



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EMBALSE: EL SUPTAL, CORQUÍN  
COPÁN, HONDURAS**

**Inga. Kemberlin Jeannette Deras Robles**

Asesorado por el MSc. Ing. Juan Pablo Oliva Hernández

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EMBALSE: EL SUPTAL, CORQUÍN  
COPÁN, HONDURAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**INGA. KEMBERLIN JEANNETTE DERAS ROBLES**

ASESORADO POR EL MSC. ING. JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlos Humberto Aguilar Tumax
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EMBALSE: EL SUPTAL, CORQUÍN COPÁN, HONDURAS**

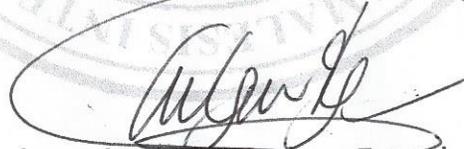
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 29 de octubre de 2016.

**Kemberlin Jeannette Deras Robles**

DTG. 611.2019

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EMBALSE: EL SUPTAL, CORQUÍN COPÁN, HONDURAS**, presentado por la **Ingeniera Kemberlin Jeannette Deras Robles**, estudiante de la **Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, noviembre de 2019  
AACE/asga

**EEPFI-1186-2019**

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística la Tesis de Graduación titulado: **“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EMBALSE: EL SUPTAL, CORQUÍN COPÁN, HONDURAS”** presentado por la Ingeniera Civil **Kemberlin Jeannette Deras Robles** quien se identifica con Carné **201590007**, correspondiente al programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**



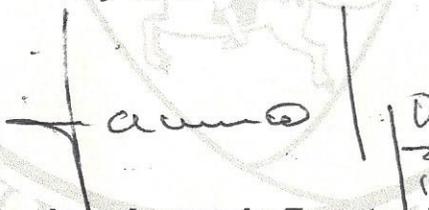
**Guatemala, noviembre de 2019**

**EEPFI-1187-2019**

Como Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica doy el aval correspondiente para la aprobación de la Tesis de Graduación titulado: **“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EMBALSE: EL SUPTAL, CORQUÍN COPÁN, HONDURAS”** presentado por la Ingeniera Civil **Kemberlin Jeannette Deras Robles** quien se identifica con Carné **201590007**.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*



**Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca**  
**Coordinador de Maestría**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Guatemala, noviembre de 2019**

Guatemala, noviembre de 2019

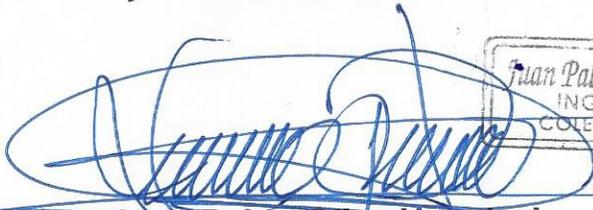
Maestro  
Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
USAC – Facultad de Ingeniería  
Presente.-

Estimado Mtro. Álvarez:

En mi calidad como Asesor de la Ingeniera Civil **Kemberlin Jeannette Deras Robles** quien se identifica con Carné **201590007** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación de la Tesis de Graduación titulada: **“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EMBALSE: EL SUPTAL, CORQUÍN COPÁN, HONDURAS”** quien se encuentra en el programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*

  
  
**Mtro. Ing. Juan Pablo Oliva Hernández**  
**Asesor**

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por la vida, la bendición y la sabiduría que me ha brindado.
- Mis padres** Por su apoyo espiritual, moral y económico: Sergio Arturo Deras, Mireya Jeannette Robles y Karen Vanessa Pineda.
- Mis hermanos** Ingrid Yanira, Sergio Arturo y Cielo Berenice Deras.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa formadora.

**Escuela de Estudios de  
Postgrado**

Por formar profesionales en el área de la  
ingeniería geotécnica.

**Mis profesores, asesor y  
revisores**

Por su valioso apoyo y tiempo invertido en la  
asesoría para la realización del presente  
trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. ASPECTOS RELEVANTES DE ESTABILIDAD DE LADERAS .....	1
1.1. Estabilidad en laderas .....	1
1.2. Historia de inestabilidad de laderas en embalses.....	2
1.3. Metodología para el análisis de estabilidad.....	3
1.3.1. Método de equilibrio límite.....	3
1.4. Método de análisis de estabilidad de laderas .....	3
1.4.1. Método de dovelas .....	4
1.4.1.1. Método de Morgenstern-Price .....	6
1.5. Herramienta por utilizar .....	7
1.5.1. Uso de software .....	7
1.6. Factores para el análisis de estabilidad.....	8
1.6.1. Distribución granulométrica .....	8
1.6.2. Clasificación del suelo .....	8
1.6.3. Plasticidad .....	9
1.6.4. Cohesión y ángulo de fricción interna .....	10

1.6.5.	Contenido de humedad.....	12
1.6.6.	Peso específico húmedo y seco .....	12
1.6.7.	Porosidad.....	13
1.6.8.	Permeabilidad .....	13
1.7.	Métodos para mejorar la estabilidad en laderas.....	15
1.7.1.	Corrección por drenaje.....	15
1.7.2.	Corrección superficial.....	16
1.7.3.	Mejoramiento de suelo.....	17
2.	ÁREA DE ESTUDIO .....	19
2.1.	Síntesis general área de estudio.....	19
2.1.1.	Localización geográfica.....	19
2.1.2.	Localización político-administrativa municipio de Corquín .....	21
2.1.3.	Localización hidrográfica.....	22
2.2.	Descripción del ambiente físico.....	23
2.2.1.	Geología regional.....	23
2.2.2.	Geología local .....	24
2.2.3.	Geomorfología .....	26
2.2.3.1.	Provincia fisiográfica.....	26
2.2.3.2.	Gran paisaje .....	27
2.2.3.3.	Paisaje.....	28
2.2.3.4.	Subpaisajes.....	28
2.2.4.	Características geomorfológicas de la cuenca.....	30
2.2.4.1.	Tamaño de la cuenca.....	31
2.2.4.2.	Número de orden de río .....	32
2.2.4.3.	Forma de la cuenca.....	32
2.2.4.4.	Coeficiente de compacidad .....	32
2.2.4.5.	Pendiente de la cuenca .....	33

