

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA  
(UNAN-MANAGUA)  
Recinto Universitario Rubén Darío  
Facultad de Ciencias e Ingenierías  
Departamento de Tecnología  
Ingeniería Geológica**



**Seminario de Graduación**

**“ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD A INESTABILIDAD DE LADERAS EN  
EL SECTOR SUR DE LA SUBCUENCA CENTRAL DE MANAGUA”**

**Autor: Br. Francisco Torres Herrera**

**Tutor: MSc. Gema Velásquez**

**2017**

**Managua, Nicaragua**

---

*Corramos con paciencia la carrera que tenemos por delante, puestos los ojos en Jesús, el autor y consumador de la fe. Considerad a aquel que sufrió tal contradicción de pecadores contra sí mismo, para que vuestro ánimo no se canse hasta desmayar.*

*Hebreos 12:1-3 (64 D.C).*

---

---

## Dedicatoria

*Al único Rey inmortal, invisible, al eterno y sabio Dios, quien es la fuente de mi sabiduría y sustento, a quien le debo absolutamente todo; mi Redentor, mi Salvador, quien ocupa el fundamento de mi fe y de mi vida. Quien le dio sentido a mi ser a partir del día que llegué a conocerle, ante quien anhelo cada día estar postrado para siempre.*

*A mi madre, quien ha sido el pilar que ha sostenido el desarrollo de mi vida hasta esta etapa, la persona que lo es todo para mí, sin la cual, mi carrera y este trabajo no hubiese sido posible. Es la mujer que me ha enseñado el valor de la ética y moral, del esfuerzo, del sacrificio, de la lucha incansable para lograr los objetivos de vida. No me alcanzarían las palabras para describir todo lo que ella significa para mí. ¡Muchas gracias madre!*

*A mis hermanos, mis abuelos, mis tíos y mis primos, quienes a través de sus consejos y muestras de afecto me han impulsado a no detenerme, sino a luchar por alcanzar mis metas.*

*De la misma forma a mi familia en la fe, mis hermanos en Cristo, quienes también forman una parte vital en mi vida, a quienes debo soporte y consejos sabios en sobremanera.*

*A mis amigos, quienes gracias al Señor son muchos y no me alcanza espacio para mencionarlos uno a uno, ellos al igual que yo saben quiénes son y lo mucho que significan para mí.*

---

---

## *Agradecimientos*

*Sobre todas las cosas, mi entera gratitud es hacia el Señor y Salvador de mi vida, mi Padre Celestial, quien entregó a su Unigénito Hijo a morir por mí en la cruz, para redimirme y darle sentido a mi ser. Dios es para mí todo aquello que con palabras no puedo expresar, quien ha hecho posible mi crecimiento espiritual y profesional; a él le agradezco en primer lugar, el haber permitido mi carrera coronar.*

*Agradezco completamente el apoyo incondicional de mi madre, quien me brindó todos los recursos para la culminación de mi carrera y de este trabajo. Quien me ha sustentado desde el día que me trajo al mundo y nunca me ha fallado, sino que ha estado a mi lado para levantarme y llevarme de su mano.*

*A mi tutor, MSc. Gema Velázquez, por su apoyo ético y profesional, por su orientación invaluable a través del desarrollo de este trabajo.*

*A mi compañera, Ing. Daniela Gómez, por su colaboración en el levantamiento de campo.*

*Al Ing. Noel Rodríguez, por haber sido un mentor de mucha estima para mí, y por su colaboración a principios de esta investigación.*

*A mi actual jefe, PhD. Mauricio Darce, por su soporte y paciencia en el transcurso de este trabajo de investigación.*

*Extiendo mi agradecimiento a la MSc. Mérida Schliz, quien aportó conocimientos de gran valor para la consumación de mi trabajo de titulación, asimismo al MSc. Francisco Espinoza, por su paciente apoyo y sugerencias, las cuales fueron un soporte significativo en mi desarrollo.*

---

---

## RESUMEN

Este trabajo de investigación se realiza el análisis de la clasificación de inestabilidad de laderas en el Sur del municipio de Managua, mediante la implementación de una combinación de metodologías cuali-cuantitativas para la caracterización y estimación de niveles de amenaza y susceptibilidad a los procesos de remoción en masa.

La inestabilidad de laderas en el sur de Managua está condicionada por causas naturales (pendiente, litología, sismicidad, precipitación) y antrópicas (obras viales). Además de presentar como factor detonante principal la precipitación en el año 2015 y los meses de mayo-julio de 2016.

Para la realización del mapa de susceptibilidad se utilizó un modelo matemático con ayuda del Sistema de Información Geográfica (SIG). Como resultado del análisis se definieron 5 categorías de zonas de susceptibilidad: muy baja, baja, media, alta y muy alta. Siendo la muy alta las zonas de mayor interés por presentar evidencias de amenaza potencial, ubicada en las áreas con mayor altitud y densidad de vegetación. Las zonas con susceptibilidad muy baja corresponden a la planicie baja volcánica, es decir, las áreas con menor altitud y pendiente, donde se concentra la población de la zona de estudio.

Esta investigación aprovecha de manera integral las observaciones en campo y los datos obtenidos con la ayuda del SIG, con el objetivo principal de proveer un mapa con zonas de susceptibilidad a movimientos de laderas de la zona con el mayor crecimiento urbanístico de Managua. Se prevé que este mapa coadyuve de manera exhaustiva en futuros proyectos de mitigación y planes de ordenamiento territorial.

---

---

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Localización y Vías de acceso .....	2
a) Vías de acceso.....	3
1.2 Objetivos .....	5
a) Objetivo general.....	5
b) Objetivos específicos .....	5
1.3 Antecedentes.....	6
1.4 Justificación.....	8
1.5 Metodología de Trabajo .....	9
a) Fase uno: Recopilación y valoración de material existente.....	9
b) Fase dos: Trabajo de campo: .....	10
c) Fase tres: Evaluación y estado de resultados.....	10
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 Los fenómenos de inestabilidad de laderas. ....	12
a) Clasificación de los procesos de remoción en masa.....	13
b) Clasificación de los procesos de Inestabilidad de acuerdo al mecanismo de movimiento .....	14
2.2 Marco Geotectónico Regional .....	22
<b>CAPÍTULO 3. INESTABILIDAD DE LADERAS EN EL SUR DEL MUNICIPIO DE MANAGUA.....</b>	<b>25</b>
3.1 Factores condicionantes y desencadenantes en la Inestabilidad de laderas en el Sur del Municipio de Managua.....	25
3.1.1 Geología del área de estudio .....	25
3.1.1.2 Geología estructural del área de estudio.....	35
3.1.2 Geomorfología.....	37
3.1.3 Pendientes .....	39
3.1.4 Vegetación y uso de suelo.....	41
3.1.5 Precipitación .....	46
3.1.6 Sismicidad.....	50

---

---

3.1.7 Mapa de Susceptibilidad .....	52
3.2 Tipos de Inestabilidad de laderas identificados en el área de estudio .....	55
3.2.1 Deslizamientos Peliculares.....	56
3.2.2 Desprendimiento y caída de bloques.....	64
3.2.3 Flujo de detritos .....	66
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
Recomendaciones .....	69
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>74</b>
Anexo 1. Columna estratigráfica del área de estudio.....	74
Anexo 2. Ficha de campo utilizada en el levantamiento de campo.....	75
Anexo 3. Caracterización de los tipos de inestabilidad de laderas identificados en el área de estudio. ....	77
Anexo 4. Matrices utilizadas para la ponderación de los factores de inestabilidad de laderas. ....	78

---

---

## INDICE DE FOTOS

<b>Foto 1.</b> Unidad de Ceniza de Formación Las Sierras. Coordenadas UTM: 1332939 N, 5823536 E. ....	27
<b>Foto 2.</b> Unidad Tefra Fontana (FT), en el poblado Las Nubes. Coordenadas UTM: 1328359 N, 579889 E, 873 msnm. ....	28
<b>Foto 3.</b> Unidad Apoyo Inferior (Plat) y Apoyo Superior (Puat). Coordenadas UTM: 1333237 N, 577924 E, 495 msnm. ....	28
<b>Foto 4.</b> Unidad Pómez de Apoyeque (Pap) yaciendo sobre las unidades de Apoyo Superior e Inferior (Puat, y Plat). Coordenadas UTM: 1329398 N, 581544 E, 760 msnm. ....	30
<b>Foto 5.</b> Unidad Psat yaciendo sobre Puat. Coordenadas UTM: 1333237N, 577924 E, 495 msnm. ....	31
<b>Foto 6.</b> Unidad Hmtl. Coordenadas UTM: 1329293 N, 577975 E. ....	32
<b>Foto 7.</b> Unidad Hmt. Coordenadas UTM: 1329293 N, 577975 E. ....	33
<b>Foto 8.</b> Unidad Tefra Fontana (Pft). Coordenadas UTM: 1329356 N, 580003 E. 774 msnm. ....	35
<b>Foto 9.</b> Zona de deformación local en unidad de Ceniza Las Sierras (Pls). Coordenadas UTM: 1332839 N, 582353 E, 406 msnm. ....	36
<b>Foto 10.</b> Vista panorámica de la zona Este del área de estudio. ....	41
<b>Foto 11.</b> Vista parcial de la zona Oeste del área de estudio. ....	42
<b>Foto 12.</b> Zona de cultivo de café con sombra en la parte Sur del área de estudio, a más de 800 msnm. ....	43
<b>Foto 13.</b> Vista panorámica hacia la parte Sureste de la zona de estudio. ....	43
<b>Foto 14-A-B.</b> Deslizamiento en la comarca El Cantil. Coordenadas UTM: 1332839N, 582353 E. 406 msnm. ....	56
<b>Foto 15-A-B.</b> Deslizamiento superficial en la comarca El Cantil. Coordenadas UTM: 1332758 N, 582296 E, 439 msnm. ....	57

---

---

<b>Foto 16 A-B.</b> Deslizamiento en la comarca El Diamante. Coordenadas UTM: 1331305 N, 581937 E, 573 msnm.....	58
<b>Foto 17 A-C.</b> Evidencia de reptación de suelos en comarca El Diamante. Coordenadas UTM: 1331305 N, 581937 E, 573 msnm.....	58
<b>Foto 18 A-B.</b> Situación actual en vivienda afectada en la comarca El Diamante.....	59
<b>Foto 19 A-B.</b> Deslizamiento superficial en la comarca La Dispersa. Coordenadas UTM: 1329398 N, 581544 E. 760 msnm. ....	60
<b>Foto 20 A-B.</b> Vivienda en riesgo por talud inestable, en comarca La Dispersa. Coordenadas UTM: 1329398 N, 581544 E. 760 msnm.....	61
<b>Foto 21 A-B.</b> Deslizamiento superficial en la comarca Los Penachos. Coordenadas UTM: 1329356 N, 580003 E, 774 msnm. ....	62
<b>Foto 22 A-B.</b> Deslizamiento superficial en la comarca San Vicente. Coordenadas UTM: 1327860 N, 578041 E. 890 msnm. ....	63
<b>Foto 23 A-C.</b> Deslizamiento pelicular en la comarca San Isidro. Coordenadas UTM: 1329293 N, 577975 E. 702 msnm.....	63
<b>Foto 24.</b> Deslizamiento superficial en la comarca Los Guillén. Coordenadas UTM: 1330400 N, 577923 E. 483 msnm.....	64
<b>Foto 25 A-B.</b> Desprendimiento de bloques en comarca San Vicente. Coordenadas UTM: 1328045 N, 578854 E. 904 msnm.....	65
<b>Foto 26 A-B.</b> Desprendimiento de bloques en la comunidad Las Nubes. Coordenadas UTM: 1327726 N, 577679 E. 914 msnm.....	66
<b>Foto 27 A-C.</b> Flujo de detritos en la comarca Casa Blanca. Coordenadas UTM: 1329336 N, 583228 E, 466 msnm.....	67

---

---

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación del área de estudio. ....	4
<b>Figura 2.</b> Ambiente tectónico de Centroamérica.....	23
<b>Figura 3.</b> Mapa del Graben de Managua y cinemática de las principales Fallas de Managua y Rotación Horaria.....	24
<b>Figura 4.</b> Mapa geológico de la zona de estudio .....	34
<b>Figura 5.</b> Mapa geomorfológico de la zona de estudio. ....	38
<b>Figura 6.</b> Mapa de pendientes .....	39
<b>Figura 7.</b> Mapa de orientación de pendientes.....	40
<b>Figura 8.</b> Mapa uso de suelo de la zona de estudio. ....	45
<b>Figura 9.</b> Comportamiento de las precipitaciones máximas en 24 horas registrada en el departamento de Managua del período 1971 – 2000.....	46
<b>Figura 10.</b> Comportamiento de las precipitaciones máximas diarias en las diferentes localidades del departamento de Managua, del período 1971 – 2000. ....	47
<b>Figura 11 (a).</b> Mapa de precipitación media de Managua. ....	48

---

---

<b>Figura 11 (b).</b> Mapa de precipitación del área de estudio. ....	48
<b>Figura 12.</b> Mapa de sismicidad de Nicaragua.....	49
<b>Figura 13.</b> Mapa de sismicidad del área de estudio (PGA).....	50
<b>Figura 14.</b> Mapa de susceptibilidad, factor detonante: sismos. ....	52
<b>Figura 15.</b> Mapa de susceptibilidad, factor detonante: precipitación. ....	53
<b>Figura 16.</b> Mapa de susceptibilidad, factor detonante: sismos + precipitación. ....	54
<b>Figura 17.</b> Mapa del área de estudio con sitios que presentan Inestabilidad activa. ....	55

### INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Coordenadas vértice del área de estudio.....	2
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de litología (L).....	33
<b>Tabla 3.</b> Mediciones de las principales fallas encontradas en el área Oeste de la zona de estudio. ....	35
<b>Tabla 4.</b> Parámetros de Geomorfología.....	37
<b>Tabla 5.</b> Parámetros de pendiente (P). ....	39
<b>Tabla 6.</b> Parámetros de uso de suelos (Us).....	44
<b>Tabla 7.</b> Parámetros de precipitación (Pr). ....	47
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de Sismicidad (S).....	50
<b>Tabla 9.</b> Parámetros Mapa de susceptibilidad. ....	51

---

---

---



## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

Los procesos de inestabilidad de laderas se presentan sobre la superficie terrestre en diferentes escalas, lugares, condiciones geológicas, geomorfológicas, climáticas e inclusive sociales. Respecto a esto, es necesario establecer criterios y estandarizar los datos que surgen y se relacionan con su debido estudio. Un inventario sobre los diferentes tipos de procesos de remoción en masa se puede definir como la relación ordenada de la ocurrencia y características de estos procesos en un territorio determinado, y durante un periodo específico, el cual debe permanecer actualizado al mayor detalle posible (Alcántara y Murillo, 2007).

Una descripción de los procesos de remoción en masa en el municipio de Managua puede ayudar de manera general y puntual a establecer relaciones entre los distintos componentes que influyen en los niveles de riesgo y por ende en los desastres ocasionados por estos peligros.

Desde el punto de vista geológico Managua está ubicada en una zona con alto grado de exposición ante los diferentes tipos de amenazas que la rodean (volcánica, fallamiento superficial, e Inestabilidad de laderas en el área Sur). Las laderas naturales y los taludes artificiales pueden comúnmente encontrarse en condiciones potencialmente inestables, de manera que los deslizamientos se pueden iniciar ante el efecto de factores internos que reducen la resistencia de los materiales y de factores externos que ocasionan un incremento en los esfuerzos o en acciones actuantes.

Con base a lo anterior, el objetivo principal de esta investigación es establecer una zonificación de áreas susceptibles a la inestabilidad de laderas en la parte Sur de la Sub cuenca Central de Managua, y el análisis de los factores causantes de la inestabilidad, para lo cual se identificó y representó en mapas digitales las variables geográficas y geomorfológicas involucradas, los procesos de ladera potencialmente dañinos así como también, los efectos de la antropogénesis como agente desencadenante de dichos procesos.



Se pretende que este análisis constituya un soporte para una futura planificación territorial de esta región basada en el desarrollo socioeconómico ambientalmente sostenible; proporcionando de esta manera el principal insumo que es un Mapa de zonas susceptibles a la inestabilidad de laderas, a escala 1:30.000, asimismo aporta la actualización de mapas geológicos, geomorfológicos, de pendientes, uso de suelo de la zona.

### 1.1 Localización y Vías de acceso

Managua, capital de Nicaragua, se ubica en el Suroeste de Nicaragua, específicamente en el límite Sur del lago de Managua (Xolotlán). El municipio tiene un área total de 267 Km<sup>2</sup> de extensión, de los cuales 173.1 Km<sup>2</sup> son del área urbana. La población estimada es de 1, 480,270 habitantes según datos actualizados por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE, 2016).

El área de estudio se encuentra específicamente hacia el Sur de la Subcuenca central de Managua y cubriendo la parte Suroeste de la Subcuenca oriental de la misma ciudad (ambas subcuencas están ubicadas dentro de la Cuenca 69-Rio San Juan, Nicaragua), contenida en las hojas topográficas Managua (2952-III) y Nindirí (2952-II) a escala 1:50,000 editadas por INETER, 2006. Comprendiendo en total un área de 77 Km<sup>2</sup>.

Delimitación del área de estudio		
Coordenadas UTM-Dátum WGS84, Zona 16N		
Vértice	Este	Norte
1	575971	1334660
2	584930	1334660
3	584930	1327029
4	575971	1327029

Tabla 1. Coordenadas vértice del área de estudio.



**a) Vías de acceso**

Al área de estudio se puede tener acceso por vías principales, asfaltadas como la carretera a Ticuantepe-Las Sierras, y carretera Sur Managua-El Crucero (NIC-1); asimismo se puede acceder mediante rutas alternas y sin pavimentar como: camino El Crucero-Las Nubes, camino Santo Domingo-Las Sierras, carretera Loma Linda-Las Nubes, San Isidro de la Cruz verde-Las Nubes, entre otras vías rurales.

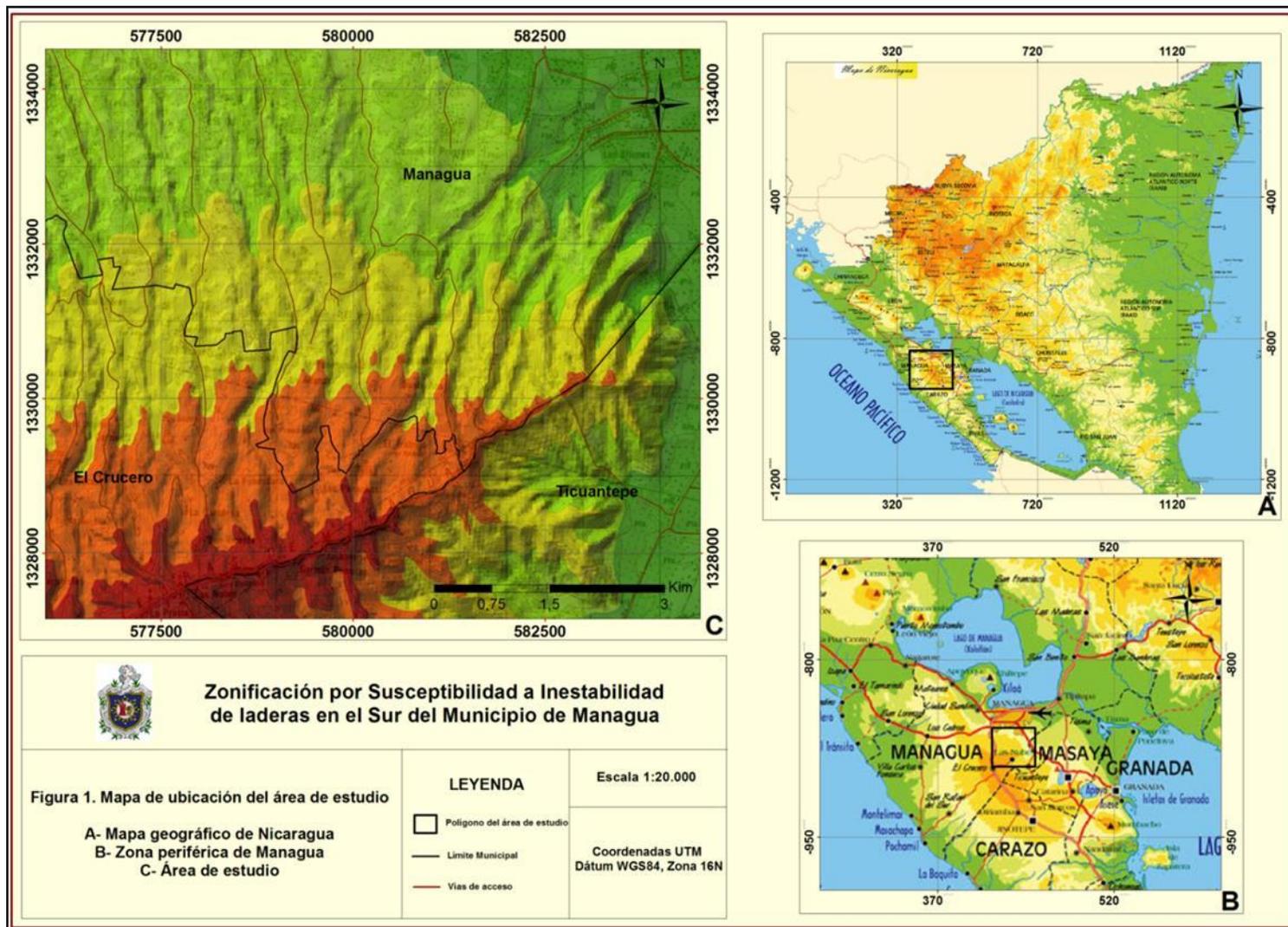


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. FUENTE: Weather Forecast. 2016



## **1.2 Objetivos**

### **a) Objetivo general**

Realizar la zonificación por susceptibilidad a inestabilidad de laderas en la parte Sur de la sub-cuenca central de Managua, y su representación cartográfica a escala 1:30.000.

### **b) Objetivos específicos**

- Identificar y analizar las zonas susceptibles a partir del estudio de los factores geológicos, geomorfológicos, topográficos y antrópicos del área.
- Realizar un análisis geomorfológico y estructural del área de estudio.
- Conocer y analizar las características físico-naturales de las laderas en la parte Sur de la sub-cuenca central de Managua.
- Obtener un mapa que clasifique el territorio de estudio en distintas clases en función de su mayor o menor susceptibilidad a sufrir los procesos de remoción en masa.
- Recomendar medidas para mitigar y prevenir daños a infraestructuras y sus ocupantes, con base a los resultados que proporciona la investigación.



### 1.3 Antecedentes

Los mapas de susceptibilidad a inestabilidad de laderas fueron desarrollados por primera vez, por Brabb en el área de San County en California, presentado al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en 1978. La realización de estos mapas se llevó a cabo mediante el método de superposición de capas con los diferentes factores geológicos que influían en las fallas de los taludes, es decir, las zonas de la ladera donde se origina el movimiento. En 1988, se inició el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) para la confección de los Mapas de susceptibilidad (Navarro. J, 2012).

La zona Sur de Managua y sus alrededores no cuenta con información y cartografía a detalle sobre los movimientos de laderas. Los estudios investigativos en el área de Managua se enfocan en la sísmica y determinación de vulnerabilidad por amenaza sísmica y volcánica. En Nicaragua existen numerosos estudios sobre deslizamientos realizados, pero ubicados en el área Norte y Noroccidente del país.

Managua, ya siendo capital de Nicaragua, fue destruida por un aluvión ocurrido el 4 de octubre de 1876. Fuertes precipitaciones en la cuenca Sur de Managua provocaron un gran deslizamiento que tuvo origen hacia el Sur de Ticomo, el cual arrasó con todo lo que encontró a su paso hasta llegar a la pequeña ciudad que para entonces contaba con 4,000 viviendas. Se desconoce el número exacto de las víctimas. El aluvión destruyó la parte Oeste de la ciudad, lo que hoy se conoce como Avenida Bolívar a Chávez, Sandino y del Centenario (Gratus Halftermeyer 1950).

Algunos de los estudios afín de este tema investigativo son los siguientes:

Hansen (1973), posteriormente al terremoto de 1972 realizó un mapa de intensidad macrosísmica, este estudio ha sido de especial importancia, revela ciertas diferencias, aunque pequeñas, en el comportamiento del suelo entre las diferentes zonas de Managua y cómo estos pueden estar asociados a movimientos en masa en zonas con pendientes mayores a 45°.



Durante el último trimestre del año 1998, INETER ejecutó un proyecto *titulado “Las Lluvias del Siglo en Nicaragua”*, en el cual se determinó las afectaciones por las precipitaciones prolongadas a causa del huracán Mitch a finales de octubre de 1998, y se realizó una comparación con las precipitaciones anuales en Nicaragua.

