraron depósitos lacustres provenientes de la erosión del anticlinal de Rivas (Borga, 2003).

Debido a los vientos predominantes, los depósitos de tephra dominan el sector occidental del cono de Concepción, mientras que las lavas ocupan principalmente el sector oriental.

Considerando que los depósitos volcánicos, depósitos de movimientos en masa y de origen lacustre conforman toda la litología del área se definieron como unidades litológicas principales. (De lo antiguo a lo reciente) a continuación:

- Unidad de Depósitos lacustre
- Unidad de Tobas
- Unidad de lava.
- Unidad de avalanchas de escombros
- Unidad de Flujos de detritos
- Unidad de Tefra
- Unidad de Flujos Piroclastos.

### **5.3. Estratigrafía local.**

Por correlaciones estratigráficas, edades relativas, eventos eruptivos y teniendo en cuenta que todos los productos volcánicos de la Isla pertenecen al cuaternario volcánico, podemos identificar las siguientes unidades estratigráficas de la más antigua a la reciente, es importante mencionar que esta aseveración se hizo de una forma subjetiva, dando lugar a errores, para este estudio no se hizo ningún tipo de análisis cronológico, (Superposición de capas).

#### **5.3.1. Unidad de depósitos lacustres.**

Esta unidad se encuentra en la parte más bajas de nuestra área, se presenta aflorando a orillas del lago de Nicaragua, de color amarillento, aflorando en la parte Noreste (comunidad Puerto Gracia-San Silvestre), Noroeste (Punta Helequeeme-Comunidad La Concepción) y Sureste (Santo Domingo-San Fernando-Santa Cruz).

Los sedimentos lacustres se presentan de manera masiva y de forma laminar, con tonalidades desde amarillento, hasta gris oscuro se encuentran en corte de caminos y a las orillas del lago. Estos estratos presentan una secuencia estratigráfica bien definida, al Oeste incrementa su tamaño hasta 3 m de espesor (Punta el Helequeeme), al Suroeste del volcán esta unidad se encuentra intercalada por flujos de detritos, (Foto 3 y 4).

Presenta fracturas en dirección predominante de (N20°W), es importante señalar que esta unidad había sido mencionada en anteriores estudios (Borga 2003).

Esta unidad corresponde a depósitos sedimentarios, proveniente del anticlinal de Rivas, son sedimentos ricos en arcillas, de edades desde el Pleistoceno-Holoceno (Borga, 2003).



**Foto 3.** Afloramiento de depósitos Lacustre punta el Helequeme. Coordenadas 643942 E, 1279970 N.



**Foto 4.** Muestra de mano, depósito lacustre, comunidad la Concepción. Coordenadas 643958 E, 1279790 N.

### 5.3.2. Unidad de Tobas

Esta unidad se encuentra aflorando en la parte Sur del volcán, se presenta como depósitos estratificados en algunas ocasiones intercalados con flujos de detritos. En ocasiones estos espesores pueden llegar a alcanzar 2 metros, presentan una estratificación bien graduada, con menos de 5% de finos y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.

Estos afloramientos se encuentran ubicado en las comunidades (Las cruces y Sinecapa).

Esta unidad se encuentra suprayaciendo a la unidad de lacustre, presenta una tonalidad desde gris claro hasta gris oscuro.

Macroscópicamente presenta una dureza baja (3-4), compuesta por partícula de rocas y minerales muy finos, transportado por vientos producto de una actividad volcánica explosiva, (Foto 5 y 6).



**Foto 5.** Depósitos de tobas de cenizas en la comarca San José del Sur.  
Coordenadas 647863 E, 1271087 N.



**Foto 6.** Tobas Volcánicas (San José del Sur). Coordenadas 647863 E, 1271087 N.

### **5.3.3. Unidad Flujos Piroclásticos.**

Se identificaron depósitos piroclásticos que fueron formados posiblemente, después que el material ígneo fue expulsado de forma explosiva en una columna eruptiva ascendente y se depositó en zonas próximas a su foco de emisión, cubriendo las partes más cercanas al cráter (Borga, 2003). .

Estos depósitos se encuentran en todas las direcciones del cráter del volcán, se considera que dicho material sea producto de una actividad explosiva del volcán, depositándose por encima de la unidad de tobas, lo cual indica que este depósito es más joven. Ver foto 7 y 8.

Los depósitos correspondientes a esta unidad están caracterizados por material compacto, sobre yaciendo en la ladera próxima al cráter.

Litológicamente está compuesto por líticos de lava andesítica – basáltica, pómez, lapilli, escoria, el tamaño de sus componentes varia en el rango de ceniza fina (menores de 0.062 mm) y bloques volcánicos (64 mm) con una matriz de ceniza.



**Foto 7.** Flujos Piroclastos. Coordenadas 649412 E, 1274600 N.



**Foto 8.** Flujos Piroclastos parte Oeste del Volcán. Coordenadas 649479 E, 1275945 N.

#### **5.3.4. Unidad de avalanchas de escombros**

Esta unidad constituye uno de los aporte de nuestra investigación, desde el punto de vista petrográfico pertenece a basaltos y andesitas.

Algunos afloramientos se presentan cubiertos de vegetación, presentan clastos desde centimétricos hasta decimétricos con estructuras en rompe cabeza, que es una de las principales características de estos fenómenos de movimientos en masa. La mayoría de estos depósitos son de litología monomítica, perteneciendo a basaltos y andesitas, con clastos soportados.

Según estudios realizados por otros autores estos deslizamientos presentan una morfología con relieves alomados (hummocky topography) y escarpes abruptos en sus bordes laterales y frontal (aproximadamente 35% de pendiente), reconocibles en caso de estar bien conservado. Una evidencia interna adicional es la presencia de facies de bloques y facies de matriz característicos. La facies de bloques consiste en grandes fragmentos, fracturados y deformados, provenientes de un macizo volcánico y en general preservan su estructura interna y texturas. Los cuerpos rocosos masivos y compactos suelen mostrar fracturas conjugadas (rompe cabezas) en las facies de bloques (Hernández, Gutiérrez 2015).

En la zona NE del volcán (Comunidad La Polonia) se encuentra un depósito de avalancha de escombros reciente, con morfología de cerrillos típicos de estos fenómenos, (Foto 9 y 10).