	2.2.4.6. Densidad de drenajes.....	33
	2.2.5. Clima .....	34
	2.2.6. Cobertura vegetal y uso de la tierra .....	34
	2.2.7. Pendiente .....	35
	2.2.8. Elevaciones .....	35
	2.2.9. Amenazas, vulnerabilidad y riesgos .....	36
	2.2.9.1. Amenaza por deslizamientos.....	36
	2.2.9.2. Riesgo por incendios forestales.....	37
3.	RESULTADOS.....	39
3.1.	Ensayos de laboratorio.....	39
	3.1.1. Análisis granulométrico (ASTM D6913-04) .....	39
	3.1.2. Límites de Atterberg (AASHTO T-89 Y T-90).....	40
	3.1.3. Prueba de compresión triaxial.....	40
	3.1.4. Peso específico .....	40
	3.1.5. Permeabilidad .....	40
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	43
4.1.	Parámetros geotécnicos utilizados .....	43
4.2.	Cálculos de estabilidad.....	43
	4.2.1. Perfil del terreno .....	43
4.3.	Resultados obtenidos .....	45
5.	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN .....	47
5.1.	Métodos para disminuir o eliminar el riesgo .....	47
	5.1.1. Métodos de elusión de amenaza.....	47
	5.1.1.1. Remoción parcial de materiales inestables.....	47
	5.1.1.2. Recubrimiento de ladera con vegetación.....	48

CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES .....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
APÉNDICES.....	59
ANEXOS.....	67

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Antes y después de presa y embalse de Vaiont .....	2
2.	Método de dovelas .....	4
3.	Sistema de fuerzas actuantes sobre una dovela.....	5
4.	Límites de Atterberg .....	10
5.	Envolvente de falla para prueba consolidada drenada.....	11
6.	Medidas de drenaje.....	15
7.	Ubicación geográfica del área de estudio .....	20
8.	Mapa del departamento de Copán .....	21
9.	Mapa hidrográfico de Corquín Copán .....	22
10.	Mapa tectónico de Honduras y regiones limítrofes .....	24
11.	Mapa geológico de Honduras .....	25
12.	Mapa de características geomorfológicas de Honduras.....	27
13.	Mapa fisiográfico de subpaisajes .....	30
14.	Mapa de microcuenca río El Coyol .....	31
15.	Mapa de pendientes de Corquín Copán.....	35
16.	Mapa de elevaciones de Corquín Copán .....	36
17.	Mapa de amenaza por deslizamiento en Corquín Copán .....	37
18.	Mapa de riesgo a incendios forestales en Corquín Copán.....	38
19.	Perfil del terreno.....	44
20.	Gráfica de resultados de superficie de menor coeficiente de seguridad .....	45
21.	Gráfica de corte de material deslizado y berma en ladera para mejorar el factor de seguridad.....	48

## TABLAS

I.	Valores relativos de permeabilidad.....	14
II.	Coordenadas del perfil del terreno.....	44

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
E	Este
km	Kilómetro
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
L	Longitud de la muestra
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mm	Milímetro
N	Norte
v	Velocidad
V	Volumen total de muestra
$\phi$	Ángulo de fricción interna
$\Delta h$	Diferencia de niveles
$\tau$	Esfuerzo de corte
$\sigma$	Esfuerzo efectivo normal
$\sigma_1$	Esfuerzo normal
$\lambda$	Factor por determinar mediante iteración
°	Grado
°C	Grados Celsius
>	Mayor que
<	Menor que
'	Minuto
$\sigma_3$	Presión de confinamiento



## GLOSARIO

<b>AASHTO</b>	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials.</i> Asociación americana de funcionarios de carreteras estatales y del transporte.
<b>Arcilla</b>	Partículas submicroscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales. Se definen como partículas < 0,002 mm.
<b>Arena</b>	Formadas principalmente de cuarzo y feldespatos. Se definen como partículas entre 4,75 mm y 0,075 mm.
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing and Materials.</i> Sociedad americana para pruebas y materiales.
<b>Bien graduado</b>	Suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango.
<b>c'</b>	Cohesión.
<b>Cu</b>	Coeficiente de uniformidad.
<b>Dd</b>	Densidad de drenajes.

<b>Deformación axial</b>	Falla del espécimen que resulta de la carga aplicada en la prueba triaxial.
<b>Dovela</b>	Fajas verticales en que se divide la ladera.
<b>e</b>	Fuerzas normales en las dovelas.
<b>F</b>	Factor de seguridad.
<b>Grava</b>	Partículas de cuarzo, feldespatos y otros minerales. Se definen como fragmentos de rocas > 4,75 mm.
<b>ICF</b>	Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre de la república de Honduras.
<b>k</b>	Coeficiente de permeabilidad.
<b>kc</b>	Coeficiente de compacidad.
<b>Lcn</b>	Longitud total entre curvas de nivel.
<b>Limo</b>	Fracciones microscópicas de suelos entre 0,075 mm y 0,002 mm, que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas que son fragmentos de minerales micáceos.
<b>LL</b>	Límite líquido.

<b>Ls</b>	Longitud total de corrientes.
<b>Mal graduado</b>	Tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño.
<b>Meteorización</b>	Desintegración física y descomposición química.
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar.
<b>Mz</b>	Manzana.
<b>n</b>	Porosidad.
<b>P</b>	Perímetro.
<b>PI</b>	Índice de plasticidad.
<b>PL</b>	Límite plástico.
<b>Presión intersticial</b>	Es la parte de tensión absorbida por el agua.
<b>S</b>	Pendiente de cuenca.
<b>SERNA</b>	Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas de la república de Honduras.
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica.

<b>SLOPE/W</b>	Software desarrollado por GEO-SLOPE International, Ltd para realizar análisis de estabilidad.
<b>SUCS</b>	Sistema unificado de clasificación de suelos.
<b>t</b>	Tiempo de prueba.
<b>UTM</b>	<i>Universal Transverse Mercator</i> . Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator.
<b>Vt</b>	Volumen total.
<b>Vv</b>	Volumen de vacíos.
<b>w</b>	Contenido de humedad, medida en porcentaje.
<b>W</b>	Peso total de muestra.
<b>Ws</b>	Peso secada al horno.
<b>Ww</b>	Peso de agua contenida.
<b>γ</b>	Peso específico.
<b>γd</b>	Peso específico seco.

## RESUMEN

En las últimas décadas en la república de Honduras, el impacto socioeconómico ocasionado por la ocurrencia de fenómenos naturales extremos ha desnudado la alta vulnerabilidad en gran parte de su territorio, mayormente a deslizamientos generados por la pérdida de propiedades de resistencia al corte, debido al aumento de presión de poro. La situación se dificulta cuando hay suelos degradados e inestables debido a su uso irracional con cultivos en laderas y asentamientos humanos.

La elección del área de estudio se debió a que el 22 de octubre de 2008 la depresión tropical N° 16, produjo en las laderas del cerro la Piedra un deslizamiento de 75 manzanas de tierra, parte del cual se acumuló en el cauce del río El Coyol, provocando la formación de un embalse natural. Por lo que en esta tesis se estudió la estabilidad de ladera por medio de un software para computador llamado *SLOPE/W*, mediante el método de Morgenstern-Price.

