



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA

UNAN - MANAGUA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA**

SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO GEÓLOGO

**Tema General:**

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL  
PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Integrantes: Patricia Carcache # Carnet 11042120

Jessenia Luna # Carnet 11043395

Tutor: Msc. Gema Velásquez.

Asesor: Msc. Horacio Ulloa

Diciembre 2017

## INDICE

<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Generalidades del área .....	3
1.2. Antecedentes.....	5
1.3. Justificación del estudio .....	8
1.4. Definición del problema .....	9
1.5. Objetivos:.....	10
1.6. Enfoque .....	11
1.7. Tipo de investigación. ....	12
1.8. Población y muestra .....	14
<b>CAPITULO II METODOLÓGIA.....</b>	<b>15</b>
2.1. Recopilación de la Información: .....	15
2.2. Etapa de Campo: .....	15
2.3. Análisis e Interpretación de los datos.....	16
2.4. Análisis Geológico:.....	16
2.5. Análisis de las propiedades físico-mecánicas de las rocas:.....	16
2.6. Elaboración del Informe Final:.....	17
2.7. Fuentes de información.....	17
2.8. Instrumentos .....	18
<b>CAPITULO III. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....</b>	<b>19</b>
3.1. Tectónica de América y Nicaragua .....	19
3.2. Geología Regional de Nicaragua .....	21
3.3. Geología Estructural .....	24

3.4. Geología de Managua.....	28
3.5. Fallas Geológicas de Managua.....	34
<b>CAPITULO IV. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>36</b>
4.1. Características geotécnicas de la ciudad de Managua. ....	36
4.2. Descripción geotécnica de la estratigrafía de Managua.....	37
4.3. Aspectos generales de inestabilidad de taludes. ....	38
4.4. Definición y tipos de taludes.....	39
4.5. Clasificación de inestabilidades. ....	40
4.5.1 Derrumbes y caídas de bloques.....	40
4.5.2. Avalancha de rocas / detritos. ....	41
4.6. Método de equilibrio de límite .....	42
4.6.1. Método de Fellenius.....	43
4.6.2. Método de Bishop simplificado.....	45
4.6.3. Método de Janbú .....	48
4.6.4. Método de Spencer.....	49
<b>CAPITULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
5.1. Análisis geológico .....	58
5.2. Análisis geotécnico: .....	63
5.3. Contenido de humedad ASTM D-2216. ....	66
5.4. Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422.....	68
5.5. Gravedad específica ASTMD-2041.....	72
5.6. Densidad unitaria total ASTM-D C29. ....	73
5.7. Densidad de saturación ASTM D-2434.....	74

5.8. Porcentaje de absorción ASTM D-1557.....	75
5.9. Análisis de los datos de entrada al programa SLIDE. ....	76
<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>86</b>
6.1. Conclusiones.....	86
6.2. Recomendaciones. ....	88
<b>VII. Bibliografía</b> .....	<b>89</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.1 Localización del área de estudio.....	4
Figura No.2 Mapa tectónico de América central.....	20
Figura No.3 Mapa geológico de Nicaragua.....	24
Figura No.4 Imagen de relieve sombreado de la depresión de Nicaragua.....	26
Figura No.5 Imagen de relieve sombreado del graben de Managua.....	27
Figura No.6 Columna estratigráfica de Managua.....	31
Figura No.7 Mapa de fallas de Managua.....	35
Figura No.8 Derrumbe y caída de bloques.....	40
Figura No.9 Avalancha de roca y flujo de detrito.....	41
Figura No.10 Esquema de análisis de estabilidad de talud.....	43
Figura No.11 Esquema de fuerzas actuantes en las dovelas.....	44
Figura No.12 Análisis de estabilidad de talud por el método de Bishop.....	46
Figura No.13 Diagrama del factor de seguridad.....	48
Figura No.14 Columna estratigráfica cuesta el plomo.....	59
Figura No.15 perfil geológico cuesta el plomo .....	60
Figura No.16 Perfil de suelos y rocas en la cuesta el plomo.....	78
Figura No 17 Estabilidad de talud por el método de Bishop simplificado.....	79
Figura No.18 Estabilidad de talud por el método de Spencer.....	79

Figura No.19 Estabilidad de talud por el metodo de Fallenius.....-	80
Figura No. 20 Estabilidad de talud por el metodo de Jambu.....	80
Figura No. 21 Talud modifcado.....	82
Figura No. 22 Factor de seguridad.....	82
Figura No. 23 Talud original con las diferentes areas para determinar el volumen	83
Figura No.24 Talud modificada con las diferentes areas para determinar el volumen .....	84

## **INDICE DE FOTOS**

Foto. No.1 Descripción de unidades litológicas.....	53
Foto No.2 Descripción de TCPI.....	54
Foto No.3 Imagen de capas seudo estratificadas.....	55
Foto No.4 Imagen de depósitos de caídas.....	56
Foto No.5 descripción de TCPS.....	57
Foto No. 6 Muestras de suelo usado en la clasificación geotécnica.....	64
Foto No. 7 Procedimiento para la determinación de la gravedad.....	64
Foto No.8 Muestra de roca para determinar el volumen.....	65

## **NDICE DE TABLAS**

Tabla No.1 Clasificación de suelos de Managua.....	37
Tabla No.2 Método más importante para estabilidad de taludes.....	42
Tabla No.3 Inventario de los movimientos, deslizamientos encontrados la longitud del talud.....	62
Tabla No.4 Ensayos de laboratorios.....	63
Tabla No.5 Porcentaje de humedad.....	67
Tabla No.6 Porcentaje retenido tamices.....	69
Tabla No.7 Gravedad específica.....	72
Tabla No.8 Densidad unitaria.....	73
Tabla No.9 Densidad de saturación.....	75
Tabla No.10 Porcentaje de absorción.....	76
Tabla No.11 Propiedades usadas en el modelamiento del talud.....	77
Tabla No.12 Calculo del volumen desplazado en el talud modificado.....	85

## **DEDICATORIA**

### **Patricia Carcache.**

Les dedico este Seminario de graduación a:

A Dios por sobre todas las cosas por haberme dado la fuerza, perseverancia cada día de mi vida, por llegar hasta donde estoy y por prestarme vida para seguir adelante.

A mis padres: Haydalina del Rosario Hernández, Eddy José Carcache. Por su apoyo incondicional en todo momento, por aceptar cada decisión que he tomado gracias padre por no dejar que me faltara nada pero muy especialmente a mi madre por ser un ejemplo de perseverancia en mi vida, por tus consejos; por hacerme ver que todo es posible y darme tu amor incondicional siempre, los amo.

A mis hermanos, a mi tía por haberme brindado su apoyo todos estos años, por haberme permitido entrar a su hogar para poder salir adelante.

### **Jessenia Luna**

A Dios nuestro señor, por brindarnos la fuerza, sabiduría, bienestar físico y espiritual; al haber llegado hasta este punto para seguir adelante día a día para lograr nuestros objetivos.

A mi madre Nidia Luna, hermanos y seres queridos por haberme apoyado en todo momento con sus consejos, motivación y perseverancia lo cual nos ha permitido ser una persona de bien.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo investigativo es el resultado del esfuerzo de muchas personas e institución sin las cual no hubiese sido posible la finalización de este trabajo, por tal razón le agradecemos en especial a:

**Msc. Gema Velásquez:** el tutor de esta investigación, por su paciencia, disposición y por todo el tiempo que dedico.

**Msc. Horacio Ulloa:** por su disposición y atención a este trabajo.

**Nuestros padres** por estar siempre dispuesto a brindarnos su apoyo incondicional.

**Instituto de Geología y Geofísica IGG – CIGEO UNAN – Managua** y a su personal por su apoyo.



## RESUMEN

Managua es una ciudad vulnerable afectada por fenómenos naturales, como la inestabilidad de laderas. Debido a factores que de una u otra manera afectan la ciudad entre los cuales tenemos: la geología y las condiciones de los suelos,. De acuerdo a estudios realizados en el año 2011 por Sistema de Información Geográfica (SIG-Georiesgos), existen 20 puntos vulnerables con características de inestabilidad de suelo.

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar la inestabilidad del talud conocido como Cuesta El Plomo, Managua modelando el talud en condición estática con el software Slide, utilizando los métodos de equilibrio de límite para determinar la inestabilidad del área en condición estática, esto a partir del cálculo del factor de seguridad.

El trabajo de investigación se realizó en varias etapas gabinete (se hizo la recopilación y análisis de toda la información posible, que existe en el área de estudio. Etapa de campo (se prepararon las condiciones para la realización esta etapa, el reconocimiento). Análisis e Interpretación de los datos de Campo, análisis geológico y geotécnico obteniendo parámetros físico-mecánicos de las rocas, y así evaluar su inestabilidad con ayuda del software Slide,

Los resultados de este trabajo se consideran como punto de partida para que las autoridades locales ejecuten investigaciones más profundas y detalladamente a causa que es una zona muy inestable y de alto riesgo para las personas cercanas al área y los vehículos que a diario transitan.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.

Los movimientos de ladera son fenómenos geológicos de evolución del relieve y figuran entre los procesos más frecuentes que afectan la superficie terrestre. Contrario a los eventos geológicos tales como erupciones volcánicas o los terremotos estos procesos pueden ser provocados por la actividad humana. Las zonas más afectadas por problemas de inestabilidad de laderas son la cadena volcánica y las regiones montañosas del norte y centro de Nicaragua (Strauch W., 2004).

Los tipos de movimientos de laderas que ocurren en Nicaragua son: deslizamientos rotacionales y complejos, desprendimientos, avalanchas rocosas, flujos de lodo o de derrubios y lahares. Los deslizamientos y desprendimientos son frecuentes en grandes áreas de cultivo y en carreteras, mientras que los flujos son frecuentes en las quebradas de las montañas o de los edificios volcánicos. Lahares son flujos de ceniza volcánica, y rocas volcánicas, mezclados con agua de la lluvia (Strauch W., 2004).

En el presente trabajo de investigación se evaluó el comportamiento y condiciones de ladera ubicado en el Cerro conocido como Cuesta El Plomo debido al fenómeno geológico de inestabilidad. Estos fenómenos son desplazamientos de masas de tierra o de roca que se encuentran en pendientes y se deben a la inestabilidad de los materiales que forman el talud.

Como objetivo general de esta investigación fue evaluar la inestabilidad del talud por medio de métodos geológicos-geotécnicos, la realización de la caracterización geológica, clasificación de los suelos y rocas así como definir la tipología de los movimientos; posteriormente se modeló el talud en condición estática con la aplicación del software Slide por el método de equilibrio de límite.

## **EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Esta investigación se desarrolló en tres etapas principales. Trabajo de gabinete se inició con la recopilación de toda información posible que aportara al estudio, etapa de (campo), en esta parte se realizó un reconocimiento y levantamiento geológico y se realizó un muestreo de suelo. La segunda etapa (laboratorio), obteniendo parámetros físico-mecánicos de los suelos. La última etapa procesamiento de datos haciendo uso del software ArcGIS 10.3, AutoCAD. (Evaluación de estabilidad del talud), por medio del software Slide, considerando parámetros como: geometría, propiedades físico-mecánicas.

Los resultados de esta investigación será una herramienta técnica importante que aportará a la municipalidad, funcionarios, Autoridades locales y la defensa civil, a entender un poco más acerca del problema de inestabilidad de laderas en Managua proponer alternativas de solución al problema de inestabilidad en La Cuesta El Plomo, finalizado el informe analizamos cada resultado se dieron medidas para mitigar la amenaza por movimiento de masa y caída de bloques según analizamos la tipología del movimiento.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 1.1. Generalidades del área

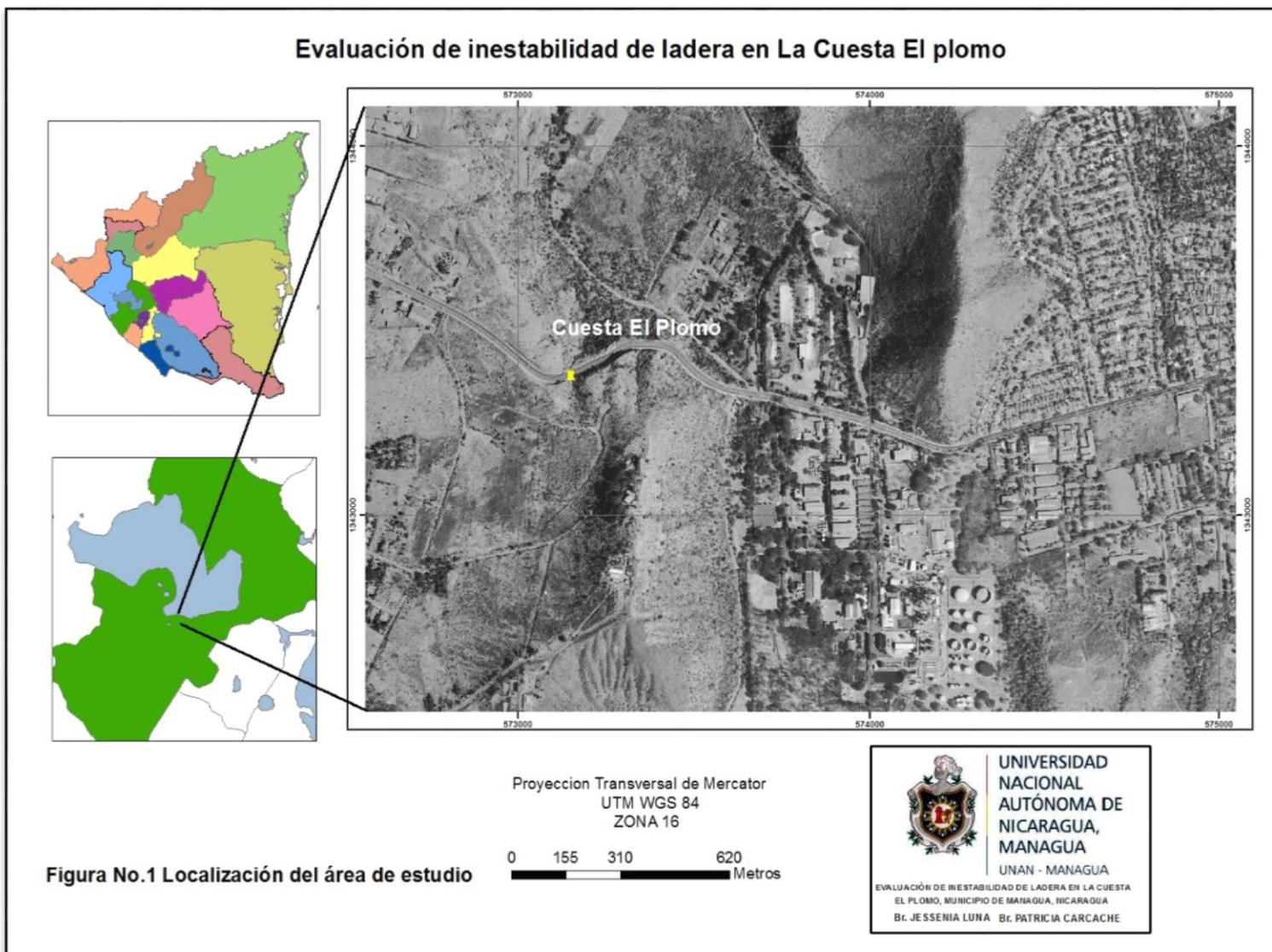
#### Localización

Managua se ubica en el Suroeste de Nicaragua, específicamente en la cuenca sur del Lago de Managua (Xolotlán). El Municipio tiene un área total de 267 km<sup>2</sup> de extensión, de los cuales 173.7 km<sup>2</sup> son del área urbana. La altitud promedio es alrededor de 80 m.s.n.m, el clima es tropical y las temperaturas promedio oscilan entre 27° C y 32°C La población estimada es de 1, 025,000 de habitantes (INIDE, 2001)

La Cuesta El Plomo está ubicada al oeste de la ciudad de Managua, dentro de las líneas de cono y cráteres colapsados ubicados en dirección Norte-Sur en la zona occidental de Managua capital de Nicaragua.

La Cuesta El Plomo es una elevación de forma alargada en sentido norte sur, cuya cima alcanza los 193 msnm, de longitud aproximada en 380 metros. Se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas **UTM-WGS84: N1343373–E 573151** como se aprecia en la figura. No.1. Mapa de ubicación de la Cuesta El Plomo.

# EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA



## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 1.2. Antecedentes

El problema de inestabilidad es un fenómeno el cual ocurre principalmente en la época de invierno, donde se conjugan con el uso inadecuado del suelo lo cual genera procesos de erosión, transportación y depositación de grandes cantidades de sedimentos en el sistema de drenaje de la ciudad de Managua. (INETER, 2006)

De acuerdo con archivos históricos, en 1876 ocurrió un gran deslizamiento en la parte sur de Managua (El Crucero). Este evento natural, aunque no existe en la memoria de la población, provocó grandes daños (materiales y humanos). No obstante, los trabajos ejecutados por la Dirección de Geología Aplicada del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), a partir de 1999, demostraron que la ocurrencia de eventos geológicos en el área de Managua, es más frecuente de lo que anteriormente se asumía. A partir de los eventos ocurridos desde 1999 hasta la fecha, y de su análisis geomorfológico se ha demostrado que los procesos de inestabilidad de taludes son frecuentes y limitados a zonas con taludes de mayores pendientes de origen volcánico (INETER, 2006).

El diario la prensa el 5 de abril del 2003, publicó un evento de desprendimientos que ha involucrado la caída de tres bloques grandes y otros fragmentos más pequeños. La zona desprendida presenta un ancho de 9 m y el alcance de los bloques es de unos 12 m. El bloque más grande presenta unos 4 m de longitud, 2 m de alto y 1.5-2 m de largo, pudiéndose estimar un volumen de  $96 \text{ m}^3$  que podrían provocar pérdidas humanas mientras no se construyan obras de contención que disminuyan la vulnerabilidad de este cerro, según un estudio del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2003).

INETER en conjunto con técnicos del Ministerio de Transporte e infraestructura (MTI), el 23 de agosto, 2004, realizó un reconocimiento de la situación actual del sitio Cuesta El Plomo, al oeste de Managua, que incluyó observaciones y toma de datos, entre el punto de los desprendimientos y el monumento; unos 70 metros del

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

corte de la carretera, Se observó la construcción de un cono de derrubio, constituido de fragmentos tamaño arena y grava con escasos bloques de tobas en su base. El material se desprendió del borde y paredes laterales del escarpe, siguiendo la vía de transporte construida con los primeros desprendimientos de bloque inestables más grandes (INETER, 2004).

Espinoza, 2007, realizó un estudio del Lineamiento Nejapa, en el cual definió su cinemática y geometría y dividió las estructuras volcánicas en tres zonas diferenciándolas según dimensión, morfología y forma de emplazamiento, los cuales se subdividen en:

- 1- Campo Volcánico Apoyéque-Xiloá.
- 2- Campo Volcánico Cuesta de El Plomo.
- 3- Campo Volcánico Ticomo.

Además realizó la descripción de la secuencia estratigráfica del anillo de toba cuesta El Plomo como pómez de Apoyeque superior en la cima, paleosuelo e intercalaciones de oleadas piroclásticas.

Avellán. 2009, hizo un estudio de la Tefra estratigrafía de la parte occidental de Managua, Nicaragua, evolución de las estructuras volcánicas de Ticomo, Nejapa y Asososca. Definiendo tres estratos característicos en la cuesta el plomo un estrato superior como tefra cuesta el plomo superior (T-cps), tefra Apoyeque superior (T-aqs), tefra cuesta el plomo inferior (T-cpi).

Autoridades de la alcaldía de Managua en coordinación con la Defensa Civil y SINAPRED, en el año 2011 llevaron a cabo el desalojo de más de 120 personas (13 familias), las que estaban asentadas en el sitio llamado Loma de Chico Pelón, con un alto riesgo ante el fenómeno de inestabilidad.