Señalando la posibilidad de futuras afectaciones en el área de Managua por periodos lluviosos prolongados, destacando el alto riesgo hacia el Sur de la capital debido a las fuertes pendientes en un espacio horizontal relativamente corto (Aprox. 15 km desde El Crucero hasta el Lago Xolotlán). Considerando que las prolongadas precipitaciones son un escenario desencadenante a deslizamientos de laderas. (Menéndez, D. Marquínez, J. 2003).

Durante el periodo de julio de 2003 y mayo de 2005 el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) desarrollaron el proyecto llamado: “Metodologías para el Análisis Local de Amenazas Naturales y Riesgos en Nicaragua” MET-ALARN. Aplicado al municipio de San Nicolás, Estelí. Este estudio ha sido tomado como referencia para la validación y ejecución de la metodología COSUDE, MET-ALARN, en el área de estudio de esta investigación.

En 2004, Mora S. en conjunto con Vahrson W. realizaron en Nicaragua un mapa de susceptibilidad a inestabilidad de laderas, a escala 1:750.000. Presentando como resultado un mapa de zonificación a nivel regional de los diferentes grados de susceptibilidad, identificándose en el área Sur de Managua un grado de medio a alto.



#### **1.4 Justificación**

El municipio de Managua se encuentra ubicada en el Pacífico de Nicaragua, sus suelos son de origen volcánico, proclives a presentar movimientos de tierra y más aún por encontrarse bajo la incidencia de sismos generados por la cercanía a la zona de subducción de las placas Coco y Caribe y por la presencia de actividad volcánica en otros departamentos cercanos. (Brown, R.D, et al., 1973)

Actualmente se pueden encontrar estudios sobre amenazas geológicas pero concentrados en el centro de Managua, la mayoría de ellos datan entre 1970-2000 (INETER, 2015). Por tanto es necesario llevar a cabo un análisis exploratorio espacial de datos de amenazas geológicas con el fin de diferenciar zonas en mayor o menor potencial de peligro por inestabilidad de laderas en el área Sur de la capital, actualizando y ampliando de esta forma el material existente hasta el momento.

La presente investigación, va encaminada a contribuir de alguna manera a las diferentes entidades pertinentes en la toma de decisiones, como por ejemplo, evacuaciones de habitantes en zonas de peligro de deslizamiento y disminuir los efectos dañinos de los desastres naturales en la zona de estudio, así como también puede ser considerado un elemento importante a ser tomado en cuenta por el municipio de la ciudad de Managua, en ordenamiento territorial que se puedan realizar en posteriores estudios.



### 1.5 Metodología de Trabajo

Para la ejecución de este trabajo se implementó una combinación y modificación del método propuesto por INETER-COSUDE para el proyecto “MET-ALARN”, Nicaragua 2005, y la metodología Mora-Vahrson (Propuesta originalmente en San José, Costa Rica, 1992) y sus aplicaciones en Centroamérica (2004, 2015). Dichas metodologías consisten en cruce de índices numéricos que se aplican a factores intrínsecos o condicionantes y a factores externos o desencadenantes, permitiendo la identificación y evaluación de amenazas y zonas susceptibles por inestabilidad de laderas.

Las actividades que conlleva esta metodología son las siguientes:

#### **a) Fase uno: Recopilación y valoración de material existente.**

Esta etapa consistió en la adquisición, estudio, valoración y clasificación de la información relevante y precisa al tema de inestabilidad de laderas del área de estudio, la cual incluye:

#### **i) Información necesaria para la evaluación del nivel de susceptibilidad a inestabilidad de laderas:**

##### **a) Fuentes Bibliográficas primarias:**

- Imágenes satelitales y Ortofotomapas.
- Modelo de elevación digital (MED), mapas de pendientes.
- Mapas topográficos y geológicos (Hoja 2952.II y III, escala: 1:50,000).
- Bibliografía existente (geología, hidrogeología, geomorfología, uso de suelo, estudios sobre el tema de inestabilidad de laderas cercanas al sitio de estudio o afín del proyecto de investigación).

##### **b) Fuentes Bibliográficas secundarias:**

- Datos meteorológicos y sísmicos reprocesados de la zona Sur de Managua (INETER, 2008, 2015).

En los mapas topográficos y modelo de elevación digital se identificaron zonas con disturbios o discontinuidades en las curvas de nivel (curvas no paralelas o caóticas, las que pueden estar asociadas a terrenos inestables), las cuales preliminarmente se marcaron como zonas de interés para comprobaciones. Para ayudar a visualizar estas discontinuidades se realizaron perfiles topográficos, lo cual permitió comparar la topografía y definir las áreas con evidencias de deslizamientos.



**b) Fase dos: Trabajo de campo:**

Durante esta etapa se corrigió sobre el terreno la información procesada en el paso anterior, y se completó la información que no aportaron las ortofotos y el modelo de elevación digital.

Los terrenos inestables fueron identificados en el campo partiendo de observaciones e interpretaciones generales de las Subcuenca Central y Subcuenca Oriental de Managua, tanto de sus características geomorfológicas, entre las que se destacan la presencia de un escarpe, zona deprimida, topografía ondulada, zona de acumulación; como de sus características geológicas tales como: tipo de roca, grado de fracturación, rumbo y buzamiento de fracturas las cuales favorecen a la dirección de deslizamientos y/o desprendimientos.

De la misma forma se identificó el grado de alteración en las unidades litológicas encontradas, competencia de la roca, orientación de las estructuras, espesor de la capa de suelo, presencia de manantiales o zonas húmedas, comportamiento de la vegetación, es decir identificar evidencias de árboles inclinados, lo cual es indicio de reptación de suelos.

Para la clasificación de los diferentes tipos de inestabilidades de laderas presentes en el área de estudio se utilizó una ficha de campo propuesta en las recomendaciones técnicas para la elaboración de mapas de amenazas por inestabilidad de laderas Proyecto: MET-ALARN, INETER-COSUDE, 2005. Dicha ficha ha sido utilizada como parte del desarrollo en la validación metodológica. (Ver Anexos).

**c) Fase tres: Evaluación y estado de resultados.**

Una vez preparado el material generado en la fase uno y dos, se calculó el grado de influencia de cada uno de los factores del terreno a la formación de movimientos de ladera. Para esto se implementó una serie de matrices cuali-cuantitativas para la caracterización de cada uno de los diferentes fenómenos presentes en el área<sup>1</sup>. Cada matriz asigna pesos porcentuales con base a las condiciones identificadas en campo.

---

<sup>1</sup> Matrices modificadas por el proyecto MET-ALARN, INETER-COSUDE, Nicaragua, 2005.



El método que se utilizó para obtener el Mapa de susceptibilidad fue el Index Overlay Models (modelo de superposición de capas), adaptado a los sistemas de información geográfica (SIG), específicamente a ArcGIS 10.2, mediante la aplicación de la siguiente fórmula propuesta por Mora-Vahrson (1992):

$$(P) * (L) * (Us) * (G) * (S + Pr) = Ms$$

Donde:

Factores intrínsecos o condicionantes:

P: Pendiente

L: Litología

Us: Uso de suelo

G: Geomorfología

Y, factores extrínsecos o desencadenantes:

S: Actividad Sísmica (aceleraciones máximas, PGA).

Pr: Precipitación

Obteniendo como resultado el Mapa de Susceptibilidad (Ms).

Se elaboró un mapa temático de cada factor, con su base de datos que incluye área de los polígonos, simbología y descripción de las clases, los que luego fueron transformados a formato Raster, para que el programa realizara un conteo de los pixeles.

Para cada factor evaluado se definieron clases y a cada clase se les asignó un peso porcentual según las matrices propuestas por Mora Vahrson y COSUDE. El peso asignado a las clases varía en el rango de 1 a 5, con significado de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. La ponderación o pesos asignados son básicamente subjetiva y se realiza a criterio del especialista sobre la base de las observaciones e indicadores de campo.

La clasificación de los valores de susceptibilidad en diferentes intervalos permite zonificar el área de estudio según el grado de susceptibilidad a los movimientos de ladera presentes en la zona de interés. Obteniendo como resultado final el mapa de susceptibilidad a inestabilidad de laderas.



## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Los fenómenos de inestabilidad de laderas.**

Para el desarrollo de la presente investigación se tomó el concepto dado por Cruden y Varnes (1996), el cual define el deslizamiento como el movimiento de masas de roca, detritos, o tierra a favor de la pendiente, bajo la influencia directa de la gravedad.

Los procesos de remoción en masa involucran el movimiento de los materiales formadores de las laderas, bajo la influencia de la gravedad y sin la asistencia primordial de algún agente de transporte fluido (Brunsden, 1979; Alcántara, 2004).

Términos como procesos gravitacionales, procesos de ladera y movimientos de ladera son empleados en la literatura científica en español, correcta y ampliamente como sinónimos de los procesos de remoción en masa, sin embargo existen discrepancias en cuanto a los tipos de procesos que deben incluirse dentro de este término por lo que cada autor o cada escuela opta por una clasificación propia (Varnes, 1996).

Los deslizamientos ocurren cuando se conjugan varios factores, que pueden ser de condiciones propias del lugar o de factores externos a este. Los podemos agrupar de la siguiente manera (Varnes, 1978):

- Factores geológicos, tales como: debilidad del material, la meteorización, fracturas, fisuras, capacidad de infiltración, dureza del material entre otros.
- Factores morfológicos, como: erosión en márgenes laterales, erosión fluvial de pie de ladera, erosión subterránea.
- Factores físicos, como: la precipitación, la temperatura, el drenaje, vibraciones, sismos, erupciones volcánicas.
- Factores antropogénicos, como: excavaciones, deforestación, vibraciones artificiales, aumento de peso sobre la pendiente, entre otros.



### a) Clasificación de los procesos de remoción en masa

Entre los criterios para realizar las clasificaciones de los procesos de remoción en masa están: el contenido de agua, la velocidad del movimiento, la profundidad de la superficie de ruptura, el tipo de ruptura, estado de la actividad y el tipo de movimiento (INETER, COSUDE, 2005). A continuación se muestran ejemplos de varios tipos de clasificación:

#### a). Por el grado de actividad

- Inactivo: No presenta movimientos actualmente.
- Poco activo: Presenta poco movimiento.
- Activo: Presenta movimientos actualmente, con movimientos primarios y reactivaciones.

#### b). Por la velocidad de propagación de materiales

- Extremadamente rápido:  $>5 \text{ m / s}$
- Rápido:  $> 1.5 \text{ m / día}$  a  $5 \text{ m / s}$
- Moderado:  $1.5 \text{ m / mes}$  a  $1.5 \text{ m / día}$
- Lento:  $1.5 \text{ m / año}$  a  $1.5 \text{ m / mes}$
- Muy lento:  $<1.5 \text{ m / año}$

#### C. Por la profundidad de la superficie de rotura

- Superficial: entre 0 y 2 m.
- Semi-profundo: entre 2 y 10 m.
- Profundo: mayor de 10 m.

#### d) Por el mecanismo de movimiento

- Derrumbes y caída de bloques.
- Basculamiento o volcamiento.
- Reptación.
- Deslizamientos.
- Flujos o coladas de detritos o tierra.



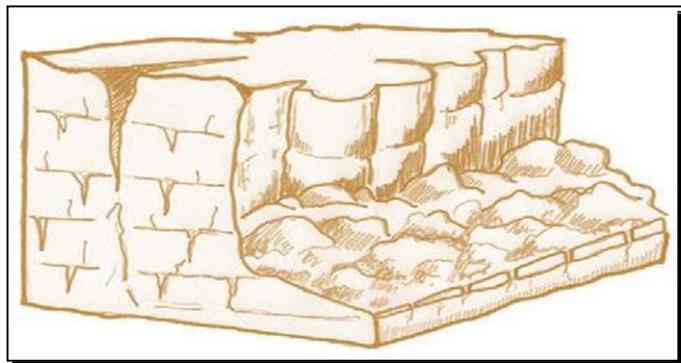
## **b) Clasificación de los procesos de Inestabilidad de acuerdo al mecanismo de movimiento<sup>2</sup>**

La clasificación de los procesos de remoción en masa más aceptada internacionalmente, se basa en el mecanismo del movimiento, misma que incluye a los deslizamientos.

### **Derrumbes y caída de bloques (*rockfall*)**

Fenómenos que presentan una ruptura brusca y caída más o menos libre y a gran velocidad de un bloque o una masa rocosa en seco. Gran parte del transporte se da en el medio aéreo, pero también existe un componente de salto y rodamiento. La zona de origen corresponde prioritariamente a acantilados rocosos o laderas de fuerte pendiente, donde la roca está fracturada y alterada.

Los volúmenes implicados suelen ser de hasta 100,000 m<sup>3</sup>. Tienen un alto componente de sorpresa, pues rara vez presentan signos precursores o anunciadores (o estos son difíciles de detectar) y, muy a menudo, son desencadenados por factores exógenos (sismos, vibraciones de maquinaria pesada, explosiones, árboles sobre el macizo rocoso, etc.). La velocidad del movimiento es elevada, hasta 40 m/s.



**Derrumbes y Caídas de bloques (Fuente: COSUDE, 2005)**

<sup>2</sup> Esta clasificación es tomada de: Proyecto COSUDE MET-ALARN, INETER 2005, Nicaragua.



### **Avalanchas de rocas / de detritos (Rock / Debris Avalanche)**

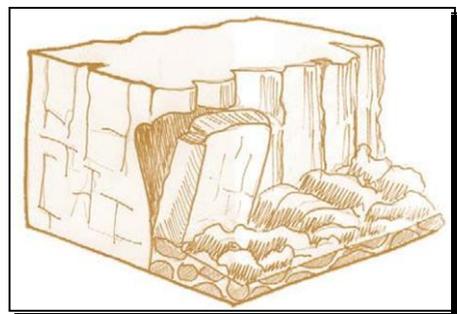
Fenómenos que presentan una ruptura brusca y caída más o menos libre y a gran velocidad de una masa rocosa “en seco”. Gran parte del transporte se da en el medio aéreo, pero también existe un componente de salto y rodamiento. Se considera un evento catastrófico, temporalmente instantáneo y de muy alta recurrencia

El volumen de material movilizado suele ser muy superior a los 100,000m<sup>3</sup>, generalmente 1 o varios millones de metros cúbicos de roca. La velocidad del movimiento suele ser muy elevada >40m/s.

### **Volcamiento o basculamiento (*topple, toppling, rock topple*)**

Es el doblamiento de la parte superior de estratos o niveles de rocas afectadas por disyunciones. Es causado por acción de la gravedad terrestre o de procesos tectónicos distensivos. Existen dos variantes: el doblamiento plástico (en rocas metamórficas y, en menor medida, en pelíticas) y el doblamiento rígido, que podría ser llamado, más apropiadamente, basculamiento.

El material afectado son formaciones sedimentarias y metamórficas, por lo general de fuerte buzamiento y en vertientes contrarias siendo los esquistos los más sensibles a este doblamiento por los planos de esquistosidad o plegamiento.



**Volcamiento o basculamiento. Fuente: COSUDE, 2005**

El tipo de alabeamiento rígido se puede dar en columnas de basalto o formaciones similares con profundidades de hasta algunas centenas de metros.



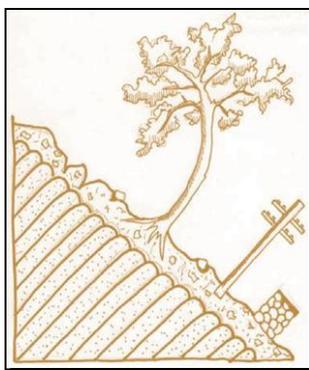
### **Reptación de suelos (*Soil Creep*)**

Es el desplazamiento lento, prácticamente imperceptible, que afecta a los materiales menos cohesivos de la cubierta de suelo (edáfica), es decir, a los materiales poco consolidados (particularmente a los terrenos de cultivo), afecta los suelos hasta una profundidad promedio de un metro. Es un fenómeno prácticamente invisible a nivel morfológico, por lo que puede ser reconocido solo en cortes o a través de signos indirectos.

Presenta velocidades de pocos milímetros hasta más o menos un centímetro por año; decreciente en profundidad. Para zonas tropicales como la centroamericana (húmedas, con cubierta vegetal bien desarrollada) se ha demostrado que las velocidades promedio son de apenas 1-2 mm/año. En zonas semi-áridas con poca cubierta vegetal, la velocidad varía entre 5 y 10 mm/año.

En climas tropicales esta sobre todo condicionada por la granulometría -que, a su vez, condiciona la cohesión del suelo- y por las variaciones en el grado de saturación del suelo (presión intersticial y fuerzas de percolación).

El mecanismo aparentemente se trata de un movimiento cíclico pendiente abajo prácticamente grano por grano, del material terroso, de cohesión media a baja, sobre pendientes iguales o superiores a los 20°. Sus efectos son desarreglos menores (inclinación y apertura de grietas en muros y postes de cimentación poco profunda, torceduras en lo troncos de los árboles, discontinuidades en el manto vegetal bajo).



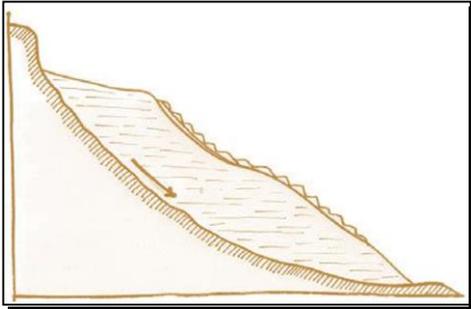
**Reptación de suelos. Fuente: CÔSUDE, 2005.**



## Deslizamientos (*Landslide*)

- Deslizamientos peliculares o superficiales

Presentan una superficie de deslizamiento y provoca cambios notables de la estructura del suelo. Es un fenómeno abundante en Centroamérica, en laderas empinadas con amplias (pero no muy profundas) cubiertas eluviales y regolíticas, utilizadas para agricultura (cultivos anuales de surco) y/o pastoreo del ganado (ganadería extensiva).



Esquema de deslizamiento pelicular:  
Fuente: COSUDE, 2005

La principal característica de estos deslizamientos es la morfología de *cáscara de naranja*, lo que se conoce como *camino de vaca*, con ondulaciones pequeñas que corresponden a pequeños deslizamientos rotacionales, con diámetro promedio (profundidad máxima) de hasta uno o dos metros.



Deslizamiento Pelicular, Wivilí.  
Fuente: COSUDE, 2005

Esta forma de cascara de naranja forma escalones que son aprovechados por el ganado y la gente, evolucionando hacia una forma de escalones en trama enrejada o en rombos, que, en algunos casos, progresivamente se desploman, formándose gradas en las laderas, desapareciendo estas posteriormente, en otros casos son removidos de forma abrupta.

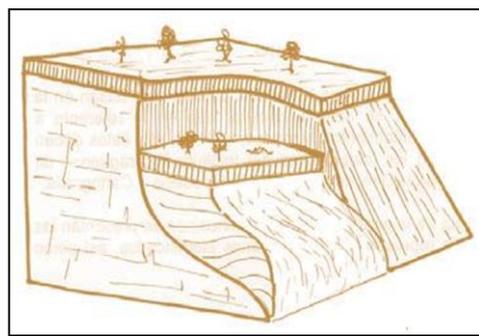


### **Deslizamientos rotacionales o circulares (*slump*)**

Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o ambos, a lo largo de una superficie de ruptura en forma circular (que coincide con la de transporte) sobre la cual se mueve una masa. En su fase inicial, existe poca distorsión de los materiales. En algunos casos, a medida que la masa se desplaza, los materiales se dislocan progresivamente y el mecanismo de inestabilidad deviene complejo.

Eventualmente se da en terrenos muebles, homogéneos, isotrópicos, cohesivos. Su ocurrencia en la naturaleza es rara en estado puro o efímera pues rápidamente evoluciona hacia mecanismos combinados.

Este tipo de movimientos pueden involucrar tanto volúmenes pequeños como volúmenes grandes de material. Y las velocidades de propagación de la masa desplazada pueden ser también muy variables.



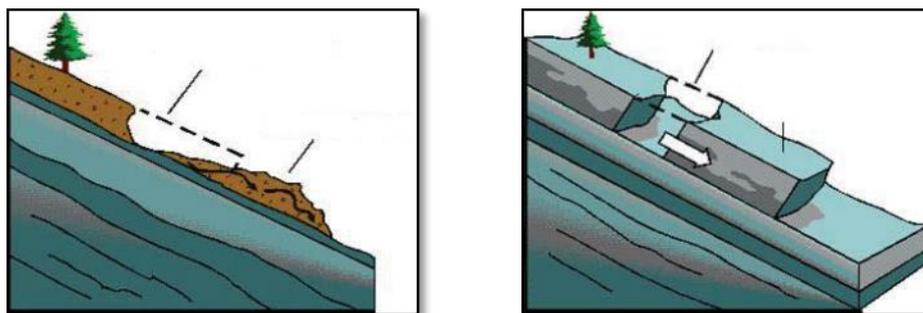
**Gráfico Deslizamiento Rotacional**  
Fuente: COSUDE, 2005

### **Deslizamientos traslacionales (*Dip slope*)**

Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de deslizamiento planar. Se originan en zonas que presentan superficies de discontinuidad, de niveles poco competentes; también en bloques tabulares o paquetes de estratos dentro de estructuras conformes de estratificación o esquistosidad; sobre capas poco competentes o niveles de alteración; sobre planos de fallas o sistemas de diaclasas conformes (a favor de la pendiente).



El material afectado es rocoso, estratificado o diaclasado, formando placas o paquetes cuyas bases quedan desprovistas de soporte, ya sea por erosión natural o por cortes artificiales en un talud (es tal vez el problema geodinámico más comúnmente desencadenado por la intervención humana, cuando se hacen cortes para carreteras, canales, etc.). Este tipo de movimientos pueden involucrar tanto volúmenes pequeños como volúmenes grandes de material. Y las velocidades de propagación de la masa desplazada pueden ser también muy variables.

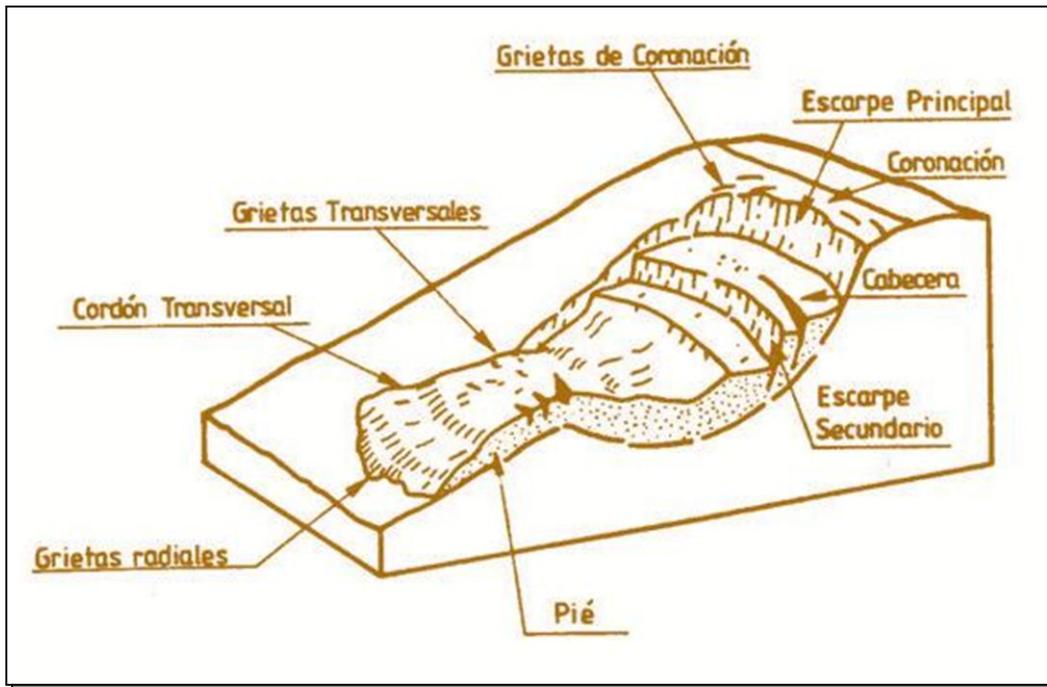


Esquema de un deslizamiento traslacional. Fuente: COSUDE, 2005

### Deslizamientos complejos

Se aplica a grandes deslizamientos donde aparecen mecanismos combinados, debido a una larga evolución. Por lo general se trata de deslizamientos de edad milenaria, de gran talla y de evolución muy lenta, con periódicos episodios de aceleración. Puede decirse que son deslizamientos permanentes, regidos por la acción de los esfuerzos residuales posteriores a la fase de ruptura. Pueden llegar a cubrir varios kilómetros cuadrados de superficie, involucrando cientos y hasta miles de millones de metros cúbicos de masa en movimiento y hasta algunas centenas de metros de profundidad.