**Foto 9.** Fragmento de Roca andesítica. (Avalancha de Escombros).  
Coordenadas 651959 E, 1278729 N.



**Foto 10.** Depósito de avalancha de escombros (comunidad La Polonia).  
Coordenadas 651730 E, 1278803 N.

### 5.3.5. Unidad de lava.

Esta unidad se presenta en todas las direcciones del volcán Concepción, macroscópicamente pertenece a una roca basáltica-andesítica, de color gris oscuro, con una dureza alta, de textura porfídica, con fenocristales de plagioclasas.

Esta unidad se caracteriza por numerosos flujos de lava con variaciones en la textura y color; correspondiente a coladas de lavas intermedias originadas como resultados de la actividad volcánica intensa procedente del volcán Concepción.

Esta unidad se presenta en la parte Sur del Volcán (Cauce San José del Sur) de manera masiva en grandes bloques y flujos con tonalidades desde gris claro a gris oscuro. Las lavas masivas presentan textura porfídica.

Estos flujos de lava se encuentran intercalados con flujos de detritos y escorias volcánicas en la parte sur del volcán. Foto (11 y 12)



**Foto 11.** Flujo de lava al Norte de la comunidad San José del sur.  
Coordenadas 648922 E, 1274352 N.



**Foto 12.** Contacto entre Escoria y Lava. Coordenadas 648981 E, 1274475 N.

#### **5.3.6. Unidad de flujos de detritos**

Estos se encuentran en la parte NW, SE Y SW del volcán, los depósitos que conforman esta unidad yacen en las partes más bajas del volcán, formando abanicos aluviales.

Los afloramientos muestran material arrastrado por corrientes de agua superficiales, estos materiales poseen tamaños que varían desde milimétricos hasta clastos centimétricos muy redondeados, en la mayoría de ocasiones con una matriz soportada de limo. Foto (13 y 14)

Dentro de esta unidad se encuentran afloramientos de hasta 3 metros, intercalados en ocasiones con depósitos volcánicos (Tobas).



**Foto 13.** Flujo de Detrito (Cauce San José del Sur). Coordenadas 648340 E, 1273615 N.

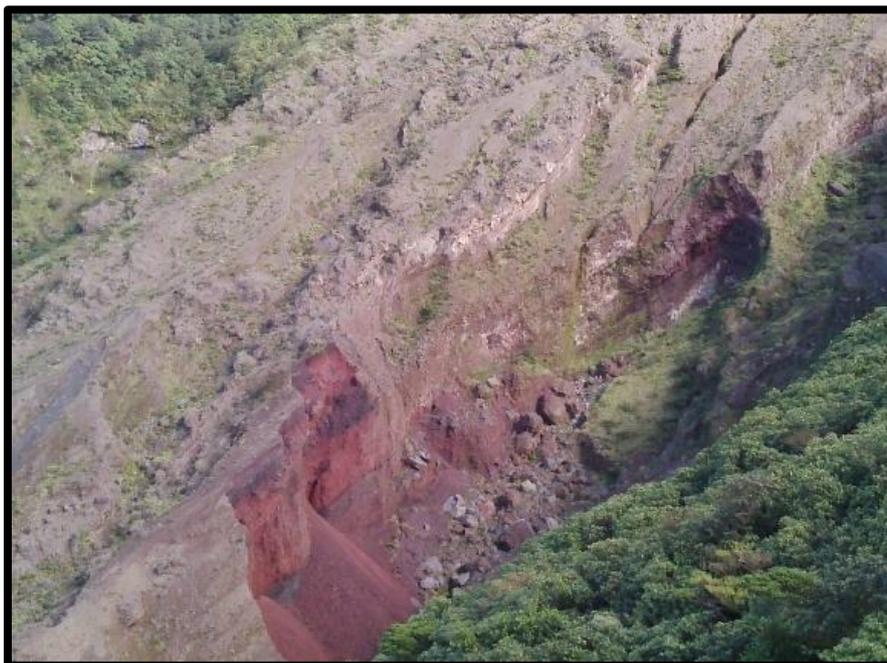


**Foto 14.** Flujo de Detrito. Coordenadas 648508 E, 1273738 N.

### **5.3.7. Unidad de Tefra.**

Son fragmentos de lava de cualquier tamaño arrojados al aire producto de explosión de gases calientes de una erupción volcánica, (Borga, 2003).

Esta unidad se encuentra en las partes bajas del volcán, en cortes de hasta 3 metros de espesor. Con fragmentos desde milimétricos de diámetro, de forma angulosa y de diferentes colores. Foto 15.



**Foto 15.** Tefra en la parte proximal al cráter. Coordenadas 649218 E, 1276084 N.

### **5.3.8. Unidad aluviones - suelo residual.**

Esta unidad comprende las zonas más bajas del volcán concepción con un área aproximada de 16 Km<sup>2</sup> provenientes de los depósitos volcánicos y de movimientos de ladera intemperados y erosionados.

Esta unidad principalmente es la más abundante en esta área y corresponde a limos y arcillas de color negro, en algunos afloramientos alcanzan espesores de 1 m, esta unidad corresponde a la zona más joven del volcán Concepción (Foto 16).

Los afloramientos muestran materiales erosionados y transportado, estos materiales poseen tamaño que varían desde gravas hasta arcillas y materia orgánica.



**Foto 16.** Unidad Suelo Residual Parte Este del Volcán comarca Moyogalpa. Coordenadas 646843 E, 1276969 N.

#### **5.4. Geología estructural.**

En la zona Sur Oeste del área de investigación se observa algunas de las estructuras geológicas (Lineamientos, fallas, antiguos cráteres y anticlinales), presentes en el mapa Geológico-Estructural del área (ver figura 22).

##### **5.4.1. Estructuras volcánicas.**

Durante el trabajo de gabinete y el trabajo de campo se identificaron las antiguas estructuras volcánicas presentes en el volcán Concepción, mostrándose de forma semicircular.

Algunos de los lineamientos ubicados cerca del municipio Moyogalpa, fueron identificados mediante fotografías aéreas.

En general, las estructuras de Concepción muestran un patrón distinto de empuje hacia afuera en el lado occidental del volcán y el ascenso en el lado oriental. Hay una zona de hundimiento y extensión entre las que compensa la deformación de los dos lados (Borga, 2003).

En el lado occidental del Concepción se caracteriza por crestas de anticlinales.

Los nombres asignados a cada estructura corresponden a los del mapa topográfico de INETER del año 2005.