## **EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

El Sistema de Información Geológica de Nicaragua (SIG-Georriesgos) en el año 2011 realizó un estudio el cual tenía por nombre Amenaza por inestabilidad de taludes del área de Managua y sus alrededores, el estudio presenta 20 puntos con probabilidades de inestabilidad en la capital, uno de los puntos más relevante es El Crucero, ubicada en la parte sur de Managua.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 1.3. Justificación del estudio

Los movimientos de ladera provocan daños materiales importantes en el mundo (Brabb y Harrods, 1989) y son el tercer riesgo natural por número de víctimas después de los terremotos y las inundaciones (Ayala-Carcedo, 2002).

Tomando en cuenta lo antes mencionado esta investigación se hace debido a los eventos ocurridos de desprendimientos de bloques en el costado este del cerro (cuesta de El Plomo) y a la falta de obras de mitigación como muros de contención en la zona más inestable producto del corte de talud artificial realizado para la ampliación de la carretera, ya que presentan un inadecuado ángulo de corte el cual ha sido medido en ochenta grados y es muy empinado para las condiciones geológicas y estructurales de esta zona (INETER, 2003).

Esta investigación contribuirá con resultados geológico-geotécnicos, recomendaciones de posibles medidas de mitigación y prevención para la reducción del riesgo en el lugar de estudio.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 1.4. Definición del problema

La ciudad de Managua se caracteriza por ser una zona muy vulnerable a fenómenos naturales, y ha sido afectada por deslizamientos causados por la inestabilidad del suelo, estos eventos pueden llegar a causar grandes pérdidas humanas como económicas, la importancia de estudiar zonas vulnerables a la inestabilidad es mitigar y reducir el riesgo existente, de tal modo que la población tenga conocimiento del peligro que tienen al habitar o transitar en zonas vulnerables, resaltando que una de estas zonas es El cerro Cuesta El Plomo.

El estudio se realiza para analizar las condiciones, el comportamiento del talud, evaluar la parte más vulnerable del talud y mitigar para reducir el riesgo ante un deslizamiento que pueda ocasionar pérdidas humanas y económicas, evitar que la población se asiente alrededor del cerro, protección al transporte vehicular y sus ocupantes que a diario transita por este lugar. Los resultados del presente estudio será una herramienta técnica importante para los funcionarios y tomadores de decisiones de entidades públicas y de la Alcaldía de Managua.

Dentro de los principales factores detonantes en el área de estudio están las precipitaciones, la inclinación de la pendiente medida desde 10° hasta 20° en dirección NE, la sismicidad de Managua, y la vibración vehicular que circula a través de la carretera cercana al sitio de estudio.

En la zona de estudio a diario transitan un total de veinte y tres mil setecientos ochenta y nueve vehículos entre transporte pesado y liviano como Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) según el reporte elaborado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI para el año dos mil dieciséis.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL  
MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

**1.5. Objetivos:**

**Objetivo General:**

Evaluar la inestabilidad de talud por métodos geológicos- geotécnicos en La Cuesta El Plomo, Municipio de Managua

**Objetivos específicos:**

- Realizar la caracterización geológica del talud principal en La Cuesta El plomo.
- Elaborar un perfil geológico del área en estudio
- Realizar la caracterización geotécnica (físico-mecánicas) y clasificación de suelos y rocas.
- Definir tipología de los movimientos en masa.
- Modelar el talud en condición estática con la aplicación del software Slide.
- Proponer alternativas de solución al problema de inestabilidad en La Cuesta El Plomo para mitigar la amenaza por movimiento de mas

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 1.6. Enfoque

La investigación es un proceso riguroso, cuidadoso y sistematizado en el que se busca resolver problemas, es organizado y garantiza la producción de conocimiento o de alternativas de soluciones viables.

La investigación que se está llevando a cabo tiene un enfoque **MIXTO**, es decir la combinación de enfoque cualitativo y cuantitativo, en primera instancia en nuestro trabajo de investigación se aplicó el enfoque cualitativamente se analizó el fenómeno a través de la observación, la descripción litológica, caracterizando previamente en campo el tipo de roca, textura, para posteriormente clasificar la granulometría en el laboratorio de geotecnia y modelar el fenómeno en el programa Slide.

El enfoque cuantitativo consistió en la medición del talud generado producto del corte de carretera, así como la medición de los espesores de los diferentes estratos en el sitio, medidas de rumbo, buzamiento con la brújula y la ubicación geográfica del sitio en estudio a través del GPS.

### 1.7. Tipo de investigación.

#### **Es una Investigación con un enfoque cualimétrico (Mixto).**

De la combinación de ambos enfoques, surge la investigación mixta, misma que incluye las características de cada uno de ellos, (Grinnell, 1997), citado por Hernández et al., (2003:5) señala que los dos enfoques (cuantitativo y cualitativo) utilizan cinco fases similares y relacionadas entre sí.

- a) Llevar a cabo observación y evaluación de fenómenos.
- b) Establecer suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.
- c) Probar y demostrar el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.
- d) Revisar tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.
- e) Proponer nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar, cimentar y/o fundamentar las suposiciones o ideas; o incluso para generar otra.

#### **Técnicas aplicados al proceso investigativo**

Las técnicas, son los medios empleados para recolectar información, entre las que destacan la observación, cuestionario, entrevistas, encuestas, En el caso de nuestro estudio es empleado a través de La observación y la medición como procedimiento de recogida de datos; este tipo de técnica nos permitió obtener la información sobre el fenómeno o acontecimiento tal y como este se produjo.

## **EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

### **Procedimiento aplicado al proceso investigativo:**

El procedimiento realizado en esta investigación está orientado a análisis Geológico- Geotécnico donde se analizara el comportamiento físico mecánico del talud a través de la modelación del fenómeno en el programa Slide y así obtener la clasificación y condición real del fenómeno y proponer alternativas de estabilidad en el lugar de estudio.

Proponer alternativas de solución para estabilizar el talud principal en estudio ya que no se está evaluando la inestabilidad en toda la cuesta el plomo debido a la poca accesibilidad al área de estudio y al tráfico vehicular.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 1.8. Población y muestra

#### **Población**

En el estudio realizado que lleva como nombre evaluación de inestabilidad de Ladera tenemos como población La Cuesta El Plomo, como el grupo de elementos a lo que se realizaran los hallazgos.

#### **Muestra**

Las muestras en nuestro objeto de estudio están caracterizado por las rocas y suelos extraídos en campo, clasificándolas macroscópicamente en campo para posteriormente realizar la clasificación geotécnica en el laboratorio.

Descripción general de las muestras:

En la etapa de reconocimiento de campo se pudo observar al otro lado de la carretera bloques con longitud de 2.6 m de largo y 2.2 m de ancho a los cuales se pudieron reconocer tobas líticas con fragmentos de escoria, cuarzo y líticos andesíticos.

Las descripciones litológicas del afloramiento en estudio comprenden de 80-100 cm de suelo amarillento en la cima, una capa de depósito de caída y posteriormente una toba lítica con fragmentos rocosos abundante óxido de hierro y un flujo piroclásticos con fragmentos de roca tamaño lapilli incrustados, bloques de composición andesíticos en una matriz de ceniza.

# EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

## CAPITULO II. METODOLÓGIA

El trabajo investigativo que se está llevando a cabo tiene como finalidad una evaluación de inestabilidad de ladera en la Cuesta El Plomo.

Durante esta fase se hizo la recopilación y análisis de toda la información posible, que existe en el área de estudio. Así mismo se prepararon las condiciones para la realización de la etapa de campo. El trabajo de gabinete se dividió en las siguientes etapas:

### 2.1. Recopilación de la Información:

Recopilación de la mayor cantidad de documentos previamente elaborados, en el área de estudio tales como: tesis, artículos, estudios u otros trabajos. En total se lograron recopilar 6 tesis, 5 artículos y 8 estudios.

Recopilación del mapa geológico, mapas topográficos del área de Managua.

Generación y Elaboración Mapa de ubicación, columna estratigráfica, perfil geológico del área de estudio:

Esta etapa se realizó con la ayuda de Arc-Map (versión 10.3) AutoCAD.

### 2.2. Etapa de Campo:

En esta etapa se realizaron salidas al campo durante 1 mes (Septiembre 2017), con el propósito de realizar la caracterización geológica del talud principal en La Cuesta El plomo.

También se identificaron los contactos geológicos marcados previamente, el levantamiento del perfil para el modelamiento del talud en el Software SLIDE para calcular el factor de seguridad con 4 diferentes métodos de equilibrio de límites, Se elaboró un inventario de los diferentes deslizamientos en el área de estudio.

Se realizó un muestreo de suelos y rocas de los estratos pertenecientes al corte de carretera Cuesta El Plomo para posteriormente realizar todas las pruebas geotécnicas correspondientes.

## **EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

### **2.3. Análisis e Interpretación de los datos:**

Una vez obtenidos los datos de campo se realizó el procesamiento de estos, para su análisis y elaboración del informe final, posteriormente la fase de análisis e interpretación se dividió en las siguientes etapas.

### **2.4. Análisis Geológico:**

En esta etapa se analizó e interpreto todas las características geológicas del talud con lo que se logró obtener la diferenciación de litología de los distintos estratos y posteriormente la elaboración de la columna estratigráfica del área estudiada.

### **2.5. Análisis de las propiedades físico-mecánicas de las rocas:**

Los ensayos fueron llevados a cabo con las muestras extraídas en campo, se realizaron pruebas de las propiedades física- mecánicas de suelos y roca en el laboratorio Geotécnico del IGG- CIGEO/ UNAN-MANAGUA. (Instituto de Geología y Geofísica). Según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS). Los ensayos estándar de mecánica de suelos realizados fueron Los siguientes:

- Ensayo granulométrico por tamizado ASTM D-422.
- Contenido de humedad ASTM D-2216.
- Gravedad específica ASTM D-2041 / 558
- Densidad de saturación ASTM D-2434
- porcentaje de absorción ASTM D-1557
- Densidad unitaria total ASTM D C-29

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 2.6. Elaboración del Informe Final:

Todos los datos obtenidos a través de las etapas antes descritas fueron procesados y modelados con ayuda de los programas computarizados Arc-Gis (versión 10.3), AutoCAD (2016), SLIDE (versión 6.009.) lo que permitió obtener columna estratigráfica del área de estudio, el perfil modelado en 4 diferentes métodos de equilibrio de límite para calcular la estabilidad del talud, en base a estos resultados se elaboró el documento final.

### 2.7. Fuentes de información

Las fuentes de información son todos los documentos que de una forma u otra difunden los conocimientos. Es la persona, organización u objeto de los que se obtienen datos para ser analizados; El dato es el valor de una variable o de una constante, proporciona información sobre una situación y sirve de base para el análisis estadístico; los datos pueden ser primarios o secundarios de acuerdo a la información de la que procedan (Santesmases, 2009:75).

#### Fuentes primarias:

Dentro de las fuentes principales de información hemos obtenido monografías, así como monitoreos geológicos realizados por **INETER** en coordinación el MTI y reportes publicados en el **Diario La Prensa** de eventos de desprendimientos de rocas en el lugar de estudio.

#### Fuentes secundarias:

Dentro de las fuentes secundarias obtuvimos datos e información referente a las fuentes primarias como lo fueron bibliografía, guías bibliográficas, enciclopedias, tesis de evaluación de inestabilidad de laderas con distintos enfoques y orientaciones.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL  
MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

## **2.8. Instrumentos**

### **Instrumentos de campo**

- ❖ Mapas topográficos,
- ❖ Brújula
- ❖ Piqueta
- ❖ GPS
- ❖ Cinta
- ❖ Libreta de campo

### **Equipo geotécnico de laboratorio**

- ❖ Balanzas.
- ❖ Tamices de diámetro: **(3 ¼, 1 ½, 3 1/8, 4, 10, 20, 40, 60, 100, 140, 200.)**
- ❖ Taras.
- ❖ Termómetro.
- ❖ Frascos graduados.
- ❖ Tazas de porcelana para disgregar.
- ❖ Vernier.
- ❖ Equipos de límites de atterberg.
- ❖ Equipo de Gravedad Específica.
- ❖ Bomba de Vacío.
- ❖ Máquina de Comprensión.

### CAPITULO III. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

#### 3.1. Tectónica de América y Nicaragua

América Central se sitúa en el margen occidental de la placa Caribe. Dengo, G. Case, J. (1990), sus límites son: Al norte la Placa Norte Americana a través del sistema de fallas Majagua-Polochic - Jocatán y la Fosa Caimán; al este por la falla de Puerto Rico y la zona de subducción de las Antillas Menores; al sur por la Placa Suramericana y al oeste por la fosa Mesoamericana. (Figura No.2). El desarrollo de la placa Caribe se debió a la posición relativa de Norte y Sur América en el Triásico-Jurásico Tardío. (Burllard, E., et al., 1965).

En la mayoría de las reconstrucciones del Pangea, Norte y Sur América se traslapaban en el que actualmente ocupa la placa del Caribe. Burllard et al. (1965); Van der Voo et al., (1976); Pindell, J., (1985), donde la placa Caribe es tenida como alóctona de esas placas vecinas. Esto significa que Norte y Sur América no son márgenes de ruptura de la actual cuenca del Caribe. Elming, S., Windenfalk, L., & Rodríguez, D., (1998). Dunca, R., y Hargraves, R., (1984), presentaron un modelo de evolución del Caribe en el cual el núcleo de la placa se formó de la emisión de lava de la placa Farallón al momento de desplazarse al este, por encima del punto caliente o hot spot de las Galápagos. Una vez que el espacio fue lo suficientemente grande, se dio el emplazamiento del Caribe.

América Central se encuentra en un margen convergente continental, muy activo en donde la Placa de Cocos subduce a la Placa del Caribe y cuyos márgenes son complejos cinturones tectónicos activos, que han estado evolucionando a lo largo del Cenozoico Dengo, D., y Case, J., (1990). La dirección de subducción de estas dos placas es de N31°E, a una velocidad de 8 a 9 cm por año, con un ángulo aproximado de 80°, decreciendo hacia la parte sur de Nicaragua, hasta alcanzar los 60° en Costa Rica (Frischbutter, A., 2002).

EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

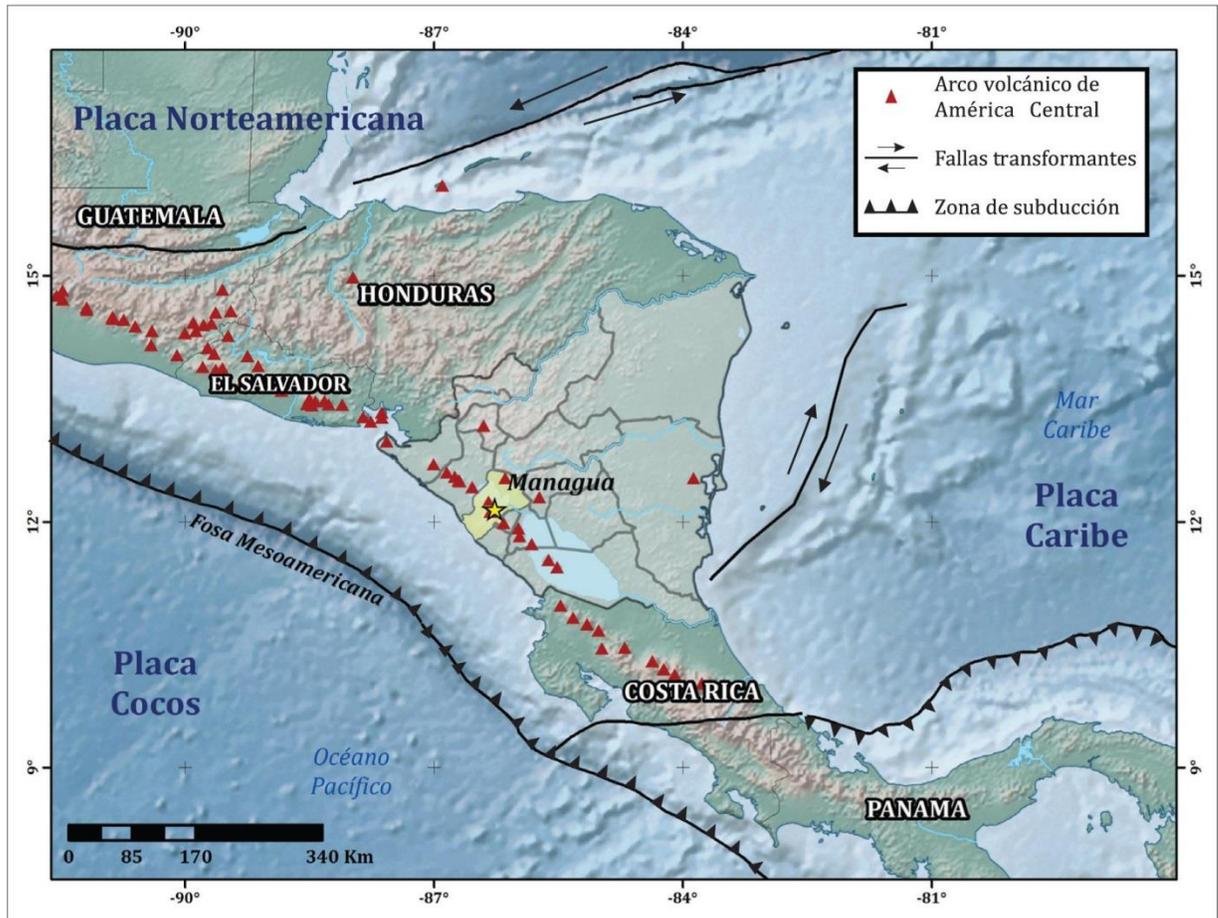


Figura.No.2 Tectónica regional de América Central (Frischbutter (2002) y Avellán (2009)).

### **3.2. Geología Regional de Nicaragua**

Hodgson G., en 1976, dividió Nicaragua en 5 provincias geológicas estructurales (ver Fig. No. 5), diferenciadas por su geomorfología, su estratigrafía, geología tectónica, geología histórica y geología económica (depósitos minerales metálicos y no metálicos), concluyendo así con:

#### **Provincia Geológica de Las Planicies de la Costa del Pacífico.**

Esta provincia incluye la cuenca Sandino, y se localiza en el margen pacífico de Nicaragua, en la parte occidental de la placa Caribe en el área de ante arco del pacífico y se extiende costa adentro hasta el graben, donde se localiza el arco volcánico activo.

Se destacan dentro de esta provincia 6 formaciones sedimentarias (Rivas, Brito, Masachapa, El Fraile, El Salto, Sapoá) y las formaciones volcánicas Las Sierras y Tamarindo.

#### **Provincia Geológica de La Depresión de Nicaragua.**

El término de Depresión es el más apropiado para asignar a la estructura de este macro rasgo morfológico que el concepto estrictamente definido en un graben.

La depresión del graben de Nicaragua, forma parte de la zona marginal del pacífico de América Central, la cual está caracterizada por presentar fosa de mar profunda, regiones de plataformas, cadenas de arcos de islas activos y rasgos tectónicos activos.

Está caracterizada por el predominio de rocas volcánicas, depósitos piroclásticos y sedimentos del Plioceno y reciente. Las Rocas más características están

## **EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

comprendidas en la serie piroclástica de la Formación Las Sierras y el grupo Managua. Pero también hay flujos lávicos de actividad reciente.

También dentro de la depresión existe la presencia de ventanas de ignimbritas y lavas básicas del grupo Coyol. Todo el conjunto de roca de la depresión tiene un espesor de 900 m. (perforaciones en el graben, señalan un espesor de 200 m de piroclastos).

### **Provincia Geológica Central de Nicaragua.**

En 1965, McBirney et al., en el estudio de la Historia volcánica de Nicaragua, subdividió las rocas volcánicas de la Región Central en dos grandes grupos y un tercer grupo inferido subyacente, los dos superiores El Coyol y El Matagalpa fueron diferenciados uno del otro por la composición litológica y la geomorfológica (el Coyol con un relieve en mesas y mesetas escalonadas y el Matagalpa con relieves de cerros irregulares u ondulados, de topografía suave, rocas buzantes y deformadas), señalando que estas dos secuencias de rocas tienen grandes extensiones, en todo el área Central - NE de Nicaragua. Las rocas de estos grupos han sido descritas como del Terciario medio Superior.