En la región centroamericana existen cientos de deslizamientos de este tipo, casi todos con relación genética estructural y que ocupan vertientes enteras, como el caso de San José de los Remates, San Dionisio, Esquipulas, (INETER, COSUDE 2005).



Esquema de un deslizamiento Complejo. Fuente: COSUDE, 2005.

### **Coladas o flujos (*flows*)**

Son masas de material sin cohesión que fluye como un fluido viscoso al sobrepasar su límite líquido, pueden formarse en cualquier material poco consolidado (inclusive puede llegar a afectar los niveles superiores de roca alterada o intemperada) y hasta en rocas, especialmente pelíticas y esquistosas más o menos descompuestas. Se pueden desplazar grandes distancias.

Son fenómenos básicamente estacionales, es decir, frecuentes en temporada de lluvias, aunque son numerosos los casos relacionados con roturas de conductos de agua, depósitos de agua, o por efecto de la aceleración de deslizamientos, por trastornos en el régimen hidrogeológico e, inclusive, por sacudida sísmica (licuación de arenas). En dependencia del material movilizado puede haber:

- **Flujo de lodo (Mud Flow)**

Suele involucrar volúmenes variables de material fino con alto contenido de limos y arcillas. Las velocidades de desplazamiento igualmente pueden ser variables y suelen estar relacionadas con factores como la pendiente de la ladera y la cantidad de agua involucrada en la movilización del material.

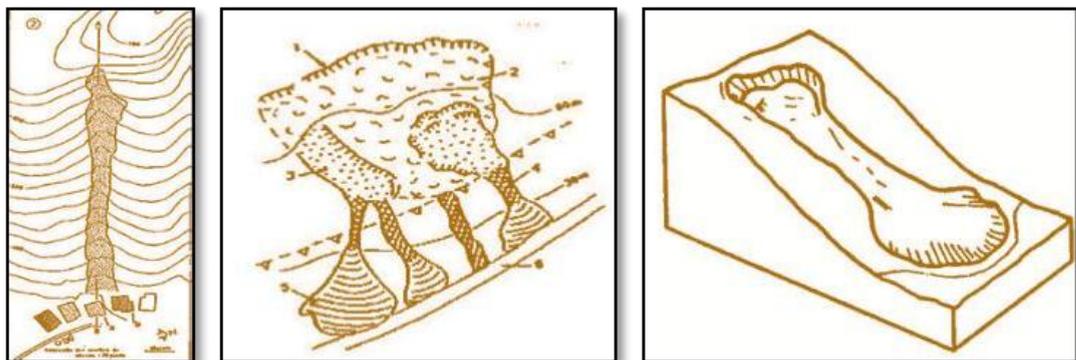


- **Flujo de tierra (Earth Flow)**

Suelen presentar grandes volúmenes de material terroso con menos de 2 mm de diámetro predominando sobre limos y arcillas, generando formas de lengua o de gran lóbulo. Las velocidades medias del movimiento pueden variar entre: cm – dm / ano a cm – m / día (estas pueden no ser homogéneas en toda la colada).

- **Flujo de detritos (Debris Flow)**

Suelen involucrar volúmenes de medianos a grandes de hasta 10.000m<sup>3</sup> de material grueso de diferente diámetro que incluye bloques de rocas, derrubios y roca descompuesta. Generan trazas lineales bien definidas, como un corredor alargado, con embudos o conos divergentes en los extremos, generalmente con conexión con la red de drenaje. Las velocidades de movilización suelen ser rápidas a muy rápidas.



**Gráfico Coladas o Flujos de lodo y detritos. Fuente: COSUDE, 2005.**

En Centroamérica y, en general, en las áreas tropicales húmedas con morfología montañosa, las coladas son los fenómenos más frecuentes y pueden asociarse, al menos en su génesis, con derrumbes o deslizamientos secundarios o localizados. Pero, en la gran mayoría de casos, se originan en los débiles horizontes edáficos de pendiente acentuada.



## Deslizamientos Compuestos

Cuando un movimiento de ladera presenta más de un mecanismo de movilización de los materiales en diferentes lugares de la masa en movimiento, se le considera como *deslizamientos compuestos*. Es decir, cuando se evidencian rasgos de combinación de los movimientos anteriormente detallados.

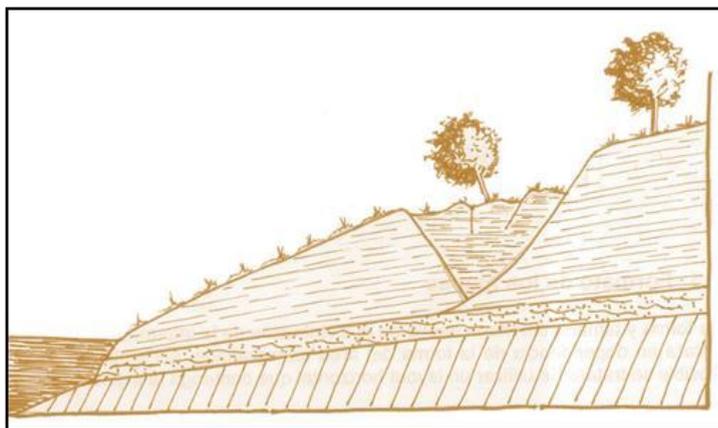


Gráfico de deslizamiento Compuesto.

Fuente: COSUDE, 2005.

## 2.2 Marco Geotectónico Regional

La Geotectónica de Centroamérica está influenciada por la interacción entre las placas Cocos-Caribe-Nazca y las placas del Norte y Sur América, las que producen un complejo patrón estructural de la corteza cortical en América Central. La placa del Caribe limita al norte con la placa Norteamericana, en el sistema de fallas transformantes Motagua-Polochic de movimiento lateral izquierdo, al sur con la placa Suramericana, al este con la Fosa de Puerto Rico y las zonas de subducción de las Antillas Menores y al oeste con la Placa Cocos (Frischbutter, 2002).(Figura 2)

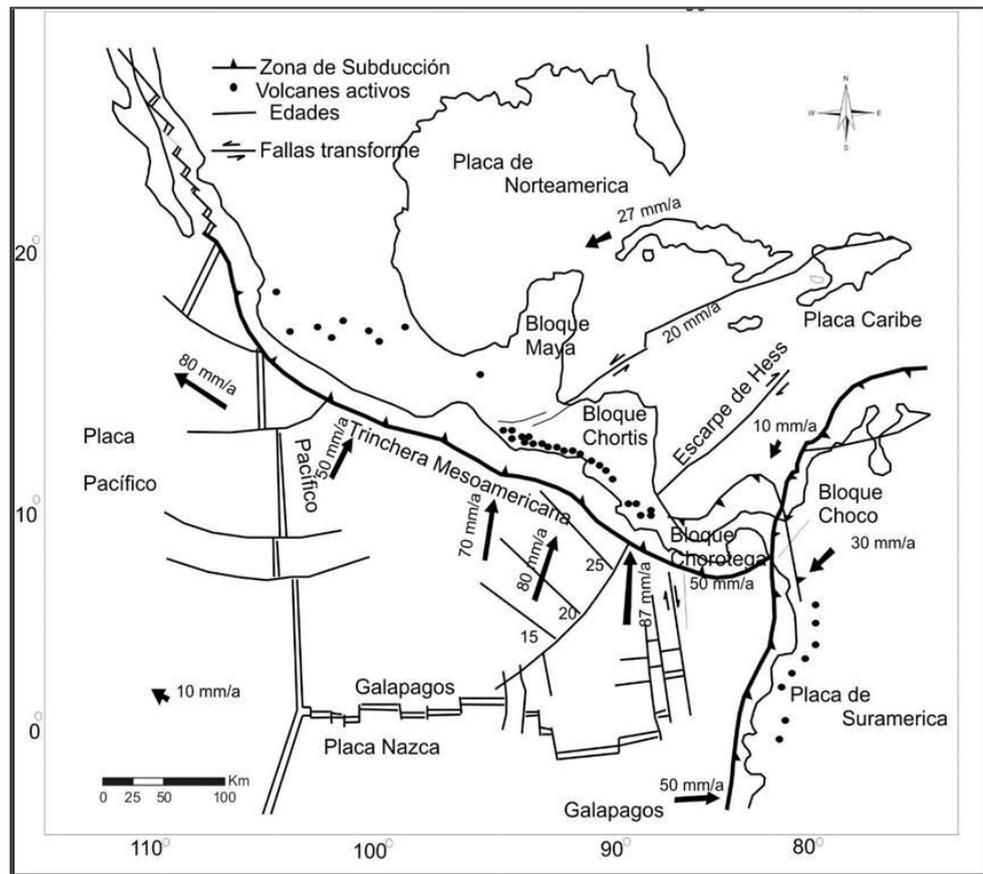


Figura 2. Ambiente tectónico de Centroamérica. Fuente: Frishbutter, 2002.

Nicaragua, al igual que el resto de Centroamérica, se ubica en el margen oeste de la Placa del Caribe, de corteza continental, la cual se encuentra en contacto con la Placa de Cocos, de corteza oceánica, en un proceso tectónico de subducción. La Fosa Mesoamericana marca el contacto entre estas placas. La dirección de subducción de la Placa de Cocos por debajo del margen pacífico de la Placa Caribe, es ligeramente oblicua respecto al límite de placa que subduce con una inclinación de 25° en la parte superficial y 84° a profundidades de 100 y 220 km (Frishbutter, 2002).

Las velocidades estimadas de subducción varían de 70 a 80 mm/año (Frishbutter, 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) ésta 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.



### 2.3 Marco Geotectónico local

El área de estudio se encuentra hacia el Sur del graben de Managua (Figura 3). El cual representa la estructura tectónica más activa en Nicaragua. El sistema de fallas Cofradía representa el límite principal del graben en la zona Este, hacia el Sur el sistema tectónico que delimita el graben es el complejo volcánico Las Sierras Masaya; La zona Oeste del graben está limitada por el sistema de Fallas Mateare. Este graben ha sido interpretado como una cuenca Pull-apart (La Femina, et. 2002).

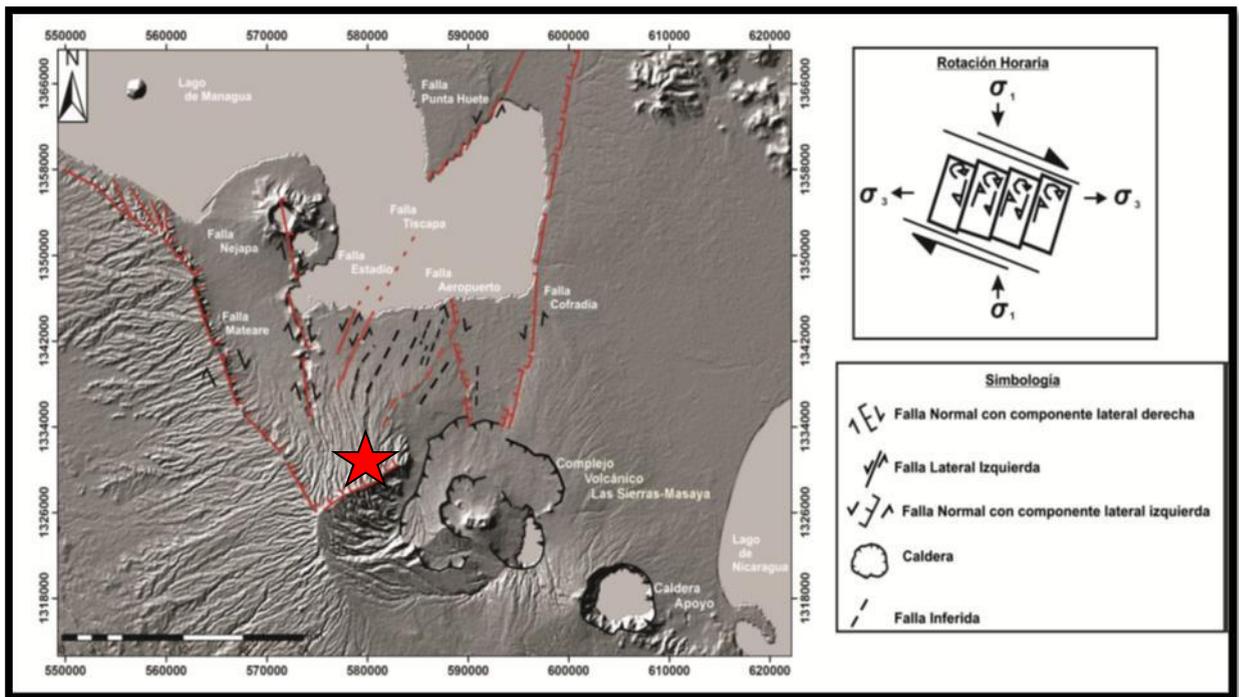


Figura 3. Mapa del Graben de Managua y cinemática de las principales Fallas de Managua y Rotación Horaria. Elaborado con base a la interpretación de Modelo de Sombreado del área de Managua y estudios previos: Frisbuchtter, (2002); La Femina et., (2002); Cowan et al., (2002); INETER (2003); Girard y Van Wyk de Vries, (2005); Espinoza, (2007). La estrella roja representa el área de estudio.



## **CAPÍTULO 3. INESTABILIDAD DE LADERAS EN EL SUR DEL MUNICIPIO DE MANAGUA**

### **3.1 Factores condicionantes y desencadenantes en la Inestabilidad de laderas en el Sur del Municipio de Managua**

#### **3.1.1 Geología del área de estudio**

Los resultados de este acápite fueron obtenidos mediante visitas de campo, en las cuales se realizó levantamiento de afloramientos y cortes que permitieron observar y definir las unidades litoestratigráficas presentes en el área de estudio. La litología del área está caracterizada por una secuencia de depósitos piroclásticos de edad Holoceno (H) que data de los 10,000 años hasta la actualidad y Pleistoceno (P) de 2,59 millones de años a los 10,000 años de antigüedad, provenientes de los centros volcánicos Masaya, Apoyo y Apoyeque, definido por Bice, (1985) y Kutterolf, (2007).

Las principales fuentes de estos depósitos piroclásticos son los centros volcánicos más cercanos a Managua como: la caldera Masaya, Apoyeque, Apoyo, Nejapa- Miraflores, Motastepe, Tiscapa, Chico Pelón. El origen de los suelos está relacionado con el drenaje de la cuenca sur del Lago de Managua, el cual es muy activo durante los meses de lluvia, la erosión hídrica producida en la parte sur de Managua da origen a suelo aluviales, y flujos hiperconcentrados que dan origen a suelos muy arcillosos similares a los encontrados dentro de la secuencia estratigrafía del Estadio, la erosión eólica y la meteorización química es otro de los factores que dan origen a suelos dentro del Grupo Managua (Kutterolf, 2007).

En la zona de estudio se encontraron y definieron ocho unidades litológicas mediante la clasificación de muestras de mano y reconocimiento de campo en la zona circundante a cada levantamiento. La nomenclatura utilizada en la definición de las unidades es la propuesta por Kutterolf (2007), (Anexo 1).

Se mencionan a continuación de la más antigua a la más reciente:



### **Formación Las Sierras**

- Ceniza Las Sierras (Pls)

### **Formación Managua**

- Tefra Fontana (Pft)
- Tefra Apoyo inferior (Plat)
- Tefra Apoyo Superior (Puat)
- Pómez de Apoyeque (Pap)
- Tefra San Antonio (Psat)
- Triple capa Masaya (Hmtl)
- Toba Masaya (Hmt)

### **Unidad Ceniza Las Sierras (Pls)**

Esta unidad representa el nivel de basamento del área de estudio, la cual se identificó únicamente en un afloramiento en las partes más bajas de la zona (hacia el Noroeste de Ticuantepe), a una altura de 406 msnm, con un espesor promedio de 2 a 3 m. Consiste en una ceniza de coloración gris en la parte inferior y color amarillento en la parte superior, se encuentra altamente compacta, la cual se presenta medianamente meteorizada, con presencia de pequeños líticos de escoria basáltica de 2.5 mm de espesor.

Se identificó en esta unidad una serie de fracturas con arreglo en paralelo con rumbo predominante S80°W. No se encontró evidencia de fallamiento en la zona circundante a este afloramiento, puede entonces, que las fracturas identificadas en esta unidad se deban a deformación local, provocado por fuerzas confinantes de las unidades que yacen sobre ésta ceniza (Foto1).

El origen de esta ceniza según Bice, (1985), es producto de una erupción pliniana del volcán Masaya durante el periodo del Pleistoceno (hace más de 10,000 años).

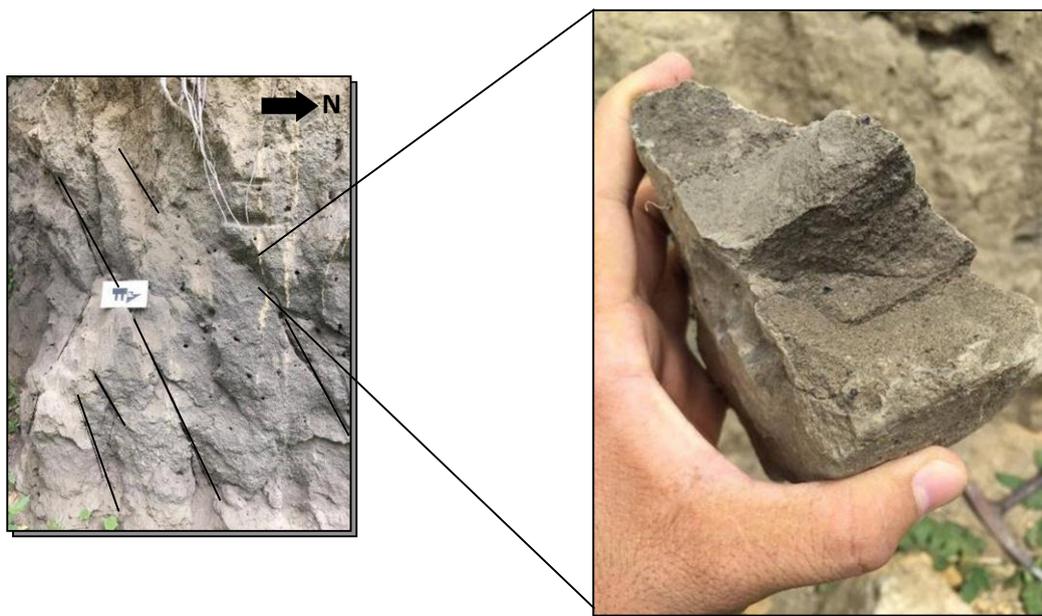


Foto 1. Unidad de Ceniza de Formación Las Sierras. Coordenadas UTM 1332939 N, 5823536 E. Altitud: 406 msnm.

### Tefra Fontana (Pft)

Esta unidad se encontró en la mayoría de los afloramientos. Ha sido nombrada como Lapilli Fontana por Williams (1983) y Lapilli Masaya por Bice (1985), sin embargo Kutterolf y otros autores la definen como Tefra Fontana (Pft). Marca el límite entre la Formación Managua y la Formación Las Sierras. Esta unidad es producto de una erupción Pliniana del volcán Masaya, con un índice de explosividad volcánica (VEI de 5). Es una escoria de composición Basalto-Andesítico (52-53 % SiO<sub>2</sub>), con un alto contenido de vesículas (Bice, 1985, Kutterolf, 2007).

Debido a que es producto piroclástico de deposición aérea, tiende a rellenar topografía, por tanto en algunos sitios se encontró a un nivel superior, en otros sitios a un nivel inferior y en algunos casos yaciendo de manera discordante con otras unidades piroclásticas. En la zona de Las Nubes y otras áreas de Managua se puede observar en esta unidad diferentes niveles de alteración por Carbonatos (CaCO<sub>3</sub>), definidos por líneas horizontales de coloración gris claro a blanco (Darce, M. comunicación personal, mayo 2017).

Esta unidad es comúnmente encontrada con espesores que superan los 3 m en la zona Noroeste del volcán Masaya. En algunos casos se presenta altamente meteorizada (formando suelo y saturada parcialmente por agua pluvial), provocando flujos de detritos.

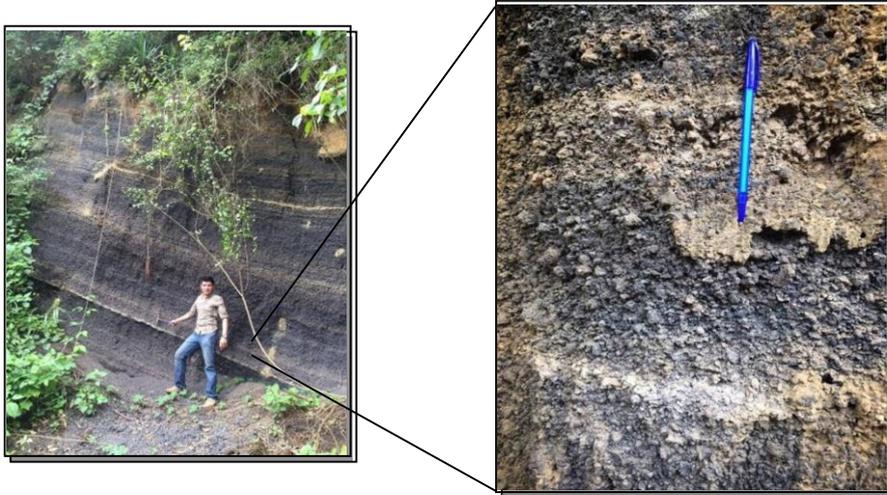


Foto 2. Unidad Tefra Fontana (Pft), en el poblado Las Nubes. Coordenadas UTM: 1328359 N, 579889 E. Altitud: 873 msnm.

### **Tefra Apoyo inferior (Plat)**

Esta unidad consiste en una Pómez color gris claro a blanquecino en zonas donde no se presenta alterada; es de composición intermedia (58.70% SiO<sub>2</sub>), producto de una erupción freatomagmática provocada por el volcán Apoyo, hace aproximadamente 23,890 (Kutterolf, 2007).

Esta unidad yace bajo la unidad de Apoyo Superior (Puat), separado por un paleosuelo de color marrón en la zona Este de Las Nubes, sin embargo en la parte Sur de Managua aparecen en contacto, con estratificación normal, según se observa en la foto 3. Se muestra esta unidad altamente alterada hacia el Sur del barrio Loma Linda, Managua, formando un paleosuelo con tonalidades que varían de gris oscuro a café claro.

Las características que se observaron en esta unidad consisten de fragmentos de Pómez tamaño lapilli (2 – 64mm), clastos sub-angulosos con relación de grano a grano. Se presenta con espesores promedios que varían de 0.80-1.40 m; identificándose el mayor espesor (1.40 m) hacia el Sureste de Ticomo (Foto3).

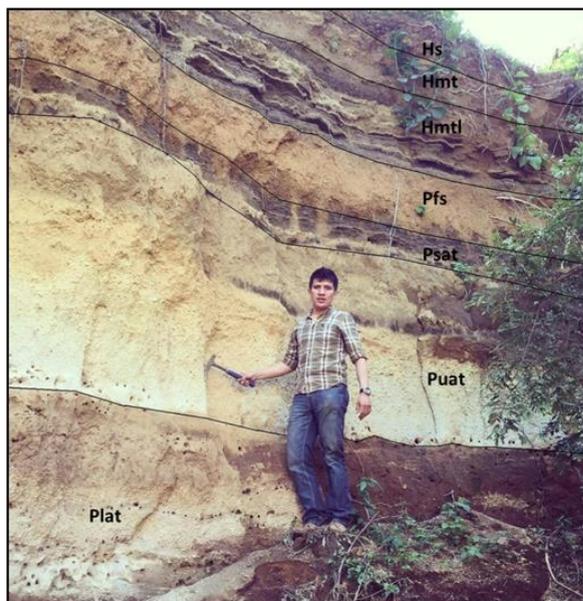


Foto 3. Contacto litológico de la Unidad Apoyo Inferior (Plat) y Apoyo Superior (Puat), Coordenadas UTM: 1333237 N, 577924 E. Altitud: 495 msnm.

### Unidad Apoyo Superior (Puat)

Esta unidad de Pómez tiene una composición Dacítica (>63% SiO<sub>2</sub>), con coloración gris claro. Es producto de una de las fases eruptivas de tipo freatomagmática del volcán Apoyo hace aproximadamente 22,800 años, según dataciones con Carbono 14. (Kutterolf, 2007).

La diferencias características entre Puat y Plat, es el contenido de Sílice de ambas pómez, como se ha descrito anteriormente, las cuales tuvieron lugar en diferentes fases eruptivas del volcán Apoyo. En las muestras obtenidas (Foto4), se observan a simple vista fenocristales de Biotita de tamaño promedio de 3 mm. Esta unidad se identificó hacia el Sureste de Ticomo y Norte de Las Nubes, con espesores promedio de 0.70-1.50 m.