#### **5.4.1.1. Anticlinales a continuación los siguientes:**

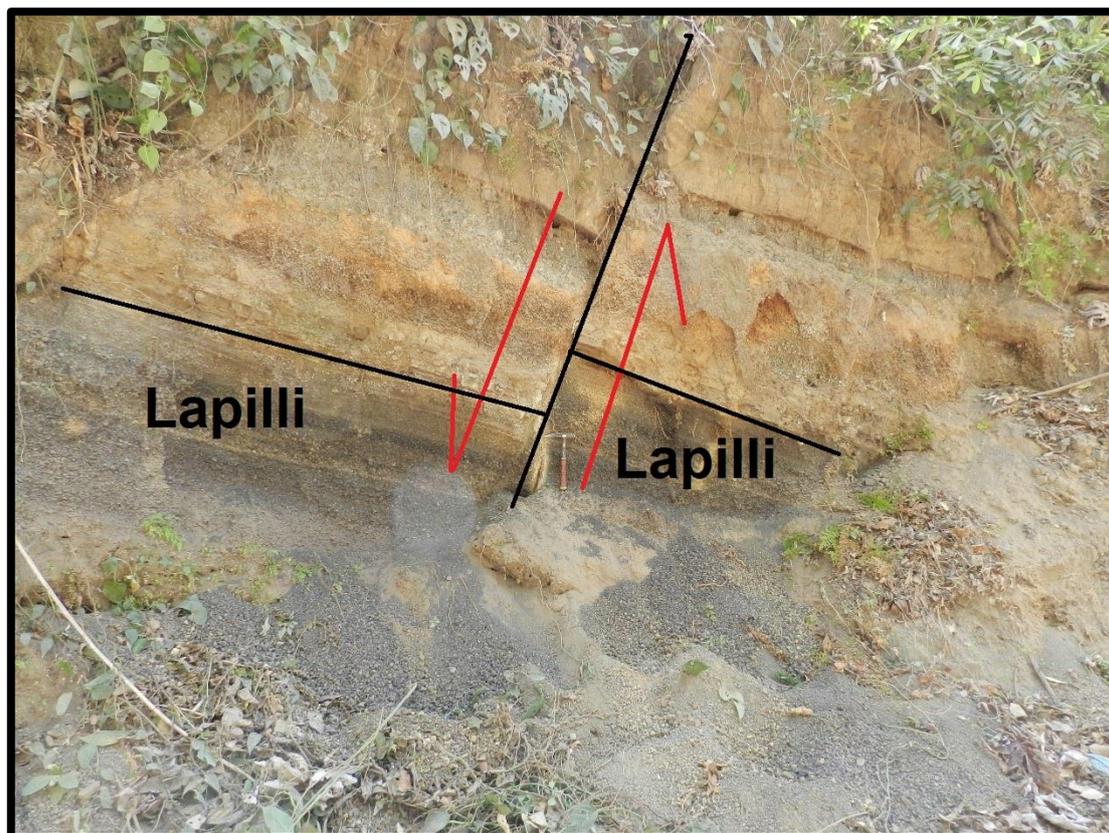
- Anticlinales Moyogalpa
- Anticlinales Esquipulas.
- Anticlinales La Concha.
- Anticlinales Las Pilas
- Anticlinales San José del Norte

#### **5.4.1.2. Cráteres antiguos.**

- Cráteres La Concepción.
- Cráteres San José del sur.
- Cráteres Las Pilas-Sintiope
- Cráteres El Rincón.
- Cráteres San José del Norte

#### **5.4.1.3. Falla**

- Falla Sinecapa.
- Falla Santo Domingo.
- Fallas El Tesoro. Foto 17
- Falla San José del Norte.
- Falla Puerto Gracia.
- Fallas Cráter volcán Concepción.



**Foto 17.** Falla normal, Comarca El Tesoro Municipio Moyogalpa. Coordenadas 643380 E, 1275636 N.

En esta fotografía se muestra el desplazamiento del estrato de lapilli subyaciendo a un estrato de toba con un desplazamiento de 50 cm. Esta falla está documentada en el estudio de Evolución Volcano-Tectónica del Concepción Nicaragua, (Borga 2003) y se corroboró la existencia de dicha falla.

#### **5.4.1.4. Lineamientos**

- Lineamiento la Trinidad.
- Lineamiento Sacramento
- Lineamiento Esquipulas.
- Lineamiento La Concepción.
- Lineamiento San Marcos.
- Lineamiento La Polonia.