Posteriormente en 1982 el grupo Matagalpa fue subdividido por Hodgson, en dos secuencia de rocas, crono-lito estratigráficos, se mantuvo el del grupo Matagalpa y se introdujeron el término del Pre-Matagalpa, y dentro de este se estableció un nuevo grupo correspondiente al grupo Rio Saiz (la geomorfología del grupo comprende terrenos de altas montañas, severamente deformados, zonas de fuerte flexiones y arqueadas, relieves de fuertes declives, muy fracturada dando la característica de bloques fallados, cuyas disposiciones de los bloques aparentan reflejar pliegues).

## **EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

En el E de la provincia Central y W de los llanos de la Costa Atlántica, gran parte de las montañas se encuentran incluidas en este grupo. Las rocas de este grupo han sido descritas como Terciario-cretácico.

### **Provincia geológica del Norte.**

Está localizada en el Norte de Nicaragua y abarca los departamentos de Nueva Segovia, Madriz y ligeramente Norte del departamento de Estelí y gran parte del área central y norte del departamento de Jinotega y NW de Zelaya.

Esta provincia está caracterizada por el predominio de rocas metamórficas, consideradas como las más antiguas de Nicaragua la cual ha sido instruida por un gran batolito granítico de Nueva Segovia. También se señala la existencia de rocas sedimentarias como Calizas, lutitas y conglomerados, agrupados en las formaciones Metapan y Totogalpa. Dentro de esta provincia se encuentra también la existencia de rocas volcánicas cretácica – Terciarias.

### **Provincia de los llanos de la Costa Atlántica.**

Esta provincia abarca la cuenca de la Mosquitia, la Cuenca Costera y el Banco de Nicaragua. Está comprendida entre el límite de la provincia del Norte, la Central, río Coco en el Norte y río Indio en el S, y en el E el mar del Atlántico.

Respecto a su litología, esta provincia está caracterizada por el predominio de rocas sedimentarias recientes del Pleistoceno, los sedimentos recientes están representados por las gravas, arenas y arcillas bajo la formación Bragman's Bluff y aluvionales recientes. Los sedimentos Terciarios antiguos comprenden rocas como areniscas, lutitas y calizas (Forms. Terciarias), conformando la parte superior de la cuenca la Mosquitia, también se señalan en el área NW el afloramiento de un gran

### EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

batolito granitoide que es parte del batolito del Pacífico, la presencia de rocas extrusivas (predominantemente la andesita) ocupando la parte central-oeste de la provincia, se señala también la presencia de rocas sedimentarias mesozoicas y metamórficas.

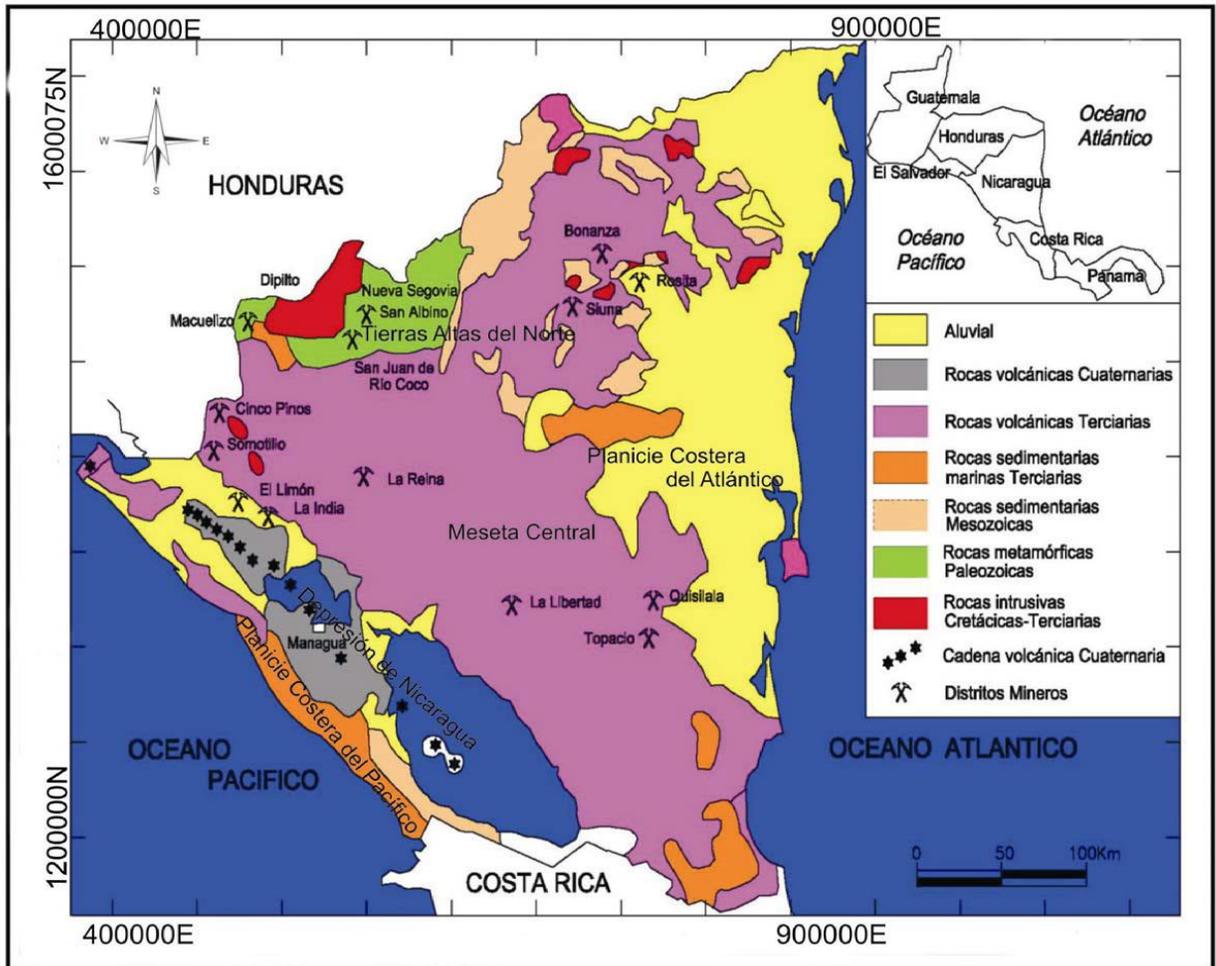


Figura No.3. Mapa geológico de Nicaragua que muestra las diferentes unidades geológicas (Rodríguez, 1989).

### 3.3. Geología Estructural

#### Graben de Managua

La segmentación de la Cadena Volcánica Nicaragüense (CVN) y formación del Graben de Managua (GM), están vinculadas a la tectónica de Centroamérica y por ende, al campo de esfuerzos regional (Girard et al., 2005). En este campo de esfuerzos, se tiene la formación de fallas laterales derechas, acomodadas en Nicaragua por el fallamiento en dominó, de bloques separados por fallas con dirección NE de movimiento lateral izquierdo y con una rotación en el sentido de las manecillas del reloj (La Fémina et al., 2002). La segmentación de la CVN, se caracteriza por tener una separación ~25 km y una desviación de ~54° y se localiza en la Ciudad de Managua (determinada a partir del análisis morfológico). Esta zona de relevo (Espinoza, 2007), representa una zona estructural extensional, interpretada como una cuenca “Pull Apart” (Girard et al., 2005), que se caracteriza por una serie de fallas normales con tendencia norte-sur, por lo que varios estudios han considerado a Managua, como un Graben (Frischbutter, 2002; Girard et al., 2005).

Según Schmincke, 2004 propone que en las zonas donde los frentes volcánicos se dividen, se generan fallas tensionales y asociados a estas fallas se emplazan pequeños conos volcánicos de escoria, en el sector de tras arco. Este es el caso de la CVN que se divide en el GM y al occidente del mencionado GM, a lo largo de la Falla Nejapa, afloran ~30 estructuras volcánicas (conos de escoria, maeres, remanentes de conos de tobas y un estratovolcán (Mc Birney y Williams, 1965; Bice, 1985; Frischbutter, 2002; Girard y van Wyk de Vries, 2005; Espinoza, 2007; Pardo et al., 2008)). Sin embargo, en Nicaragua el emplazamiento de estas estructuras volcánicas ocurre entre el sector de ante arco del segmento NO y el tras arco del segmento SE.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

Los límites actuales del GM, están conformados por las siguientes fallas activas principales (Figura 5): la Falla Cofradía al este, que se evidencia por un pequeño escarpe, con una orientación NNE; la Falla Nejapa al W con una orientación NO-SE y el escarpe de Mateare. El límite S del Graben de Managua lo compone el Complejo Volcánico Las Sierras-Masaya, conformado por la Caldera de Masaya y un campo ignimbrítico basáltico (Frischbutter, 2002; Girard et al., 2005). Además, existen estructuras de menor orden, como el pequeño graben limitado por la Falla Cofradía y la Falla Aeropuerto, con dirección NE (Graben Aeropuerto), numerosas fallas de dirección N-NE, y posibles zonas de fallas controladas por la erosión (Frischbutter, 2002; Girard et al., 2005).

Además, menciona que en las zonas donde los frentes volcánicos se dividen, se generan fallas tensionales y asociados a estas fallas se emplazan pequeños conos volcánicos de escoria, en el sector de tras arco. Este es el caso de la CVN que se divide en el GM y al occidente del mencionado GM, a lo largo de la Falla Nejapa, afloran ~30 estructuras volcánicas (conos de escoria, maares, remanentes de conos de tobas y un estratovolcán (Mc Birney y Williams, 1965; Bice, 1985; Frischbutter, 2002; Girard y van Wyk de Vries, 2005; Espinoza, 2007; Pardo et al., 2008)). Sin embargo, en Nicaragua el emplazamiento de estas estructuras volcánicas ocurre entre el sector de ante arco del segmento NO y el tras arco del segmento SE (Figura 5).

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

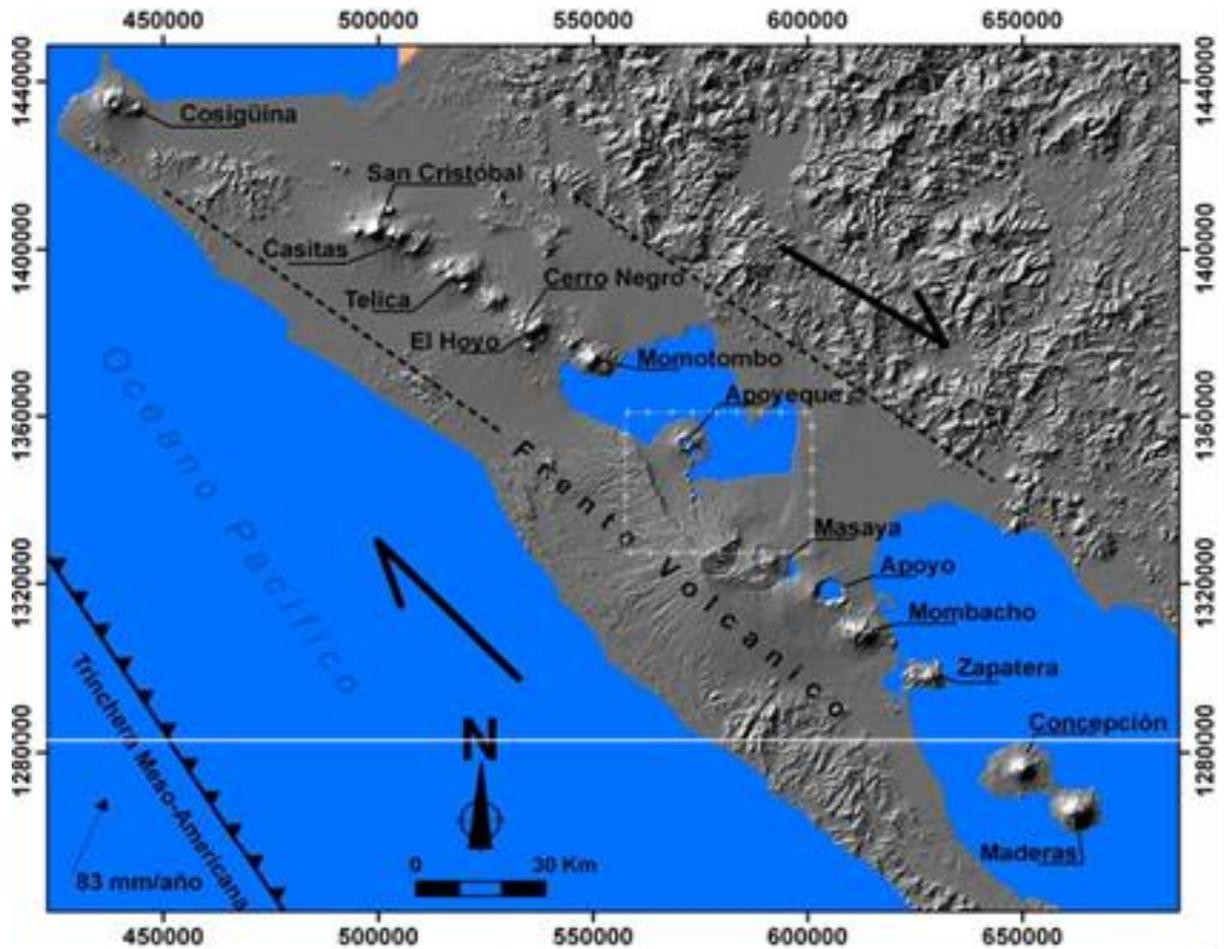


Figura No.4 Imagen de relieve sombreado de la Depresión de Nicaragua, que muestra los principales volcanes activos que conforman la Cadena Volcánica Nicaragüense. Las flechas indican el movimiento relativo a lo largo de la cadena, debido al efecto de la subducción oblicua de la Placa Cocos, por debajo de la Placa Caribe, el rectángulo blanco indica los límites del Graben de Managua (La Femina et al., 2002).

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

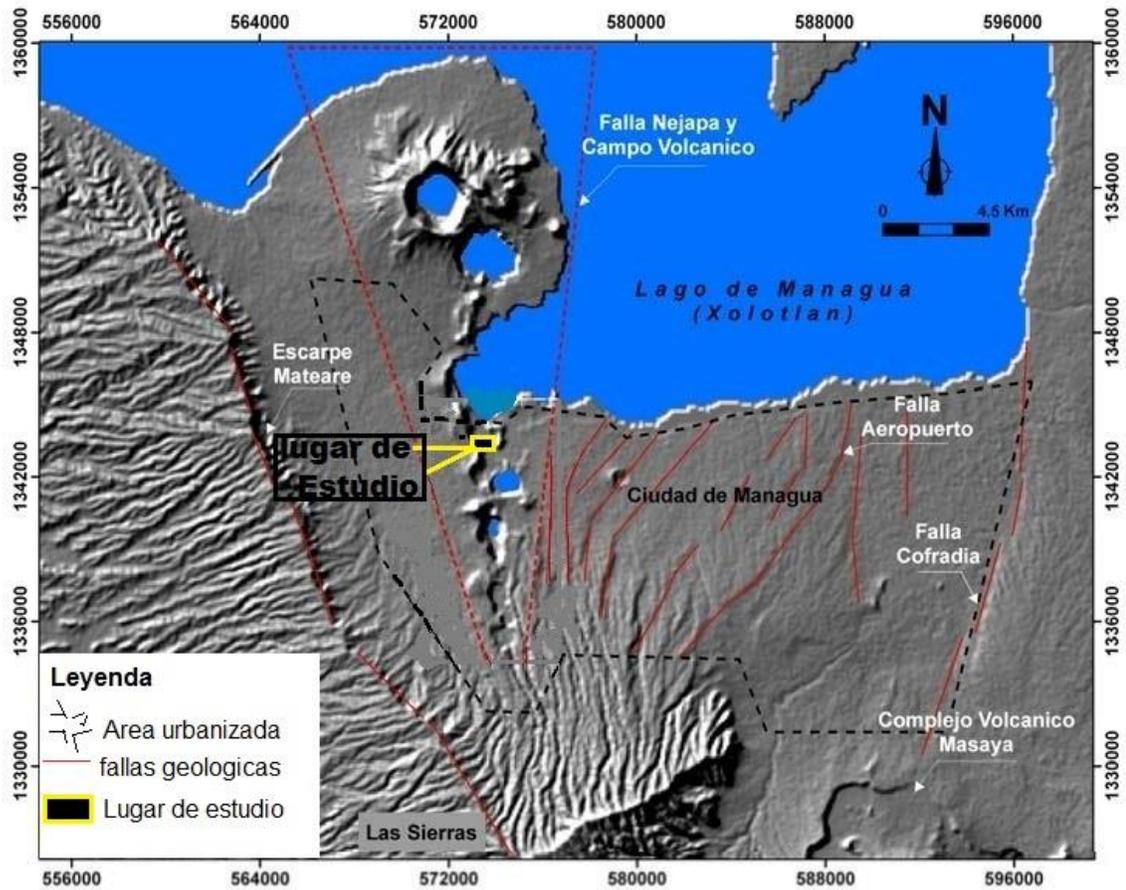


Figura No. 5. Imagen de relieve sombreado (resolución 30 m), del Graben de Managua y sus límites estructurales. El rectángulo amarillo delimita el área de estudio (Avellan.,D,2009).

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### **3.4. Geología de Managua.**

La Ciudad de Managua se asienta en una superficie plana que se inclina suavemente hacia el norte. La topografía en general aumenta a medida que avanza hacia la parte de sur de la ciudad y disminuye a medida avanza hacia el lago Xolotlán Su relieve está caracterizado por la presencia de formaciones de origen volcánico, entre las cuales tenemos: Cráteres Tiscapa, Nejapa, Asososca, Valle Ticomio y otros (Obando, 2009).

Semi - fosa Cuesta El Plomo a la estructura localizada en el segmento central del mismo nombre. Tiene una dirección N-S, con longitud de 2 km y un ancho de 0.8 km, y está delimitada por fallas antitéticas que buzan hacia el SO. El escarpe que forma parte del bloque levantado alcanza alturas de 80 m con respecto a la parte central de la semifosa, la cual se encuentra rellena por materiales aluviales y productos piroclásticos. Asociada a esta estructura se han detectado enjambres sísmicos con eventos no mayores a 1 km de profundidad y magnitudes de 3.4 en la escala de Richter (INETER, 2000).

### **Estratigrafía del área de Managua.**

La estratigrafía de Managua, se caracteriza por una secuencia de depósitos volcano sedimentarios. Litológicamente consiste en una serie de depósitos volcánicos de caída, lavas y flujos piroclástico, los cuales fueron denominados como Grupo Las Sierras, de edad Terciaria (Kuang, J., 1971). Los depósitos más superficiales han sido denominados como Grupo Managua, de edad Cuaternaria, los cuales se caracterizan por ser una secuencia de rocas volcánicas intercaladas por suelos fósiles o suelos residuales.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

De manera general los suelos de Managua lo conforman el Grupo Las Sierras y el Grupo Managua, donde el Grupo Managua es considerado como los suelos superficiales y el Grupo Las Sierras forma parte del basamento. El grupo Managua fue depositado sobre el Grupo Las Sierras (Hradecky, 2001).

**Las capas superficiales:** están formadas por materiales piro-clásticos separados entre capas por suelos orgánicos (Ekholm and Norberg, 1998). Estos suelos son clasificados como no cohesivos (arena y grava con cierto grado de consolidación)

**Basamento:** se le conoce como cantera y está formado por toba volcánica del grupo superior de Las Sierras. Ingenierilmente el Grupo Las Sierras se puede considerar como el basamento (Ekholm and Norberg, 1998) realizaron un estudio geofísicos para conocer la profundidad del basamento la cual varía de 2 a 9m. En ingeniería de terremotos los suelos con velocidades de onda de corte de 760 m/s son considerados como basamento. En la figura. No. 6. Se aprecia la columna Geológica de la estratigráfica de Managua, donde se muestra las capas superficiales y el Grupo Las Sierras.