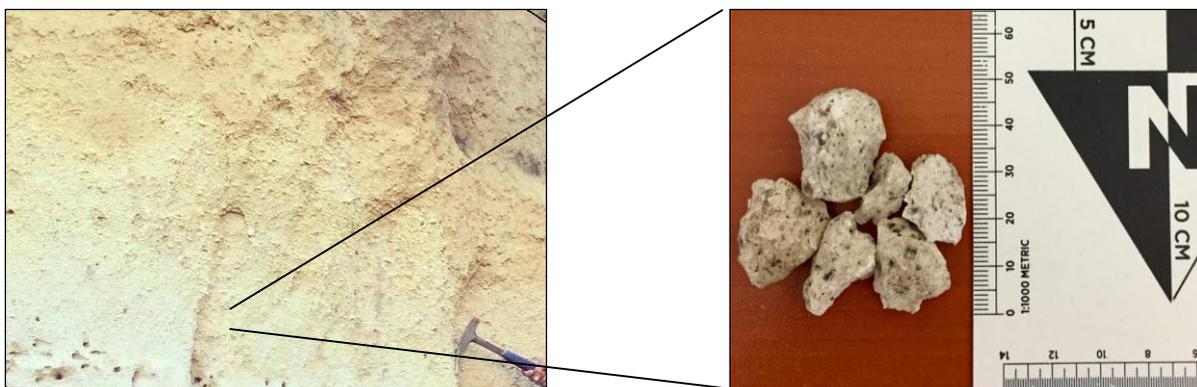


Foto 4. Unidad Apoyo Superior (Puat). Coordenadas UTM: 1333237 N, 577924 E. Altitud: 495 msnm. .



### **Pómez Apoyeque (Pap)**

Esta unidad consiste en una Pómez de composición dacítica de coloración gris oscuro a gris claro, producto de una erupción Pliniana del volcán Apoyeque hace 12,400 años, según datos obtenidos mediante dataciones realizadas con  $^{14}\text{C}$ . (Kutterolf, 2007).

Se encuentra medianamente meteorizada en la parte superior del depósito, y yaciendo sobre la unidad Tefra Apoyo Superior (Puat), separadas por un paleosuelo pomáceo (Pfs<sub>2</sub>), el cual marca un tiempo de calma posterior a la última erupción del volcán Apoyo.

Esta unidad es característica por presentar gradación inversa, según describe Kuteterolf en 2007 (Foto 5), donde se muestra tamaño de grano fino en la parte inferior, y tamaño de grano grueso en la parte superior). Este depósito alcanza un espesor máximo observado de hasta 4 m en la parte suroeste del lago de Managua. Sin embargo, en el área de estudio se encontró únicamente en un corte hacia el Este del poblado Las Nubes con un espesor de 45 cm.

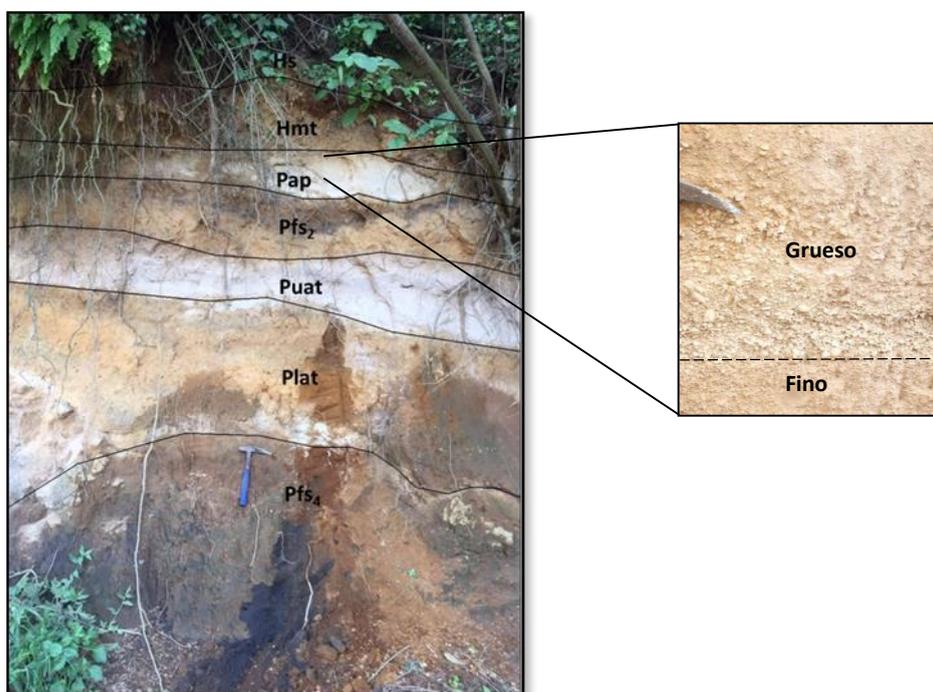


Foto 5. Unidad Pómez de Apoyeque (Pap) yaciendo sobre las unidades de Apoyo Superior e Inferior (Puat, y Plat). Coordenadas UTM: 1329398 N, 581544 E. Altitud: 760 msnm.



### Unidad Tefra San Antonio (Psat)

De acuerdo a descripciones realizadas por Kuterrolf, S. en 2007; esta Tefra consiste en una secuencia de capas de caída de escoria color negro, y amarillento en zonas meteorizadas, identificada en cortes al Noroeste, Norte y Sur de la caldera Masaya.

En el levantamiento de campo de este trabajo de investigación, esta unidad aparece únicamente en un corte hacia el Sur del barrio Loma Linda en Managua (Por dicha razón se muestra la fotografía descrita en la unidad Plat). Consiste en una delgada capa de escoria basáltica, con tamaño de grano que varía de lapilli a arena, con coloración variante, de gris a café oscuro; se presenta altamente meteorizada (Foto 6).

Kutterolf en 2007, menciona que esta unidad fue identificada con características similares por Pérez y Freundt, (2006) hacia el Sur de Managua, Noroeste y Norte de la Caldera Masaya, donde yace sobre la unidad Pómez Apoyeque (Pap) separada por un paleosuelo pomáceo, sin embargo en el área de estudio esta unidad fue encontrada sobre la unidad Tefra Apoyo Superior (Puat) con un espesor de 0.40 m.

Según resultados de dataciones realizadas por Pérez y Freundt, esta unidad fue producto de una erupción de la Caldera Masaya hace aproximadamente 6,100 años.

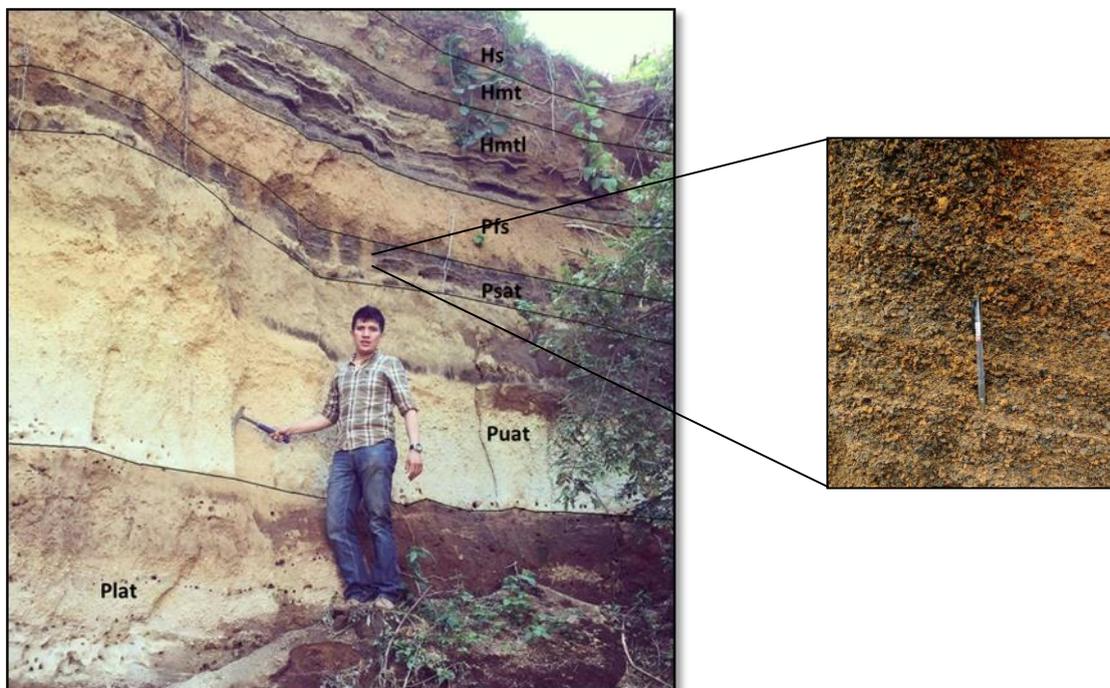


Foto 6. Secuencia estratigráfica, unidad Psat yaciendo sobre Puat. Coordenadas UTM: 1333237 N, 577924 E. Altitud: 495 msnm.



### Unidad Triple Capa Masaya (Hmtl)

Esta unidad se encontró en un corte hacia el Noreste de El Crucero (Foto 6), y en toda la zona Sur de Managua. Kutterolf en 2007 menciona que, esta unidad fue descrita originalmente por Williams, (1983) y Bice, (1985), está compuesta por 7 capas de escoria basáltica de textura vesicular, tamaño lapilli, intercaladas por ceniza volcánica compacta, de color gris oscuro (Foto 7).

Según dataciones de Radiocarbón realizadas en esta unidad, fue formada por una prolongada erupción del volcán Masaya hace aproximadamente 2,120 años, difiriendo de esta manera con la estimación realizada por Bice, (1985), quien le asignó una edad mayor a 7,000 años. Esta unidad marca el límite entre los depósitos Holocénicos y Pleistocénicos identificados en la zona Periférica de Managua.

Se identificó con un espesor promedio de 0.60 m, muy bien definida y yaciendo bajo la unidad Toba Masaya (Hmt), lo que representa veracidad en la correlación estratigráfica de Managua como capas guías (INETER, 2014).

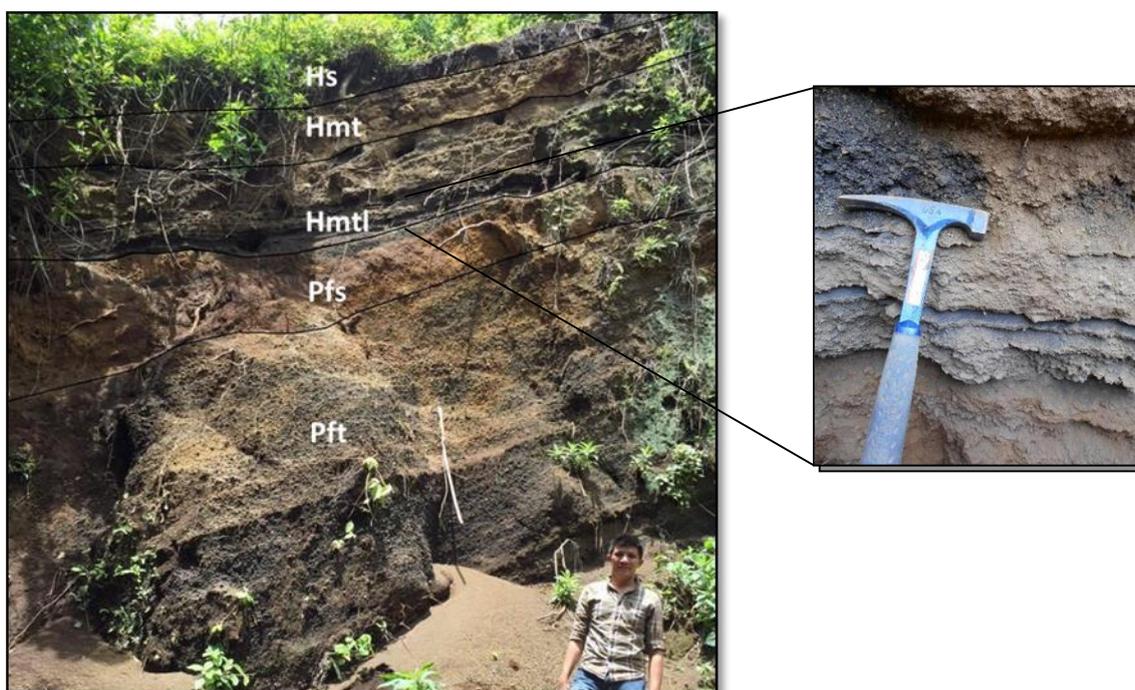


Foto 7. Unidad Hmtl, levemente meteorizada, yaciendo sobre la unidad Tefra Fontana (Pft), separadas por un paleosuelo de composición escorácea. Coordenadas UTM: 1329293 N, 577975 E.



### Unidad Toba Masaya (Hmt)

Esta unidad fue descrita primeramente por Krusi y Schultz (1979), Williams (1983) y Bice (1985), según hace mención Kutterolf en 2007; consiste en un depósito freatomagmático que se extiende a más de 35 km desde la fuente, la Caldera Masaya. Es característico por presentarse con coloración gris en zonas donde yace no alterado, y con coloración amarillenta a café claro en zonas mediana y altamente meteorizada. (Kutterolf, 2007),

Es muy común encontrar en esta unidad, pequeños líticos de composición basáltica, tamaño lapilli, y en algunos casos de acreción (Pisolitos) con tamaños variables de 5 a 10 mm. En el área de estudio se encontró hacia el Noroeste de El Crucero y en toda la zona Sur de Managua, correspondiendo a una secuencia uniforme con la Unidad Triple Capa Masaya (Hmtl), con la cual es muy común encontrarla en contacto en Managua y sus alrededores; esto debido al poco tiempo transcurrido entre sus eventos de formación (Foto 8).

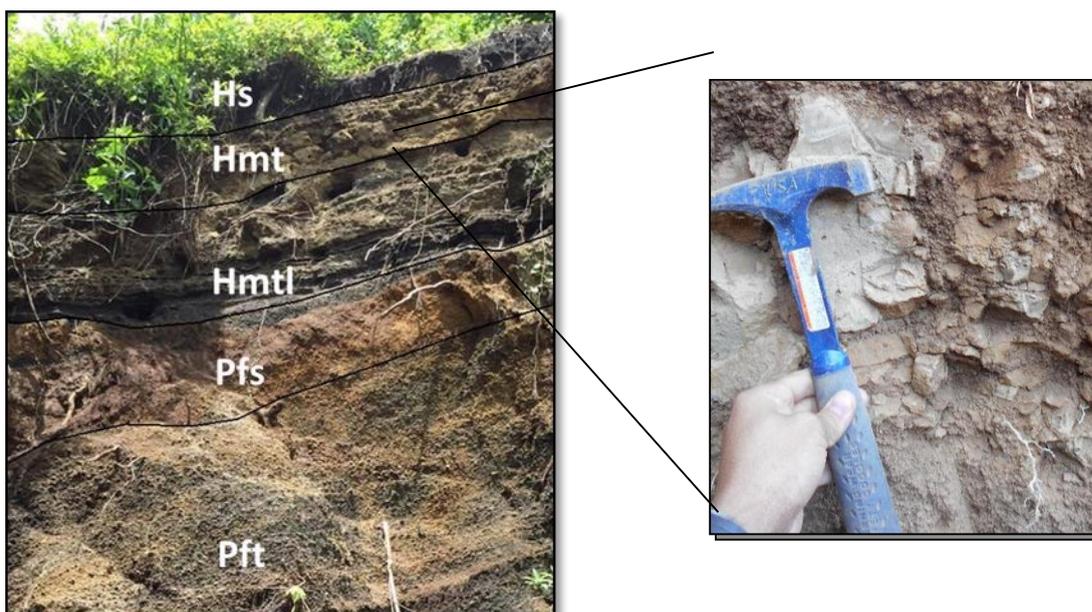


Foto 8. Unidad Hmt, medianamente meteorizada, en la zona circundante esta unidad se encontró completamente meteorizada. Coordenadas UTM: 1329293 N, 577975 E.



## Zonificación por Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas en la parte Sur de la Sub- cuenca Central de Managua

Para la clasificación y ponderación de los factores en la geología de la zona de estudio, se utilizó una tabla de matrices propuesta por la metodología de Mora-Vahrson en 1992 y desarrollada en Centroamérica (Honduras y Nicaragua en 2002 y 2004; Anexo 4). Según el estado físico en el que se encuentran las unidades identificadas en campo (alteración, fracturamiento). Obteniendo de esta manera, la siguiente tabla:

Nº	Formación	Cualificación	Factor
1	Managua	alta	4
2	Las Sierras	muy alta	5

Tabla 2. Parámetros de litología (L)

Haciendo uso de las herramientas de ArcToolbox - Spatial Analyst Tools – Raster Calculator en el software ArcGIS 10.2 (como se mencionó en el acápite 1.5-C) se obtuvo el mapa geológico (Figura 4). De la misma manera se realizó el mapa o capa Raster para cada uno de los factores mencionados a continuación.

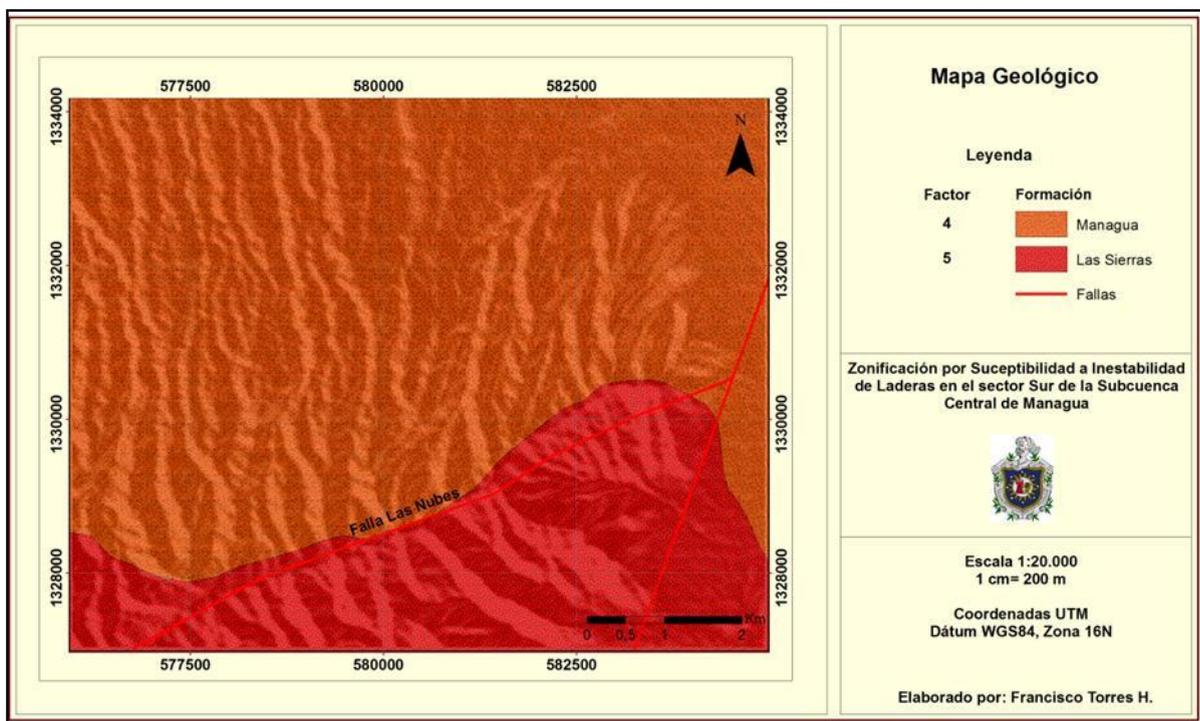


Figura 4. Mapa geológico de la zona de estudio.



### 3.1.1.2 Geología estructural del área de estudio

De acuerdo a la base geológica nacional, actualizada por INETER en 2015, el área de estudio está influenciada por fallas regionales como la falla Mateare en la parte Oeste, con rumbo N-S, falla Las Nubes atravesando el área de estudio con dirección NE-SW y una falla sin nombre en la parte Este con dirección NE-SW. Y algunos Lineamientos Fotogeológicos Principales y Secundarios con orientación N-S.

Durante el levantamiento de campo se logró identificar rasgos topográficos asociados a estas fallas, como zonas de escarpes, cárcavas de erosión, e inclusive cambios bruscos en la pendiente.

Cercano a El Crucero se encontró un corte a orilla de un camino que conduce hacia Managua (Foto 9), el cual está deformado por cuatro fallas inversas con desplazamientos recientes de hasta 1 m, provocadas por esfuerzos de régimen de compresión inducidos por la falla Las Nubes.

Es importante mencionar que en este corte ocurrió un deslizamiento Pelicular en 2015, provocado por prolongadas precipitaciones, afectando por completo la vía pública, el material deslizado dejó al descubierto la unidad Tefra Fontana (Pft), donde se encuentran estas fallas inversas.

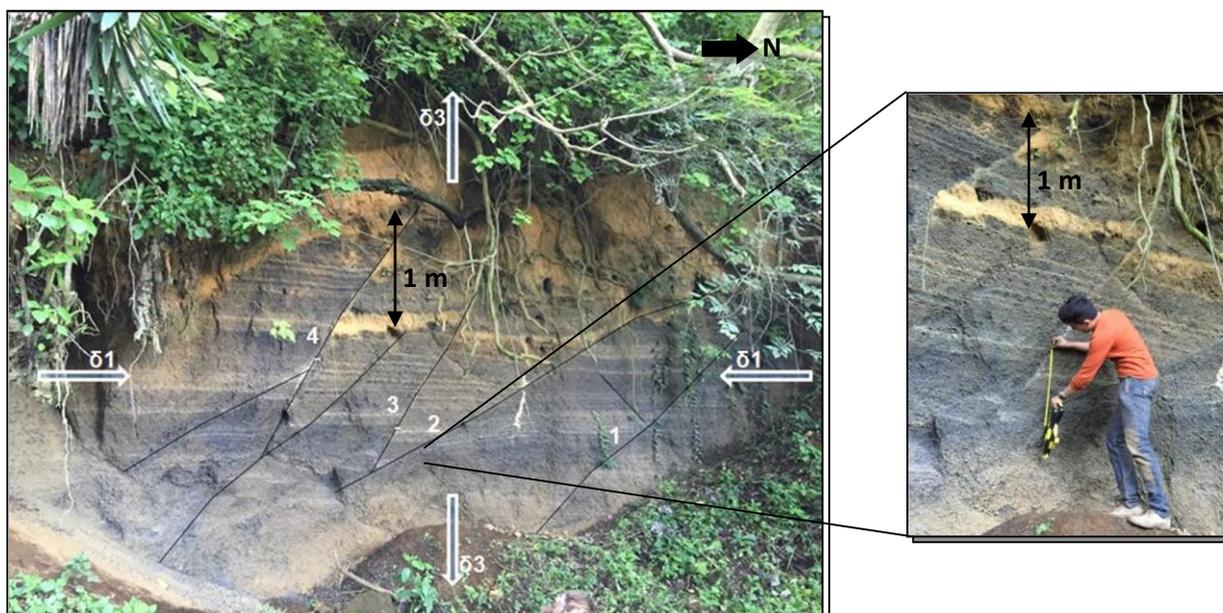


Foto 9. Zona de fallas, la unidad Tefra Fontana (Pft) altamente fracturada. Coordenadas UTM: 1329356 N, 580003 E. Altitud: 774 msnm.



Fallas inversas con desplazamientos notables desde 20 cm hasta 1 m. Nótese el régimen de deformación, esfuerzos de compresión en el plano horizontal ( $\delta_1$ ) y de extensión en el plano vertical ( $\delta_3$ ).

Medición de Fallas Principales			
Falla	Rumbo	Buzamiento	Desplazamiento
1	N25°W	60°SW	40 cm
2	N20°W	50°SW	40 cm
3	N30°W	40°SW	20 cm
4	N-S	E-W	1 m

Tabla 3. Mediciones de las principales fallas encontradas en el área Oeste de la zona de estudio.

Es notable que el fallamiento regional del área de Managua y a la vez el tipo de litología (material piroclástico pobremente consolidado), juegan un papel crítico en la formación de deslizamientos y flujos, debido a su comportamiento geomecánico.

Gran parte del área de estudio se encuentra densamente cubierta por vegetación, razón por la cual se dificultó identificar zonas o afloramientos donde existan rasgos de deformación por fallamiento local o regional.

No obstante, en la zona Este del área de estudio, en la unidad ceniza Las Sierras (PIs), se identificó una falla normal con rumbo Este- Oeste, donde claramente se observa que el bloque de techo se desplaza hacia la derecha respecto al bloque de piso; sin embargo, está definida por un plano cóncavo hacia arriba en la parte derecha del corte, en forma de falla lítrica y sistemas de fracturas en paralelo. Estas fracturas con rumbo predominante hacia el SW pueden estar regidas por fuerzas confinantes provocadas por las unidades del nivel superior, o bien pueden ser inducidas por la falla regional sin nombre que se encuentra al Este del área de estudio.