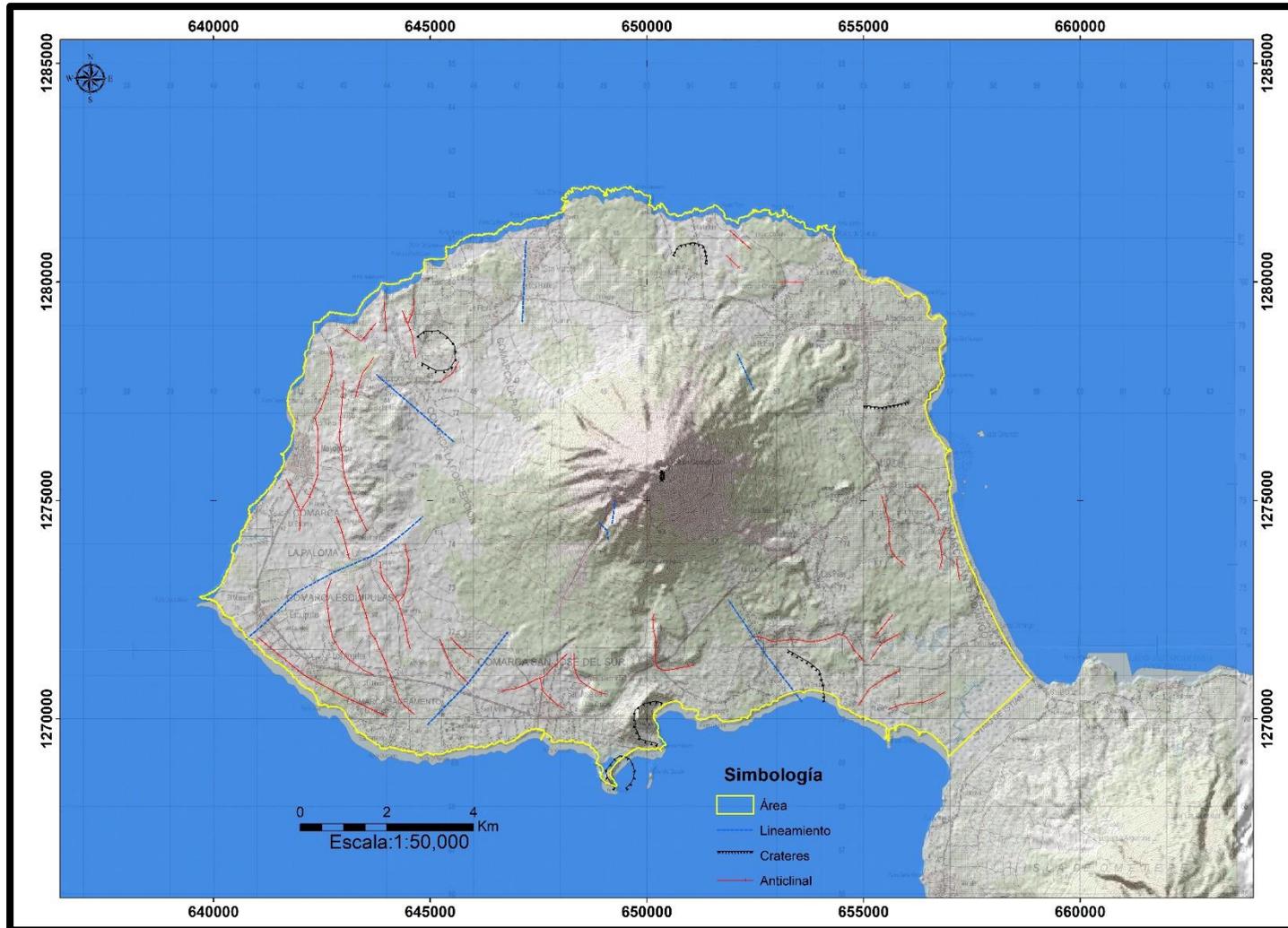


Figura 22: Mapa de Lineamiento, Cráteres y Anticlinal (tomado de Borga, 2003)

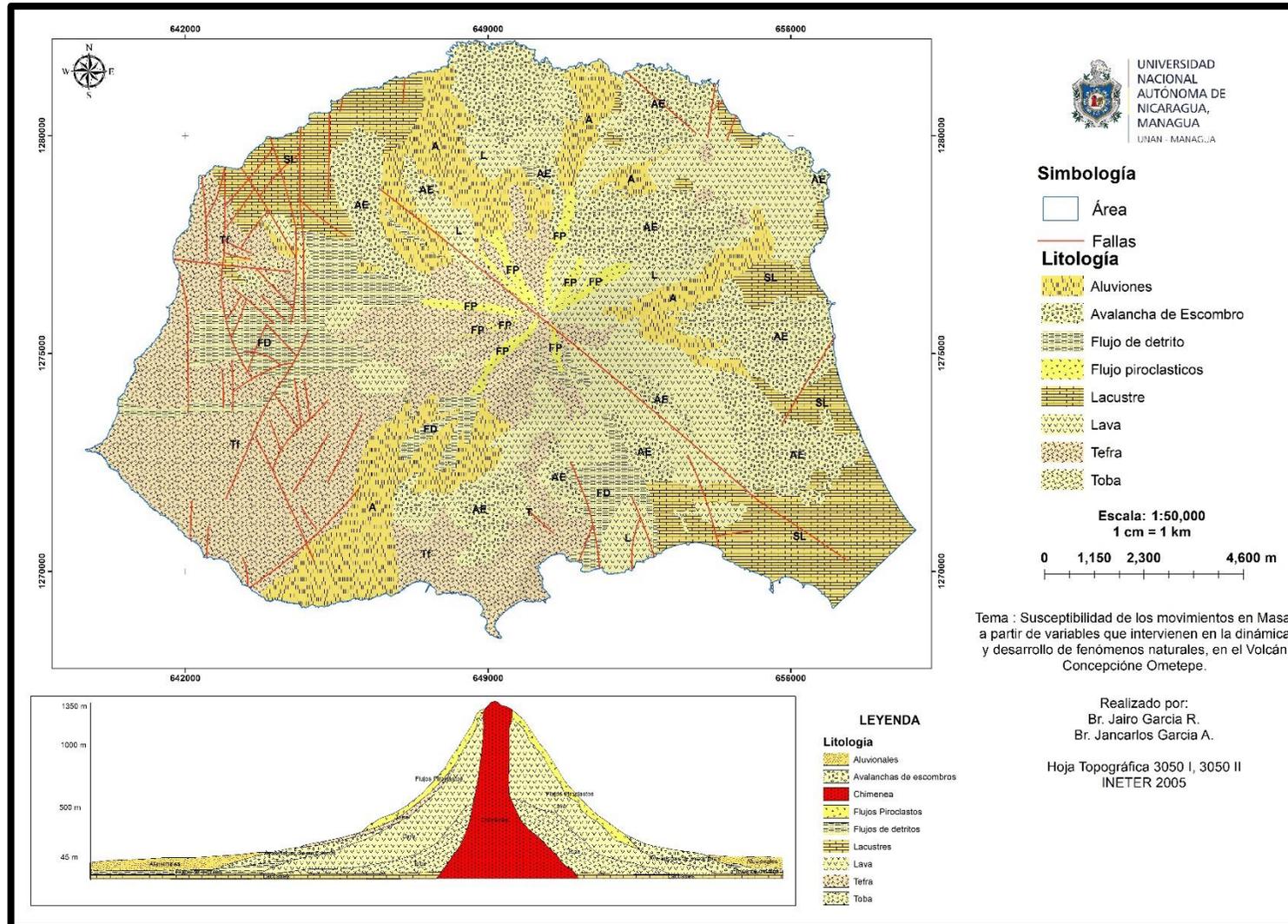


Figura 23: Mapa Geológico (corte tomado de Borga, 2003)