Entre las posibles fuentes volcánicas de estos depósitos están los aparatos volcánicos Más cercanos a Managua como: la Caldera Masaya, Caldera Apoyeque; los Cráteres Nejapa, Asososca y Tiscapa, las estructuras de colapso como Valle Tícomo; conos de escoria como Cerro Motastepe, Cerro Chiltepe y Loma Chico Pelón, que ahora son remanentes de la antigua actividad volcánica en el área de Managua (Havliček et al., 1997). 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 suelos aluviales y flujos hiperconcentrados que originan suelos arcillosos.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

El trabajo más actualizado sobre la estratigrafía para el área de Managua es el de Kutterolf, et al., (2007). En el cual propone que el área está constituida por tres formaciones que son: Formación La Sierra, Formación Managua y Formación Chiltepe. A continuación se presenta una breve descripción de la columna estratigráfica propuesta por este autor (Figura No.6).

**Formación Las Sierras:** Se encuentra dividida en dos unidades, las cuales están Separadas por un paleosuelo, estas son:

**Tefra Unicit:** Compuesta por un depósito de caída de pómez masivo, con espesor de 20 a 65 cm, en la base presenta una ligera gradación inversa y gradación normal en la parte superior.

**Tefra Fontana:** Es una secuencia de capas de escoria de color negro, muy Vesicular de composición andesíticas, su espesor promedio es de 3 m y es atribuida a Explosiones plinianas de la caldera Masaya.

**Formación Managua:** La formación Managua se compone de seis unidades piroclásticas emplazadas en los últimos 25 mil años, que van de composición basáltica a riolítica. Son atribuidas a erupciones muy explosivas de las calderas de Apoyo y Masaya.

**Pómez de Apoyo (PA):** Está dividida en dos unidades de depósitos de caída, Apoyo Inferior y Apoyo Superior, separadas estas por un paleosuelo. Apoyo Inferior está compuesto por pómez de composición dacítica, su edad a través del método C14 es de 23,890 240 años. Apoyo Superior está compuesto también por pómez dacítica, su edad a través del método C14 es de 24,650 120 años.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

**Tefra San Antonio (TSA):** Es una secuencia de escoria negra, cubierta por oleadas piroclásticas que fueron encontradas al noroeste, norte y sur de la Caldera Masaya, su edad estimada en base al material subyacente es de 6,100 años.

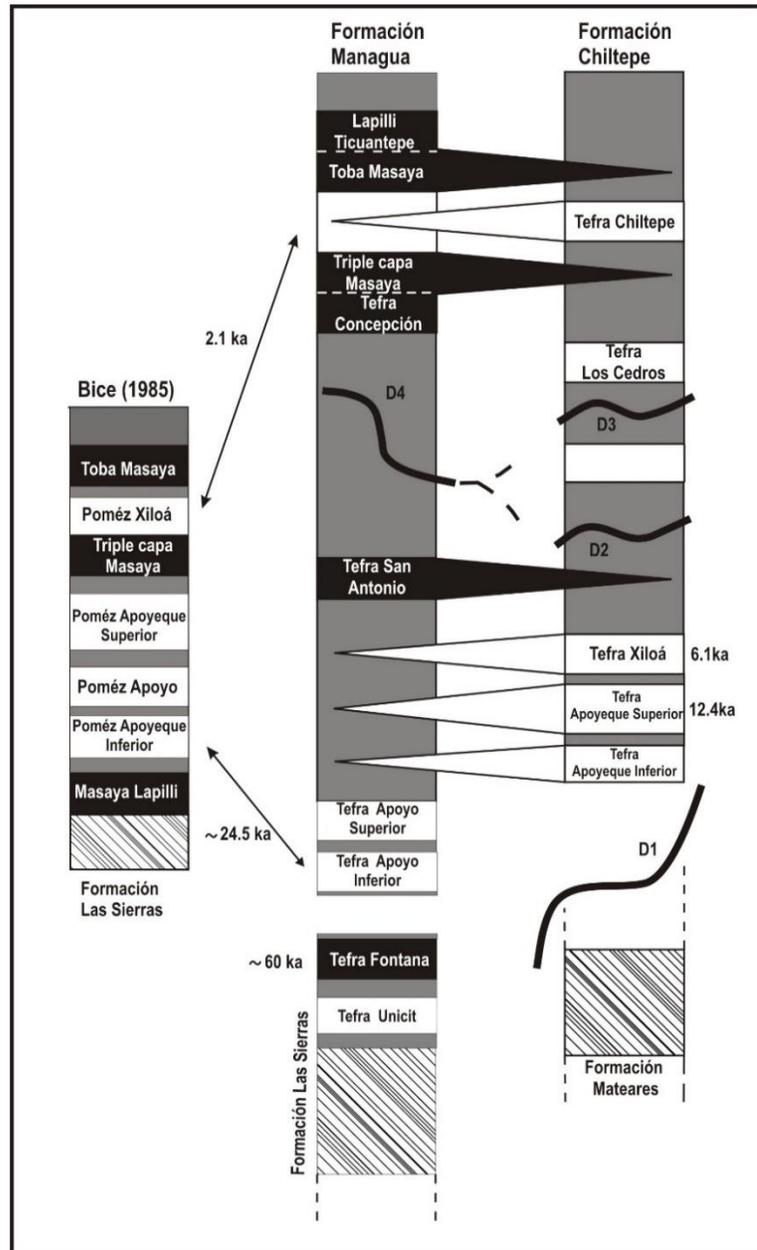


Figura No.6 Columna Estratigráfica del área de Managua (Kutterolf et al., 2007).

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

**Tefra La Concepción (TLC):** Se encuentra expuesta al sur de la Caldera Masaya, donde alcanza hasta 2 m de espesor, consiste en un depósito de caída de escoria muy vesicular de color negro.

**Tripe Capa Masaya (TCM):** Se encuentra al noroeste de la caldera Masaya. Bice, D. (1985), identificó a este depósito como una capa deleznable de ceniza gruesa de color negro, de 5 -10 cm de espesor, limitado por dos capas en la base y la cima de toba gris endurecida, de 1 - 2 cm de espesor.

**Toba Masaya (TM):** Se trata de un depósito de oleadas que se extiende a más de 35 Km de la caldera de Masaya, corresponde a una de las erupciones más jóvenes registrada en la Caldera Masaya, la cual tiene una amplia distribución radial alrededor de la misma, se estima una edad de menos de 2,000 años.

**Lapilli Ticuantepe (TIL):** Consiste en cuatro pequeñas capas de escoria color negro, vesicular, tamaño lapilli; las que están intercaladas por tres capas de cenizas ricas en líticos.

**Formación Chiltepe:** Se trata de una secuencia de depósitos volcánico clásticos, que está separada de la subyacente formación Mateare, por una discordancia regional de más de ~ 17 mil años y que está dividida en seis unidades principales.

**Tefra de Apoyeque Inferior (LAq):** Consiste en un depósito de pómez de caída de color blanco de composición dacítica que se localiza al oeste y noroeste de la Península de Chiltepe.

**Tefra de Apoyeque Superior (UAq):** Es un depósito de caída de pómez, tamaño lapilli, inversamente clasificado, su edad a través del método C14 es de  $12,400 \pm 100$  años.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL  
MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

**Tefra de Xiloá (XT):** Es un depósito de caída de pómez, vesicular y de color blanco. La edad de este depósito por medio del método de C14 aplicado a troncos de árbol carbonizado es de  $6,105 \pm 30$  años.

**Tefra Mateare (MaT):** Consiste en intercalaciones de pequeñas capas formadas por fragmentos de tamaño lapilli, cuya composición varía de dacítica en la base a andesíticas en la parte superior.

**Tefra Los Cedros (CdT):** Es un depósito de pómez de caída recientemente identificado de 15 cm de espesor que se localiza entre Mateare y el occidente de Managua. La composición global de este depósito es dacítica.

**Tefra Chiltepe (CT):** Está compuesta por pómez de caída de composición dacítica, que fueron producto de la erupción más joven y violenta del complejo volcánico Chiltepe.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 3.5. Fallas Geológicas de Managua

Hoy en día en Managua viven alrededor de un millón de habitantes en una zona sísmica y volcánicamente activa. La ciudad cuenta con una elevada densidad de fallas geológicas activas (Brown, Ward, & Plafker, 1973). En 1931 y 1972 ocurrieron los dos terremotos más destructivos en la ciudad.

Las fallas sísmicas locales, en términos estadísticos, generan el 59 % de la amenaza sísmica total en Managua y un 41% restante resulta de la zona de subducción, de otras zonas en la cadena volcánica y de la zona montañosa de Nicaragua. Esto subraya la importancia del conocimiento del fallamiento local en Managua. Se cree que las fallas principales que atraviesan la parte central de Managua tienen pocos kilómetros de longitud y con esta característica pueden generar terremotos relativamente moderados de magnitudes hasta 6.5 Richter. (INETER, 2000)

A raíz de la expansión urbana de la ciudad, a partir de finales de los años 1980 y sobre todo al inicio de 1990, se realizaron estudios geológicos en Managua por consultores y geólogos nacionales, en los que llevaron a cabo estudios a fondos con el objetivo de elaborar un mapa de fallas geológicas y de amenaza sísmica, para alertar a las autoridades de esta Municipalidad (INETER, 2000).

El Cerro Cuesta El Plomo se encuentra ubicada dentro de la falla Nejapa (Espinoza, 2007) como se muestra en la figura No.7. A continuación, donde se muestran las fallas de Managua.

EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

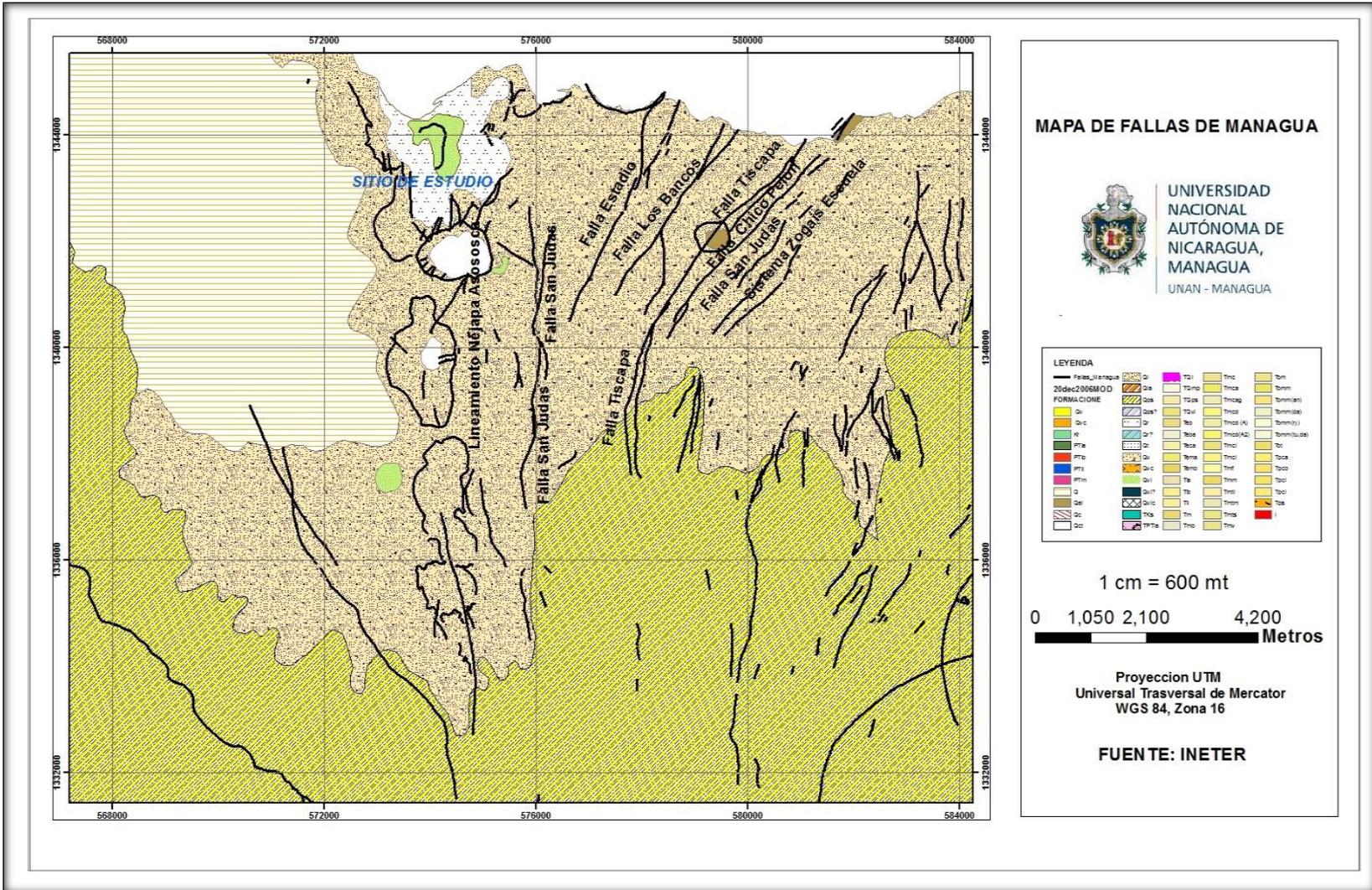


Figura No.7. Mapa de fallas geológicas de Managua (INETER, 2002)

## CAPITULO IV. MARCO DE REFERENCIA

### 4.1. Características geotécnicas de la ciudad de Managua.

Managua está situada en una depresión estructural conocida como el graben de Managua, que es un micro-graben de la depresión Nicaragüense (Parrales & Picado, 2001). Gracias a la existencia de estructuras volcánicas y remantes de antiguos volcanes, el subsuelo de Managua se caracteriza por la presencia de una secuencia vulcano-sedimentaria (Hradecky, 1997).

Después del terremoto de 1972 en Managua, Faccioli (1973) elaboró un estudio de microzonificación en el área de la ciudad y además realizó una propuesta de estratigrafía con base al valor N golpes de los ensayos SPT. El promedio de penetración de los ensayos de SPT fue de 15 metros, y la máxima profundidad alcanzada fue de 34 metros. Faccioli sugiere la siguiente clasificación de suelos.

- Suelos sueltos ( $N < 10$ )
- Suelos medianamente densos ( $10 < N < 50$ )
- Suelos firmes o compactados ( $N > 50$ )

**Los suelos superficiales o suelos sueltos:** compuesto por arenas limosas y pertenecen a los subsuelos de origen aluviales.

**Suelos medianamente densos:** correspondiente a arenas de densidad media, pómez gravas y canteras.

**Suelos firmes o compactados:** corresponde a arenas limosas bien compactadas o talpetate.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL  
MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

**4.2. Descripción geotécnica de la estratigrafía de Managua.**

La ciudad de Managua no tiene una zonificación oficial geotécnica de la estratigrafía de suelos para el casco urbano y sus alrededores. Pero tenemos la clasificación del Reglamento Nacional de la Construcción (RNC, 2007), los suelos están clasificados en cuatro grupos basados en la velocidad de onda de corte a una profundidad no menor de 10 metros, como se aprecia en la tabla No.1

Tabla No.1 Clasificación de suelos de Managua (RNC, 2007)

<b>Clasificación de suelos</b>		
<b>Tipos de suelo</b>	<b>Descripción de los suelos</b>	<b>Velocidad de onda de corte Vs(m/s)</b>
<b>Tipo I</b>	<b>Afloramiento rocoso</b>	<b><math>V_s &gt; 750</math> m/s</b>
<b>Tipo II</b>	<b>Suelos firme</b>	<b><math>360 &lt; V_s \leq 750</math> m/s</b>
<b>Tipo III</b>	<b>Suelo moderadamente Blando</b>	<b><math>180 \leq V_s \leq 360</math> m/s</b>
<b>Tipo IV</b>	<b>Suelo muy blando</b>	<b><math>V_s &lt; 180</math> m/s.</b>

Por otro lado se puede detallar la estratigráfica geotécnica del área de Managua basada en el estudio de Ulloa (2011), donde los suelos superficiales a 6 m de profundidad son materiales muy heterogéneos, correspondiendo a suelos del grupo Managua.

#### **4.3. Aspectos generales de inestabilidad de taludes.**

Los procesos geotécnicos activos de los taludes corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Por otro lado tenemos que los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos (Suarez, 1998).

Se entiende por estabilidad a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento (Fellenius, 1936), esto puede estar asociado en parte por las propiedades del suelo, pendiente del talud, cargas actuantes, es decir, que un talud sea estable o inestable depende de los tipos de materiales que lo conforman y de las consideraciones de carga que se aplican (cargas estáticas y dinámicas).

Existen ciertas diferencias que caracterizan un talud construido por el hombre y una ladera natural, entre los cuales tenemos tipos de materiales que lo conforma, historia geológica, condiciones climáticas a lo largo de tal historia y de la influencia del hombre que ejerce en la actualidad o haya ejercido en el pasado (Suarez, 2011). Esta historia y origen de la formación de taludes, están asociados con los tipos de materiales, a la historia de esfuerzos a que estuvieron sometidos y a la influencia de condiciones climáticas, que a la vez influyen decisivamente en sus condiciones de estabilidad.

#### **4.4. Definición y tipos de taludes**

##### **Definición de Talud:**

Un talud es cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal, aunque también podemos definir un talud como las obras que normalmente se construyen (excavaciones como terraplenes, presas, diques, etc.) conocidos como taludes artificiales, estas inclinaciones deben garantizar la estabilidad de la obra (Bishop A., 1960); por otro lado un talud puede ser de origen natural.

##### **Talud natural:**

Cuando el talud se forma de origen natural, se dice que no existe intervención humana la cual influyo en su debida formación de esta manera se define un talud natural o también conocido como ladera (Corominas & Yague, 1997).

##### **Talud artificial:**

Cuando nos referimos a los taludes artificiales, destacamos que existe intervención del hombre la cual influyo en su formación, citaremos algunos ejemplos: (cortes, presas, relleno, terraplenes, entre otros) (Nemcok, Pasek, & Ryber, 1972).

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 4.5. Clasificación de inestabilidades.

#### 4.5.1 Derrumbes y caídas de bloques.

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 (Varnes, 1978).

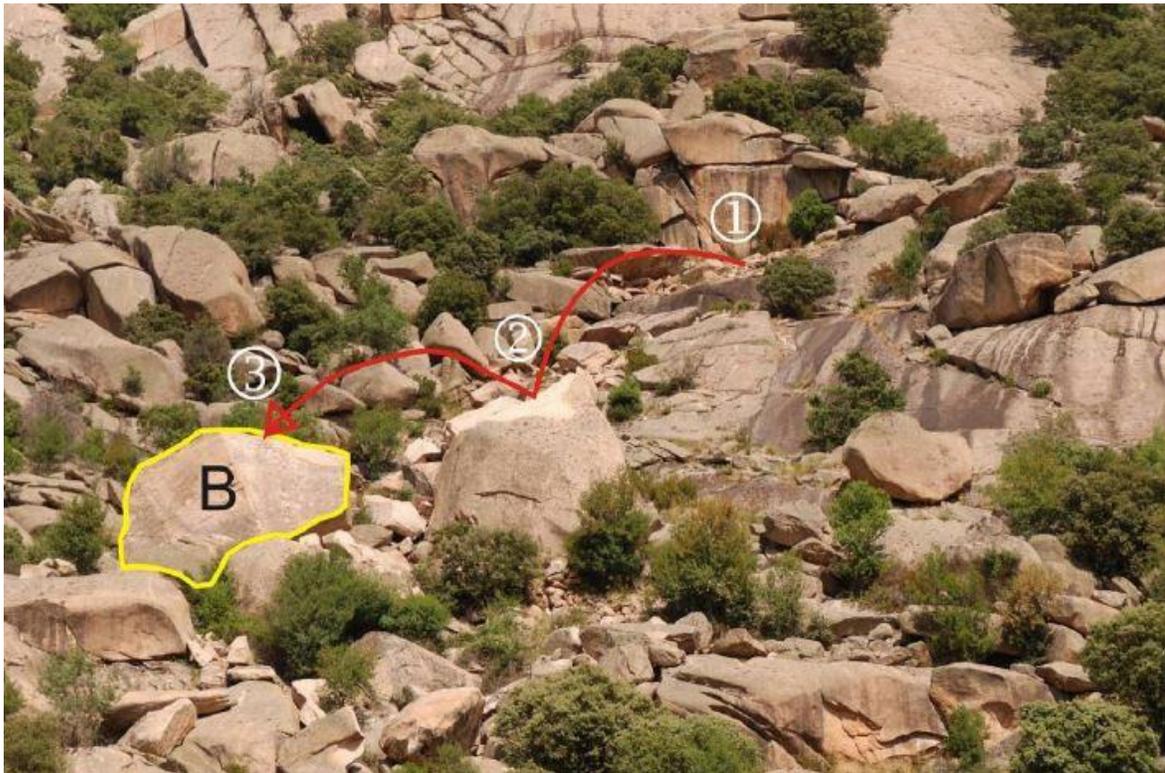


Figura No. 8 Derrumbes y caída de bloques

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 4.5.2. Avalancha de rocas / detritos.