Para determinar el análisis de estabilidad, se realizaron ensayos de granulometría, clasificación de suelos, límites de Atterberg, prueba de compresión triaxial para determinar los parámetros de resistencia cortante ( $C$  y  $\phi$ ), peso volumétrico y permeabilidad.

Con los resultados de los ensayos se procedió a realizar el cálculo de estabilidad, determinando el factor de seguridad. Además, se establecieron medidas de mitigación, prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El 22 de octubre de 2008 ocurrió un deslizamiento de 75 manzanas de tierra en el cerro La Piedra ubicado en la aldea El Suptal, municipio de Corquín, departamento de Copán, de la república de Honduras, provocando la formación de un embalse natural, debido a que parte de la tierra se acumuló en el cauce del río El Coyol. Los posibles factores que provocaron el deslizamiento y, por consiguiente, la formación del embalse natural, fueron los cambios en las condiciones hidrogeológicas del suelo debido a las altas precipitaciones en el territorio hondureño durante diez días seguidos. Este factor fue responsable de los daños catastróficos en la comunidad.

El problema más crítico que se puede producir en las laderas del embalse natural es que se dé un deslizamiento, debido a los factores activadores que generan disminución en la capacidad de soporte del suelo, ya que los materiales permanecen con elevadas presiones intersticiales que no se disipan con la misma velocidad del descenso del nivel del agua. Con el conocimiento de las condiciones geotécnicas, se identifica un riesgo latente de ocurrencia de deslizamiento, el cual provocaría pérdida de viviendas, cultivos, carreteras y puentes.

Por lo anterior, se plantea la siguiente pregunta:

Utilizando los parámetros de resistencia al corte, ¿Es estable la ladera en el embalse natural en la comunidad El Suptal, Corquín Copán, Honduras?

Como complemento se plantean las siguientes preguntas:

- ¿De qué manera las unidades geológicas del material de la zona influyen en la estabilidad de ladera?
- ¿De qué manera los parámetros geotécnicos del material de la zona contribuyen a determinar la estabilidad de ladera?
- ¿Con qué método se realiza el análisis de estabilidad?
- Si no es estable la ladera, ¿qué alternativas de mitigación son factibles para disminuir el riesgo?

## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar las condiciones de estabilidad de ladera en embalse natural en la comunidad El Suptal, Corquín Copán, Honduras.

### **Específicos**

1. Describir las unidades geológicas de la ladera del embalse estudiado.
2. Determinar los parámetros geotécnicos de los materiales que conforman la ladera del embalse.
3. Realizar análisis de estabilidad de ladera mediante el factor de seguridad aplicando un software para computador.
4. Realizar análisis de alternativas de medidas de mitigación.



## **HIPÓTESIS**

Las condiciones de estabilidad dependen de la geología de la zona y de las características físico-mecánicas del material, ya que tienen un efecto directo sobre el comportamiento de la ladera del embalse que podría provocar su inestabilidad.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Para realizar esta investigación se siguieron los pasos que se detallan a continuación:

La recopilación bibliográfica se realizó al analizar antecedentes del fenómeno en la zona de estudio. Entre los documentos recopilados están artículos, libros, mapas, bases de datos de sistemas de información geográfica y fotografías.

Se utilizaron mapas geológicos y mapas cartográficos que detallan características específicas del área de estudio.

Se obtuvo muestras *in situ* las cuales se analizaron en el laboratorio. El equipo que se utilizó para la toma de muestras fue: piocha, azadón, pala, cinta métrica para la determinación de la profundidad de excavación, brocha para aplicación de parafina, pana de plástico para el transporte de muestras y cámara fotográfica. Para el análisis de muestras en el laboratorio se utilizó el equipo completo para la realización de ensayos tales como: análisis granulométrico, límites de Atterberg, compresión triaxial, y permeabilidad.

Los estudios de los resultados implicaron realizar el análisis de estabilidad de ladera mediante el factor de seguridad, haciendo uso de un software para computador llamado SLOPE/W. La generación del resultado final fue establecer medidas de mitigación, prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo en el área de estudio, así como también las conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.



## INTRODUCCIÓN

A continuación, se presentan los resultados luego de realizar el análisis de estabilidad en la ladera del embalse natural, ubicado en la comunidad El Suptal, para determinar si la ladera es estable o inestable, debido a la ocurrencia de deslizamientos en el área de estudio. El análisis de estabilidad se realiza haciendo uso de un software basado en la metodología de equilibrio límite y para el cálculo del factor de seguridad se utiliza el método de las dovelas.

La importancia de realizar el análisis de estabilidad radica en que los deslizamientos de ladera constituyen el tercer riesgo natural, tras terremotos e inundaciones. Causan miles de muertes y daños en las propiedades cada año. El 90 % de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se establecen medidas de mitigación, prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

Con los resultados obtenidos, se permitirá a las instituciones y organizaciones locales de desarrollo, emprender acciones de planificación orientadas a reducir la vulnerabilidad al riesgo por deslizamiento, que podría afectar la seguridad de las comunidades y zonas aledañas al área de estudio.

Esta investigación aporta información actualizada y precisa sobre las características y propiedades geotécnicas de esta área. También se beneficia a la comunidad universitaria, a la república de Honduras y a la comunidad Corquín Copán, ya que obtienen conocimientos y pueden usar la investigación como base para la realización de investigaciones futuras.



# 1. ASPECTOS RELEVANTES DE ESTABILIDAD DE LADERAS

## 1.1. Estabilidad en laderas

En la presente investigación se tomará el concepto definido por Terzaghi y Peck, (1978, p.409), los cuales definen estabilidad como: “toda masa situada debajo de la superficie de una ladera, o debajo de la superficie del talud, tiende a desplazarse hacia abajo y hacia afuera por el efecto de su propio peso. Cuando esta tendencia es contrarrestada por la resistencia al corte del suelo, el talud es estable; en caso contrario, es inestable”.

En esta investigación se utilizará el término “ladera” que es cuando su formación tuvo un proceso natural.

González (2002, p.432), clasifica los factores que afectan la estabilidad:

- Factores condicionantes: son características propias del terreno.
  - Parámetros geométricos: altura, pendiente, curvatura y largo-ancho.
  - Características geológicas: meteorización, fracturas, fisuras, dureza y capacidad de infiltración.
  - Características hidrológicas e hidrogeológicas: características de lluvias y régimen de aguas subterráneas.
  - Características geotécnicas: ángulo de fricción interna, cohesión y peso específico.
- Factores desencadenantes: detonan o desencadenan la estabilidad.

- Factores físicos: precipitación, sismos y erupciones volcánicas.
- Factores antropogénicos: deforestación, asentamientos humanos y excavaciones.