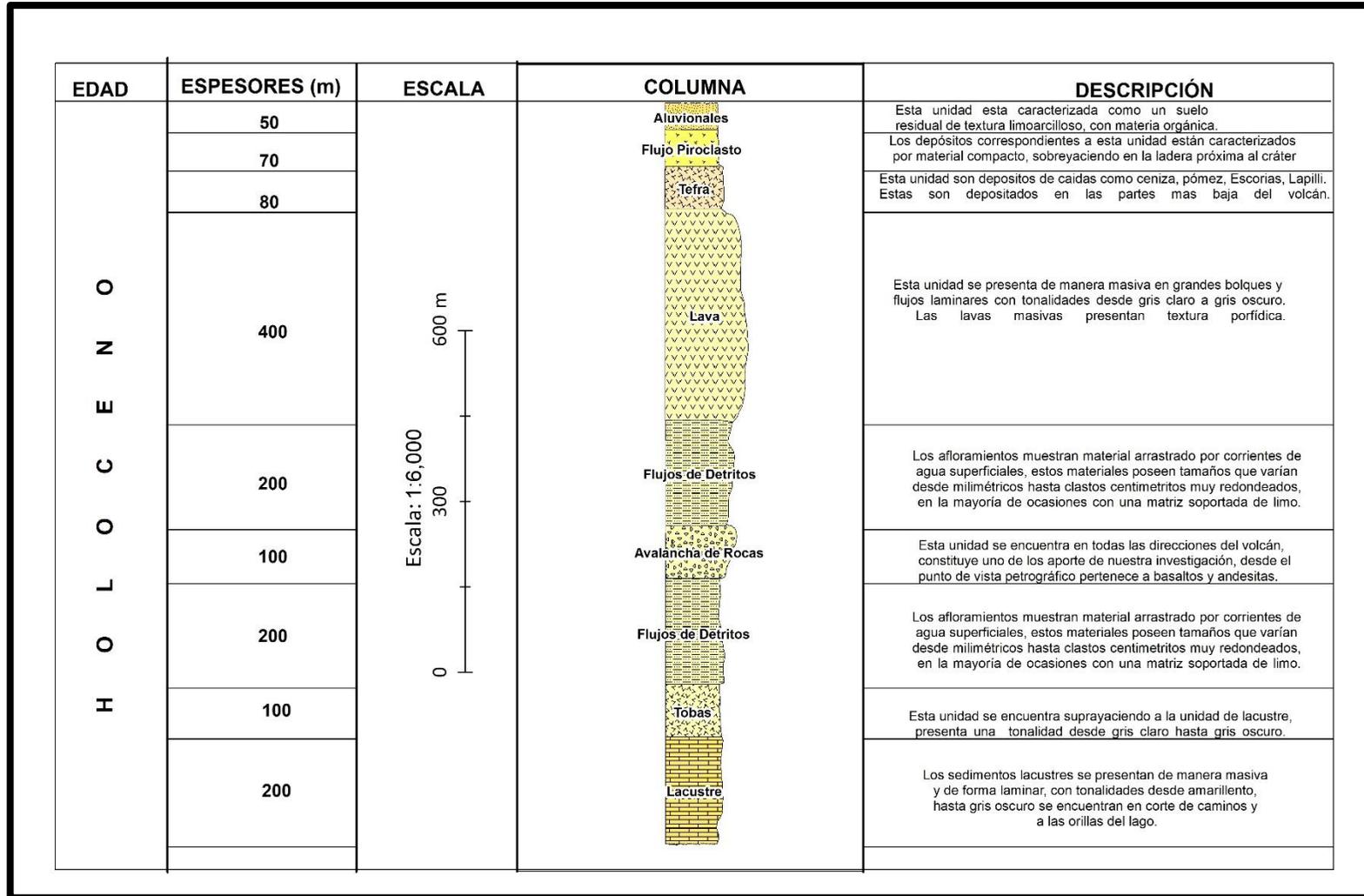


Figura 24: Columna Estratigráfica del área de estudio.

En la elaboración de estos mapas se tomaron en cuenta cada una de las 8 variables de predicción, asignándole mayor peso en un mapa a una de ellas, por ejemplo en el caso de pendiente:

Mapa de Susceptibilidad= Uso de Suelo (5%) + Geología (20%) + Fallas (5%) + Escarpes (5%) + Sismos (5%) + Drenajes (20%) + Pendiente (25%) + Precipitaciones (15%). Figura 25

Estos distintos mapas con sus respectivos pesos asignados se presentan como anexo en este documento.