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 (Varnes, 1978).

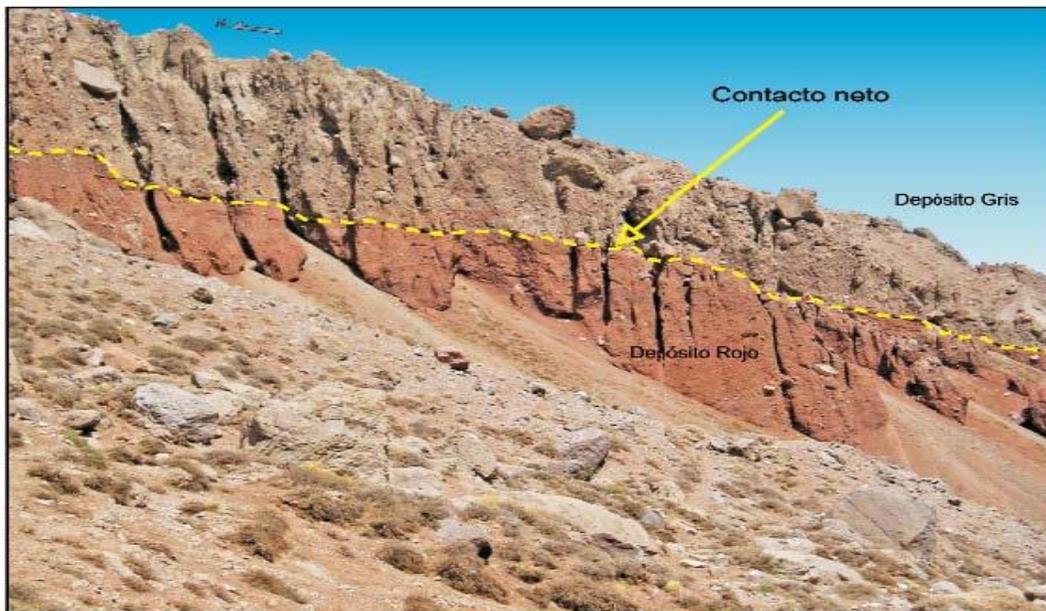


Figura. No. 9 Avalancha de rocas y flujo de detritos

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

**4.6. Método de equilibrio de límite**

Los movimientos de los taludes han sido estudiados desde muchos años mediante la aplicación de los métodos de equilibrio límite, los cuales se basan en las propiedades de resistencia del suelo, sin embargo no se usa la relación esfuerzo-deformación para su respectivo análisis. Las propiedades de esfuerzo deformación son requeridas principalmente cuando se utilizan los métodos de elementos finitos (Kramer, 1996).

Para llevar a cabo este análisis se puede estudiar directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa que se desliza en tajadas o dovelas. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de los métodos posee un cierto grado de precisión y aplicación (Kramer, 1996). En la tabla No.2 se muestran los métodos de equilibrio límite y su aplicabilidad en diferentes tipos de condiciones.

Tabla No. 2. Métodos para estabilizar taludes empleados en este estudio (Abramson & Boyce, 2002).

Métodos Equilibrio de Limite	Superficie de falla	Equilibrio	características
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De fuerzas	No considera fuerzas entre las dovelas. X No satisface equilibrio de fuerzas. X El procedimiento del metodo es simple. X Impreciso para taludes planos. X Factores de seguridad bajos.
Bishop Simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momento	Las fuerzas de cortante entre dovelas son=0. X Reduce número de incógnitas. X No se establecen condiciones de equilibrio para una dovela
Janbú Simplificado (Jambu 1968)	De cualquier de las superficies de falla	De fuerzas	Las fuerzas de cortante entre dovelas son=0. X No satisface equilibrio de momentos. X Utiliza un factor de corrección Fo para tener en cuenta este posible error. X Los factores de seguridad son bajos
Spencer (1967)	De cualquier de las superficies de falla	Momento y fuerzas	X Inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. X . Satisface el equilibrio estático.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

Los métodos utilizados en el presente estudio fueron Spencer, Bishop simplificado, Fellenius, Janbu ya que estos métodos son aplicados para analizar toda superficie de falla además satisface el equilibrio de fuerzas y momentos, es por esto que a continuación los detallamos.

### 4.6.1. Método de Fellenius

En la figura 15. Se muestra un talud con una superficie potencial de falla definida con el arco AB. La masa de suelo que se encuentra dentro de esta superficie de rotura es dividida en varias dovelas. El talud considerado debe ser una sección transversal representativa del talud real, el que será estudiado por cada metro lineal.

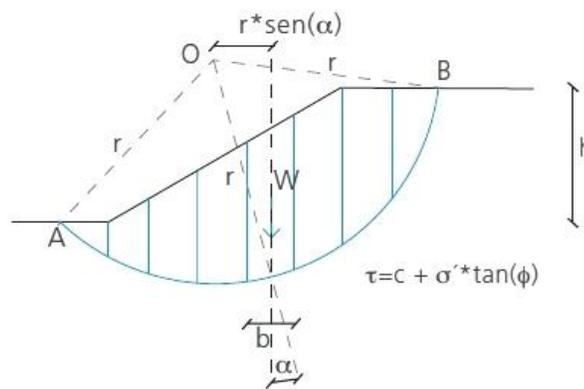


Figura No.10 Esquema del análisis de estabilidad de taludes por el método de Fellenius. Sanhueza Plaza & Rodríguez Cifuentes, 2013

Las fuerzas que actúan sobre el talud, se pueden apreciar en la figura 16, donde se toma la n-ésima dovela como ejemplo:

Donde,

W: Resultante peso dovela

R: Fuerza que actúa como reacción al peso de la dovela

$N_n$  y  $N_{(n+1)}$ : Fuerzas normales que actúan en cada lado de la dovela

$T_n$  y  $T_{(n+1)}$ : Fuerzas tangenciales que actúan en cada lado de la dovela

$N_r$ : Componente normal de la reacción R

$T_r$ : Componente tangencial de la reacción R

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

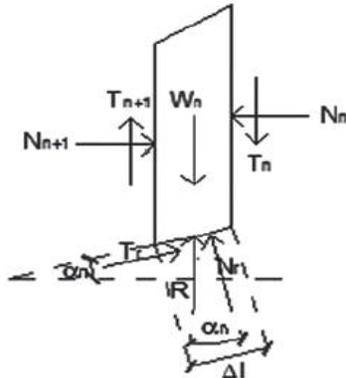


Figura No.11 Esquema de las fuerzas que actúan en la  $\psi$  dovela, de acuerdo al método de Fellenius. Sanhueza Plaza & Rodríguez Cifuentes, 2013.

Como las fuerzas  $N_n$ ,  $N(n+1)$ ,  $T_n$  y  $T(n+1)$  son complejas de determinar, es posible tomar como consideración que las resultantes de  $N_n$  y  $T_n$  son iguales en magnitud a las resultantes de  $N(n+1)$  y  $T(n+1)$ , y que sus líneas de acción coinciden, entonces por la consideración de equilibrio tomada (ec.1):

$$N_r = W_n * \cos(\alpha_n)$$

Además, la resistencia al corte que ofrece el suelo, se escribe como (ec.2):

$$T_r = \tau * (\Delta l) = \frac{\tau * (\Delta l)}{FS} = \frac{1}{FS} * [c + \sigma' * \tan(\phi)] * \Delta l$$

Donde el esfuerzo normal,  $\sigma'$ , considerado en la ecuación anterior, es igual a (ec.3):

$$\frac{N_r}{\Delta l} = \frac{W_n * \cos(\alpha_n)}{\Delta l}$$

Dentro de las características del método de Fellenius, está el hecho de que este satisface el equilibrio de momentos, por lo que al considerar esta condición, se tiene que el momento producto de las fuerzas movilizadas sobre el centro O del círculo

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

de falla, es igual al momento que resulta del actuar de las fuerzas resistentes sobre

O. Entonces (ec.4):

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n * \sin (\alpha_n) = \sum_{n=1}^{n=p} \frac{1}{FS} * \left[ c + \frac{W_n * \cos (\alpha_n)}{\Delta l} * \tan (\phi) \right] * \Delta l * r$$

De la ecuación anterior:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c * \Delta l + W_n * \cos (\alpha_n) * \tan (\phi)]}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n * \sin (\alpha_n)}$$

Para encontrar el FS del círculo de rotura crítico, es decir, el mínimo FS del talud, se deben realizar varios intentos reubicando el centro del círculo de falla.

### 4.6.2. Método de Bishop simplificado.

El método propuesto por Bishop en 1955 analiza la estabilidad de un talud con SPF del tipo circular, tomando en cuenta el efecto de las fuerzas entre dovelas.

Al tratarse de un Método de Dovelas, la masa de suelo deslizante debe ser dividida en n fajas verticales (figura 17a), de manera de estudiar las fuerzas (figura 17b) y momentos involucrados en cada una de las rebanadas definidas y determinar así el FS asociado al caso. (Sanhueza Plaza & Rodríguez Cifuentes, Análisis Comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales, 2013)

EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

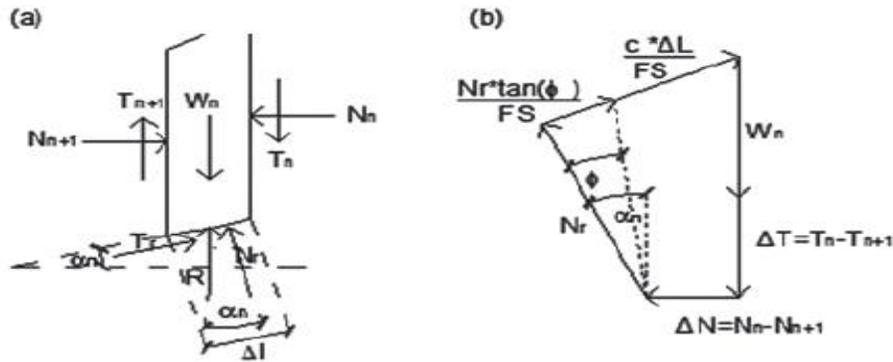


Figura No.12 Análisis de Estabilidad de Taludes por el Método de Bishop. (a) Esquema de las fuerzas que actúan en la dovela. (b) Diagrama de fuerzas en equilibrio de la n-ésima dovela. Sanhueza Plaza & Rodríguez Cifuentes, 2013  
De este análisis es posible deducir las siguientes ecuaciones (ec.6, ec.7):

$$T_r = N_r * \tan(\phi) + c * \Delta l = N_r * \left[ \frac{\tan(\phi)}{FS} \right] + \frac{c * \Delta l}{FS}$$

$$N_r = \frac{W_n + \Delta T - \left[ \frac{c * \Delta l}{FS} \right] * \sin(\alpha_n)}{\cos(\alpha_n) + \frac{\tan(\phi) * \sin(\alpha_n)}{FS}}$$

Una vez obtenidos los diagramas de cuerpo libre para cada una de las dovelas, es posible desarrollar las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y de momentos, obteniendo la expresión que permite determinar el FS de cada SPF analizada. De esta manera (ec.8):

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n * r * \sin(\alpha_n) = \sum_{n=1}^{n=p} T_r * r$$

Donde (ec.9)

$$T_r = \frac{1}{FS} * [c + \sigma' * \tan(\phi)] * \Delta l = \frac{1}{FS} * [c * \Delta l + N_r * \tan(\phi)]$$

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Al analizar el equilibrio de fuerzas verticales de cada dovela, es posible obtener el valor de las fuerzas N, para así reemplazarlas en la ecuación 9 y obtener lo siguiente (ec.10):

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c*b + W_n * \tan(\phi) + \Delta T * \tan(\phi)] * \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} [W_n * \sin(\alpha_n)]}$$

Donde (ec.11),

$$m_{\alpha(n)} = \cos(\alpha_n) + \frac{\tan(\phi) * \sin(\alpha_n)}{FS}$$

Este método considera dentro de sus hipótesis fundamentales, el hecho de que las fuerzas de contacto entre dos dovelas sí se toman en cuenta, pero no resultan influyentes, puesto que se encuentran equilibradas. Para aspectos de cálculo, estas fuerzas se consideran igual a cero, con lo que la ecuación 11 se puede simplificar (ec.12):

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c*b + W_n * \tan(\phi)] * \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} [W_n * \sin(\alpha_n)]}$$

Es posible notar que el valor del FS no aparece de manera explícita, dado que se presenta a ambos lados de la ecuación, por lo que se debe realizar un proceso interactivo para poder encontrarlo.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

**4.6.3. Método de Janbu**

La principal consideración de este método es que las fuerzas entre dovelas son solo horizontales, no tomando en cuenta las fuerzas cortantes. A diferencia de los métodos anteriores, en este caso la SPF no debe ser obligatoriamente circular. Esto se refleja en la aplicación de un factor de corrección  $f_0$ , el que depende netamente del nivel de curvatura que presente la superficie de rotura (figura 13).

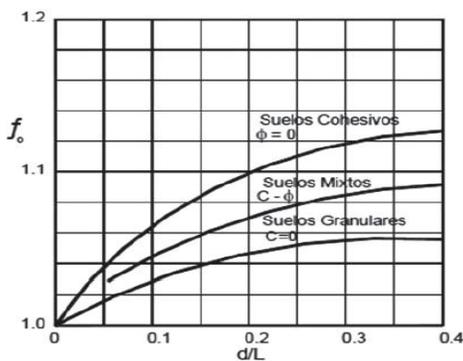


Figura No.13 Diagrama del factor  $f_0$  utilizado en el método de Janbu (Suárez, 2011)

Para determinar la estabilidad de un talud, Janbu considera el cálculo de un FS, el cual satisface el equilibrio de esfuerzos (ec.13):

$$FS = \frac{f_0 \cdot \sum \left\{ [c \cdot b + W \cdot \tan(\phi)] \cdot \frac{1}{\cos(\alpha) \cdot m \cdot a} \right\}}{\sum W \cdot \tan(\alpha)}$$

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 4.6.4. Método de Spencer.

El método Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momento como de esfuerzo. El procedimiento de Spencer, (1967) se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas de las otras, ósea, que tiene el mismo ángulo de inclinación.

Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momento las cuales se resuelven para calcular el factor de seguridad y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas.

Para resolver las ecuaciones factor y ángulo se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error.

Una vez se obtienen los valores de factor y ángulo se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales (Suarez, J., 2002).

## **CAPITULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Este análisis geológico-geotécnico se obtuvo con datos relevantes para la correcta ejecución del estudio y se elaboró en base a ensayos de campo y de laboratorio adecuados al tipo de estudio en este caso inestabilidad, incluyendo las recomendaciones propias en función de la naturaleza de las actuaciones (taludes).

El análisis "geotécnico" hizo alusión al conjunto de reconocimientos y ensayos y pruebas realizadas al terreno y a la interpretación de los datos obtenidos en los mismos, que permitieron caracterizar las diversas propiedades presentes en la zona de estudio en función de los objetivos y características del estudio

### **Campo Volcánico Cuesta de El Plomo**

Se propone con el nombre Campo Volcánico Cuesta El Plomo, a un conjunto de estructuras volcánicas localizadas en la porción central del área de estudio, que tiene una longitud de 7 km y un ancho de 3 km y que emplazan a las estructuras que conforman el Campo Volcánico Apoyéque-Xiloá. Está conformado por seis estructuras volcánicas mono genéticas, dentro de las que se encuentran: Anillo de Toba El Satélite, Refinería-Los Arcos, Cuesta El Plomo y Cerro Partido, todos cubiertos por la Pómez Apoyeque Superior de edad 12,400 años. Las otras dos estructuras se denominan Maar Asososca y Cono de Escoria La Embajada los cuales no están cubiertos por la Pómez Apoyeque Superior (Espinoza, 2007). Estas estructuras se describen a continuación:

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### Anillos de Toba Cuesta de El Plomo

El Anillo de Toba El Satélite tiene una dirección N15 O con altura de 200 m, con diámetro mayor de 0.4 km y menor de 0.2 km. El Anillo de Toba Refinería Los Arcos tiene una dirección N10O con altura de 160 m, con diámetro mayor de 1 km y menor de 0.5 km. El Anillo de Toba Cuesta el Plomo tiene dirección N15O con altura de 200 m, diámetro mayor de 2 km y menor de 800 m. El Anillo de Toba Cerro Partido tiene dirección N8E con altura de 160 m, con diámetro mayor de 3.5 km y menor (Espinoza, 2007).

De estos conos de escorias solo se exponen los extremos oeste ya que son estructuras rotas y colapsadas hacia el este. Para el Anillo de Toba Cerro Partido se infirió un diámetro hacia el este de 2.1 km hasta la Isla del Amor, la cual presenta una estratigrafía similar. Para el Anillo de Toba El Satélite se infirió un diámetro de 1 km hasta el Maar Asososca. Estos conos de escorias están compuestos por oleadas piroclásticas con intercalaciones de paleosuelos y la pómez de caída de Apoyeque Superior (Espinoza, 2007).

En las paredes de los anillos de toba se reconocieron las siguientes características estratigráficas, la parte basal está compuesta por intercalaciones de 25 horizontes de oleada piroclásticas compactas de 5 m de espesor. La parte basal de estos horizontes está constituido por ceniza y lapilli cuyo tamaño varía desde 1 cm hasta 10 cm generalmente de color oscuro; la cima está compuesto de ceniza y con un 30% de líticos. Posteriormente arriba de estos horizontes se sobrepone un paleosuelo de 50 cm de espesor de color marrón, el cual está cubierto por un paquete de oleadas piroclásticas con espesores que varían desde 3 a 8 m el cual está afectado por impactos balísticos. Hacia la cima se localiza un paleosuelo de 60 cm de espesor de color marrón y un paquete de pómez de caída de Apoyeque Superior de 70 cm de espesor y de coloración gris blanca con cristales de

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

plagioclasas y cuarzo. Descansando concordantemente se encuentra otro paquete de oleada piroclásticas de aproximadamente 12 m de espesor con estructuras en forma de dunas y anti dunas, con estructuras de impactos de bloques de tamaño de 30 cm, de color gris oscuro y textura porfídica, donde se reconocieron cristales de plagioclasas y horblenda embebidos en una matriz afanítica (Espinoza, 2007).

En toda el área de estudio las características geológicas observadas y las clases de rocas expuestas en la superficie como las encontradas en el subsuelo, son de origen predominantemente volcánico.

En este estudio, se encontró 2 unidades de toba la cual dividimos en 2: TCP Inferior con unas oleadas piroclásticas y TCP Superior depósito volcánico un depósito de caída. La unidad inferior, cubre discordantemente a la Ignimbrita de La Formación Las Sierras al NE de La Cuesta El Plomo y por debajo de la tefra Apoyeque Superior, por encima de esta secuencia, se encuentra en contacto erosivo y discordancia angular (Foto1).

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA



Foto 1. Descripción unidades litológicas encontradas, parte superior un depósito volcánico toba cuesta el plomo superior(TCP-S), en el intermedio la tefra apoyeque superior (TqAS) y depósito volcánico toba inferior (TCP-I). Coordenadas (UTM 573266 1343421).