En la fotografía 10 se observa esta unidad levemente meteorizada y compacta en la parte inferior con coloración gris, sin embargo a un nivel superior se observa mayormente meteorizada y microfracturada, con coloración amarillenta y siguiendo el mismo patrón de deformación (rumbo predominante SW).



## Zonificación por Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas en la parte Sur de la Sub- cuenca Central de Managua



Foto 10. Zona de deformación local en unidad de Ceniza Las Sierras (Pls). Coordenadas UTM: 1332839 N, 582353 E. Altitud: 406 msnm.

### 3.1.2 Geomorfología

La geomorfología de la zona de Managua es de origen predominantemente volcánico. La superficie del terreno desciende con pendientes muy pronunciadas en las laderas de Las Sierras de Managua y con inclinaciones suaves del terreno desde el pie de las faldas de Las Sierras referidas, con una inclinación moderada en dirección al lago de Managua. El origen de su relieve está relacionado con la subsidencia de la Depresión Nicaragüense, es complejo y corresponde al tipo de llanuras volcano-lacustre- aluvial; este está parcialmente controlado por los lineamientos tectónicos (CIRA/UNAN-Managua, 2004).

La zona que cubre el área de estudio está caracterizada por tres unidades geomorfológicas principales. A nivel de basamento se encuentra la unidad “Planicies bajas”, en la zona central la unidad “Pie de monte” y aflorando en superficie, la unidad “Serranía volcánica” (Velásquez, G. Comunicación personal, 14 de octubre 2016).

#### a) Serranía volcánica

Esta serranía cubre la parte superior de la zona de estudio, comprendida por materiales piroclásticos de deposición aérea, provenientes del centro de emisión Volcán Masaya. El relieve en esta zona varía de ondulado a escarpado (pendientes mayores a 45°), con un drenaje poco denso. La altitud máxima medida en el levantamiento de campo alcanza los 914 msnm en la zona de Las Nubes.

#### b) Pie de monte



Corresponde a la parte media de la zona de estudio, es decir, aquella que se encuentra entre la serranía volcánica y la planicie alta. Está cubierto mayormente por tacotales, pastizales y pequeñas zonas levemente humanizadas. Las altitudes promedio medidas en esta zona varían entre los 368 y 439 msnm, con pendientes menor o igual a los 40°. (Foto 11).

### c) Planicie baja

Esta zona está comprendida por llanos con altitudes menores a los 368 msnm. Caracterizado por ser las partes urbanizadas, donde el crecimiento poblacional aumenta gradualmente hacia el Sur, es decir, hacia la zona de pie de monte (Foto 11).



Foto 11. Vista panorámica de la zona Este del área de estudio. Fotografía tomada con vista hacia el Sur. Coordenadas UTM: 1330163N, 583382 E. Altitud: 475 msnm

Para la asignación de la ponderación se tomó como referencia el proyecto PGRD, COPECO, Honduras (2016), donde se aplicó la metodología Mora Vahrson, 1992. (Anexos 4).

Nº	Descripción	Cualificación	Factor
1	Planicie baja volcánica	media	3
2	Pie de monte volcánico	alta	4
3	Serranía volcánica	muy alta	5

Tabla 4. Parámetros de Geomorfología



## Zonificación por Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas en la parte Sur de la Sub- cuenca Central de Managua

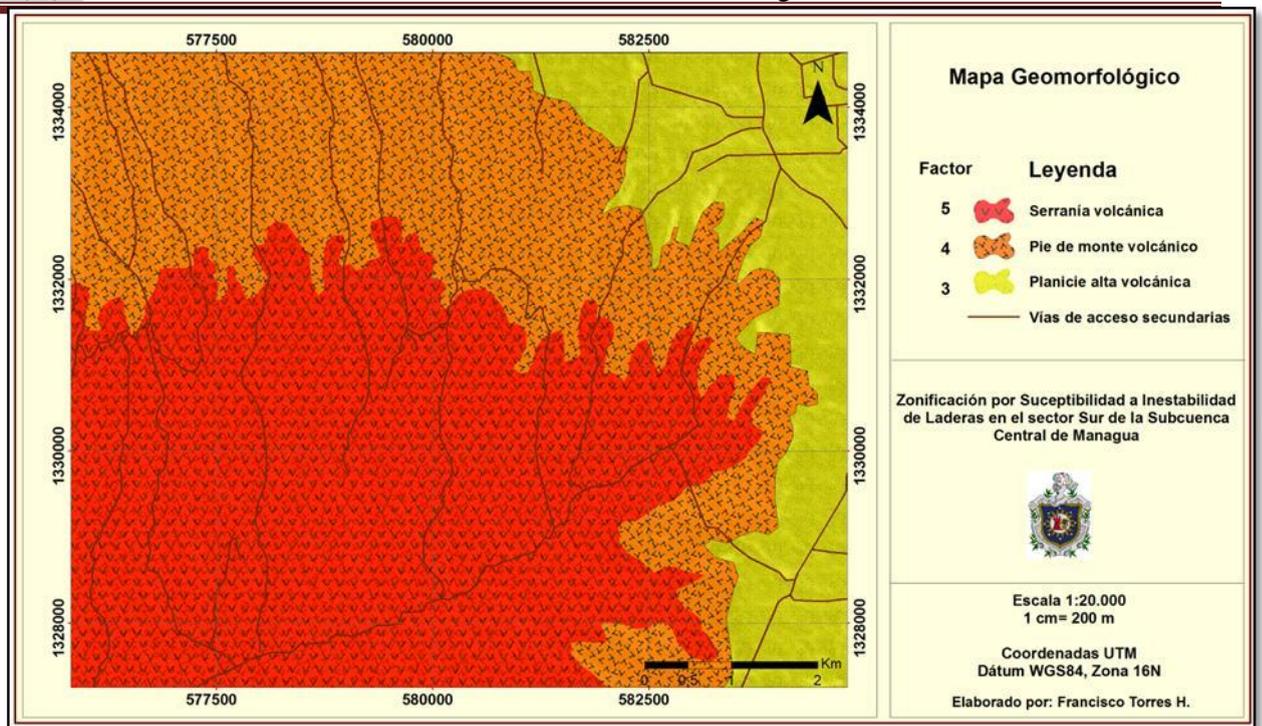


Figura 5. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

### 3.1.3 Pendientes

Para la definición del relieve o pendiente de la zona Sur del municipio de Managua, primeramente se realizó la interpretación de ortofotos, información que se trabajó en conjunto con el Modelo de Elevación Digital (MED) obtenido mediante el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG). A partir del MED se obtuvo la capa raster de la zona de estudio. Para la clasificación de las pendientes se consideraron cinco rangos generales, a los cuales se le asignaron pesos porcentuales (1 a 5), según el grado de pendiente identificado.

Iniciando con el tipo de pendiente más plano, es decir, con la parte más baja de la zona de estudio, donde predomina la deposición de sedimentos provenientes de las partes más altas. Seguidamente las pendientes inclinadas bajas, donde es notable la erosión del suelo. Continúa una zona de escarpe moderado donde pueden ocurrir movimientos en masa de todo tipo. Posteriormente la zona de escarpe alto, donde son evidentes los procesos intensivos de erosión bajo la cubierta del bosque, reptación de suelos y deslizamientos. Finalmente el terreno muy alto, con



afloramientos de la Formación Managua expuestos a erosión, depósitos finos e incoherentes de taludes cayendo sobre vías de acceso. (Figura 6).

Para la asignación de los pesos al factor pendiente se tomó como referencia las matrices de la metodología Mora Vahrson (2002), (Anexo 4).

Nº	Grados	Porcentaje (%)	Cualificación	Factor
1	0-3	0-15	muy baja	1
2	3-12	15-30	Baja	2
3	12-30	30-50	Media	3
4	30-45	50-70	Alta	4
5	>45	>70	muy alta	5

Tabla 5. Parámetros de la pendiente (P).

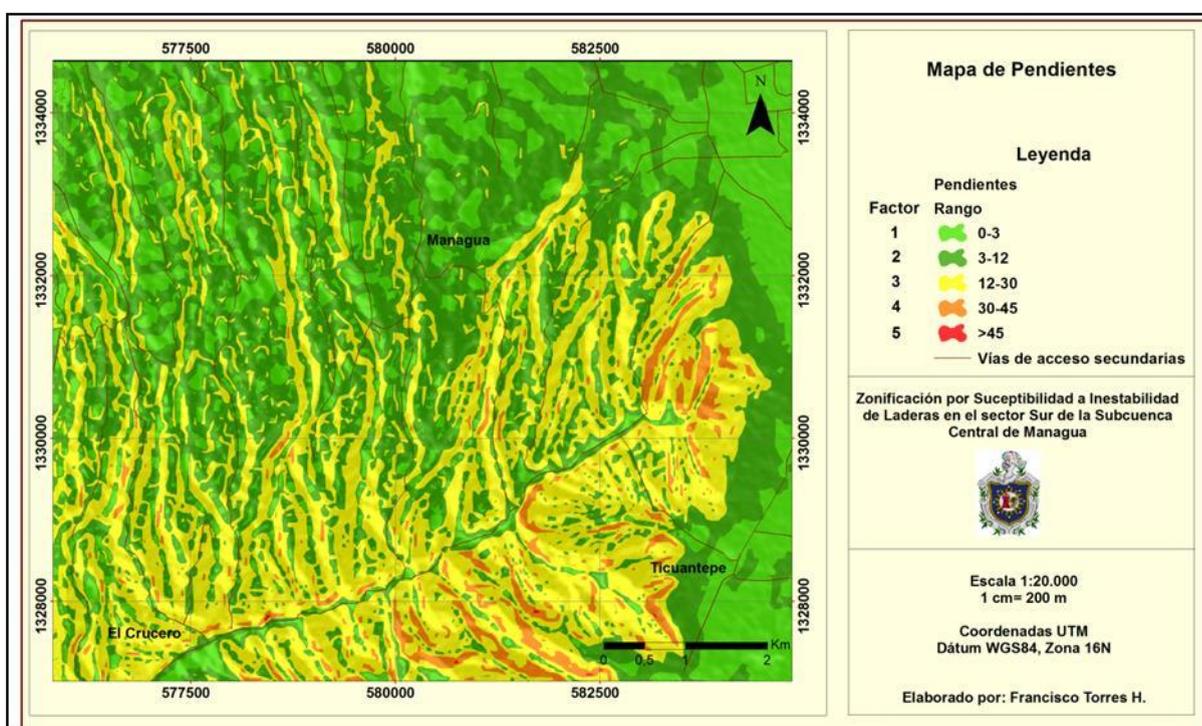


Figura 6. Mapa de pendientes

Con el fin de estimar la dirección predominante de los deslizamientos ocurridos y posibles a ocurrir en la zona de estudio, se realizó un mapa de orientación de pendientes, mediante el uso del Modelo de Elevación Digital (MED). Haciendo uso de ArcGIS 10.2 y las herramientas de Arctoolbox 3D analyst en este software, se transformó a formato raster el shape de pendientes, para obtener el aspecto de la orientación de la pendiente.



Los resultados obtenidos en este análisis muestran que la dirección predominante de los escarpes y pendientes es hacia el Norte y Noreste, es decir, hacia la ciudad de Managua y las zonas con crecimiento urbano del área.

En el acápite 3.2 se describen los diferentes tipos de procesos de remoción en masa identificados en el área del estudio, predominando la mayoría con dirección hacia el Norte, Noreste y Noroeste. Cercano a la zona de Ticuantepe la pendiente tiene dirección predominante hacia el Este (Figura 7).

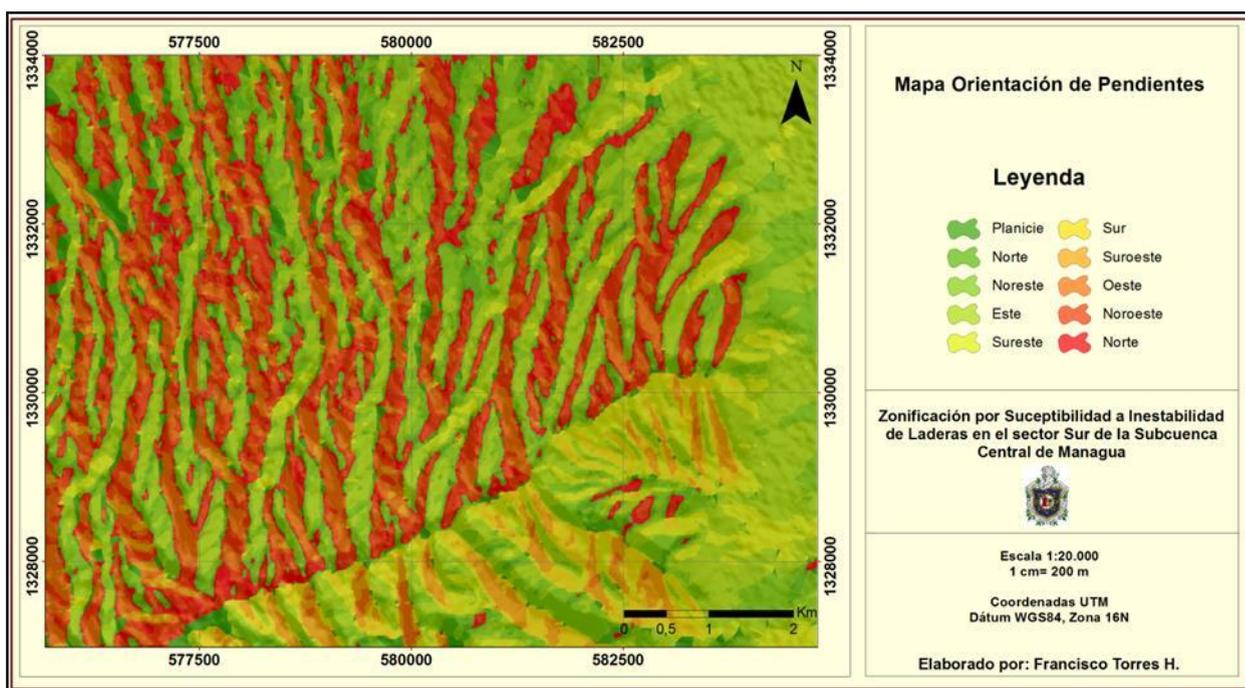


Figura 7. Mapa de orientación de pendientes

#### 3.1.4 Vegetación y uso de suelo

La vegetación natural juega un papel importante en la ladera, puesto que su comportamiento difiere dependiendo si se trata de un bosque, estepa, desierto, pradera o selva. Durante periodos de lluvia, los árboles y las plantas interceptan una parte del agua en sus ramas y hojas y otra porción de agua es retenida por las raíces en el suelo.



Las zonas cubiertas por vegetación permite que una menor cantidad de agua escurra en la superficie; por otro lado, evitará la erosión del suelo debida a la lluvia, y mejorará su resistencia al servir las raíces como armazón, evitando su desgajamiento. En cambio, un suelo sin vegetación debido a la acción del hombre (deforestación o zonas de cultivos) o por circunstancias naturales, se satura rápidamente y conduce un mayor volumen de escurrimiento, por ello, la deforestación acelera las condiciones para que ocurra la erosión de los suelos por el efecto de las gotas de agua de lluvia, debilitando su estructura.

La zona sur del municipio de Managua está caracterizada por ser una de las zonas más verdes del municipio (Foto 12), es decir, donde se concentra una densa vegetación, como lo es el bosque latifoliado abierto, asimismo se identificaron zonas desnudas, expuestas a erosión por escorrentía pluvial, también áreas donde existe un mal manejo por cultivos, provocando condiciones a un incremento de erosión en las laderas.



*Foto 12. Vista panorámica de la zona Este del área de estudio.*



A continuación se describen los diferentes tipos de uso de suelo definidos en el área de estudio, según PDBL, 1995.

**a) Bosque latifoliado abierto**

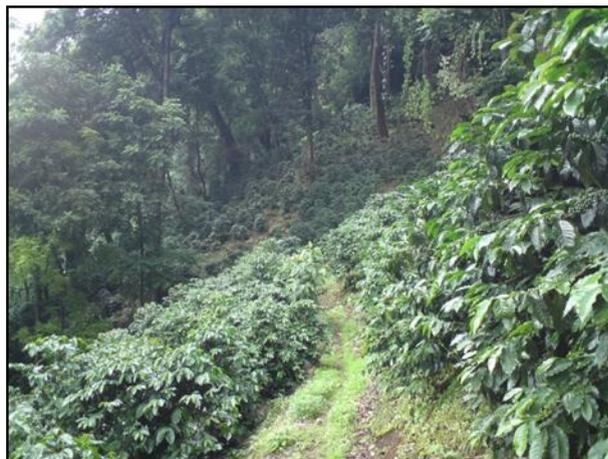
Estos bosques están ubicados, en su gran mayoría, en terrenos con pendientes mayores al 30%, en suelos frágiles y en zonas con una precipitación anual promedio de tres mil milímetros. Se identificó este tipo de bosque en las partes más altas de la zona de estudio, es decir, en la zona sur del municipio de Managua, limitando con el Municipio de Ticuantepe y El Crucero (Foto 13).



*Foto 13. Vista parcial de la zona Oeste del área de estudio, donde se puede apreciar el bosque latifoliado abierto.*

**b) Café con sombra**

Este representa aquellas zonas que están cubiertas por cultivos de café, generalmente en las partes más altas del área de estudio (Foto 14), donde se alcanzan las temperaturas anuales más bajas de la zona del pacífico de Nicaragua (22-24°C promedio), por tanto es un área donde el clima comúnmente se presenta nublado (INETER, 2008).



*Foto 14. Zona de cultivo de café con sombra en la parte Sur del área de estudio, cercano a El Crucero, a más de 800 msnm.*

### **c) Pastizales**

Los pastizales se desarrollan en lugares donde no cae suficiente agua de lluvia para que se desarrolle un bosque, o bien donde el suelo no presta las condiciones suficientes como para que crezcan árboles (Foto 15). Los pastizales están repletos justamente de pasto (hierbas). A los campos de trigo se les considera pastizales, a pesar de que casi siempre son cultivados (CONABIO, 2016). En la zona de estudio este tipo de uso de suelo se identificó en las planicies, es decir en las zonas con menor altitud.



*Foto 15. Vista panorámica hacia la parte Sureste de la zona de estudio donde se observan terrenos con presencia de pastizales. Altitud 472 m.s.n.m.*



#### d) Áreas humanizadas

Son todas aquellas zonas cubiertas por viviendas, las cuales se extienden en toda la parte norte y este del área de estudio. Estas áreas humanizadas se han extendido recientemente hacia la parte sur de Managua, es decir, cubriendo partes de la unidad geomorfológica detallada anteriormente, “Pie de monte”.

El uso de suelo permite conocer qué zonas del área de estudio presentan áreas sin vegetación y con mayor índice de erosión. Sin embargo, aunque los bosques densos evitan la erosión causada por lluvias, éstos por encontrarse en zonas con mayor pendiente y altitud pueden significar un factor condicionante a la sobrecarga e inestabilidad de la ladera (Figura 8).

La tabla 6 muestra las categorías y pesos asignados a cada uso de suelo, considerando las zonas con mayor cubierta vegetal, pendiente y altitud. Fuente: INETER-COSUDE, 2004 (Anexo 4).

Nº	Descripción	Cualificación	Factor
1	áreas humanizadas	muy baja	1
2	centro poblado	muy baja	1
3	cultivos anuales	baja	2
4	pastizales	baja	2
5	tacotales	media	3
6	bosque latifoliado abierto	alta	4
7	café con sombra	muy alta	5

**Tabla 6. Parámetros de uso de suelos (Us).**

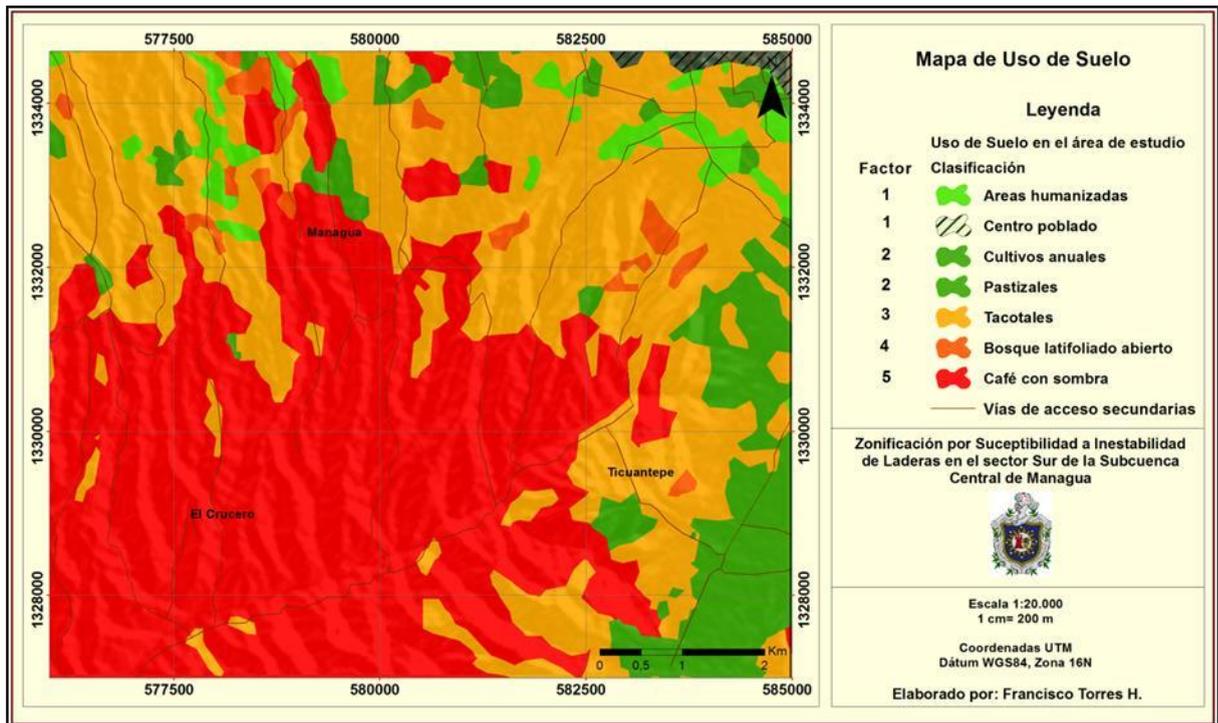


Figura 8. Mapa uso de suelo de la zona de estudio.

### 3.1.5 Precipitación

El clima en el municipio de Managua se caracteriza por ser de sabana tropical, con una prolongada estación seca y temperaturas que oscilan entre los 27.5° C y 31° C. La precipitación media anual varía entre los 1,000 y 1,500 mm, a excepción de la zona sur (El Crucero), donde se tiene una variación de temperatura promedio de 22° C y 28° C (INETER, 2008).

Durante el período lluvioso (mayo – octubre), históricamente en Managua, existen las probabilidades de un 11%, para que en mayo, se presenten 6 días con lluvias, un 15% de que en junio se presenten 8 días con lluvias, un 12% en julio se presenten 6 días con lluvias, un 14% que en agosto se presenten 7 días de lluvias, un 20% que en septiembre se presenten 10 días de lluvias y un 18% en octubre ocurran 9 días con lluvias. Estas probabilidades estarán condicionadas de acuerdo a la situación sinóptica que se presenten, es decir las posibles afectaciones por Ondas Tropicales, Zonas de Convergencia Intertropical o cualquier otro sistema generador de precipitación (INETER, 2008).



Las precipitaciones máximas en Managua (Figura 9), son productos de los diferentes sistemas generadores de lluvias (Ondas Tropicales, Vaguadas, Tormentas, Huracanes). A lo largo del período lluvioso se han registrado precipitaciones máximas diarias de 277.7 mm/24h, en San Fco. Libre en el mes de octubre; 218.4 mm/24h, en el Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino en octubre; 196.5 mm/24h en La Primavera, en octubre; 200.8 mm/24h, en el Crucero (Casa Colorada) en octubre; 200.0 mm/24h en San Isidro de la Cruz Verde en septiembre; 189.5 mm/24h en Asososca, en mayo y 177.5/24h mm en el Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) (INETER, 2008).

Existen también otros aspectos extremos relacionados con las precipitaciones que resultan de interés y entre ellos es notable señalar, la ocurrencia de precipitaciones máximas de 1158.7 mm en San Francisco Libre en octubre de 1998 (huracán Mitch), o sea, que en un solo mes pueden esperarse acumulados superiores al acumulado anual de precipitación (1118.8 mm). Este comportamiento de las precipitaciones máximas diarias (Figura 9 y 10), debe ser considerado en los planes y programas para reducir y controlar los riesgos a los fenómenos hidrometeorológicos propios del departamento de Managua, para contribuir a la mitigación y prevención de los desastres (INETER, 2008).