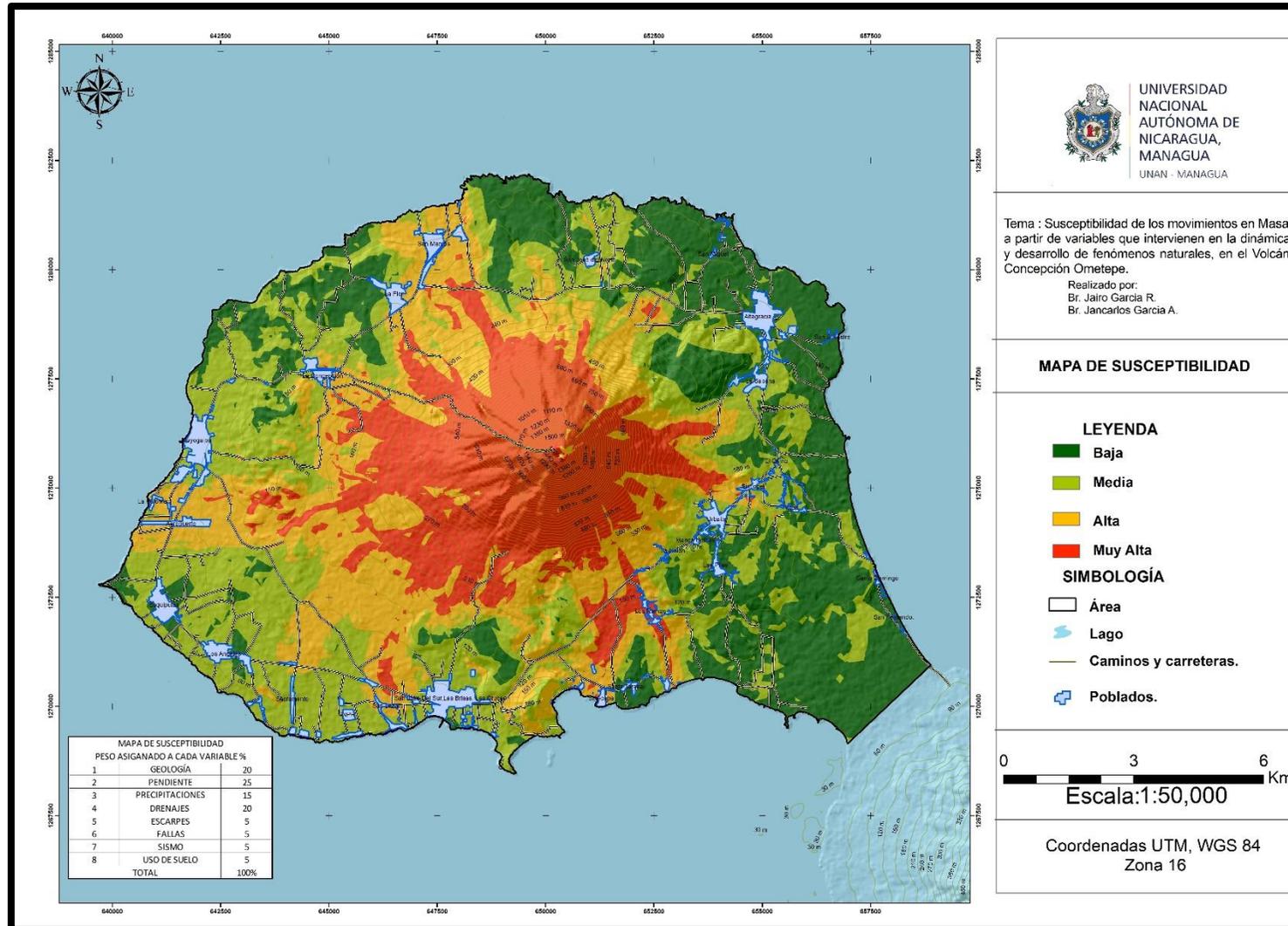


Figura 25: Mapa de Susceptibilidad.

## **5.5. Análisis del factor Pendientes.**

Diversos autores han considerado esta variable como el factor fundamental en el análisis de susceptibilidad a movimientos de masa (p. ej. Restrepo y Velásquez, 1997; Mora y Vahrson, 1994; Van Westen and Terlien, 1995).

El factor pendiente en ocasiones suele ejercer mucha presión en cuanto a la ocurrencia de deslizamientos de tierra, aunque este efecto será mayor de acuerdo a las condiciones de las áreas, si estas se encuentran con bajos conflictos de usos y también la influencia de las características de sus suelos. Los deslizamientos de tierra son causados cuando la fuerza de gravedad moviliza la roca o el suelo por la pendiente.

Las pendientes más altas oscilan entre los 25 % - 50%, ubicadas en la zona del cráter del volcán Concepción.

En estas áreas de susceptibilidad a sufrir deslizamientos de tierra se encuentran alrededor del volcán, por lo que son las áreas más peligrosas y propensas a sufrir este tipo de eventos en cierta forma, esta condición puede verse agravada dependiendo del uso al que este siendo sometido el suelo, pues si la cobertura del suelo va acorde a su uso potencial brindará al suelo protección y resistencia ante movimientos en masa.

En general, las Pendientes arriba del 15 % presentan susceptibilidad a que se produzcan deslizamientos, la mayor parte del área presenta porcentajes más altos que este lo que vuelve la zona potencialmente vulnerable, las pendientes más pronunciadas tienen mayor probabilidad de que ocurran deslizamientos Sin embargo esto no implica que no ocurran deslizamientos en pendientes suaves.

Se piensa que de acuerdo al grado de pendiente está relacionado la disponibilidad de material (suelo) en superficie, de esta manera al efectuarse un movimiento de tierra en pendientes fuertes se considera que puede ser menos la cantidad de material removido que en pendientes menores.

De acuerdo con INETER (2003), la rotura de los materiales en las laderas ocurre cuando la fuerza de la gravedad excede el esfuerzo de la roca o suelo que conforma la ladera, es decir, ocurren cambios en el equilibrio de las fuerzas de resistencia al corte.

Tomando en cuenta este principio las áreas con pendientes arriba del 15% son las áreas más inestables, además de la fuerza de gravedad que es lo que controla los procesos gravitacionales. Existen otros procesos que ayudan a la superación de la inercia, y la activación de los movimientos descendentes, como son el exceso de agua y vibraciones provocadas por la actividad sísmica.

#### **5.6. Análisis del factor densidad de drenajes.**

Los drenajes forman parte de los elementos que facilitan los movimientos en masa, la mayoría de los drenajes en el volcán Concepción están relacionados con flujos de detritos principalmente en la parte Suroeste y Sureste.

Algunos drenajes pueden alcanzar hasta 200 metros de diámetros y recorrer distancias de hasta 8 Km aproximadamente.

Estos drenajes representan una susceptibilidad altas para las zonas por donde se canalizan.

#### **5.7. Análisis del factor Uso de Suelos.**

La deforestación y el uso inapropiado de los suelos en la parte Sureste y Suroeste condicionan un escenario posible para que se desarrolle los movimientos en masa.

Los bosques son un factor clave en la denudación y protección del suelo, la mayoría de los movimientos en masa ocurridos en el volcán Concepción han sucedido en las partes con una vegetación herbácea y en suelos totalmente sin vegetación.

#### **5.8. Análisis del factor geológico.**

De acuerdo a nuestro análisis petrográfico se pudieron definir distintos criterios; existen distintos parámetros para el análisis e interpretación de los distintos materiales aflorantes.

De acuerdo con datos obtenidos de campo, nosotros proponemos una clasificación distinta a la realizada por distintos proyectos llevados a cabo en esta área.

Los materiales encontrados en zonas que originalmente habían sido cartografiadas no corresponden a lavas, como lo indica el mapa geológico de INETER, desde un punto de vista petrográfico coincidimos que son lavas, pero de la forma que estas llegaron a estos lugares es distintas, según la teoría e investigaciones sobre movimientos en masa que sea estaban llevando a cabo, estas corresponden a avalanchas de escombros.

### **5.9. Análisis del factor meteorológico.**

Las precipitaciones en el análisis de los movimientos en masa son un elemento muy importante al momento de la realización de la susceptibilidad, los datos de precipitaciones fueron recopilados de la base de datos de Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) a partir del año 2000 hasta el 2015, para tal efecto existen tres estaciones meteorológicas (Dos Ubicadas en nuestra área de estudio).

Las precipitaciones más altas se ubican en la zona sur del volcán Concepción (1400-1800 mm), estos datos comprenden a las precipitaciones media anual, las comunidades de San José del sur, las cruces, los Ramos, Esquipulas, Los Ángeles y Moyogalpa son los lugares más afectados por estas lluvias.

Esta zona coincide con la parte que sería más afectada al momento de que ocurrieran fenómenos de inestabilidad de ladera.