La unidad TCP- inferior depósito volcánico de unas (oleadas piroclásticas 8m de espesor), está conformada por una capa de 7 m de espesor en la base de estructura masiva, color gris oscuro, endurecida, conformada de ceniza, fragmentos redondeados de lapilli fino y líticos balísticos de composición andesítica y sub-redondeados grises en la cima (diámetros de hasta 1.5 m). (Foto 2)

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA



Foto, 2. TCP- inferior oleadas piroclásticas de unos 12m de espesor, con capa de 7m en la base con estructura masiva gris oscuro endurecida conformada por cenizas fragmentos de lapilli, líticos balísticos. Coordenadas (UTM 573180 1343390)

También observamos un paquete de Capas seudo-estratificadas endurecida, de al menos 3.5 m de espesor formadas por deposición principalmente de caída, Estas capas muestran una inclinación en contra de la pendiente provocadas posiblemente por tectonismo o por fallamiento, estas oleadas piroclásticas está conformada principalmente por fragmentos de lapilli media a finos y ceniza de color gris, sub redondeados, en contacto grano a grano, con líticos de composición andesítica-basáltico (Foto, 3).

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA



Foto. 3. Depósito volcánico (oleadas piroclásticas) capas seudo estratificadas con una inclinación en contra pendiente posiblemente originados por tectonismo o fallamiento, conformada por fragmentos de lapilli ceniza, líticos. Coordenadas UTM (573451 1343420).

La porción superior por encima de las capas esta un depósito de caída, de estructura masiva, de hasta 1 m de espesor mal seleccionada, con líticos tamaño lapilli gruesos, soportados por fragmentos de lapilli y cenizas.

La TCP-Superior, encontramos un depósito de caída de 2 m de espesor. Está constituida por una parte basal, en contacto erosivo sobre la Tefra Apoyeque Superior, con un espesor ~2 m continuo lateralmente, de estructura masiva, color gris, deleznable. La Forman fragmentos tamaño lapilli medio a fino y ceniza,

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

con líticos balísticos de composición andesítica-basáltica, de hasta 20 cm de diámetros. (Foto, 4).



Foto, 4. Depósito de caída en contacto erosivo, con fragmentos tamaño lapilli, de medio a fino y ceniza con líticos balísticos de composición andesíticas basáltica de hasta 20cm de diámetro. Coordenadas UTM 573178 1343382.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

Falla con 80 grados de inclinación y un rumbo N 50 W la cual se observa el desplazamiento del bloque que baja creando una zona de desprendimiento y derrumbe al igual que zonas de deformación producto de esfuerzos al que está sometido dicho punto (Foto, 5).



Foto 5 falla tipo normal con un rumbo N 50 W y una inclinación de 80 grados, debido al fallamiento se observa una zona de derrumbe coordenadas. (UTM 573278 1343429).

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### 5.1. Análisis geológico

La caracterización geológica correspondiente se definió 3 depósitos de manera general Tcp-s, Taqs-s, y Tcp-i. Dentro de los depósitos definimos 4 estratos, en la parte superior y como primer estrato un suelo reciente con un espesor de 1m, Seguido del segundo estrato 2m de depósitos de caída tamaño lapilli y una capa delgada no visible de pómez.

Tercer estrato una toba lítica color oscura amarillento con fragmentos de rocas tamaño lapilli una matriz de ceniza con una estructura heterogénea con abundante óxido de hierro.

Parte inferior y 4 estratos un depósito volcánico de toba con fragmentos rocosos granulometría pseudo estratificada con fragmentos de lapilli este depósito se interpretó como unas oleadas piroclásticas y flujo de detritos debido a la presencia de fragmentos rocosos hasta con 60 y 70 cm de longitud las cuales se interpretaron en una columna estratigráfica a escala 1:100, como se observa en la siguiente figura.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

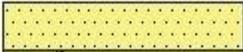
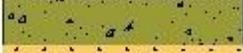
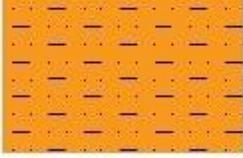
Columna Estratigráfica Cuesta El Plomo					
Era	Periodo	Serie	Espesor m	Simbología	Descripción
CENOZOICA	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	1		Suelo Reciente
			2		Depósito de Caída
			1		Toba Lítica
			8		Depósito Oleadas Piroclásticas
Inestabilidad de Laderas					
Elaborado por: Br.Patricia Carcache Br.Jessenia Luna		Seminario de Graduación UNAN-MANAGUA  Fecha: Enero 2018 Escala: 1:100		Tutor: Msc. Gema V.  Asesor: Msc. Horacio U.	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA UNAN - MANAGUA

Figura. No.14 Columna estratigráfica cuesta el plomo.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

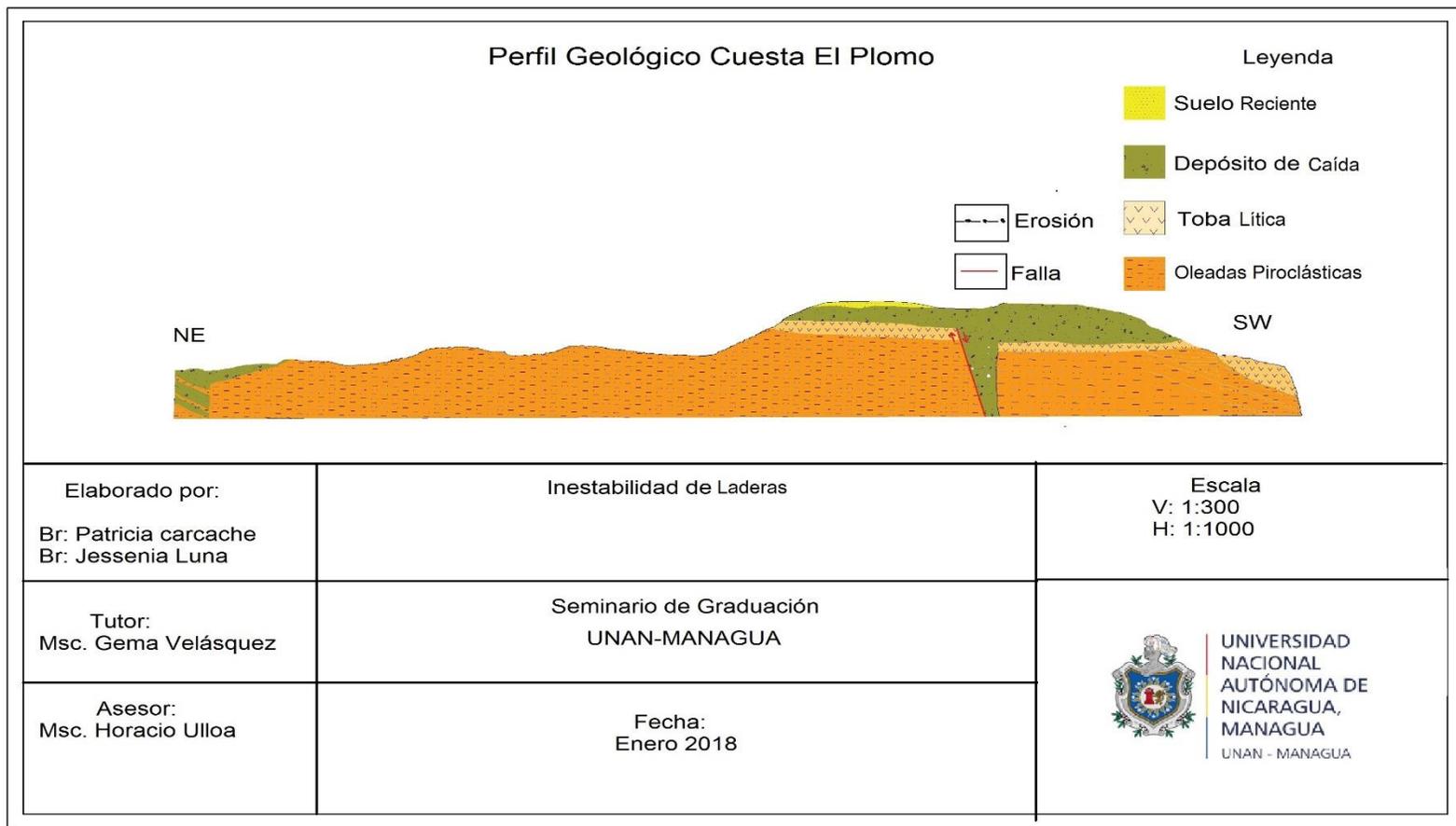


Figura No.15 Perfil geológico cuesta el plomo

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

Observamos un depósito de capas pseudo estratificadas de flujo con intercalaciones de depósito de caída en una contra pendiente a la del talud, estas capas fue ubicada en el perfil geológico.

En el perfil en sentido NE- SW se aprecia una falla con  $80^\circ$  de inclinación y un rumbo N  $50^\circ$  W coincidimos el cual se ve claramente el desplazamiento del bloque que sube, creando una zona de desprendimientos y deslizamiento y zonas de deformaciones producto de esfuerzos al que está sometido dicho punto, el estrato ubicado en la parte superior un depósito de caída se ha venido hasta la parte baja del talud producto de los esfuerzos al que está sometido.

Analizamos las condiciones, factores condicionantes y desencadenantes que favorecen al deslizamiento.

Como factor condicionante:

La desfavorable disposición de los estratos los depósitos subyacentes están a favor de la pendiente N  $53^\circ$  E con una inclinación de  $45^\circ$ , los estratos están inclinados hacia el talud.

En toda la longitud del talud pudimos constatar que las rocas están totalmente fracturadas y fácilmente están sujetas a caerse el alto fracturamiento e debido a que desde un punto de vista tectónico, esta ladera se ubica encima del lineamiento Nejapa-Miraflores. Se midieron sistemas de fracturas entre los (N18 W a N 20 W.)

Como factores desencadenantes:

Debido al fracturamiento que hace más susceptible a la roca, las vibraciones de los vehículos livianos como transporte pesado causa desprendimientos leves hasta causar una zona inestable provocando deslizamientos que pueden intensificarse durante la época de invierno la cual remueve el material, o por sismos cercanos al sitio.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

En el estudio de inestabilidad se levantó un inventario en toda la longitud del talud, dentro de las coordenadas: UTM-WGS84: N1343373–E 573151, lo cual se clasifico en una tabla con las coordenadas, alturas m.s.n.m y la descripción de cada punto definición de la tipología de cada movimiento (tabla 3.)

Tabla 3. Inventario de desprendimientos de roca y deslizamientos de caída (arena) en la cuesta el plomo.

PUNTOS DE CAIDA DE ROCA Y DETRITO EN LA CUESTA EL PLOMO.				
No.	Coordenadas		Altura	Descripción.
1	1343426	573267	97	Detritos, Y bloques de toba de hasta 50 cm diámetro.
2	1343433	573227	98	Detritos.
3	1343440	573286	95	Bloque de toba 50 cm diámetro y detrito
4	1343447	573200	92	Detritos, y algunos bloques de toba.
5	1343453	573322	91	Tobas de 40cm hasta 2m de diámetro.
6	1343453	573351	89	Sistema de drenaje inestable con bloques Toba desprendidos desde 60 cm hasta 2m de diámetro altamente fracturados.
7	1343446	573415	74	Desprendimientos de bloques de toba de 80 cm de diámetro rodados de 2 a 5 cm diámetro.
8	1343444	573425	76	Desprendimiento de bloque de toba.
9	1343391	573489	68	Caída de algunos clastos de roca.
10	1343471	573400	85	Toba lítica de 2.6 m de largo y 2.2 m de ancho.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL  
MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

**5.2. Análisis geotécnico.**

Las investigaciones geotécnicas consistieron en la realización de trabajos de campo ensayos de laboratorios y evaluación de inestabilidad de talud con métodos computacionales. Entre los análisis geotécnicos realizados están el de granulometría, porcentaje de humedad, gravedad específica, densidad de roca, porcentaje de absorción. Descritos A continuación.

**Análisis de Laboratorio:**

Los ensayos fueron llevados a cabo con las muestras extraídas en campo, se realizaron pruebas de las propiedades física-mecánicas de suelos y roca en el laboratorio de Geotécnico del CIGEO (centro de investigaciones de geología y geofísica) UNAN-Managua. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Los ensayos estándar de mecánica de suelos realizados fueron los siguientes:

Tabla No.4. Ensayos realizados de laboratorio.

<b>Ensayos</b>	<b>Normas estándares</b>
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422
Porcentaje de humedad	ASTM D-2216
Gravedad específica	ASTM D-558
Densidad unitaria total	ASTM D-C29
Densidad de saturación	ASTM D-2434
Porcentaje de absorción	ASTM D-1557

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

En la foto 6. a.) se observa parte de las muestras de suelos usadas en la clasificación granulométrica para determinar el tipo del material, b) así como los tamices de diferentes diámetros por el que pasaron las muestras en estudio.



a.



b.

El análisis consistió en pesar doscientos gramos de cada muestra y pasarlo por un paquete de tamices de diferentes diámetros y pesar el porcentaje retenido en cada tamiz con esto pudimos clasificar los materiales de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (SUCS).



a)



b)

En la Foto No. 7 se observa parte del procedimiento para la determinación de la gravedad específica de cada muestra. a).peso del frasco más agua hasta los 200 mm b) Peso del frasco más agua más suelo.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

El procedimiento consistió en pesar 60 gramos de muestra previamente triturado con un mortero, luego pesar un frasco graduado e introducirle agua hasta los 200 mm y volver a pesar e introducir un termómetro para conocer la temperatura del agua, posteriormente se vertieron los 60 gramos de la muestra en el frasco y se pesó, con una bomba de vacío se extrajo el aire retenido en la muestra, se pesó y se volvió a medir su temperatura.



a)



b)

Foto No 8. Se observan tres muestras las que fueron cortadas como un cubo casi perfecto para determinar su volumen. a) la muestras representan una toba, un flujo y una toba de ceniza estas muestras fueron extraídas y son representativas del lugar de estudio.

Con las muestras observadas en la foto número ocho se hicieron análisis de Densidad unitaria total, Densidad de saturación y porcentaje de absorción.

El procedimiento consistió en medir las dimensiones de las muestras, largo ancho y alto multiplicarlo y obtener su volumen, pesar las muestras individualmente

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

obteniendo su peso seco, luego introducirlas en agua y pesar su masa húmeda luego se secaron en el horno de laboratorio por tres horas y se volvió a pesar su masa.

### **5.3. Contenido de humedad ASTM D-2216.**

Este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica.

La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, donde la humedad de un suelo es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Tabla No.5. Análisis del porcentaje humedad.

PORCENTAJE DE HUMEDAD.				
CODIGO	Ww tara (g)	Wh (g)	Ws (g)	% DE HUMEDAD
Muestra 1	3.05	26.32	26.11	0.910667823
Muestra 2	3.06	29.21	28.38	3.278041074
Muestra 3	3	57.4	55.13	4.354498369

La tabla 5 muestra los resultados obtenidos del análisis del porcentaje de humedad, el procedimiento consistió en pesar la tara, obtener el peso húmedo de la muestra y posteriormente depositara en el horno de laboratorio con una temperatura de 110°C por dos horas, al retirar la muestra se dejó enfriar se pesó y determinó su peso seco. Como se observan en los resultados el contenido de humedad es muy bajo del 1-4%.y fue determinada por la ecuación siguiente:

$$\% H = \frac{W_h - W_t}{W_{sol} - W_t} \times 100$$

%H: Porcentaje de Humedad.

Wh: Peso húmedo.

Wt: Peso de la tara.

Wsol: Peso sólido

#### **5.4. Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422.**

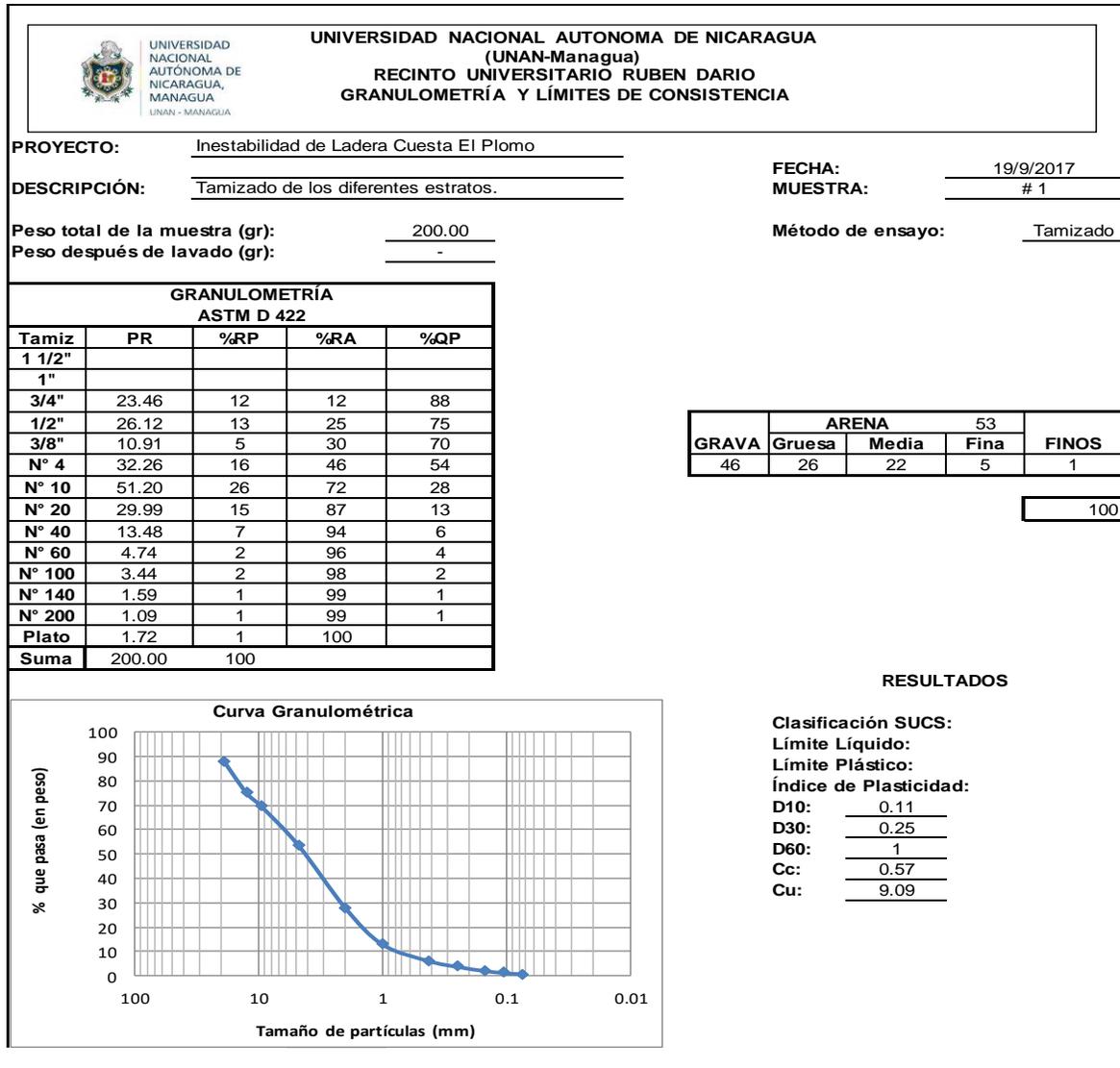
El ensayo granulométrico para su realización se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original (suelo o sedimento mezclado) y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomamos por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices (Conservación de la Masa).

Una vez realizado el ensayo tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, procedimos a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

En la tabla 6.1, 6.2. 6.3. A continuación muestra el porcentaje retenido en los diferentes tamices.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Tabla 6.1 Porcentajes retenido en los diferentes tamices, coeficiente de curvatura y 9uniformidad para la clasificación de la muestra, según la metodología (SUCS).



La muestra número 6.1. Fue clasificada como una arena mal graduada (SP), el mayor porcentaje corresponde a arena con un 53 %, Arena gruesa, 22% de arena media, 5% de arena fina y un 46% de grava como se muestra en la tabla 7.1. Este es el porcentaje retenido a partir de la malla número 4. El 1% de finos retenido en el tamiz número 200.