## 1.2. Historia de inestabilidad de laderas en embalses

El caso más conocido de deslizamiento se dio en 1963 en la presa Vaiont, Italia, en donde ocurrió una falla brusca del macizo rocoso en la ladera derecha del embalse (ver figura 1) con un volumen aproximado de 300 000 m<sup>3</sup> de roca, como consecuencia algunas poblaciones aguas abajo de la presa fueron totalmente destruidas y las víctimas humanas fueron más de 2 000 personas.

Figura 1. **Antes y después de presa y embalse de Vaiont**



Fuente: Alonso, E. Corominas, J. & Hurlimann, M. (2013). *VIII Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables*.

### **1.3. Metodología para el análisis de estabilidad**

Las metodologías para analizar la estabilidad de una ladera se pueden clasificar en dos: métodos de cálculo en deformaciones y métodos de equilibrio límite (González, 2002).

En esta investigación el análisis de estabilidad se realizará con la metodología de equilibrio límite.

#### **1.3.1. Método de equilibrio límite**

El método de equilibrio límite para el análisis de estabilidad, se ha utilizado durante varias décadas. De acuerdo con González (2002), el método se basa en las leyes de la estática, para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tiene en cuenta las deformaciones del terreno.

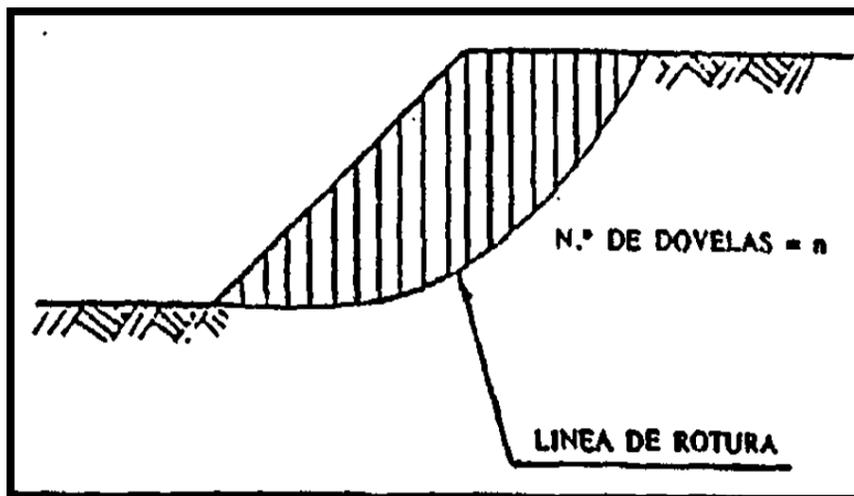
Consiste en obtener un factor de seguridad  $\geq 1$ , mediante la comparación de fuerzas o momentos resistentes con los esfuerzos al cortante o momentos actuantes, sobre una determinada superficie de falla donde el criterio de Coulomb es satisfecho. El análisis determinará si el suelo tiene suficiente resistencia para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

### **1.4. Método de análisis de estabilidad de laderas**

Los métodos de análisis se pueden dividir en exactos y no exactos. El método con el que se realizará esta investigación es con el no exacto.

En los métodos no exactos, la geometría de superficie de rotura no permite obtener una solución exacta. Por lo que se divide en métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante (en desuso) y los métodos de dovelas que dividen la masa deslizante en una serie de fajas verticales en donde se estudia el equilibrio de cada una de ellas (Ayala y Andreu, 1987), véase figura 2.

Figura 2. **Método de dovelas**



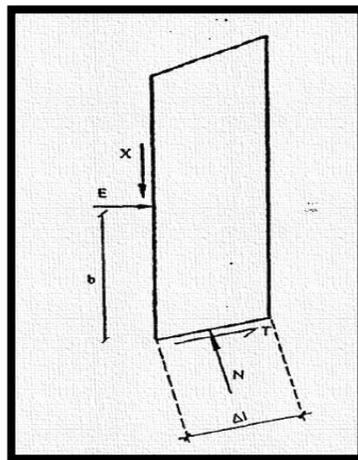
Fuente: Ayala, F. & Andreu, F. (1987). *Manual de taludes*.

#### 1.4.1. **Método de dovelas**

Los métodos de dovelas se dividen en aproximados (métodos de Fellenius, Janbu y Bishop simplificado) y precisos o completos (métodos de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso). Las diferencias entre ellos son el tipo de superficie de falla (pueden ser superficies planas, circulares y logarítmicas) y la forma en que actúan internamente las fuerzas sobre la superficie de falla. Consideraciones fundamentales sobre el método de dovelas:

Usando la figura 3 es posible enumerar las incógnitas que interviene en un análisis usando  $n$  dovelas. Esta numeración supone que cada segmento de la superficie de falla es una línea recta o es tan corto que su curvatura no tiene consecuencias. El análisis también supone que se conoce la distribución de la presión de poro en todas las zonas en que el suelo presenta resistencia al corte y en toda la superficie de falla y en las superficies de contacto entre las dovelas (Ayala y Andreu, 1987).

Figura 3. **Sistema de fuerzas actuantes sobre una dovela**



Fuente: Ayala, F. & Andreu, F. (1987). *Manual de taludes*.

El esfuerzo de corte “ $\tau$ ” a lo largo de la base de la rodaja está relacionado con la resistencia al corte por la ecuación

$$\tau = \frac{1}{F} c' + \sigma \tan \varphi'$$

En dónde;  $c'$  y  $\varphi'$  son los parámetros de resistencia al corte expresados en términos del esfuerzo efectivo;  $\sigma$  es el esfuerzo efectivo normal resultante de las cargas aplicadas;  $F$  es el factor de seguridad.

Se supone que el factor de seguridad es el mismo para todos los puntos de la superficie de rotura, aunque el método se puede adaptar a problemas en los que el factor varía a lo largo de la superficie de falla.

#### 1.4.1.1. Método de Morgenstern-Price

Morgenstern y Price desarrollaron un análisis general en el que se satisfacen todas las condiciones de contorno y de equilibrio, y en el que la superficie de rotura puede tener cualquier forma. Para convertir el problema en estáticamente determinado se supone una relación entre las fuerzas tangenciales y normales en las caras laterales de las dovelas (ver figura 3) que se ajustan a una función, que es preciso definir previamente, multiplicada por un parámetro (Ayala y Andreu, 1987). Y se define de la siguiente de la forma:

$$X = \lambda f(x)e$$

Donde;  $X$  son fuerzas tangenciales;  $\lambda$  es un factor por determinar en la solución;  $f(x)$  es una función arbitraria de la distribución de esfuerzos internos; y  $e$  son fuerzas normales.