### **5.10. Análisis de mapa de susceptibilidad.**

Se realizó un análisis individual por cada variable, idealizando un escenario para cada factor.

De acuerdo con nuestros resultados, y los parámetros tomados en cuenta en cada mapa, proponemos los siguientes 8 mapas de susceptibilidad, según nuestra investigación estos serían las áreas más afectadas en caso de cumplirse estas variables de predicción.

## **Susceptibilidad Baja**

Corresponden a zonas con pendientes muy bajas entre 2%-5%, con una geología correspondientes a suelos residuales y ubicados en la parte distal del volcán, sin la presencia de drenajes superficiales cercanos.

## **Susceptibilidad Media**

Esta representadas por zonas con pendientes suaves, distanciados de zonas de erosión, de drenajes intermitentes, comprendiendo las comunidades de Sacramento, Santo Domingo, Esquipulas.

## **Susceptibilidad Alta**

Afectas las comunidades de Urbaite, San José del Sur, La Paloma, estas zonas presentan pendientes entre 15°-25°, están ubicados cercanos a zonas de drenajes, zonas de erosión, por ende a zonas donde han ocurridos antiguos movimientos en masa.

## **Susceptibilidad Muy Alta**

Comprenden las zonas con pendientes mayores a 25°, zonas afectadas por antiguos movimientos en masa, drenajes, próximos a zonas de erosión, comprendiendo las comunidades de La Concepción, La Flor, La Paloma.

A continuación mencionamos los principales factores involucrados para que ocurra un movimiento en masa en el volcán Concepción.

- 1- Factores desencadenantes en los movimientos de masa son:
  - Precipitaciones intensas.
  - Sismicidad
  
- 2- Factores condicionantes de movimientos:
  - Suelos arcillosos, cohesivos y saturados de agua.
  - Pendientes muy pronunciadas
  - Malas prácticas agrícolas en la población ubicada en el área.
  - Escarpes de 25° y 50° de inclinación ubicados en todos los flancos del volcán Concepción.

- Existencia de fuertes escorrentías a lo largos de las laderas.

Con el fin de realizar un análisis mejor de la susceptibilidad en el área se crearon distintos tipos de mapa de susceptibilidad, idealizando escenarios de inestabilidad de ladera para cada variable.

## **VI. CONCLUSIONES**

La zona de estudio se realizó un reconocimiento geológico en el cual se encontraron 8 unidades.

Unidad de Aluviones: Formada por clastos provenientes de las partes del volcán, que han sido transportado por medio de la gravedad o por el agua.

Unidad de flujo piroclásticos: Este depósito se encuentra en todos los flancos alrededor del volcán Concepción.

Unidad de Tefra: Esta unidad se encuentra en las partes bajas del volcán, comprendiendo clastos de basalto, andesitas, escoria y toba.

Unidad de lava: Esta unidad se presenta en todas las direcciones del volcán Concepción, macroscópicamente pertenece a una roca basáltica-andesítica, de color gris oscuro, con una dureza alta, de textura porfídica, con fenocristales de plagioclasas.

Unidad de Toba: Esta unidad se encuentra aflorando en la parte Sur del volcán, se presenta como depósitos estratificados en algunas ocasiones intercalados con flujos de detritos.

Unidad de Avalancha de escombros: Presentan clastos desde centimétricos hasta decimétricos con estructuras en rompe cabeza, que es una de las principales características de estos fenómenos de movimientos en masa, distribuidos en todas las direcciones del volcán.

Unidad de depósitos lacustre: Esta unida se encuentra en la parte más bajas de nuestra área, se presenta aflorando a orillas del lago de Nicaragua

Se elaboraron 8 mapas temáticos para el análisis de la susceptibilidad por medio del método Heurístico.

Mapa dependiente: Las principales pendientes se encuentran en las partes más cercanas al cráter y en las comunidades: Los Ramos, San José del Sur, La Concepción, Urbaite, Sintiope y la Polonia, con pendientes de hasta 30%.

Mapa Falla: La parte con mayores fracturas se encuentra al Oeste del volcán Concepción, sin embargo una falla atraviesa el volcán en dirección NW-SE

Mapa de Sismos: El mayor registro sísmico se encuentra en la zona del cráter del volcán Concepción.

Mapa Escarpes: Los principales escarpes se localizan en las zonas con mayores pendientes ubicados en todos los flancos alrededor del volcán.

Mapa de Drenajes: La mayoría de estos se encuentran distribuidos en todas las zonas del volcán Concepción, el mayor de los drenajes se localiza en la comunidad de San José del Sur

Uso de suelo: El principal uso de suelo alrededor del volcán se centra en la agricultura y ganadería, estos se encuentran en la parte más baja del volcán.

Mapa Geológico: De acuerdo a las características descritas anteriormente las unidades que representan mayor susceptibilidad son los flujos de detritos y avalanchas de escombros.

Mapa de Precipitaciones: Según Ineter las mayores precipitaciones se dan en la parte sur del volcán, con precipitaciones anuales de 1400 a 1800 mm.

Se comprobó en el campo que hay deslizamientos activos, las comunidades inmersas dentro de las áreas susceptibles son: La Concepción, La Flor, San Marcos, La Paloma, Parte Oeste de San José de Sur, Los Ramos, La unión, Urbaite, Sintiope.

## **VII. RECOMENDACIONES.**

Implementación y adopción de 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 desprover al suelo de cobertura vegetal boscosa.

Impulsar proyectos de restauración de bosques con especies propias del lugar, donde se hayan presentados indicios de deslizamientos de tierra, y en lugares de altas pendientes con problemas de erosión por la eliminación de cobertura vegetal, esto en coordinación con la Alcaldía municipal y pobladores del lugar de incidencia.

Se recomienda realizar mantenimiento de los caminos rurales y de todo tiempo para evitar problemas de incomunicación entre comunidades, pues esto facilitara el proceso de evacuación.

Capacitar a la población sobre las acciones y medidas preventivas que deban de poner en práctica a la hora de suscitarse un evento de estos, para sobre guardar la calma y evitar más daños y pérdidas de cualquier índole.

Promover la organización de un grupo de ayuda comunitaria, y garantizar centros de albergue para comunidades que queden en aislamiento para salvar las vidas humanas.

Realizar más a detalle el reconocimiento Geológico en el área de estudio.

Realizar actividades de difusión de esta información en versión popular y concientización a pobladores.

No realizar ningún tipo de construcción en áreas de alta susceptibilidad.