El porcentaje retenido en la malla número 200 es de 1%. Siendo un material no plástico sin arcillas ni limos. El rango para arenas mal graduadas con menos del cinco por ciento de finos está dado por:  $Cu > 6$  y / o  $1 > Cc < 3^e$ .

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

Tabla 6.2 Porcentajes retenido en los diferentes tamices, coeficiente de curvatura y uniformidad para la clasificación de la muestra, según la metodología (SUCS).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA (UNAN-Managua) RECINTO UNIVERSITARIO RUBEN DARIO GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE CONSISTENCIA	
<b>PROYECTO:</b>	Inestabilidad de Ladera Cuesta El Plomo
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Tamizado de los diferentes estratos.
<b>FECHA:</b>	19/9/2017
<b>MUESTRA:</b>	# 2
<b>Peso total de la muestra (gr):</b>	200.00
<b>Peso después de lavado (gr):</b>	-
<b>Método de ensayo:</b>	Tamizado

GRANULOMETRÍA ASTM D 422				
Tamiz	PR	%RP	%RA	%QP
1 1/2"				
1"				
3/4"	6.28	3	3	97
1/2"	27.77	14	17	83
3/8"	11.10	6	23	77
N° 4	21.27	11	33	67
N° 10	33.94	17	50	50
N° 20	31.38	16	66	34
N° 40	19.95	10	76	24
N° 60	15.69	8	84	16
N° 100	21.07	11	94	6
N° 140	7.29	4	98	2
N° 200	2.10	1	99	1
Plato	2.16	1	100	
<b>Suma</b>	200.00	100		

GRAVA	ARENA			FINOS
	Gruesa	Media	Fina	
33	17	26	23	1
				100

**Curva Granulométrica**

**RESULTADOS**

**Clasificación SUCS:**  
**Límite Líquido:**  
**Límite Plástico:**  
**Índice de Plasticidad:**  
**D10:** 0.016  
**D30:** 0.39  
**D60:** 1  
**Cc:** 9.51  
**Cu:** 62.50

La muestra 6.2 fue clasificada como una arena mal graduada (SP), el mayor porcentaje corresponde a arena con un 66 %, 17% de arena gruesa, 26% de arena media, 23% de arena fina y un 33% de grava, y un 1% de finos como se muestra en la tabla 6.2. Siendo un material no plástico sin arcillas ni limos.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

El rango para arenas mal graduadas con menos del cinco por ciento de finos está dado por:  $Cu > 6$  y  $1 > Cc < 3$

Tabla 6.3 Porcentajes retenidos en los diferentes tamices, coeficiente de curvatura y uniformidad para la clasificación de la muestra según la metodología (SUCS).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA (UNAN-Managua) RECINTO UNIVERSITARIO RUBEN DARÍO GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE CONSISTENCIA			
<b>PROYECTO:</b>	Inestabilidad de ladera Cuesta El Plomo.	<b>FECHA:</b>	19/9/2017
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Tamizafo de los diferentes estratos.	<b>MUESTRA:</b>	# 3
<b>Peso total de la muestra (gr):</b>	200.00	<b>Método de ensayo:</b>	Tamizado
<b>Peso después de lavado (gr):</b>	-		

GRANULOMETRÍA ASTM D 422				
Tamiz	PR	%RP	%RA	%QP
1 1/2"				
1"				
3/4"	73.38	37	37	63
1/2"	26.71	13	50	50
3/8"	6.18	3	53	47
N° 4	14.33	7	60	40
N° 10	22.08	11	71	29
N° 20	21.51	11	82	18
N° 40	16.94	8	91	9
N° 60	8.03	4	95	5
N° 100	5.15	3	97	3
N° 140	3.00	2	99	1
N° 200	0.91	0	99	1
Plato	1.78	1	100	
<b>Suma</b>	200.00	100		

GRAVA	ARENA			FINOS
	Gruesa	Media	Fina	
60	11	19	9	1
				100

**Curva Granulométrica**

**Resultados**

**Clasificación SUCS:**

**Límite Líquido:** \_\_\_\_\_

**Límite Plástico:** \_\_\_\_\_

**Índice de Plasticidad:**

**D10:** 0.075

**D30:** 0.2

**D60:** 0.425

**Cc:** 1.25

**Cu:** 5.67

La muestra número 6.3 fue clasificada como una grava bien graduada (GW), más del cincuenta por ciento es grava con un 60 %, 11% de grava gruesa, 19% de grava media y un 9% de grava fina y un 1% de finos retenido en la malla número 200. 39% de arena. Siendo un material no plástico sin arcillas ni limos. El rango para gravas limpias con menos del cinco por ciento de fino está dado por:  $Cu \geq 4$  y  $1 \leq Cc \leq 3$ .

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

**5.5. Gravedad específica ASTM-D-2041.**

Se define como Gravedad Específica de los Suelos, a la relación del peso en el aire, de un volumen dado de partículas sólidas, al peso en el aire de un volumen igual de agua a una temperatura de ° C.

La gravedad específica es una propiedad de los materiales muy importante. Se utiliza para el cálculo de volúmenes de vacíos, se utiliza también en el análisis del hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo, especialmente para agregados finos y gruesos.

Tabla No.7 Gravedad Específica.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA UNAN - MANAGUA		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA RECINTO UNIVERSITARIO RUBEN DARIO ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA					
Proyecto: Inestabilidad de ladera Cuesta El Plomo.							
Designación estándar de prueba:		# 1		Fecha: 19/9/2017			
Localización: Cuesta El Plomo		muestra:					
Gravedad específica							
Id Muestra	M1.	M2.	M3.	M1		M2	
Ws (peso seco) (g)	49.09	60	60				
W frasco (g)	327.23	312.08	327.23	10	200	10	200
W frasco + agua	527.47	516.84	527.45	10.9	X	11.1	X
Altura de agua	10	10	10				
Temperatura del agua( C)	31	29	29	X	218	X	222
W frasco + agua + suelo	576.48	576.78	587.27				
Altura de solución con aire	11.1	11.4	11.2				
Altura de solución sin aire	10.9	11.1	11.1				
Volumen inicial(cm3)	200	200	200				
Volumen final(cm3)	218	222	222	18		22	
Volumen desplazado de agua (cm3)	18	22	22				
temperatura de la solución ( C)	2.727222222	2.72727273	2.727272727	M3			
Densidad del agua(g/cm3)	0.995	0.996	0.996				
Densidad de la solución(g/cm3)				10	200		
Gravedad específica	2.740926857	2.73822563	2.73822563	11.1	X		
				X		222	
Técnico		Revisado por		22			

La gravedad específica se calcula mediante la siguiente expresión:

$$G_s = \frac{W_s - v_d}{\gamma_{\text{agua}}}$$

Donde:

Ws: Peso seco del suelo.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Vd: Volumen desplazado del agua.

Y: peso específico del agua en (g/cm<sup>3</sup>) respecto a la temperatura (° C)

31 °C equivalen a 0.9954 g/cm<sup>3</sup> y 29 °C equivalen a 0.9960 g/cm<sup>3</sup>.

**5.6. Densidad unitaria total o peso específico ASTM-D C29.**

El peso específico de un agregado es la relación de su peso respecto al volumen. La densidad seca de los suelos son valores importantes para los ingenieros geotécnicos al momento de determinar los esfuerzos ante sobrecarga, los índices de poros, la compactación máxima y la compactación porcentual de los suelos. El valor de la densidad también puede ayudar a evaluar la resistencia y sensibilidad del suelo.

Tabla No.8. Densidad unitaria total o peso específico.

No.	Ancho (cm)	Largo (cm)	Alto (cm)	Peso (gr)	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad (KN/M <sup>3</sup> )
No.1	5.01	4.65	6.3	294.72	0.0501	0.0465	0.063	0.000146768	0.29472	2008.067838	19.69914549
No.2	4.8	3.4	4.68	103.13	0.048	0.034	0.0468	7.63776E-05	0.10313	1350.264999	13.24609964
No.3	6.08	4.73	5.65	282.03	0.0608	0.0473	0.0565	0.000162485	0.28203	1735.729879	17.02751012

La tabla 8. muestra los resultados obtenidos del análisis en el laboratorio para encontrar el peso específico en tres muestras en la cuesta el plomo (foto No. 8.), este es un parámetro importante ya que es usado en la modelación del talud en el programa Slide, cabe mencionar que estas rocas no son representativas de los estratos modelados en el programa, estos datos de peso específico fue obtenido a través de tablas encontradas en la wad, donde relacionamos los datos de peso específico, ángulo de fricción y cohesión dependiendo del tipo de clasificación de

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

la muestra según la metodología (SUCS) esta clasificación se observan en las tablas 6.1,6.2,6.3.

El procedimiento consistió en cortar las rocas en un cubo casi perfecto, determinar el volumen de estas multiplicando su ancho, largo y alto. Pesar la muestra en su estado natural y hacer la diferencia de su masa sobre el volumen.

$\gamma_t$ :  $W_t / V_t$ .

Dónde:

$\gamma_t$ : Densidad total.

$W_t$ : Peso total.

$V_t$ : Volumen Total.

### **5.7. Densidad de saturación ASTM D-2434.**

La densidad es la concentración de la materia (medida por la cantidad de masa) presente en una unidad de volumen. Sin embargo, dependiendo de si la porosidad está presente y cómo ésta es tratada, diferentes volúmenes pueden ser determinados para el mismo objeto. Usando cada uno de estos volúmenes se obtendrán valores diferentes para la densidad.

La medición de la densidad es una herramienta para determinar el grado de densificación de un cuerpo, o para determinar propiedades estructurales que pueden ser requeridos para una aplicación dada. LA densidad es la concentración de la materia (medida por la cantidad de masa) presente en una unidad de volumen.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Tabla No. 9. Densidad de saturación.

DENSIDAD DE SATURACION				
No.	W. saturado (g)	Vol. Total.(m 3)	Densidad de saturación (g/m3)	Densidad de saturación (kg/m3)
No.1	311.06	0.000146768	2119400.046	2119.400046
No.2	111.67	7.63776E-05	1462077.887	1462.077887
No.3	323.11	0.000162485	1988553.279	1988.553279

El procedimiento consistió en pesar las muestras después de saturadas en agua y determinar su volumen multiplicando su largo, ancho y alto.

$$\gamma \text{ saturación} = W \text{ saturado} / V \text{ total. G / m}^3$$

**5.8. Porcentaje de absorción ASTM D-1557.**

Podemos definir la absorción, como la cantidad de agua absorbida por el agregado sumergido en el agua durante 24 horas. Se expresa como un porcentaje del peso del material seco, que es capaz de absorber, de modo que se encuentra el material saturado superficialmente seco.

Absorción de los agregados es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL  
MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Tabla No.10.Porcentaje de absorción.

PORCENTAJE DE ABSORCION			
No.	W. saturado (g)	W. seco (g).	% absorción
No.1	311.06	267.25	16.3928906
No.2	111.67	82.21	35.8350566
No.3	323.11	262.75	22.9724072

El porcentaje absorbido en las muestras corresponden hasta un 23 % representado porcentajes altos ya que las muestras > al 5 % contienen alta absorción. El procedimiento consistió en hacer la diferencia del peso saturado y el peso seco entre el peso seco por cien esto nos da el porcentaje de humedad de cada muestra como se muestra en la tabla número once.  $\%A = (W_{ss} - W_s) / W_s * 100$  (%)

Dónde:

$W_s$  = peso de la muestra seca (grs.)

$W_{ss}$  = peso de la muestra saturada (grs.)

### **5.9. Análisis de los datos de entrada al programa SLIDE.**

En este apartado se presenta un análisis de inestabilidad de ladera mediante uso del programa Slide, en un perfil del sector de la cuesta el plomo. Los datos de entrada en este paquete son: valores de cohesión, peso unitario y ángulo de fricción para cada estrato. El análisis fue realizado en condiciones estáticas.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Tabla 11. Propiedades usadas en el modelamiento del alud para el análisis de inestabilidad.

<b>Propiedades</b>	<b>ML</b>	<b>SP1</b>	<b>SP2</b>	<b>GW</b>
Color				
Tipo de resistencia	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Peso unitario [kN/m <sup>3</sup> ]	12.74	19.62	14.22	13.73
Cohesión [kPa]	0	0	0	0
Angulo de fricción [deg]	25	30	35	45

Para el análisis de estabilidad se usaron 4 métodos, estos fueron: Bishop, Fellenius, Spencer y Janbu simplificado. Estos métodos se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No toman en consideración las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se pierde total y simultáneamente a lo largo de la superficie de falla. El siguiente perfil, está basado en resultados obtenidos en el levantamiento geológico y geotécnico (figura 16).

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

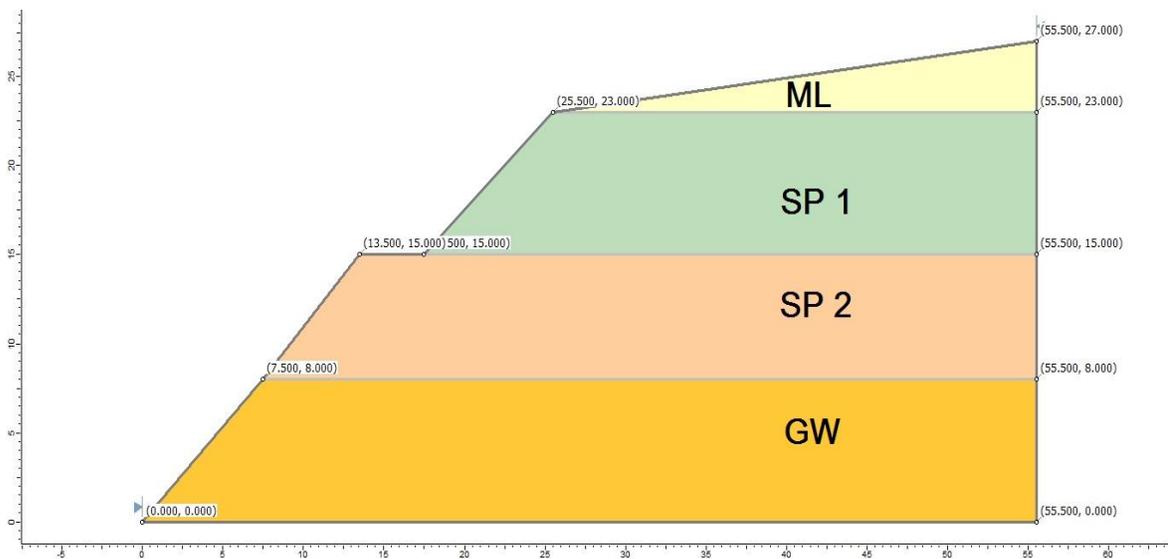


Figura No. 16 Perfil de suelos y rocas en la cuesta el plomo.

Luego de ingresar todos los datos al programa, se procedió a realizar en análisis de estabilidad, en los cuatro métodos empleados se obtuvieron valores de factores de seguridad inferiores 1.5, donde el factor de seguridad viene a ser la relación que existe entre las fuerzas que resisten (propias de los suelos y rocas) contra las fuerzas que inducen el deslizamiento, debido al peso propio de los suelo y de la rocas, también influyen las sobrecargas. En estos análisis se consideró solamente el peso propio de los materiales involucrados ya que en el lugar de estudio no influyen infraestructuras sobre el talud. Cabe mencionar que los cuatro métodos empleados en el programa dieron como resultado un factor de seguridad de 0.578 indicando un valor inestable en el talud en estudio.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

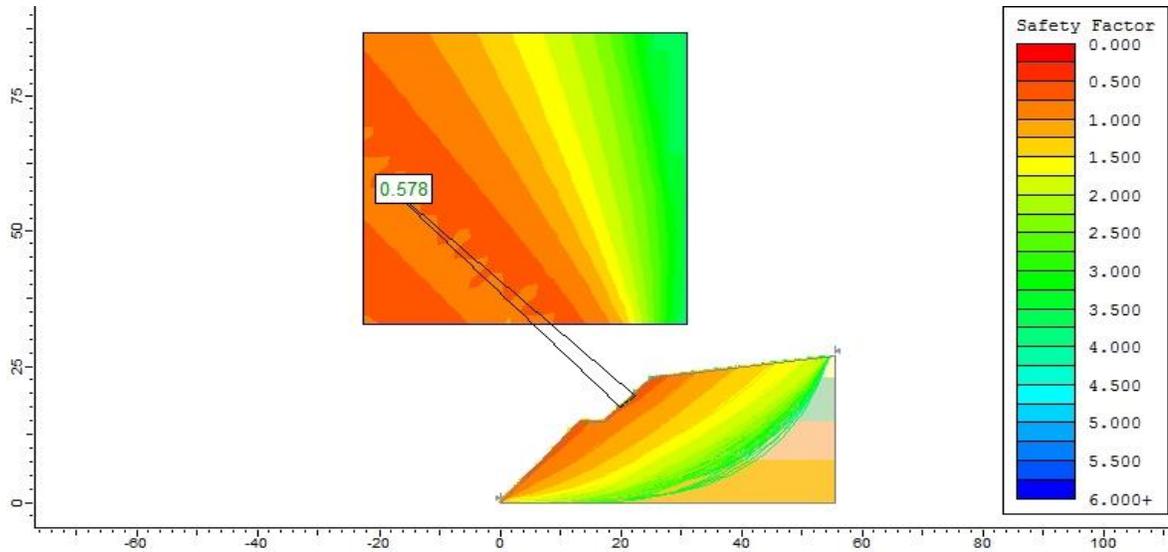


Figura No. 17 Análisis del modelamiento del talud por medio del análisis computacional del software SLIDE de estabilidad de taludes método de Bishop simplificado.

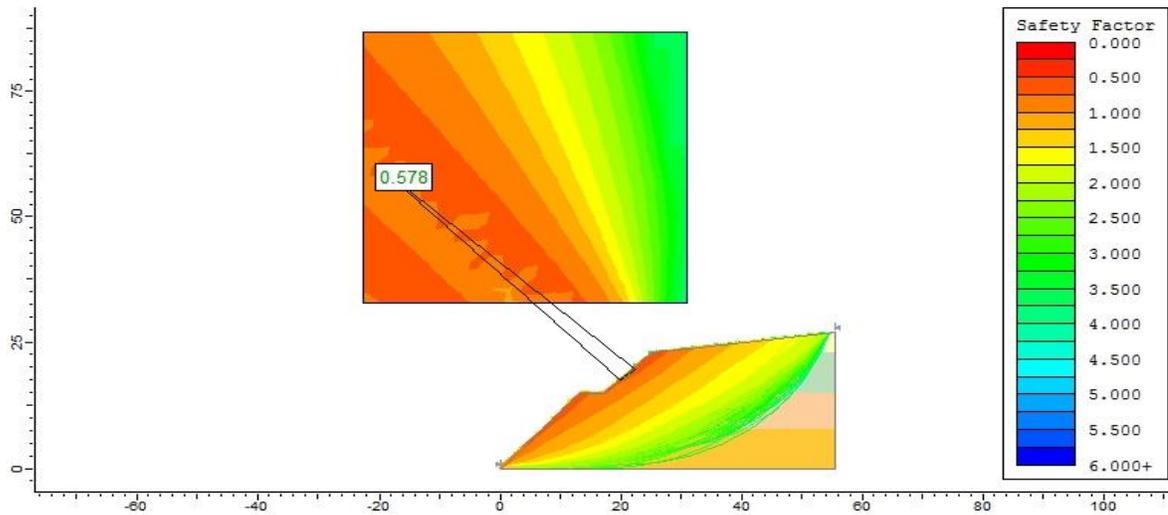


Figura No.18 Análisis del modelamiento del talud por medio del análisis computacional del software SLIDE de estabilidad de taludes método de Spencer

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

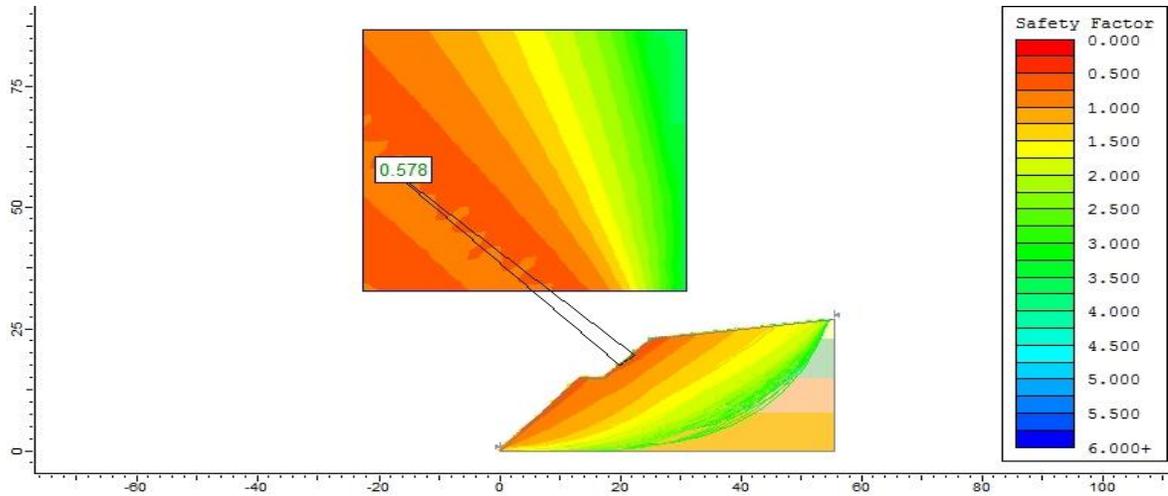


Figura No.19 Análisis del modelamiento del talud por medio del análisis computacional del software SLIDE de estabilidad de taludes método de Fellenius.