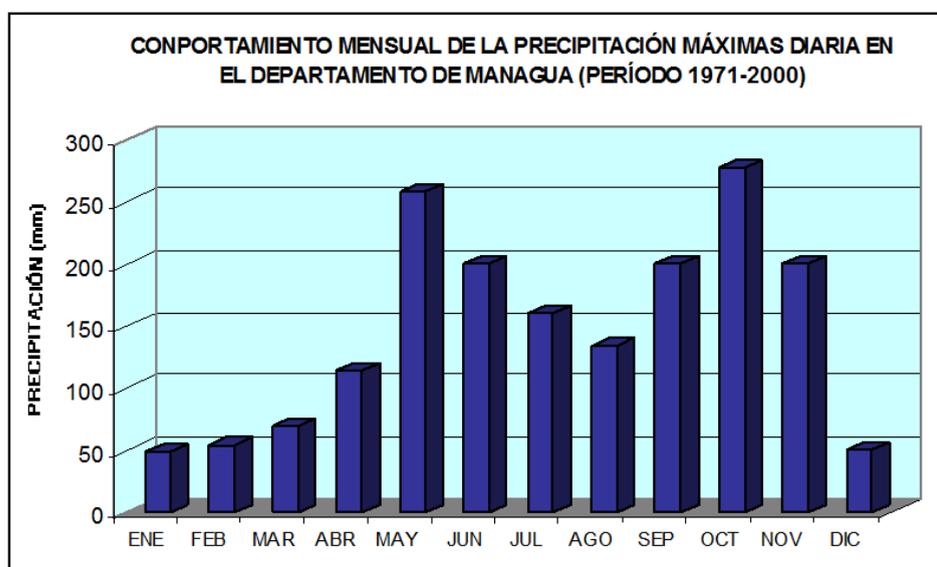


Figura 9. Comportamiento de las precipitaciones máximas en 24 horas registrada en el departamento de Managua del período 1971 – 2000. Fuente: INETER, 2008..

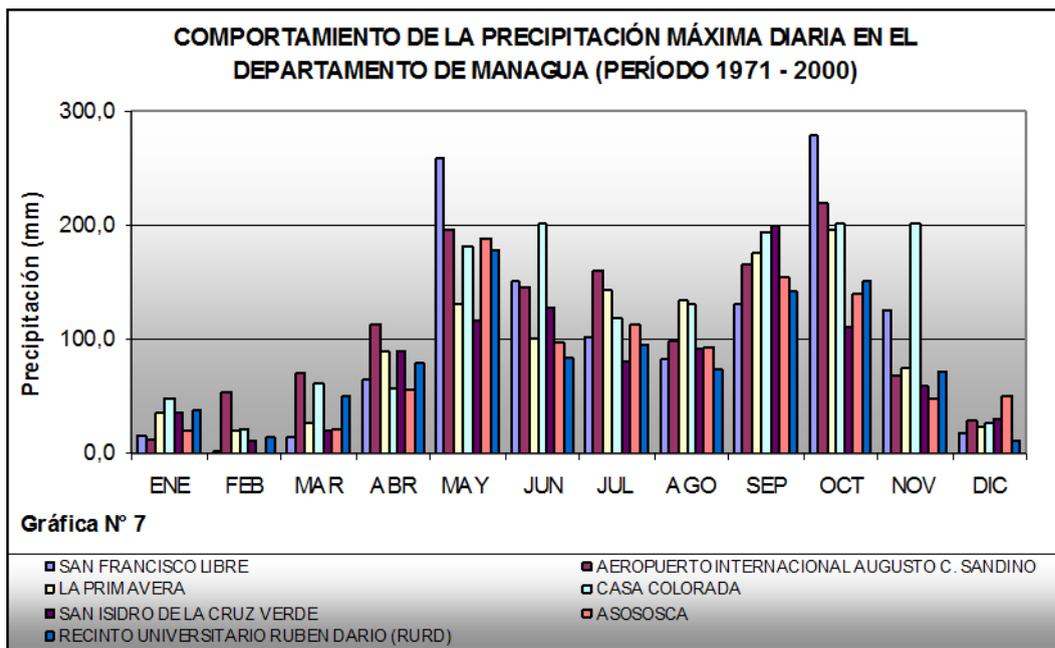


Figura 10. Comportamiento de las precipitaciones máximas diarias en las diferentes localidades del departamento de Managua, del período 1971 – 2000. Fuente: INETER, 2008.

Para obtener el mapa de precipitaciones se tomó como referencia el mapa de precipitación media del área de Managua. Este parámetro toma en cuenta las intensidades de lluvia potencialmente generadoras de deslizamientos; utiliza datos de lluvia máxima en un tiempo de 24 horas con un periodo de retorno de 50 años.

Para la asignación del peso al factor precipitación se tomó como referencia Mora Vahrson, 2002. (Anexo 4).

Nº	Precipitación máxima	Cualificación	Factor
1	1200-1400 (mm)	alta	4

Tabla 7. Factor Precipitación (P)



## Zonificación por Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas en la parte Sur de la Sub- cuenca Central de Managua

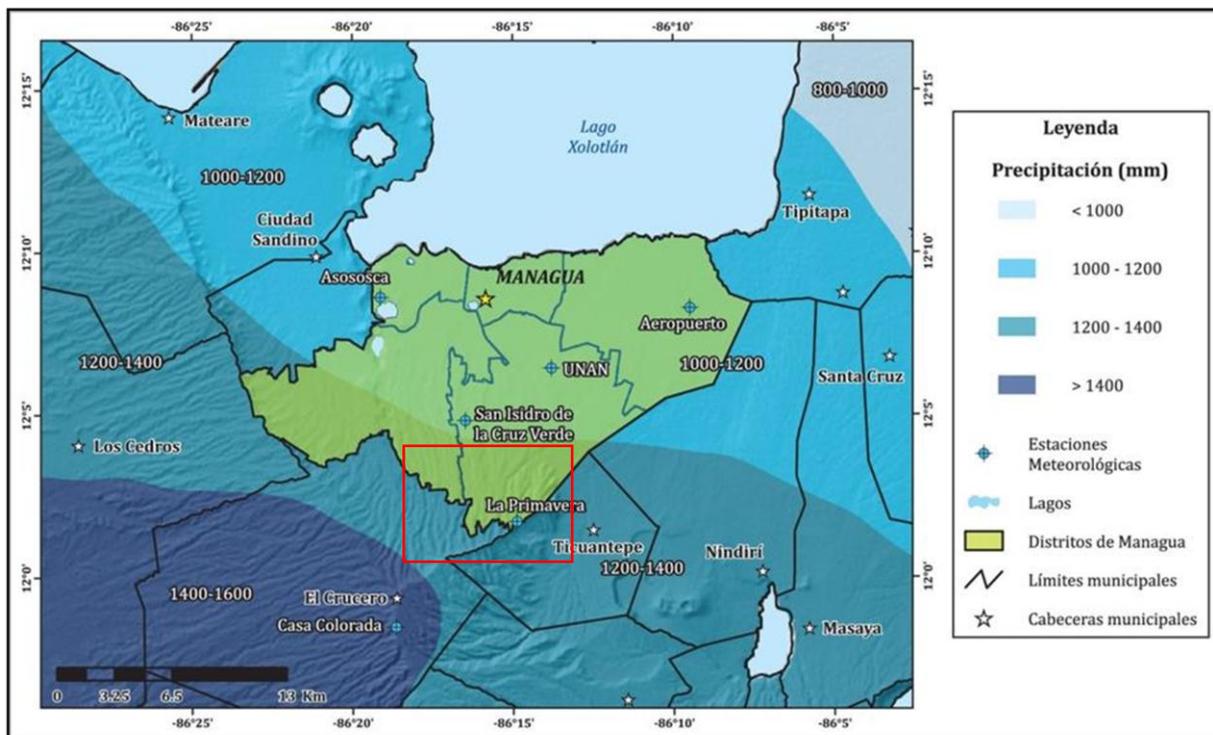


Figura 11 (a). Mapa de precipitación media de Managua. FUENTE: Velásquez G. 2015. El cuadro rojo representa el área de estudio.

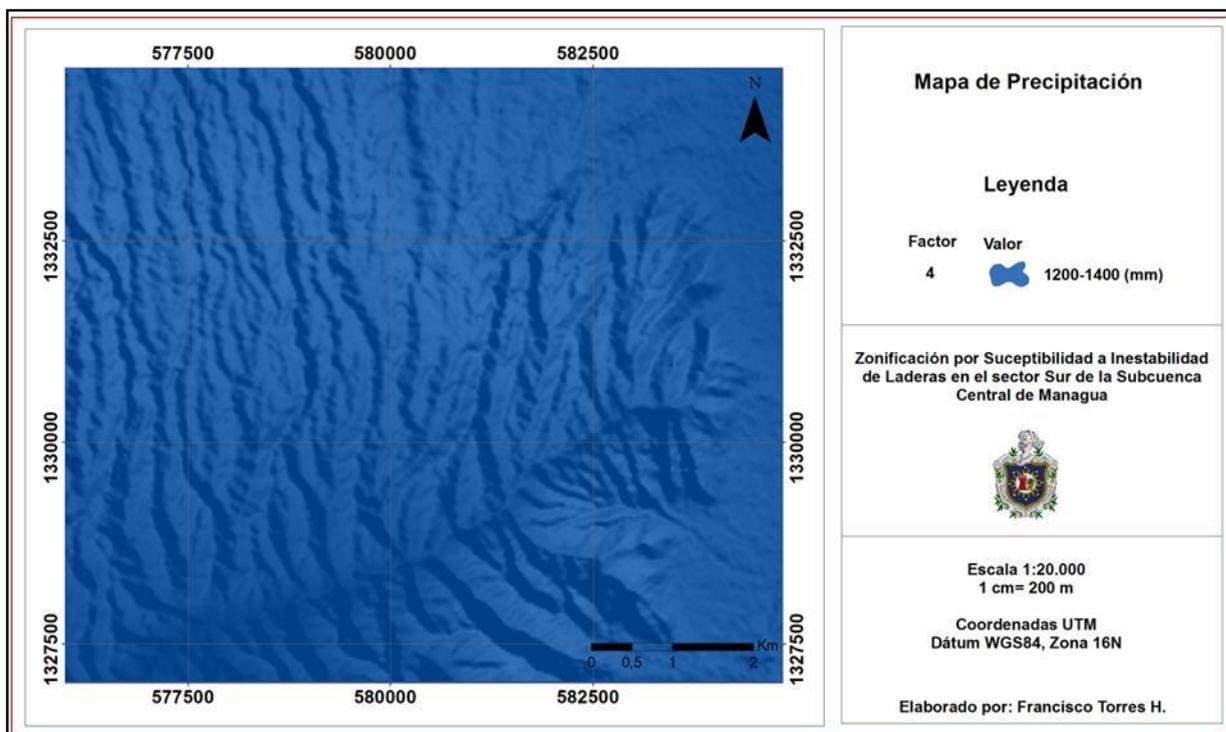


Figura 11 (b) Mapa de precipitación del área de estudio.



### 3.1.6 Sismicidad

Es evidente que el municipio de Managua se ubica directamente en la zona más peligrosa por riesgo sísmico de Nicaragua, es decir, donde ocurren los sismos de foco superficial a lo largo de la cadena volcánica (Figura 12).

De acuerdo al estudio de amenaza sísmica desarrollado por el proyecto RESIS II, 2008 en Centroamérica, el área de Managua está influenciada por sismos de foco superficial, con magnitudes promedio a los 6° en la escala logarítmica de Richter con profundidad de 15 km. Estos sismos están comúnmente asociados al fallamiento superficial y al arco volcánico cercano a la capital, asimismo a la zona de subducción entre la placa Cocos y Caribe, que tienen la capacidad de generar sismos de hasta 7.2° con una profundidad promedio de 75 km.

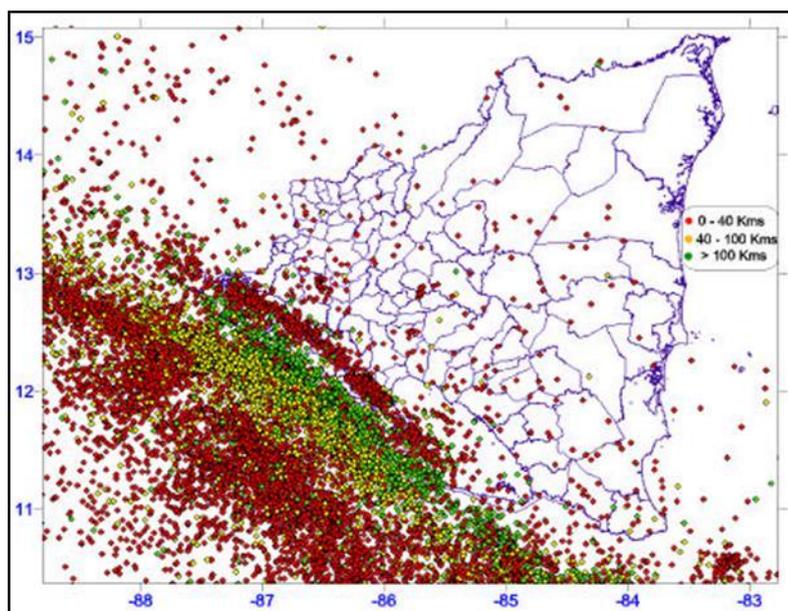


Figura 12. Mapa de sismicidad de Nicaragua, sismos en rangos de profundidades. Fuente: INETER, 2002

Para generar el mapa de sismicidad se tomó como base el valor de las aceleraciones máximas del área de estudio (PGA). La aceleración es el incremento de la velocidad por unidad de tiempo. Se mide en  $\text{cm/s}^2$ . Por ejemplo, una aceleración de  $20 \text{ cm/s}^2$  significa que en un segundo la velocidad de una partícula se incrementó  $20 \text{ cm/s}$  más rápido (UCR-LIC, 2016).



La aceleración máxima del suelo (PGA) está relacionada con la fuerza de un terremoto en un sitio determinado. Entre mayor es este valor, mayor es el daño probable que puede causar un sismo.

Pérez y Gómez desarrollaron en 2013 una simulación tectónica en las principales fallas de Managua, tomándose como referencia el mapa de aceleraciones máximas (PGA) ante un hipotético sismo de magnitud Mw. 6.5 en la falla Mateare. El sismo hipotético con una profundidad hipocentral de 10 km, producirá aceleraciones máximas de hasta  $5.5 \text{ m/s}^2$ , en una zona que cubre un área de  $325 \text{ km}^2$  (Figura 13).

Para determinar los pesos asignados a los rangos de sismicidad, se tomó como referencia las matrices establecidas por la metodología Mora Vahrson, aplicado al proyecto “Mitigación de Geo-Riesgos en Centroamérica” (COPECO, Honduras 2008), (Anexo 4).

Nº	Aceleración Máxima (PGA)	Cualificación	Factor
1	4,1 - 4,38	muy baja	1
2	4,38 - 4,66	baja	2
3	4,66, - 4,94	media	3
4	4,94 - 5,22	alta	4
5	5,22 - 5,5	muy alta	5

**Tabla 8. Factor Sismicidad (S)**

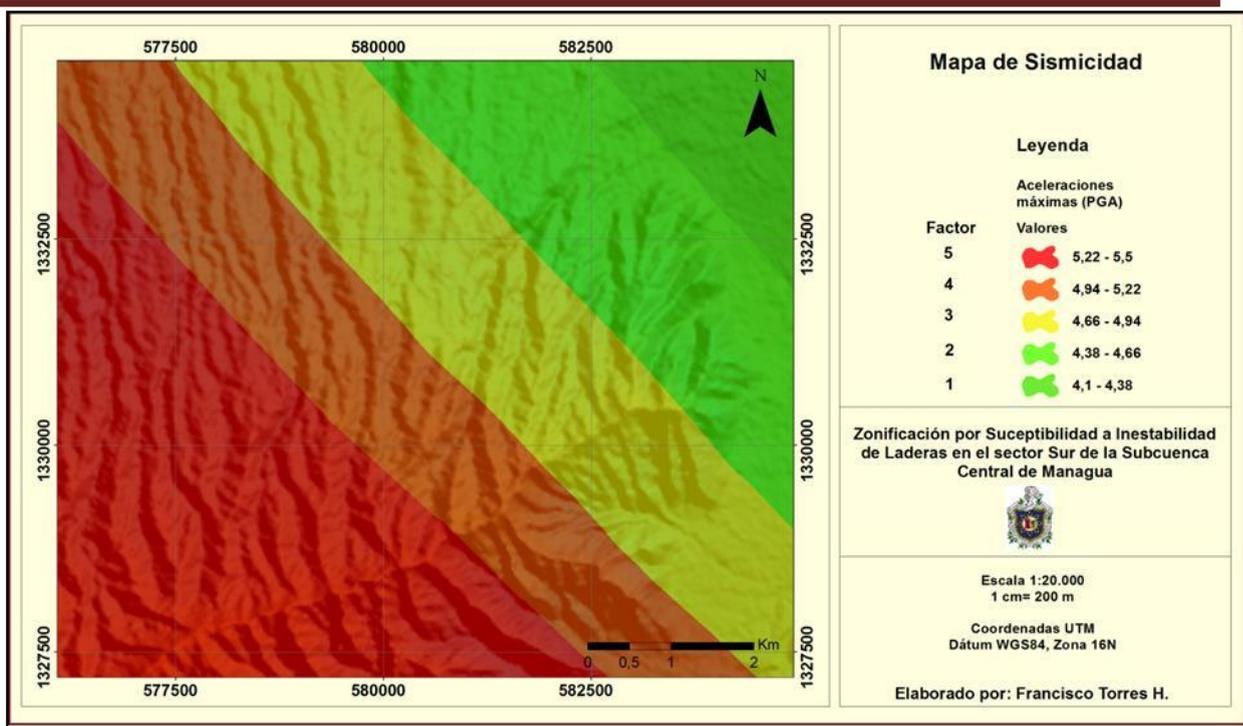


Figura 13. Mapa de sismicidad del área de estudio (PGA).

### 3.1.7 Mapa de Suceptibilidad

Una vez obtenido cada uno de los mapas en formato Raster de los factores condicionantes y desencadenantes del área de estudio, se hizo uso del cruce de variables mediante operaciones matemáticas con las herramientas de ArcToolbox - Spatial Analyst Tools – Raster Calculator en el software ArcGIS 10.2, el cual generó el mapa de susceptibilidad al aplicar la siguiente ecuación, ya descrita en el acápite 1.5.C.

Con el fin de establecer un marco comparativo primeramente se corrió el modelo matemático considerando un solo factor detonante, sismicidad, (Figura 14), posteriormente con Precipitación (Figura 15). Finalmente se corrió el modelo con ambos factores detonantes, como está establecido en la siguiente fórmula, propuesta originalmente por Mora & Vahrson (1992):

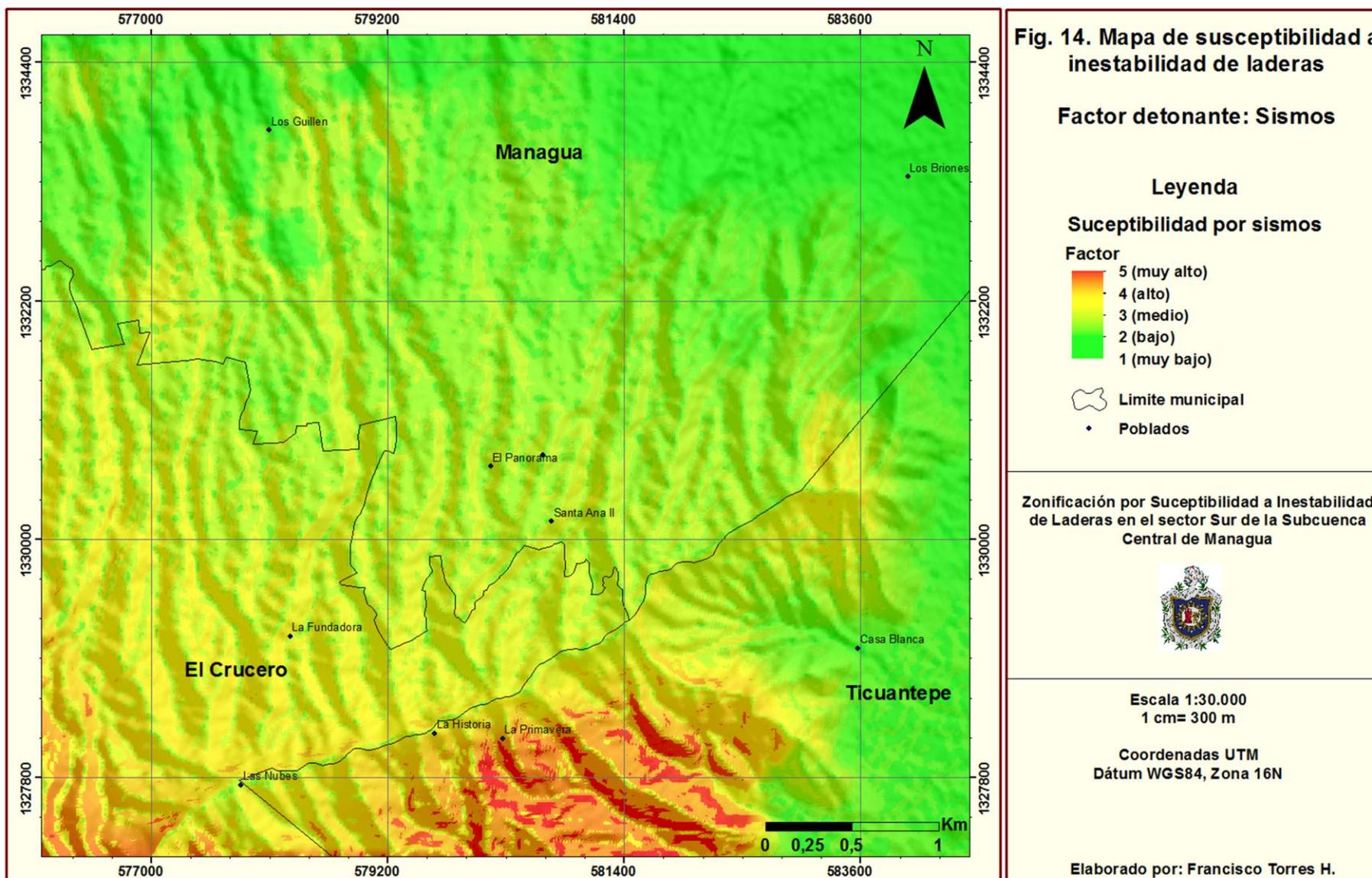
$$(P) * (L) * (Us) * (G) * (S + Pr) = Ms$$



El resultado de los mapas de susceptibilidad está clasificado en cinco ponderaciones cuali-cuantitativas, la asignación de la ponderación y la coloración establecida a cada una ha sido tomada como referencia de la metodología Mora Vahrson, (2004), descritas en la siguiente tabla:

<b>Ponderaciones aplicadas en el mapa de susceptibilidad</b>		
<b>Factor</b>	<b>Color</b>	<b>Descripción</b>
1	verde claro	muy baja
2	verde oscuro	baja
3	amarillo	media
4	naranja	alta
5	rojo	muy alta