Para cada superficie vertical se determinan los valores de las fuerzas  $e$  y  $X$  y el punto de aplicación de  $e$ . Para cualquier función de  $f(x)$  supuesta, es necesario examinar la solución en detalle, para asegurar que sea físicamente razonable. La elección de la función  $f(x)$  no aparece influir mucho en el valor de

F calculado en más de, aproximadamente, el 5 %, por lo que una hipótesis común es formar  $f(x)=1$ .

El análisis involucra un proceso complejo de iteración hasta obtener los valores de  $\lambda$  y F, descritos por Morgenstern-Price, siendo imprescindible el uso de un computador.

## **1.5. Herramienta por utilizar**

El análisis de estabilidad se realizará por medio de un software, el cual se define a continuación:

### **1.5.1. Uso de software**

El desarrollo de la tecnología los programas comerciales de software para computador permite realizar análisis complejos o con mayor información de forma más eficiente.

En la actualidad existe gran cantidad de programas tales como SLOPE/W, STB y STABLE. La ventaja al utilizar un software es que se puede obtener el factor de seguridad de una forma rápida y sencilla.

El software GeoStudio 2012 fue desarrollado por GEO-SLOPE International, Ltd para realizar análisis de estabilidad de estructuras de tierra por medio del software SLOPE/W 2012, el cual se puede descargar gratis mediante la página web <http://www.geo-slope.com/support/downloads>.

SLOPE/W realiza el análisis con la metodología de equilibrio límite, lo cual está haciendo posible manejar la complejidad cada vez más. Con este software

es posible tratar con estratigrafía compleja, presión de poro irregular, varios modelos lineales y no lineales de fuerza de corte, casi cualquier forma de deslizamiento, cargas concentradas y refuerzo estructural. El análisis para encontrar el factor de seguridad se puede realizar por el método de Morgenstern-Price, Spencer, Janbu, Ordinario o de Fellenius y otros más.

## **1.6. Factores para el análisis de estabilidad**

A continuación, se describen los ensayos de laboratorio que permiten obtener las características y propiedades del suelo que contribuyen a determinar la condición de estabilidad de ladera.

### **1.6.1. Distribución granulométrica**

Se obtiene mediante el ensayo de laboratorio “análisis granulométrico” con el objetivo de encontrar la separación y cuantificación de las partículas de grava, arena, limo y arcilla de una muestra de suelo. Las gráficas resultantes sirven para conocer el tipo de graduación representativa (graduación discontinua, uniforme, bien graduado o suelo uniforme meteorizado) y la distribución por tamaño de los granos (Das, 2006).

### **1.6.2. Clasificación del suelo**

Existen dos sistemas de clasificación que se basan en dos criterios: distribución por tamaño y plasticidad de los suelos. Estos son el sistema de clasificación AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) y el SUCS (sistema unificado de clasificación de suelos) (Coliente, 2010). El sistema AASHTO se usa principalmente en proyectos de carreteras y el SUCS en proyectos de ingeniería civil.

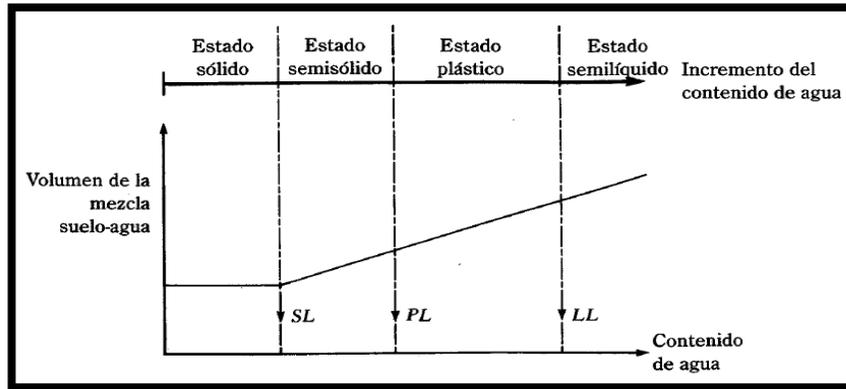
El SUCS clasifica el suelo en dos categorías: suelos de grano grueso en donde los símbolos de grupo comienzan con el prefijo G o S. G significa grava o suelo gravoso, S significa arena o suelo arenoso y suelos de grano fino. Los símbolos de grupo comienzan con el prefijo M, C, O y Pt. M significa limo inorgánico, C significa arcilla inorgánica, O para limos y arcillas orgánicas y Pt para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos. También se usan otros símbolos para la clasificación como ser: W: significa bien graduado, P: mal graduado, L: baja plasticidad y H: alta plasticidad (Das, 2006).

### **1.6.3. Plasticidad**

Se define como “la propiedad de un material por el cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse” (Juárez y Rico, 2005).

Para medir el índice de plasticidad en laboratorio, es por medio del ensayo límites de Atterberg que consiste en aumentar el contenido de humedad y si un suelo es susceptible a ser plástico, puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia: estado líquido, semilíquido, plástico, semisólido y sólido. Por lo que: la frontera entre el estado semilíquido y plástico se denomina límite líquido “LL”. La frontera entre el estado plástico y semisólido se denomina límite plástico “PL”. La frontera entre el estado semisólido y sólido se denomina límite de contracción “SL” (Juárez y Rico, 2005).

Figura 4. Límites de Atterberg



Fuente: Das, B. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*.

La diferencia entre el límite líquido y límite plástico se define como índice de plasticidad “PI”:

$$PI = LL - PL$$

#### 1.6.4. Cohesión y ángulo de fricción interna

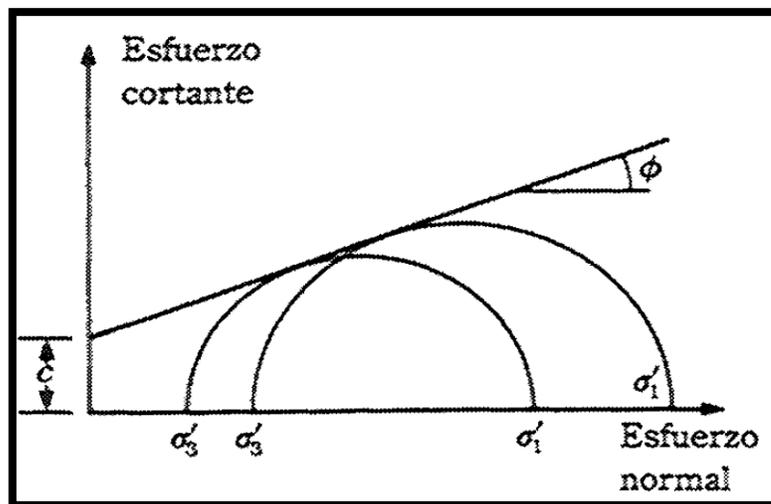
Son los dos componentes de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Las pruebas de laboratorio utilizadas para determinar los parámetros son: prueba directa de resistencia al esfuerzo cortante y de compresión triaxial.