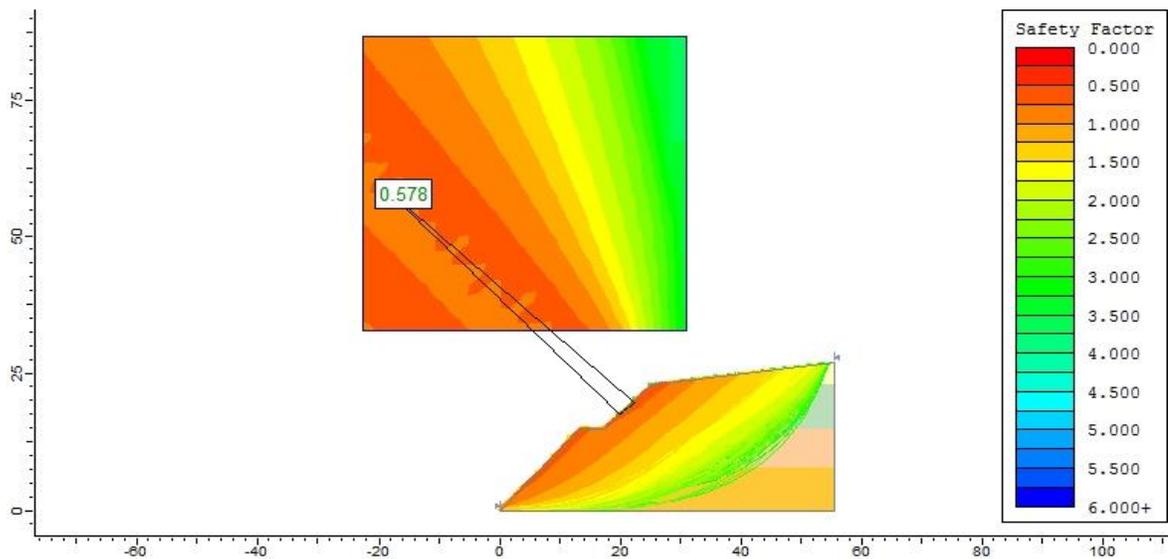


Figura No.20 Análisis del modelamiento del talud por medio del análisis computacional del software SLIDE de estabilidad de taludes método de Janbu simplificado.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

Dentro de las recomendaciones en el talud en estudio, debido a que en su análisis da un factor de seguridad inestable de 0.578 siendo este menor al valor del factor de seguridad estable  $>1.5$  se procedió a usar técnicas de remediación.

La conformación es una de las técnicas más utilizadas para garantizar la estabilidad de un talud. La conformación de un talud puede incluir los siguientes procedimientos.

- Tender el talud para disminuir la pendiente.
  - Darle forma a la superficie del talud incluyendo pendientes, bermas, curvatura.
  - Construir bermas o gradas para generar varios niveles de talud.
  - Remover material de la parte alta del talud para reducir la altura del talud.
- técnicas de remediación. Jaime Suarez.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

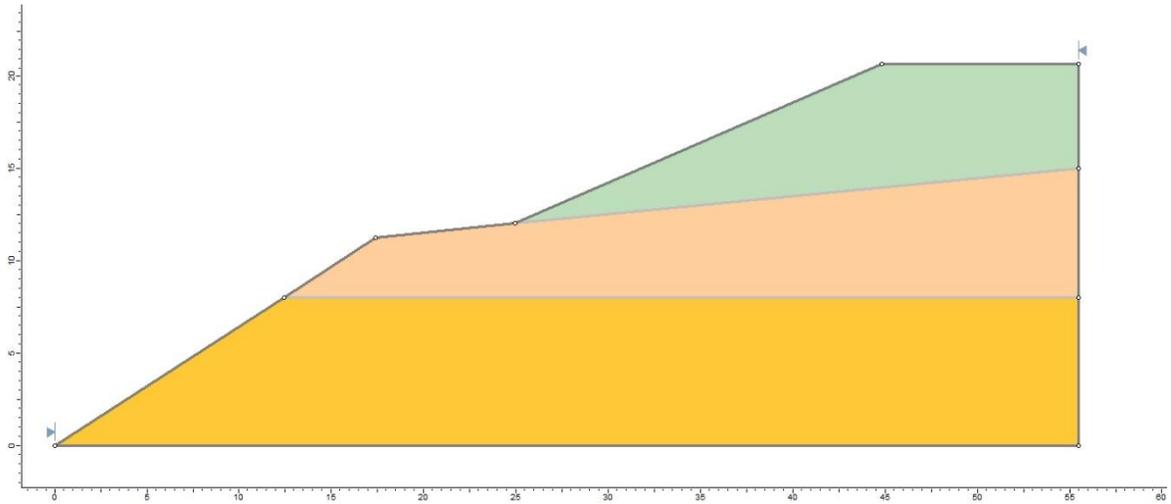


Figura No.21 Talud modificado (corte de los estratos)

El programa fue corrido dando un valor aceptable de 1.087, como se aprecia a continuación.

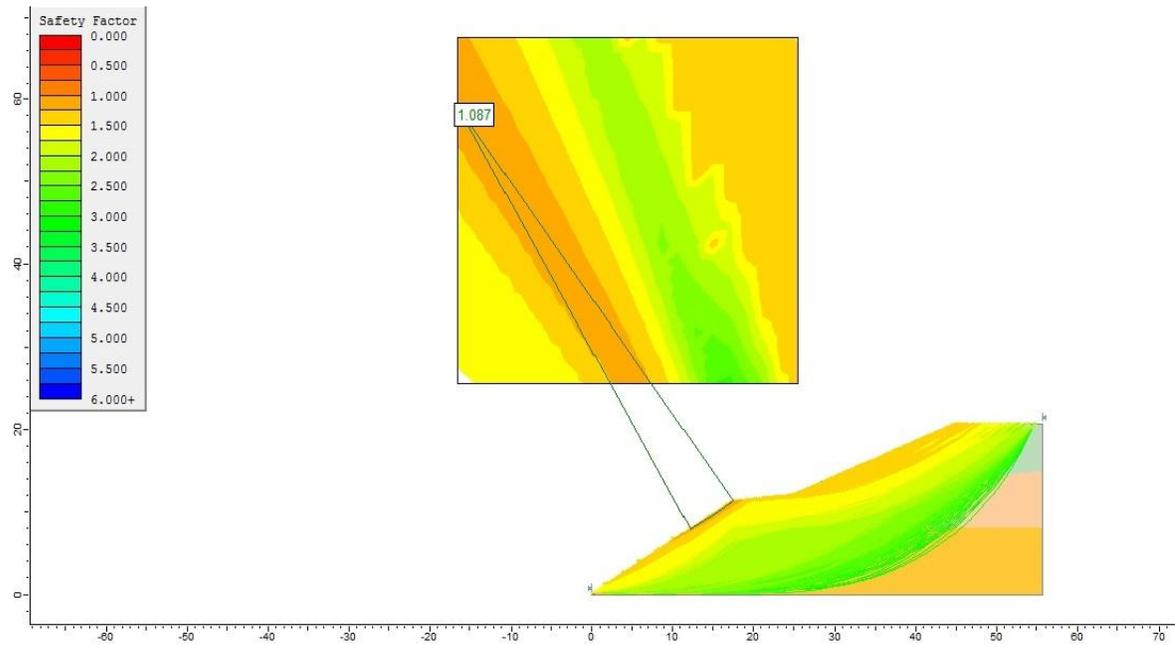


Figura No.22 Factor de seguridad aceptable en 1.087

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

Se determinó a través de trigonometría el volumen desplazado del suelo removido, siendo el volumen total del talud original de 350,969.52 m<sup>3</sup> y el volumen del talud modificado de 242,408.3518 m<sup>3</sup> la diferencia de ambos nos da la cantidad de volumen removido siendo este de 108,561.1682 m<sup>3</sup>, como se muestra en la tabla número 13.

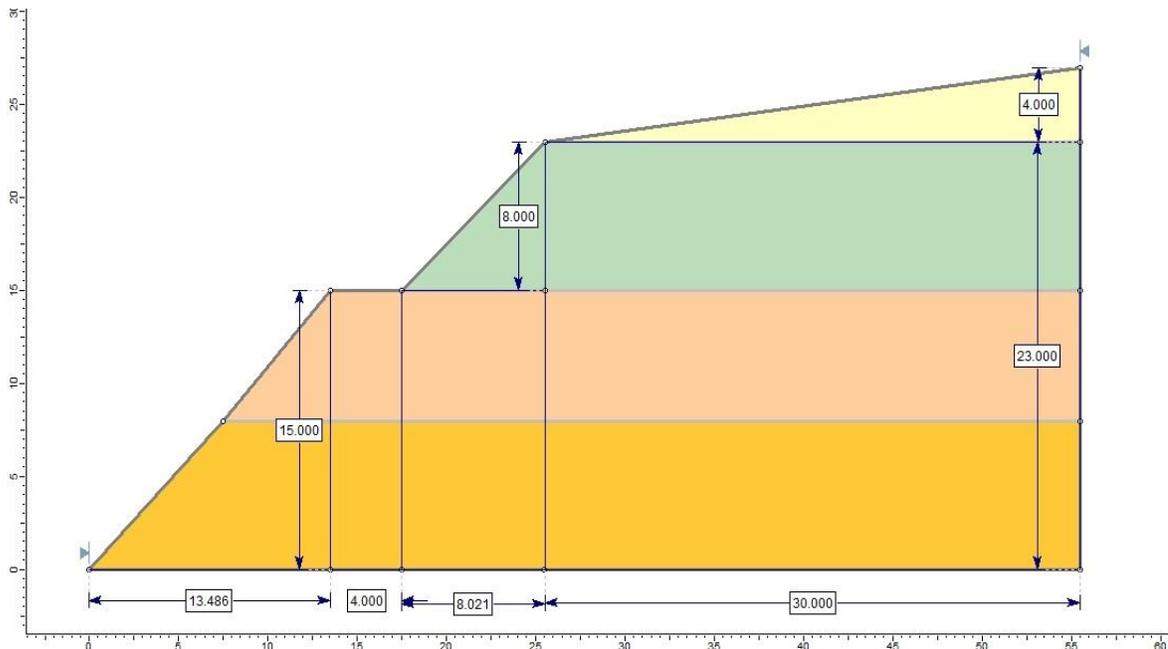


Figura No.23 Talud original se observa las diferentes áreas para determinar el volumen removido de material del corte.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

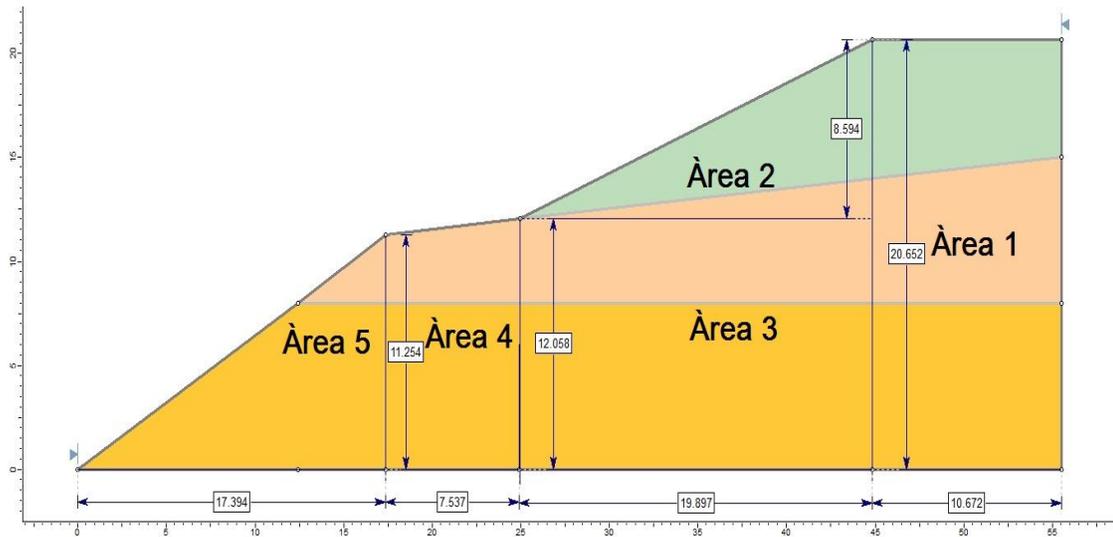


Figura No.24 Talud modificado, se observa las diferentes áreas para determinar el volumen removido de material del corte.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Tabla No.12 Cálculo del volumen desplazado en el talud modificado.

ÁREA DEL VOLUMEN DEL TALUD ORIGINAL				
NUMERO	BASE	ALTURA	AREA (m2)	VOLUMEN TOTAL (m3)
No. 1	30	4	60	AREA * LONGITUD
No.2	30	23	690	350,969.52
No.3	8.021	8	32.084	
No.4	8.021	15	120.315	
No.5	4	15	60	
No.6	13.486	15	101.145	
SUMATORIA	93.528	80	1063.544	
ÁREA DEL VOLUMEN DESPLAZADO DE SUELO REMOVIDO				
NUMERO	BASE	ALTURA	AREA (m2)	VOLUMEN TOTAL (m3)
No. 1	10.672	20.652	220.398144	AREA *LONGITUD
No.2	19.897	8.594	85.497409	242,408.3518
No.3	19.897	12.058	239.918026	
No.4	7.537	12.058	90.881146	VOLUMEN REMOVIDO(m3)
No.5	17.394	11.254	97.876038	108,561.1682
SUMATORIA	75.397	64.616	734.570763	

## CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones.

- Las características geológicas de los estratos del talud cuesta el plomo, correspondientes desde la parte superior la TCP-S( depósito de caída), después una capa no visible de la Tefra de Apoyeque superior(pómez), seguido de unas tobas líticas y un depósito volcánico TCP-I, correspondiente a unas (oleadas piroclásticas).
- La clasificación geotécnica de los cuatro estratos correspondientes al talud en estudio corresponden desde la superficie hasta su base a un suelo limoso ML, los dos siguientes fueron clasificados como una arena mal graduada SP, y el ultimo estrato como una grava bien graduada GW.
- La tipología de movimiento en el área de estudio corresponden a desprendimientos o caída de bloques y flujos de detritos, como se ha podido comprobar por la gran cantidad de bloques desprendidos y situados en la base de la cuesta el plomo, también las paredes del lugar de estudio se encuentran fracturadas y alteradas.
- Debido a las condiciones Geológicas del talud, no se hicieron ensayos de penetración estándar (SPT) en el sitio; debido al alto sistema vehicular, únicamente se realizó el muestreo de rocas y la descripción geológica en el lugar de estudio, posteriormente en el laboratorio de geotecnia del centro de investigación de geología y geofísica (CIGEO) se determinaron las propiedades físico-mecánicas de las rocas, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo SUCS.
- El talud fue creado con las dimensiones tomadas en el lugar y modelado en el programa Slide, el talud dio un factor de seguridad inestable de 0.578, el valor aceptable para talud estable corresponde a mayor de 1.5.

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL  
MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

-No se realizó el muestreo de rocas en toda la longitud del talud por las condiciones inestables que presenta.

-Se limitaron algunas mediciones estructurales a causa de la abundante vegetación que existe en la pared del talud y no permitió una completa visibilidad

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL  
MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

**6.2. Recomendaciones.**

- ✓ Ejecutar tratamientos a la cobertura vegetal del talud para que las condiciones físicas y mecánicas del terreno no se vean afectadas y proporcione a los habitantes cercanos y vehículos que a diario transitan esa zona un área con calidad ambiental y la confiabilidad necesarias para la habitabilidad de la zona, es de importancia aclarar que estas deben ejecutarse por las autoridades correspondientes.
  
- ✓ Hacer siempre antes del comienzo de la época de invierno, limpieza del el talud de todos los bloques desprendidos
  
- ✓ Realizar obras de contención en el talud, ya que esta carretera es utilizada por vehículos pesados y continuo tráfico y no se debe dejar este talud desprotegido
  
- ✓ Construir bermas o gradas para generar varios niveles de talud, disminuyendo su pendiente, este método es el más utilizado para mejorar la estabilidad y es recomendable por el tipo de material que existe en el talud materiales sueltos de origen volcánico y al disminuir la pendiente se disminuyen las fuerzas actuantes y adicionalmente el circulo critico de falla se hace más largo y más profundo aumentado su factor de seguridad.

## EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA

### VII. Bibliografía

Avellán. R, L. 2009, Tefra estratigrafía de la parte occidental de Managua, Nicaragua: evolución de las estructuras volcánicas de Ticomo, Nejapa y Asososca.

Espinoza. F, 2007, Neo tectónica de la falla Nejapa, porción oeste del graben de Managua-Nicaragua: México, universidad nacional autónoma de México,

INETER, 2005. Inestabilidad de ladera, mapa de amenaza, recomendaciones técnicas para su elaboración.

Suárez. J, conformación de la superficie del talud. Técnicas de remediación

Suarez, 1998. Aspectos generales de inestabilidad de taludes

Orlando Guido, Max Fariñas. 2014, Tesis. Evaluación de estabilidad de talud inducida por cargas estáticas y dinámicas en la Loma chico Pelón, Managua-Nicaragua.

Strauch. W Amenaza por deslizamientos y otros procesos exógenos en Nicaragua.

Devoli G. 2003. Reconocimiento del desprendimiento de bloques rocosos en Cuesta El plomo, Managua. Dirección de Geología Aplicada. Geofísica-INETER.

INETER, 2004. Información lluvia del 11 de junio del 2004 en Cuesta El Plomo, al noroeste de Managua Dirección general de meteorología.

Bice, D. C. 1980. Tephra stratigraphy and physical aspects of recent volcanism-near Managua, Nicaragua. Ph. D., Univ. California, Berkeley, California, 420 pp.

Martínez G, M. 2012. Análisis morfo estructural del Graben de Managua y sus alrededores

**EVALUACIÓN DE INESTABILIDAD DE LADERA EN LA CUESTA DE EL PLOMO DEL  
MUNICIPIO DE MANAGUA, NICARAGUA**

Late Pleistocene to Holocene temporal succession and magnitudes of highly-explosive volcanic eruptions in west-central Nicaragua.

MTI. (2016). trafico medio diario anual. managua.

Prensa, L. (2003). desprendimiento de roca cuesta el plomo.

(Hradecky, 1997). Características geotécnicas de la ciudad de Managua

Brown, Ward, & Plafker, 1973. Fallas geológicas de Managua

Dengo, G. Case, J. (1990), Tectónica de América central

Varnes, 1978. Clasificación de in estabildades