**Tabla 9. Parámetros Mapa de susceptibilidad.**



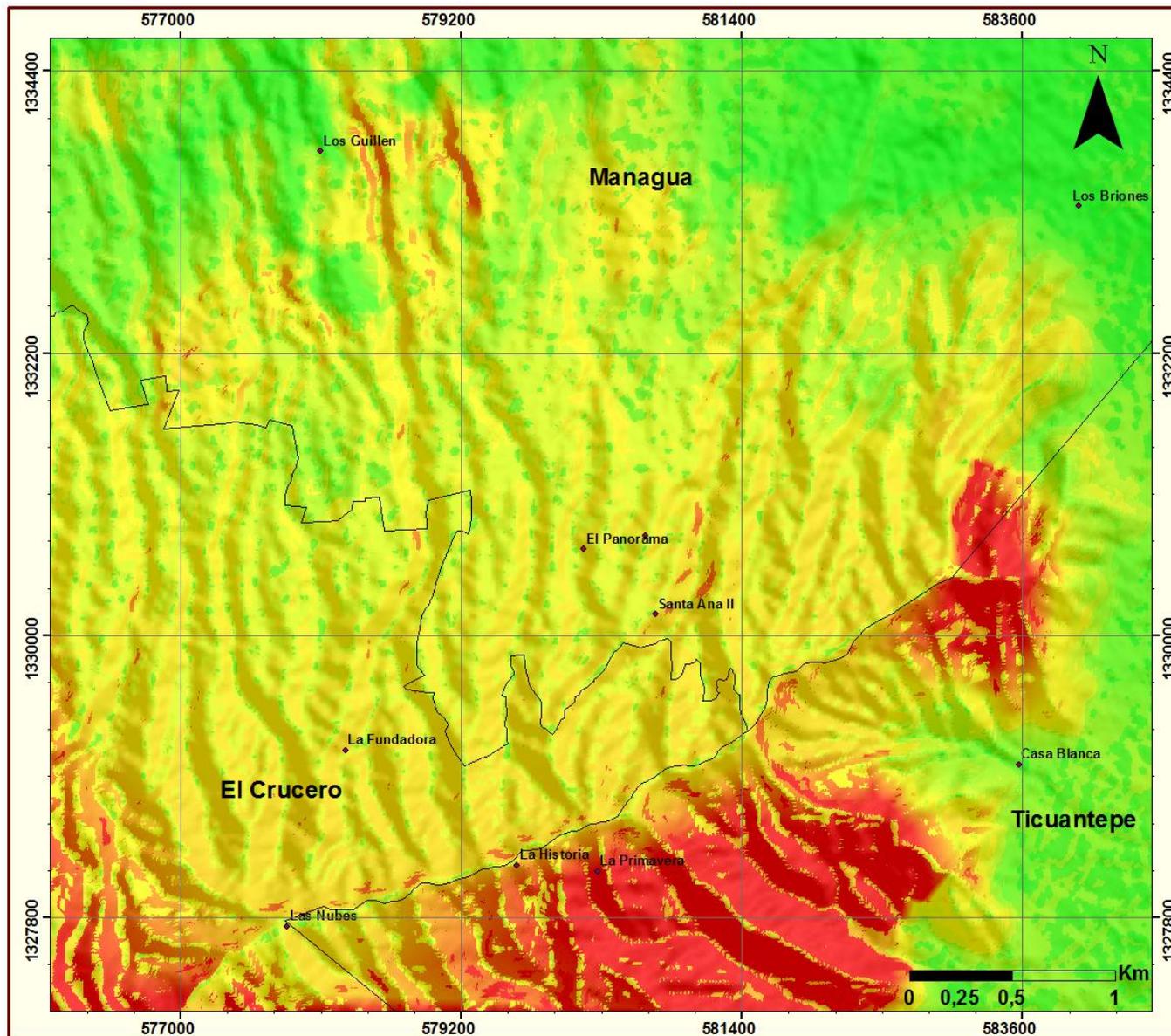


Fig. 15. Mapa de susceptibilidad a inestabilidad de laderas

Factor detonante: Precipitación

Leyenda

Susceptibilidad por PPMax

Factor



Limite municipal

Poblados

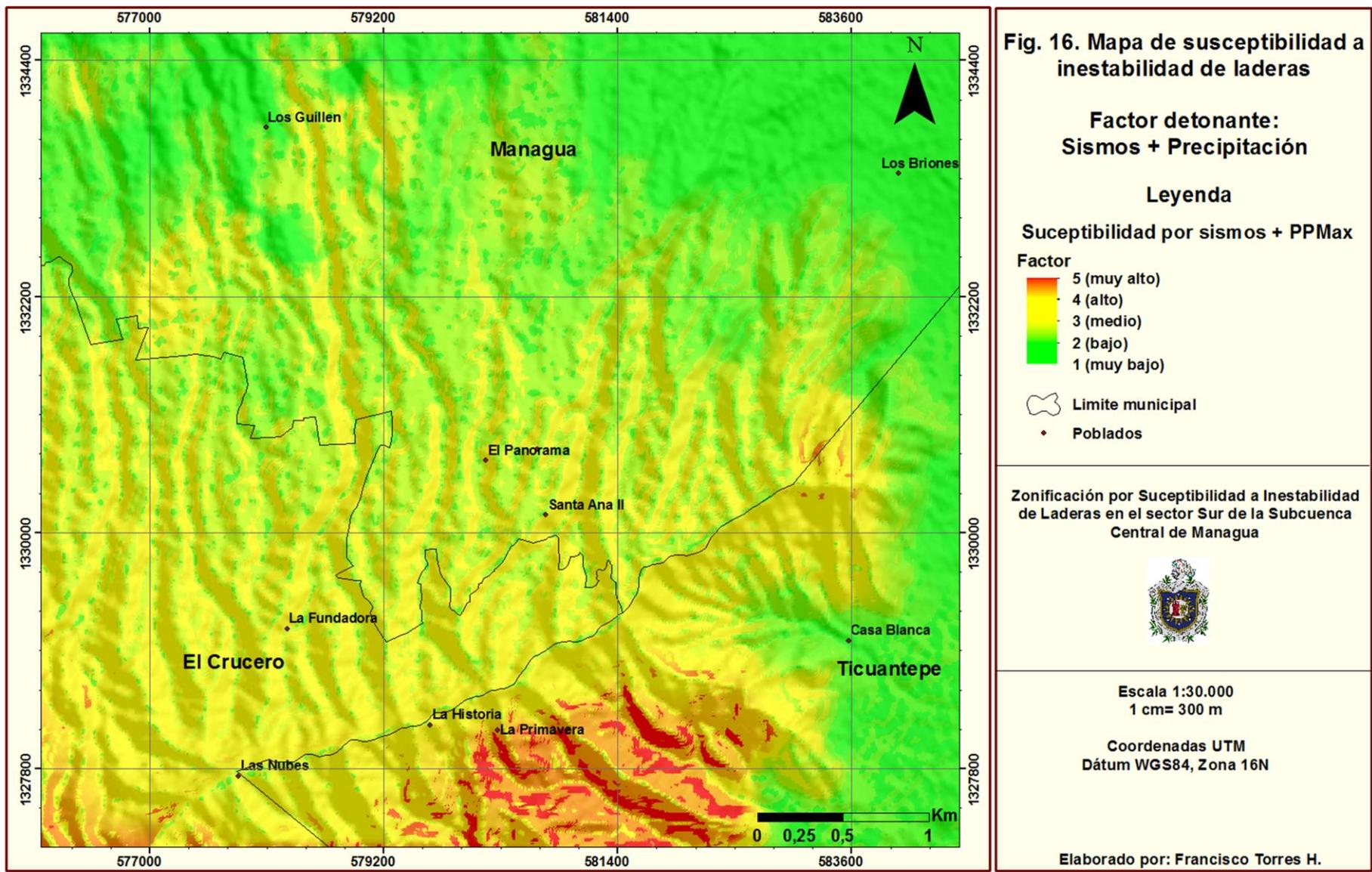
Zonificación por Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas en el sector Sur de la Subcuenca Central de Managua



Escala 1:30.000  
1 cm= 300 m

Coordenadas UTM  
Dátum WGS84, Zona 16N

Elaborado por: Francisco Torres H.





### 3.2 Tipos de Inestabilidad de laderas identificados en el área de estudio

Este capítulo consiste en la agrupación de los diferentes tipos de Inestabilidad de laderas identificados en el levantamiento de campo. Tal como se mencionó en el inciso b del capítulo 2.1, los mecanismos de movimiento en los fenómenos de remoción en masa son variantes, con base a este principio, se encontró en el área de estudio lo siguiente (Figura 17):

- a) **Deslizamientos Peliculares**
- b) **Desprendimiento y caída de bloques**
- c) **Flujos de detritos**

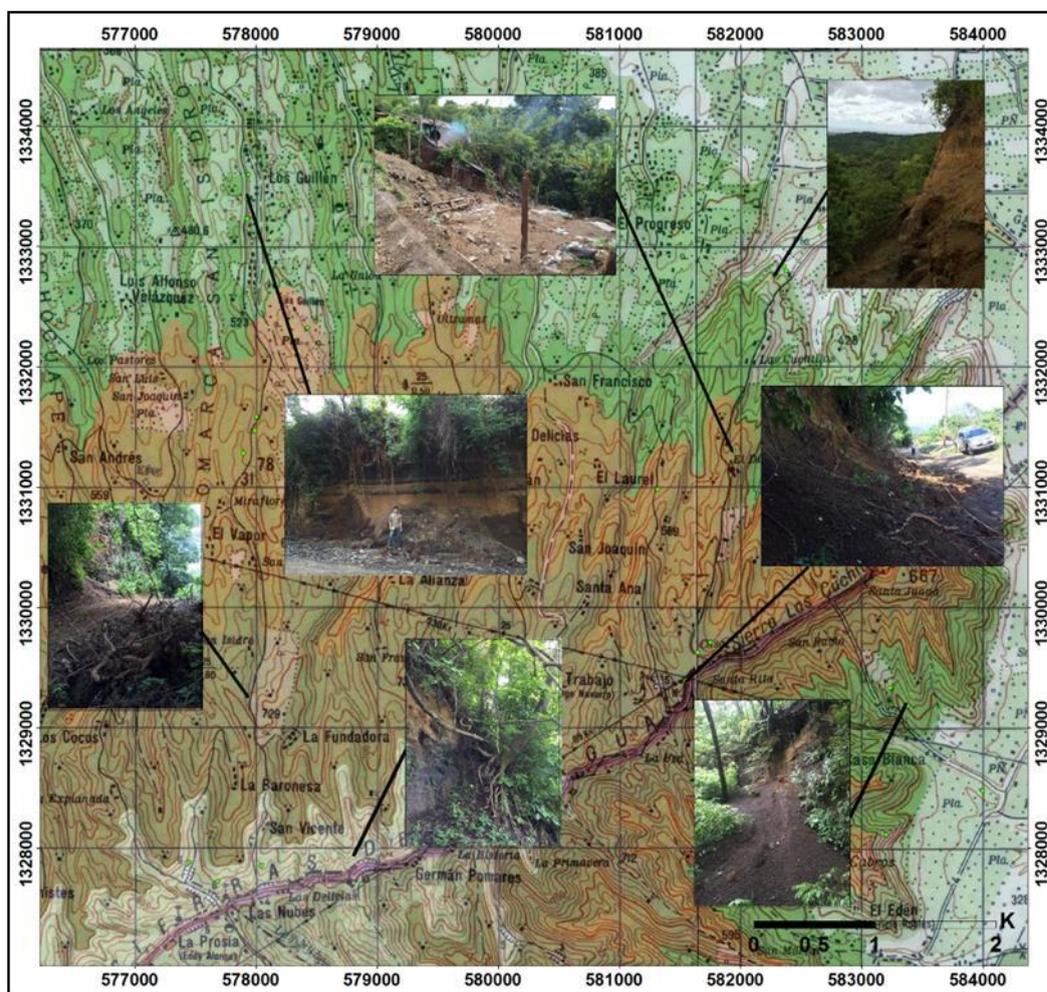


Figura 17. Mapa del área de estudio con sitios que presentan Inestabilidad activa, donde se puede apreciar: Deslizamientos Peliculares, Flujos de detritos, Desprendimiento y caída de bloques.



### 3.2.1 Deslizamientos Peliculares

Este es el tipo de deslizamiento encontrado con mayor frecuencia, está asociado a unidades piroclásticas no consolidadas y generalmente con un grado de meteorización medio o alto. Se identificaron deslizamientos peliculares en afloramientos y taludes con pendientes mayores a  $45^\circ$  (Foto 16), compuestas por paleosuelos, unidades de Pómez y Escorias.

En la comarca El Cantil se identificaron dos deslizamientos Peliculares, uno de ellos de dimensiones no estimadas, las cuales no pudieron ser medidas por la dificultad en el acceso.

Según testimonio de pobladores, este deslizamiento ocurrió durante el primer periodo lluvioso del año 2016 (Mayo-Junio), en el cual el material deslizado corresponde a un gran espesor de suelo y parte de la Tefra Fontana que yace en la parte superior de la ladera.

En la foto 16-A se observa una parte de la ladera deslizada, donde el paleosuelo que yace bajo la Tefra Fontana (Ptf) ha quedado expuesto a la erosión y saturación por agua pluvial. Foto 16-B, nótese el rumbo del deslizamiento (Este-Oeste).

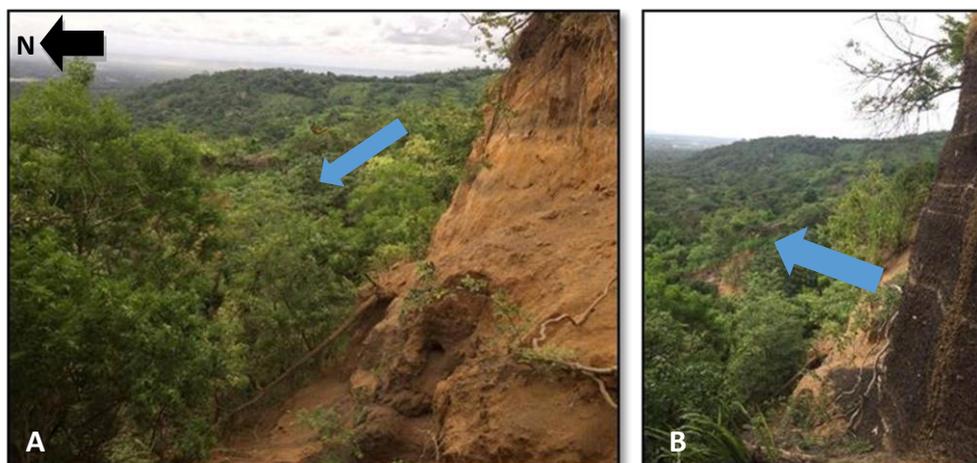


Foto 16-A-B, Deslizamiento en la comarca El Cantil. Coordenadas UTM: 1332839N, 582353 E. Altitud: 406 msnm.



En el mismo sitio ocurrió otro deslizamiento durante la misma temporada, el cual afectó completamente el tramo de la carretera que conduce hacia El Crucero. El talud afectado se encuentra sin cubierta vegetal y expuesto a erosión, el paleosuelo escoriáceo encontrado a nivel de basamento se presenta saturado, lo cual condicionó al evento ocurrido. Este deslizamiento tiene una superficie de afectación actual de 48 m de ancho y 8 m de largo, la mayor parte del material deslizado fue removido para rehabilitar el paso vehicular (Foto 17).



Foto 17-A-B, Deslizamiento superficial en la comarca El Cantil. Coordenadas UTM: 1332758 N, 582296 E. Altitud: 439 msnm.

Se observa parte de la superficie de afectación, de la cual el material deslizado ya fue removido. Se requiere medida de mitigación inmediata, como muros de contención, para evitar que futuros eventos afecten la vía pública.

Durante el mismo mes de mayo del 2016 ocurrió un deslizamiento Pelicular en la comarca El Diamante, afectando completamente la vivienda de la señora Emma Sánchez Silva (Foto 18). Durante los primeros meses del corriente año, la señora Sánchez y vecinos notaron evidencias de Reptación de Suelos en los alrededores de la vivienda (como fisuras en el terreno y en las paredes de la vivienda, árboles inclinados), intentaron mitigar el fenómeno con reforzamientos en la base de la vivienda, pero fue imposible estabilizar el talud donde se encontraba edificada la casa.



la Inestabilidad de la ladera, tomando en cuenta que la fuerte pendiente (mayor o igual a  $45^\circ$ ), el alto grado de alteración y saturación del suelo condicionaron el sitio a la ocurrencia de este proceso de remoción en masa.



Foto 18 A-B. Deslizamiento en la comarca El Diamante. Coordenadas UTM: 1331305 N, 581937 E. Altitud: 573 msnm.

Dos viviendas colindantes a la zona de afectación presentan evidencias de Inestabilidad potencial, es decir, grietas en las viviendas, fisuras en el terreno y rasgos de inclinación en los muros de contención, los cuales están contruidos de madera y láminas de zinc, (Foto 19).

La fotografía 19 A y B muestran evidencias de fisuras en la estructura de la casa y el terreno sobre el cual está asentada. La fotografía C muestra el panorama de un antiguo sumidero, el cual ha sido relleno por desechos sólidos, al mismo se le descargan las aguas negras de la vivienda que se muestra en la fotografía A.

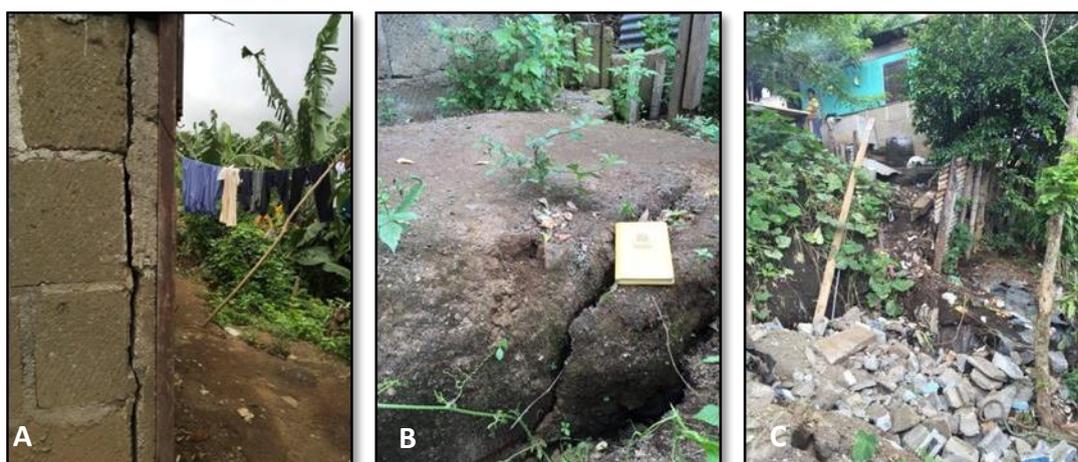


Foto 19 A-C. Evidencia de reptación de suelos en comarca El Diamante. Coordenadas UTM: 1331305 N, 581937 E. Altitud: 573 msnm.



Posterior al deslizamiento la familia de la señora Emma Sánchez fue reasentada 150 m hacia el Oeste, donde existen rasgos de inestabilidad potencial. Su nueva vivienda se encuentra en una ladera con una pendiente mayor o igual a  $45^\circ$ , el suelo se presenta húmedo debido al desecho de aguas negras provenientes de la misma vivienda (Foto 20).

Nótese en la fotografía A la ubicación de la nueva vivienda de la señora Sánchez, expuesta directamente al colapso del paredón ubicado en la parte frontal, no existe ninguna medida de retención del mismo. En la fotografía B se observa la parte trasera de la vivienda, con evidencias de hundimiento y alto grado de humedad en el terreno, se notan leves hundimientos en el terraplén sobre el cual está edificada la vivienda, con dirección hacia el precipicio.



Foto 20 A-B. Situación actual en vivienda afectada en la comarca El Diamante. Coordenadas UTM: 1331245 N, 581925 E. Altitud: 572 msnm.

Esta ladera está compuesta en la parte superficial por un suelo tobáceo, producto de la meteorización (w) de la Toba Masaya (Hmt-w), yaciendo sobre un paleosuelo escoriáceo, no consolidado y con un alto grado de humedad. (Foto 21)



Foto 21 Paredón con referencia litológica en vivienda de la Sra. Sánchez.



En la comarca La Dispersa se identificó un deslizamiento que afectó directamente el paso vehicular, gran parte del material deslizado (suelo pomáceo) había sido ya removido por pobladores del lugar. En este sitio, producto del deslizamiento quedó expuesto un corte donde se identificaron tres depósitos de pómez (Pap, Puat, Plat) separados por paleosuelos pomáceos. Estas unidades en conjunto con los paleosuelos se encuentran medianamente meteorizadas y saturadas, situación que condicionó la Inestabilidad del talud. El factor detonante fue la precipitación del mes de Junio del corriente año.

En la fotografía 22-A se nota parte inestable en el corte, propenso a un nuevo colapso y afectación en la vía. En la Fotografía B se puede observar parte del panorama del material deslizado. La superficie de afectación en este deslizamiento abarca 34.7 m de ancho por 3 m de largo, cubriendo un área total de 104 m<sup>2</sup>. En la fotografía C se pueden notar las unidades litológicas expuestas, posteriormente al deslizamiento.



Foto 22 A-C. Deslizamiento superficial en la comarca La Dispersa. Coordenadas UTM: 1329398 N, 581544 E. Altitud: 760 msnm.

Bajo el nivel de la carretera en este sitio, se ubica la vivienda de la señora Sandra Moreno Castillo, donde se identificaron evidencias de inestabilidad activa. la unidad tefra Fontana (Pft) que funciona como paredón de la vivienda, de 4 m de altura, se encuentra medianamente meteorizada y con alto contenido de humedad. La vivienda se encuentra asentada a orillas de este paredón, el cual se encuentra susceptible a colapsar parcial o totalmente (Foto 23).



Foto 23 A-B. Vivienda en riesgo por talud inestable, en comarca La Dispersa. Coordenadas UTM: 1329398 N, 581544 E. Altitud: 760 msnm.

Nótese la cercanía de la vivienda al paredón (basamento de la carretera). Tanto este nivel de la ladera como el talud deslizado pertenecen a una zona de amenaza potencial, es decir, susceptible a presentar nuevos eventos de remoción en masa.

En las inmediaciones de la comarca Los Penachos se identificó un deslizamiento superficial que tuvo ocurrencia en Julio del 2015, producto de intensas precipitaciones. Uno de los factores condicionantes a la Inestabilidad de esta ladera fue el alto grado de fallamiento en la unidad tefra Fontana (Pft). A consecuencia del fenómeno la vía quedó totalmente obstruida, pobladores del lugar removieron el material deslizado que correspondía mayormente a suelo y árboles (Foto 24).

Las características estructurales de este levantamiento fueron descritas en el capítulo 3.4.



Foto 24 A-B. Deslizamiento superficial en la comarca Los Penachos. Coordenadas UTM: 1329356 N, 580003 E. Altitud: 874 msnm.



Se observan los rasgos del deslizamiento ocurrido en este sitio. Asimismo el alto grado de fallamiento del talud, lo cual lo hace susceptible a un nuevo evento de remoción en masa. El árbol que se observa en la fotografía B se encontraba en la corona del talud antes del movimiento de tierra, posterior al evento quedó en la condición que se muestra en la fotografía, ejerciendo carga sobre la pared inestable.

En las cercanías de la comarca San Vicente se observa el alto grado de alteración del material deslizado (toba), la cual se encuentra medianamente compacta y húmeda. El alto grado de pendiente del talud y el estado actual de la unidad litológica (Ceniza Las Sierras-Pls) condicionó la inestabilidad (Foto 25)

El material deslizado es suelo, roca y vegetación. Los bloques de toba mayormente se comportan como desprendimiento, sin embargo en este sitio el fenómeno que predominó fue deslizamiento de tierra del tipo Superficial, con una combinación leve de desprendimientos en la unidad de toba.



Foto 25 A-B. Deslizamiento superficial en la comarca San Vicente. Coordenadas UTM: 1327860 N, 578041 E. Altitud: 690 msnm.

Se observa parte de la superficie de afectación en la carretera, cubriendo 24 m de ancho y 4 m de largo, con un área total de 96 m<sup>2</sup>. Los bloques que se observan corresponden a la unidad Ceniza Las Sierras (Pls), la cual se presenta compacta y altamente alterada. No se observó evidencias de depósitos yaciendo bajo esta unidad, sin embargo se comprobó la secuencia de Pls debido a que la unidad Pft, fue identificada a un nivel superior en el evento descrito anterior a este (Foto 24).



En la comarca San Isidro ocurrió un deslizamiento de tierra de tipo Pelicular en Junio de 2016 (Foto 26). Este evento afectó completamente el tramo de la carretera que conduce hacia Loma Linda (Managua), el material removido fue suelo y árboles, cubriendo 53 m de ancho y 7 m de largo, con un área total de afectación de 371 m<sup>2</sup>. En este talud se observa la secuencia de depósitos recientes de la Formación Managua en la parte superior, teniendo a nivel de basamento la tefra Fontana (Pft).

En la fotografía A se observa una vista parcial del deslizamiento, quedando actualmente una pendiente de 75° en el talud. El material deslizado fue removido de inmediato para rehabilitar el paso vehicular y peatonal. En la fotografía B se observa la columna estratigráfica del sitio, la cual quedó expuesta a raíz del deslizamiento, se pueden observar las unidades litológicas, las cuales fueron descritas en el capítulo 3.3. En la fotografía C se observa parte de la superficie de afectación.



Foto 26 A-C. Deslizamiento pelicular en la comarca San Isidro. Coordenadas UTM: 1329293 N, 577975 E. Altitud: 702 msnm.

En las inmediaciones del poblado Los Guillén se observa un corte a orilla de la carretera con evidencias de deslizamiento superficial, es notable la pendiente vertical del paredón (80-90°), asimismo el estado no consolidado de la unidad tefra Fontana (Pft) y la humedad del Paleosuelo a nivel de basamento, y a nivel superficial (suelo reciente).