De acuerdo con Juárez y Rico (2005), la prueba triaxial es la más común, versátil y útil de las pruebas. En ella se mide la deformación axial de un espécimen cilíndrico, mientras se le aplica un esfuerzo normal vertical conocido y esfuerzos laterales iguales en todas las direcciones horizontales. Primero se somete a la presión de confinamiento “ $\sigma_3$ ” dada por agua o glicerina, después

se incrementa el esfuerzo vertical " $\sigma_1$ " hasta que el espécimen falla (esfuerzo desviador " $\Delta\sigma$ "). El drenaje del espécimen puede ser permitido o detenido, dependiendo de las condiciones de la prueba. Para arcillas, tres tipos principales de pruebas: prueba consolidada drenada "CD", prueba consolidada no drenada "CU" y prueba no consolidada no drenada "UU".

Varias pruebas se pueden realizar variando la presión de confinamiento. Los parámetros de resistencia cortante ( $C$  y  $\phi$ ) se determinan dibujando el círculo de Mohr y trazando una tangente a los círculos en donde se obtiene la envolvente de falla de Mohr-Coulomb (ver figura 5).

Figura 5. **Envolvente de falla para prueba consolidada drenada**



Fuente: Das, B. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*.

### 1.6.5. Contenido de humedad

Se le conoce también como contenido de agua. Se define como la relación entre el peso de agua contenida “ $W_w$ ” y el peso de la materia sólida secada en el horno “ $W_s$ ”. Se expresa como porcentaje. (Das, 2006)

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

La humedad del suelo depende del clima, vegetación, profundidad del suelo y de las características y condiciones físicas del perfil.

### 1.6.6. Peso específico húmedo y seco

Se obtiene mediante el ensayo de laboratorio “peso volumétrico”. Peso específico húmedo “ $\gamma$ ” se define como la relación entre el peso total del suelo incluyendo el agua “ $W$ ” y volumen total “ $V$ ”. Se puede expresar en Lb/pie<sup>3</sup>, gr/cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>. (Das, 2006)

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

El peso específico seco “ $\gamma_d$ ” se define como la relación entre el peso de sólidos “ $W_s$ ” y volumen total “ $V$ ”.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

### **1.6.7. Porosidad**

Se obtiene mediante el ensayo de laboratorio “peso volumétrico”. Se define como el volumen ocupado por los poros de un material. Es la relación entre el volumen de huecos “Vv” y el volumen total “Vt”, expresado como:

$$n = \frac{Vv}{Vt}$$

La porosidad depende de gran número de factores entre ellos; forma, tamaño y disposición de partículas sólidas o granos.

### **1.6.8. Permeabilidad**

Se obtiene mediante el ensayo de laboratorio “permeabilidad de los suelos”. Se puede definir como la propiedad del material que permite la filtración de fluidos a través de poros o huecos interconectados (Terzaghi y Peck, 1978).

La ley más utilizada, ley de Darcy, relaciona la velocidad media “v” del caudal del agua que fluye de una sección de suelo, con el gradiente hidráulico “i”, que es la relación entre la diferencia de niveles “Δh” y la distancia “L” que el agua tiene que recorrer, expresado como:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Y con una constante de proporcionalidad “k” que recibe el nombre de coeficiente de permeabilidad, expresado como:

$$v = k * i$$

Por lo que el gasto “Q” que pasa a través de una muestra de suelo de sección transversal “A” estará dado por,

$$Q = k * i * A$$

Sustituyendo “i” y “Q” y despejando para “k” se obtiene:

$$k = \frac{VL}{\Delta hAt}$$

Tabla I. **Valores relativos de permeabilidad**

<b>Permeabilidad relativa</b>	<b>Valores de k (cm/seg)</b>	<b>Suelo típico</b>
Muy permeable	Mayor que $1 \times 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	$1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-3}$	Arena, arena fina
Poco permeable	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-7}$	Limo, arenisca fina
Impermeable	Menos que $1 \times 10^{-7}$	Arcilla

Fuente: Terzaghi, K. & Peck, R. (1987). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica*.

Los factores que afectan al coeficiente de permeabilidad son: forma y tamaño de las partículas del suelo, la porosidad y grado de saturación.

## 1.7. Métodos para mejorar la estabilidad en laderas

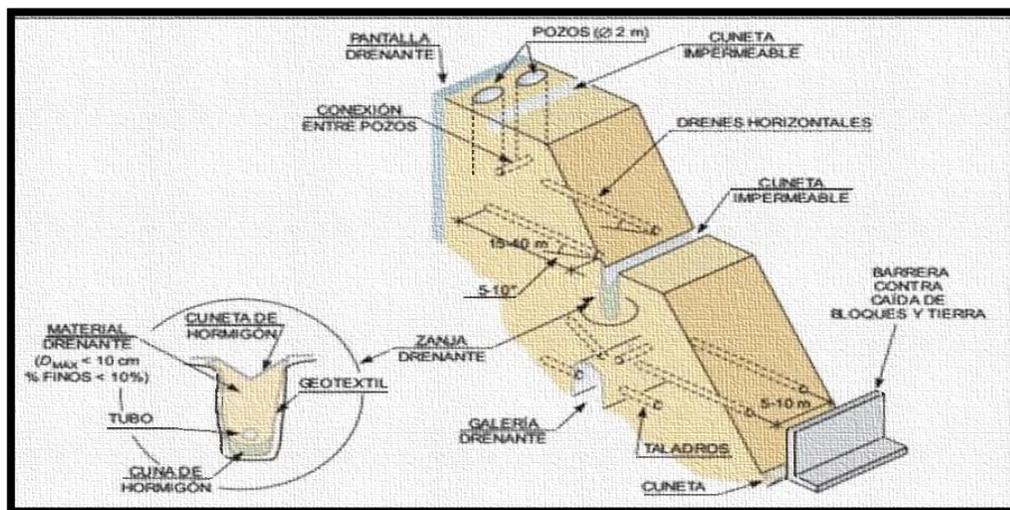
Cuando una ladera se encuentra inestable, según González (2002), podrá mejorarse su estabilidad mediante las siguientes soluciones:

### 1.7.1. Corrección por drenaje

El objetivo del drenaje es reducir las presiones intersticiales que actúan sobre la potencial o existente superficie de deslizamiento, lo que aumenta su resistencia, y disminuye el peso total (Ayala y Andreu, 1987). El sistema de drenaje en laderas consta de los elementos siguientes:

Drenaje superficial: está constituido por una zanja o cuneta paralela al hombro de la ladera (ver figura 6), para interceptar y canalizar las corrientes superficiales de agua antes de que lleguen al talud.