Realizar un ordenamiento territorial de acuerdo a estudios previos realizados, en el área.

Continuar con estudios más detallados, análisis petrográfico y de riesgo para el área a escala menor.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA.

**Armando, Saballos, (2013)** Gravedad y geodesia del volcán Concepción, Nicaragua.

**Bullard, E.C Everett, J.E and Smith A G 1965**, The fit of the continents around the atlantics; A Symposium on continental drift, Phil. Trans. R. Soc. Lond, A 258; 41-51

**Burbach. G.V; Fehlich, C., Pennington, W,D. and Matumoto, T., 1984**, seismicity and tectonics of the subducted Cocos plate, J. Geophys. Res., 89, 7719 - 7735

**Borgia, A., and Van Wyk de Vries, B., 2003**, The volcanotectonic evolution of Concepcion, Nicaragua.

**Crozier, M.J., y Glade, T., 1999**, Frequency and magnitude of land sliding.

**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.

**Crozier, M.J., y Glade, T., 2005**, Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach, *en* Glade, T., et al. ed., Landslide hazard and risk Chichester.

**Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996**, Landslide types and processes, *en* Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation.

**Del Guice, D. (1960)**. Analisis del Microscopio Polarizado de Cortes Sutiles de Rocas Provenientes del area de Macuelizo. Nueva Segovia. Managua. Servicio Geologico Nacional. Boletin N° 5.

**Dengo G. Bohnenberger, O, and Bons S., 1970** tectonics and volcanic m a long. the pacific marginal zone of Central America Geologische Rund - sch, v. 59. no. 3, p, 1215 - 1232

**Dengo, G. (1983)**, Mid America. Tectonic Setting For The Pacific Margin From Southern Mexico to Northwerstern Colombia. Guatemala City, Guatemala.: Centro de Estudios Geologicos de America Central.

**Di Marco G., 1995.** Late Cretaceous- early Tertiary paleomagnetic data and a revised tectono - stratigraphic subdivision of Costa Rica and western Panama, Geol. Soc. Am. Spec. publ., 295; 1-27

**Ehrenborg, J. (1996).** A New Stratigraphy for Tertiary Volcanic Rocks of the Nicaragua Highland. Geological Society of America Bulletin, 830-842.

**Ferrey, Williams. (1971),** Geología de la isla de Ometepe, Managua, Nicaragua.

**Frischbutter. A (2002)** Structure of the Managua graben Nicaragua, from remote sensing images, Geoforschungstentrum Rustdam, Potsdam, Germany

**Garayar, J. (1971),** Geología y Depósitos Minerales de una Parte de las Mesas de Esteli, Cordillera Norte y las Montañas de Dipilto. Managua, Nicaragua.: Catastro N° 10.

**GEMMA, 2007,** .Movimientos de masa en la región Andina, Una guía para la evaluación de amenazas.

**Goodman, R.E., y Bray, J.W., 1976,** toppling of rock slopes, *en* Memories, Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and slopes, Boulder.

**Hutchinson, J.N., 1968,** Mass Movements, *en* Fairbridge, R.W., ed., 1968, The Encyclopedia of Geomorphology.

**Hutchinson, J.N., 1988,** Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology.

**Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., y Hutchinson, J.N., 2001,** Review of the classification of landslides of the flow type: Environmental and Engineering Geoscience.

**Hernández-Gutiérrez, L.E., Santa Marta, J.C. (eds.) (2015),** Ingeniería Geológica en Terrenos Volcánicos. Madrid: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.

**Institutos de investigaciones sísmicas. (1975),** Riesgos geológicos y volcánicos de la isla de Ometepe, Managua, Nicaragua.

**INETER, (1982),** Geología y riesgo volcánico en Nicaragua, Managua, Nicaragua.

**INETER, (1993)**, Estudio de la amenaza y vulnerabilidad generada por el deslizamiento san José del sur isla de Ometepe, Managua, Nicaragua.

**INETER, (2001)**, Amenaza naturales de Nicaragua, Managua, Nicaragua.

**INETER (2003)**, Estudios de campos sobre los lahares ocurrido en octubre de 2002 en el volcán Concepción, Managua, Nicaragua.

**Kuang, J. (1971)**. Geología de la Costa del Pacífico de Nicaragua. Managua.: Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Open File Report N° 3.

**McBirney A. T and H Willian 1965** the volcanic history of Nicaragua. Univ. Calif. Publ. Geol. Sci, 55, 65, pp

**Molnar, p, and L.R Sykes**, Tectonics of the Caribbean and middle America region. from focal mechanisms and seismicity, Geol, soc. Am, Bull, 80, 1639 - 1684, 1969

**Mills, R.A. & Hugh, K.E. (1974)**. Reconnaissance Geological Map of Mosquitia. Region, Honduras and Nicaragua Caribbean Coast. America. Assoc.Petrol.Geol.Bull. N° 58.

**Mora-Vahrson, 1991**, Mapa de susceptibilidad a deslizamientos de Nicaragua.

**Mora-Varson, (2011)**, Heredia, Costa Rica <http://www.revista.una.ac.cr/index.php/geográfica/article/viewFile/3970/3812>.

**Paz Rivera, N. (1964)**. Reconocimiento Geológico de la Costa del Pacífico de Nicaragua. In M. d. Economía., Boletín del Servicio Geológico Nacional N° 8 (pp. 71-83). Managua, Nicaragua.

**Peraldo, G. and Montero, W., 1999**, Sismología histórica de América Central - 347. Pags. IPGH, México

**Pierson, T.C., (2005)**, Hyper concentrated flow – transitional process between water flow and debris flow, *en* Jakob, M., y Hungr, O., ed., Debris flow hazard and related phenomena.

**Skinner & Porter, (1992)**. Fundamentos sobre deslizamientos.

**Servicio nacional de geología y minería, (2007)**, Movimiento de masa en la región andina, Canadá.

**Varnes, D. J., (1958)**, Landslides types and processes, *en* Eckel, E.B., ed., Landslides and engineering practice, Special Report 28: Washington, DC, Highway Research Board, National Academy of Sciences.

**Varnes, D. J., (1978)**, Slope movements types and processes, *en* Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control.

**Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D. (1958)**. Geologia de la Costa del Pacifico de Nicaragua. In M. d. Economia., Boletín del Servicio Geológico Nacional de Nicaragua. (pp. 68- 75). Managua, Nicaragua.

## IX. ANEXO.

### MAPAS RASTER.