Durante periodos de intensas precipitaciones, la escorrentía pluvial erosiona fuertemente el nivel de basamento, provocando colapso parcial de la parte superior y afectando la vía pública (Foto 27).



Foto 27. Deslizamiento superficial en la comarca Los Guillén. Coordenadas UTM: 1330400 N, 577923 E. Altitud: 483 msnm.

Nótese el talud vertical, con evidencias de deslizamiento superficial, y desprendimiento de material de la parte superior.

### 3.2.2 Desprendimiento y caída de bloques

Este tipo de Inestabilidad de ladera está asociado únicamente a unidades mediana y altamente consolidadas como ceniza Las Sierras (PIs) y toba Masaya (Hmt). Debido a que estas unidades son de origen deposicional aéreo y tienden a rellenar topografías, se encontró con menos frecuencia en el área de estudio, ya que estos depósitos no aparecen con una secuencia uniforme en toda en la zona.

En la comarca San Vicente, en un tramo de la carretera que conduce hacia la comarca Las Nubes, se observó evidencias de desprendimiento de bloques de hasta 1.25 x 0.70 m de diámetro, afectando parcialmente la vía pública (Foto 28).

Los bloques desprendidos de la parte alta del talud corresponden a tobas altamente compactas, de la unidad ceniza Las Sierras (PIs).

Es notable el comportamiento de la toba en laderas inestables. En la fotografía 28-A se nota parte de la ladera con evidencias de desprendimiento de material. En la fotografía B se nota el alcance de transporte de los bloques. El último desprendimiento en este talud fue registrado en el mes de junio de 2016, los bloques fueron removidos para rehabilitar el paso vehicular.



Foto 28 A-B. Desprendimiento de bloques en comarca San Vicente. Coordenadas UTM: 1328045 N, 578854 E. Altitud: 904 msnm.

En las cercanías de la comarca Las Nubes se identificó un talud con evidencia de desprendimiento de bloques de toba, los cuales corresponden a la unidad toba Masaya (Hmt). Es notable que la humedad y la pendiente vertical del talud, condicionaron la inestabilidad, el factor detonante del desprendimiento fue el periodo lluvioso del mes de julio del presente año.

En la fotografía 29-A se nota parte de la superficie de afectación sobre la vía que conduce hacia El Crucero. En la fotografía 29-B se observa una panorámica del desprendimiento y el estado actual del paredón, expuesto a erosión por escorrentía pluvial. Asimismo se observan las unidades identificadas, en correlación con la cercanía del corte mostrado en la foto 26, es decir, con la comarca San Isidro.

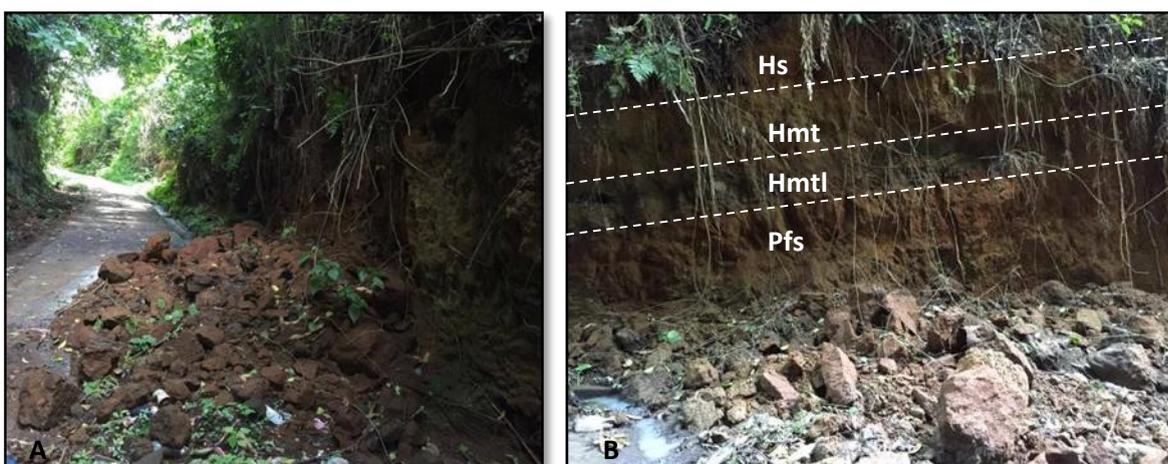


Foto 29 A-B. Desprendimiento de bloques en la comunidad Las Nubes. Coordenadas UTM: 1327726 N, 577679 E. Altitud: 914 msnm.



### 3.2.3 Flujo de detritos

Este tipo de fenómeno está asociado a unidades de escoria y pómez no consolidadas, de tamaño lapilli, grava y arena. Se encontró únicamente un sitio con evidencia a este tipo de inestabilidad, sin embargo, esto provee evidencias del comportamiento mecánico de estas unidades, las cuales cubren espesores de hasta 3 metros en las partes altas y medias del área de estudio.

En la comarca Casa Blanca, ubicada en la parte Este del área de estudio, se identificó una ladera con evidencias de flujos ocurridos recientemente, la humedad actual, árboles inclinados y la pendiente mayor a  $40^\circ$  en este sitio, son pruebas notables de inestabilidad potencial (Foto 30).

En los alrededores a este sitio los depósitos predominantes son ceniza Las Sierras (Pls) a nivel de basamento y la tefra Fontana (Pft) a nivel superior, esta última es la unidad asociada al flujo encontrado. Es importante mencionar que se encuentra altamente alterada y no consolidada, lo cual ha permitido que flujos se originen con facilidad en temporadas lluviosas.

La zona periférica a este sitio está formada por una estructura semicircular con laderas de inclinación mayor a  $45^\circ$ . Considerando la secuencia de la tefra Fontana en los alrededores, podría haber una alta posibilidad de futuros eventos de remoción en masa del tipo flujo de detritos en esta zona, afectando a las viviendas asentadas en las faldas de estas laderas.

En la fotografía 30-A se puede observar la parte lateral izquierda de la zona afectada, con evidencias de movimiento de tierra y vegetación. La fotografía 30-B muestra la evidencia de árboles inclinados, lo cual es indicios de inestabilidad activa después del flujo ocurrido. La fotografía 30-C muestra el panorama del flujo de detritos ocurrido recientemente, se puede apreciar la humedad en el terreno.



Foto 30 A-C. Flujo de detritos en la comarca Casa Blanca. Coordenadas UTM: 1329336 N, 583228 E. Altitud: 466 msnm.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

El Sur del municipio de Managua se encuentra en una región tectónicamente activa y de geología compleja. De acuerdo a la densidad de fallas cercanas a la zona de estudio y presencia de volcanes activos; de modo que un sismo producido por estas estructuras contribuiría a la susceptibilidad a provocar procesos de remoción en masa.

La formación Las Sierras y Managua, identificadas en toda el área de estudio se presenta no consolidada, erosionada y mayormente saturada por agua pluvial. Estas condiciones físicas favorecen a la inestabilidad de las laderas; tomando en cuenta que estas formaciones son producto de material piroclástico de deposición aérea, caracterizando a la zona como una serie de depósitos no cohesivos de tamaño de grano mayormente lapilli, generando deslizamientos peliculares y flujos de tierra.

Las zonas con mayor altitud y pendiente son las más susceptibles a presentar procesos de remoción en masa; la gran densidad de vegetación actualmente ejerce sobrecarga en laderas formadas por depósitos no consolidados y erosionados, provocando deslizamientos de pequeñas y medianas dimensiones.

En el levantamiento de campo se comprobó la existencia de deslizamientos activos en las diferentes comunidades, donde se han visto afectadas viviendas y vías de accesos.

Los factores condicionantes que mayormente han favorecido a estos procesos de remoción en masa son la pendiente y la geología de la zona. El factor detonante de mayor influencia ha sido la precipitación registrada en los últimos 3 años, sin embargo un sismo con magnitud considerable podría también detonar deslizamientos, debido a que actualmente muchas laderas se encuentran húmedas, producto de la infiltración y erosión de aguas pluviales.



Se carece de un plan estratégico de alerta temprana para la evacuación de viviendas en caso de una emergencia como la ocurrida el 4 de octubre de 1876 (aluvión descrito en el acápite 1.3). Tampoco se cuenta con un plan de ordenamiento territorial (POT) de la zona, considerando que el crecimiento urbanístico está enfocado hacia las partes altas de las Sierras de Managua.

El uso eficaz del Sistema de Información Geográfica (SIG) y el levantamiento de campo detallado por sitio, le otorgan una buena confiabilidad a los resultados de pendiente, litología, uso de suelo y geomorfología del área de estudio.

### **Recomendaciones**

Desarrollar un programa de gestión de riesgos de desastres (PGRD) por inestabilidad de laderas en el sector Sur del municipio de Managua, capacitando de esta manera a la población sobre las acciones y medidas preventivas a tomar en situaciones de emergencia. Salvaguardando de esta manera las vidas expuestas ante el fenómeno de procesos de remoción en masa.

Realizar un proyecto de ordenamiento territorial (OT) orientado en el uso adecuado de los suelos, y laderas con pendientes mayores o iguales a 30° en toda el área Sur de la ciudad de Managua y al Oeste de Ticuantepe, siendo estas las clasificadas como susceptibilidad alta y muy alta en el mapa obtenido en este trabajo.

Mejorar las vías de acceso actualmente afectadas en la zona, para disminuir problemas de socavamiento y erosión de sitios con inestabilidad de laderas potencialmente activos.

Considerar los resultados de este trabajo investigativo como un soporte de actualización geológica de la zona, representado por la cartografía adjunta.



## BIBLIOGRAFÍA

- **Alcántara, I. (2004).** “Landslides: ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología”, *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 41, Instituto de Geografía, UNAM-México, pp 7-25.
- **Alcántara, I., Murillo, F. (2007).** Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. pp 48-61.
- **Brown, R.D., Jr., Ward, P.L., Plafker, G. (1973).** Geologic and Seismologic Aspects of the Managua, Nicaragua, Earthquakes of December 23, 1972, U.S. Geological Survey Professional paper 838, pp.34.
- **Brunsdon, D. (1979),** “Mass Movements”, en Embleton, C.E y J.B. Thornes (eds). *Progress in Geomorphology, Arnold*. Pp 130-186.
- **CONABIO, México (2016).** Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Conceptos básicos*.
- **COPECO, Honduras. (2008).** Proyecto Mitigación de Geo-Riesgos en Centroamérica.
- **Cruden, D.M., Varnes, D.J., (1996).** Landslide types and process, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Science, 247: pp 36-75.
- **Frischbutter, A., 2002.** Structure of the Managua Graben, Nicaragua, from remoto sensing images. *Geofísica Internacional*, Vol. 4, N° 002.
- **Grupo de autores (1998).** Estudio de Integración de Datos Geológicos, geodésicos, sísmicos y geotécnicos para el proyecto de microzonificación urbana de Managua.



- **Hansen, A. (1984).** “Landslide hazard analysis”, in Brundsdén, D. y D. Prior D., *Slope instability*, pp. 553-595.
- **Hradecky, P. (2001).** Informe final de consultoría para el proyecto “Actualización del mapa Geológico-estructural del área de Managua”, informe INETER, Managua.
- **INETER (1998).** Las lluvias del Siglo en Nicaragua. Afectación de precipitaciones anuales en el pacífico nicaragüense.
- **INETER-COSUDE (2005).** Proyecto MET-ALARN, Recomendaciones técnicas para la elaboración de mapas de amenaza y susceptibilidad a inestabilidad de laderas. Pp 14-49.
- **INETER (2008).** Caracterización climática del departamento de Managua, Nicaragua.
- **INIDE (2015).** Datos demográficos del municipio de Managua, Nicaragua.
- **La Femina, W. (2002).** Bookshelf faulting in Nicaragua. Geological Society of America. Pp. 751-754.
- **Menéndez, D., Marquínez, J. (2003).** Slope instability in Nicaragua triggered by Hurricane Mitch: distribution of shallow mass movements, pp 290-299.
- **Mora, R., Vahrson, W. (1991-1992).** Metodología para elaboración de Mapas de Amenazas por Deslizamientos. Costa Rica. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central. (CEPREDENAC).
- **Mora, R. Vahrson, W. (2004).** Mapa de Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas de Nicaragua. Escala 1:750.000.
- **Navarro, J. (2012).** Prácticas de SIG con ArcGIS. Universidad Politécnica de Valencia.



- **PDBL. (2005).** Proyecto de desarrollo del bosque latifoliado abierto. Tegucigalpa, Honduras.
- **Van Dine, D.F. (1997):** Landslide hazard and risk assessment for small projects, preliminary studies and emergency response.
- **Varnes, D. (1978):** Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds), Landslides: analysis and control, National Academy of Sciences, Transportation Research Board, Washington, DC, Special Report, 176 (2), pp 11-33.
- **UCR-LIC (2016).** Universidad de Costa Rica. Laboratorio de Ingeniería Sísmica. *Conceptos generales.*
- **UNAN/CIRA (2004).** Caracterización del entorno físico del área de Managua.

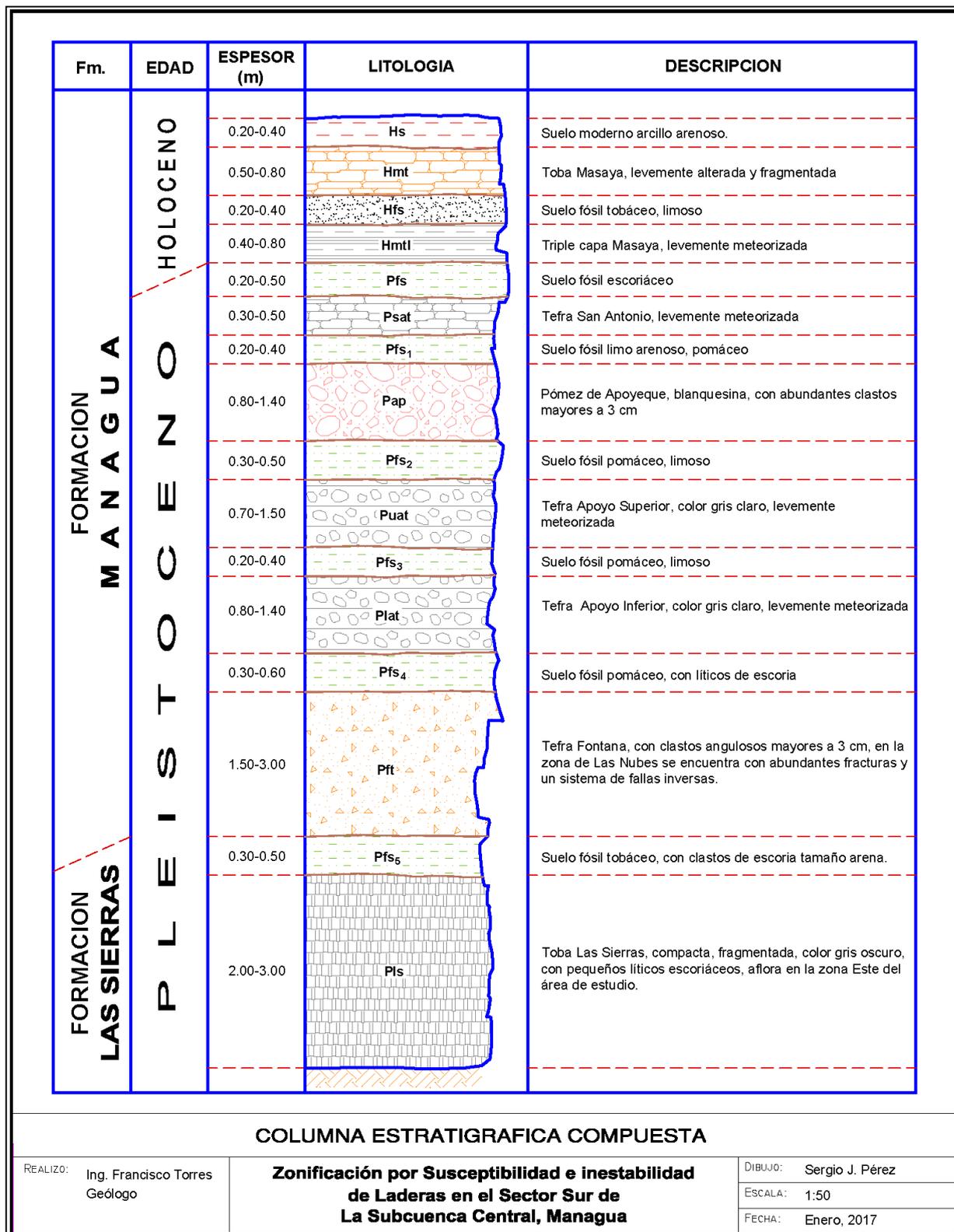


# ANEXOS



ANEXOS

Anexo 1. Columna estratigráfica del área de estudio.





Zonificación por Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas en la parte Sur de la Sub- cuenca Central de Managua

**Anexo 2. Ficha de campo utilizada en el levantamiento de campo.**

**FICHA DE CAMPO Evaluación de Movimientos de laderas**

**1**

Fecha 18 / 07 / 16 /

Responsable de inspección: Francisco Antonio Torres Herrera

**TIPO DE MOVIMIENTO**

Deslizamiento  Desprendimiento Vuelco Flujo Complejo

**DATOS DEL MOVIMIENTO DE LADERA**

Fecha en que ocurrió el movimiento \_\_\_/ 05 / 16 / Departamento: Managua Municipio:

Managua

Coordenadas (Dátum UTM): X 582296 Y 1332758 Lugar exacto: Camino hacia El Cantil

**DATOS TÉCNICOS**

**a) Características del movimiento de laderas**

Tipo de movimiento y subtipo:

Deslizamiento	Flujo	Desprendimiento	Otros tipos	
Rotacional	Detritos	Caída aislada	Vuelco	Desconocido
Pelicular <input checked="" type="checkbox"/>	Lodo	Caída de bloques	Extrusión lateral	Reptación/Superficial
Múltiple	Lahar	Derrumbe de rocas	Complejo	Hundimiento
Traslacional	No determinado	Complejo	Avalancha de detritos	
No determinado				

Observaciones: \_\_\_\_\_

**b) Condiciones topográficas y geométricas**

**Forma de la ladera:**

Cóncava  Convexa Plana Natural  
Inducida

Altura del talud (T): 8 (m) Pendiente del talud original: 70 (°) Ancho: 25 (m)

Largo: 4 (m)

Área total: 100 (m<sup>2</sup>)

**MATERIAL DESLIZADO**

Suelos  Rocas Basura y Ripio Árboles

Otros: \_\_\_\_\_

Superficie de afectación: Ancho (a) 48 (m) Largo (l) 8 (m) Área (axl) 384 (m<sup>2</sup>)

Viabilidad de movilizar el material (Manual, Máquina...) Máquina

Ocupando cauce de río o quebrada: Sí No



## Zonificación por Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas en la parte Sur de la Sub- cuenca Central de Managua

### FACTORES DESENCADENANTES

Precipitaciones: (Intensas – Prolongadas)  Tormentas / Huracanes      Procesos de erosión o socavamiento  Sismos

Actividad antrópica      Otros: \_\_\_\_\_

Observaciones:

---

### Condiciones Hidrogeológicas:

Fuentes o manantiales en laderas:      Sí      No

Desaparición de manantiales o fuentes      Sí      No

Existencia de pozos de agua próximos      Sí      No

### Condiciones de Drenaje:

Existencia de arroyos o torrentes en la ladera.

Existencia de zonas encharcadas en la ladera. Ubicación (cabecera, pie...)

Existencia de pantanos o lagunetas. Otras circunstancias del drenaje.

Observaciones: \_\_\_\_\_

### Uso del suelo:

Urbano edificado      Urbano no edificado       Forestal      Industrial e infraestructuras

Cultivos      Malezas      Pastos natural      Otros:

---

### EVALUACIÓN DE DAÑOS

#### Daños a infraestructuras, transporte y comunicaciones

Carreteras       Caminos      Trochas      Líneas de comunicación      Antenas Repetidoras

Otros: \_\_\_\_\_

### FOTOGRAFÍA



Nótese la dirección del deslizamiento ocurrido. Afecta directamente la vía principal Ticuantepe-El Crucero. Ladera actualmente expuesta a erosión y saturación de suelos.



Zonificación por Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas en la parte Sur de la Sub- cuenca Central de Managua

**Anexo 3. Caracterización de los tipos de inestabilidad de laderas identificados en el área de estudio.**

Caracterización de Inestabilidad de laderas en el área de estudio							
Levantamiento	Lugar exacto	Tipo de Inestabilidad	Formación	Litología* afectada	Edad	Coordenadas UTM	
						X	Y
1	El Cantil	Deslizamiento Pelicular	Managua	Pft	Pleistoceno	582655	1333159
2	El Diamante	Deslizamiento Pelicular	Managua	Hmtl, Hmt	Pleistoceno, Holoceno	581937	1331305
3	La Dispersa	Deslizamiento Pelicular	Managua	Pap, Puat, Plat	Holoceno	581544	1329398
4	Los Penachos	Deslizamiento Pelicular	Managua	Pft	Pleistoceno	580003	1329356
5	San Vicente	Deslizamiento Pelicular	Las Sierras	Pls	Pleistoceno	578041	1327860
6	San Isidro	Deslizamiento Pelicular	Managua	Pft, Hmtl, Hmt	Pleistoceno, Holoceno	577975	1329293
7	Los Guillén	Deslizamiento Superficial	Managua	Hmtl, Pft	Pleistoceno	577923	1333400
8	San Vicente	Desprendimiento de bloques	Las Sierras	Pls	Pleistoceno	578854	1328045
9	Las Nubes	Desprendimiento de bloques	Managua	Hmt	Holoceno	577679	1327726
<b>Litología*</b>	Pls: Ceniza Las Sierras Pft: Tefra Fontana Plat: Tefra Apoyo Inferior Puat: Tefra Apoyo Superior Pap: Pómez de Apoyeque Psat: Tefra San Antonio Hmtl: Triple capa Masaya hmt: Toba Masaya						



**Anexo 4. Matrices utilizadas para la ponderación de los factores de inestabilidad de laderas.**

Valor de Pendiente (m/km <sup>2</sup> )	Equivalente en Grados	Cualificación	Factor (P)
0 - 75	0 - 4.29	muy baja	0
76-175	4.30 -9.93	baja	1
176 - 300	9.94 - 16.70	moderada	2
301 - 500	16.71 - 26.57	media	3
501 - 800	26.58 - 38.66	alta	4
> 800	> 38.66	muy alta	5

*Ponderación Factor Pendiente. Fuente: MORA-VAHRSON, 2002.*

Litología	Cualificación	Factor L
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo Calizas duras permeables Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático Basaltos , andesitas, ignimbritas Características físicas mecánicas: materiales sano con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas, sin relleno	bajo	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas, Rocas intrusivas, calizas duras Características físico mecánicas: resistencia al corte media a elevada,...	moderado	2



Zonificación por Susceptibilidad a Inestabilidad de Laderas en la parte Sur de la Sub- cuenca Central de Managua

Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas,... niveles freáticos relativamente altos	medio	3
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas,...	alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos elevados	muy alto	5

**Ponderación Factor Geología (litología). Fuente: MORA-VAHRSON, 2002**

Nº	Descripción	Cualificación	Factor
1	Planicie baja volcánica	media	3
2	Pie de monte volcánico	alta	4
3	Serranía volcánica	muy alta	5

**Ponderación Factor Geomorfología. Fuente: COPECO, 2016**

Nº	Descripción	Cualificación	Factor
1	áreas humanizadas	muy baja	1
2	centro poblado	muy baja	1
3	cultivos anuales	baja	2
4	pastizales	baja	2
5	tacotales	media	3
6	bosque latifoliado abierto	alta	4
7	café con sombra	muy alta	5

**Ponderación Factor Uso de Suelo. Fuente: INETER-COSUDE, 2004**

Precipitación Máxima mm/día	Cualificación	Factor
<100	muy bajo	1
100-500	bajo	2
500-900	medio	3
900-1400	alto	4
>1400	my alto	5

**Ponderación Factor Precipitación. Fuente: Mora Vahrson, 2002**



Nº	Aceleración Máxima (PGA)	Cualificación	Factor
1	4,1 - 4,38	muy baja	1
2	4,38 - 4,66	baja	2
3	4,66, - 4,94	media	3
4	4,94 - 5,22	alta	4
5	5,22 - 5,5	muy alta	5

***Ponderación Sismicidad. Fuente: COPECO-HND, 2008.***

Nivel de Amenaza/Susceptibilidad	
Categoría	Color
Muy alta	Rojo Intenso
Alta	Rojo suave
Media	Naranja
Baja	Verde oscuro
Muy baja	Verde claro

***Escala de coloración para Mapa de Susceptibilidad. Fuente: COSUDE, 2005.***