Figura 6. Medidas de drenaje



Fuente: González, L. (2002). *Ingeniería geológica*.

Drenaje profundo: los drenajes profundos consisten siempre en orificios que penetran en el terreno y que recogen el agua ahí contenida, atrayendo las líneas de corriente y deprimiendo el nivel freático. Los drenajes profundos se pueden clasificar en: drenes horizontales, pozos verticales, galerías de drenaje y zanjas con relleno drenante.

### **1.7.2. Corrección superficial**

Según Ayala y Andreu, (1987), las medidas de corrección superficial se aplican en la superficie, tienen una acción que afecta solo a las capas más superficiales del terreno con los siguientes fines:

- Evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie de la ladera
- Eliminar los problemas derivados de las caídas de piedras
- Aumentar la seguridad de la ladera

Los principales métodos empleados son:

Mallas de guiado de piedras: consisten en mallas de alambre metálico con las que se cubre la superficie de laderas rocosas para controlar la caída de fragmentos de roca. Es un tratamiento superficial barato y de instalación sencilla.

Siembra: evita la erosión superficial, tanto eólica como hídrica. La absorción de agua por las raíces produce un drenaje de las capas superficiales del terreno. Las raíces de las plantas producen un aumento de la resistencia a esfuerzo cortante en la zona de suelo que ocupan.

Hormigón proyectado: consiste en una capa de hormigón rociado sobre la superficie de laderas rocosas. Es un tratamiento superficial que evita la meteorización de la roca, deterioro progresivo y desprendimientos de pequeña magnitud.

### **1.7.3. Mejoramiento de suelo**

Son métodos que aumentan la resistencia del suelo. Incluyen procesos físicos y químicos que aumentan la cohesión y fricción del suelo (González, 2002). Los principales métodos empleados se dividen en:

Inyecciones o usos de químicos: tienen la ventaja de endurecer el suelo y pueden cementar la superficie de falla, pero la disminución de la permeabilidad puede ser un efecto negativo.

Electroósmosis: se reduce el contenido de agua y es un método de estabilización no permanente.

Explosivos: se puede fragmentar la superficie de falla, con la desventaja de que su efecto es limitado y puede tener efectos negativos.



## **2. ÁREA DE ESTUDIO**

### **2.1. Síntesis general área de estudio**

A continuación, se delimitará el área de estudio en ámbitos geográficos, político-administrativos e hidrográficos:

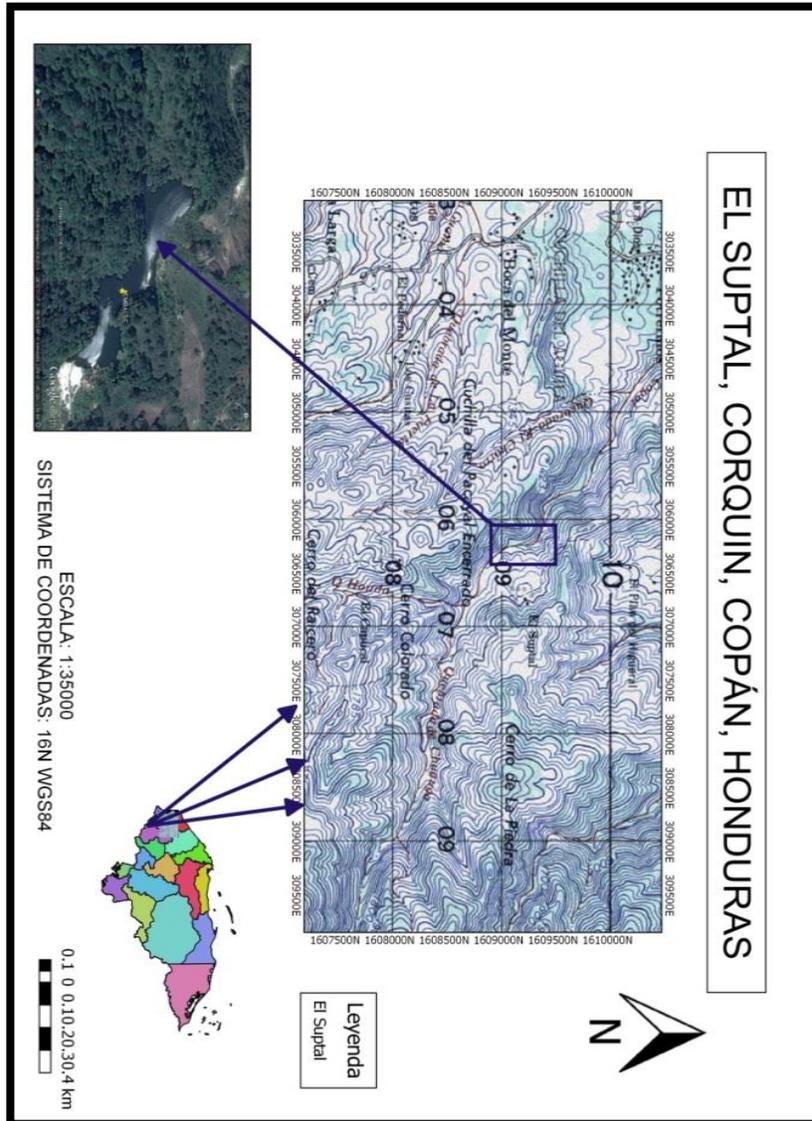
#### **2.1.1. Localización geográfica**

El área de estudio está ubicada en el caserío El Suptal, municipio de Corquín, departamento de Copán, república de Honduras (ver figura 7).

El acceso principal al área del embalse es por la carretera de terracería que del municipio de Corquín conduce hacia al puente El Coyol ubicado a 5,5 km, luego se encuentra el cruce hacia el caserío El Suptal ubicado a 10 km aproximadamente, que en total son 15,5 km desde el municipio de Corquín.

Las coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) del área de estudio son: 14°33'08" N, 88°47'33" E, coordenadas WGS84 zona 16N.

Figura 7. Ubicación geográfica del área de estudio



Fuente: Ortofoto, Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGN), adaptado por la autora, en formato QGIS.

### 2.1.2. Localización político-administrativa municipio de Corquín

Corquín es un municipio del departamento de Copán, de la república de Honduras. Corquín limita al Norte con los municipios de San Pedro y la Unión (Copán); al Sur, con los municipios de Belén Gualcho y Sensenti (Ocotepeque); al Este, con el municipio de Gracias (Lempira) y al Oeste, con los municipios de Lucerna y Sensenti (Ocotepeque) (ver figura 8).

Figura 8. Mapa del departamento de Copán



Fuente: Maps of World. *Map of Copan*. Recuperado de: <https://espanol.mapsofworld.com/continentes/norte-america/honduras/departamentos/copan.html>.



## **2.2. Descripción del ambiente físico**

Describir el ambiente físico implica caracterizar el área de estudio en:

### **2.2.1. Geología regional**

La república de Honduras en su parte continental se ubica en el istmo centroamericano, y en su parte oceánica en la cuenca del Caribe. Forma parte de las placas tectónicas, una situada en el Noroeste denominada placa tectónica del Caribe, también por el límite entre la placa del Caribe y la de Norteamérica formadas por las fallas (Motagua y Polochic) en su parte terrestre y en el océano Atlántico por la falla de *Swam Island*. En el Sur, por la llamada placa de Cocos que produce un margen tectónico activo debido a la subducción entre placas de Cocos con la placa del Caribe. La subducción de estas placas produce la formación de la fosa mesoamericana.

Dengo (1969) introdujo los nombres del bloque maya a la porción de Guatemala y parte Sur de México que pertenece a la placa de Norteamérica y bloque Chortis a la porción de Centroamérica que pertenece a la placa del Caribe (ver figura 10).

- Bloque Chortís

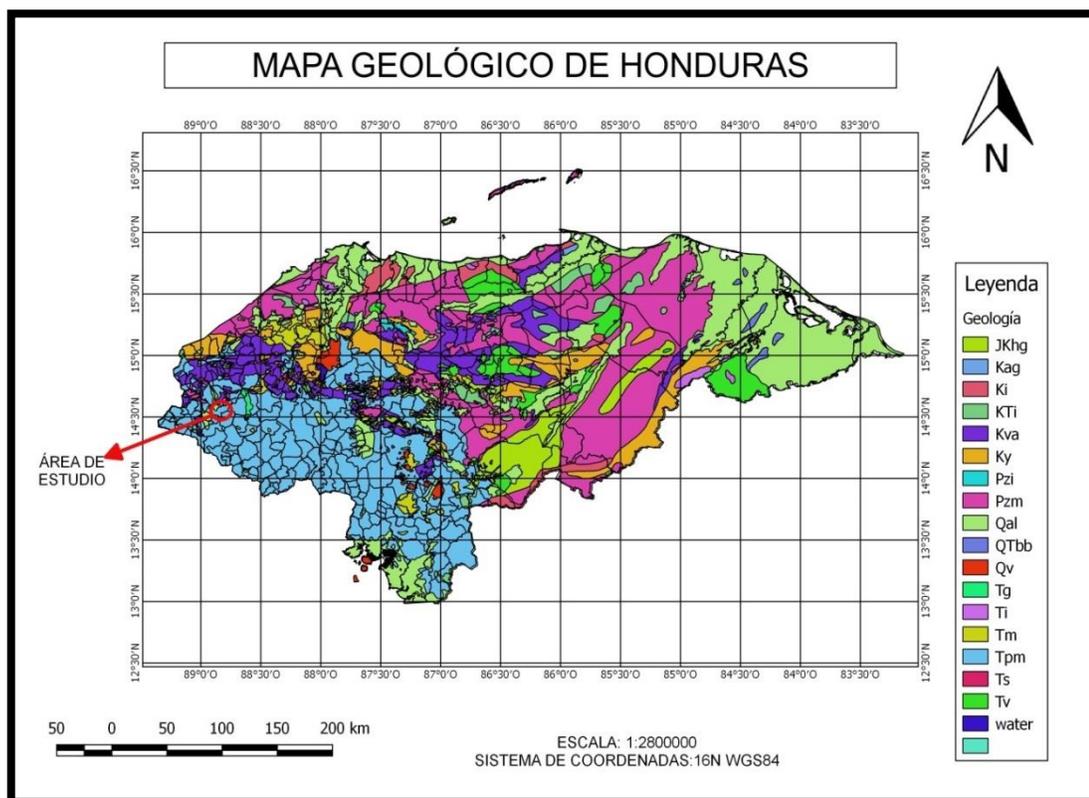
Tectónicamente, el “bloque Chortís” se puede considerar como una gran región de deformación relacionada con el movimiento sobre el límite de placas. Dicha deformación está provocada por la rotación alrededor del sistema arqueado de fallas de Motagua-Polochic.



- Tpm: Grupo Padre Miguel

Se caracteriza por ser rocas volcánicas que consisten en un grupo de tobas riolíticas, tobas andesíticas e ignimbritas blancas, lahares, sillares y sedimentos piroclásticos que afloran en el sector occidente de Honduras. La edad se ubica del Oligoceno al Mioceno.

Figura 11. Mapa geológico de Honduras



Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGN), adaptado por la autora, en formato QGIS.

### **2.2.3. Geomorfología**

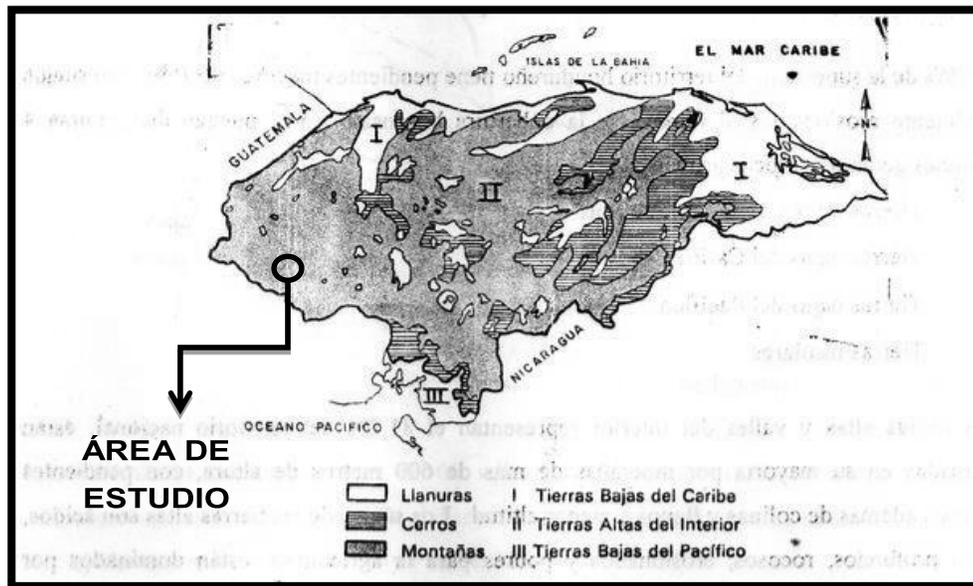
La geomorfología del área de estudio se divide en cuatro características que se detallan a continuación:

#### **2.2.3.1. Provincia fisiográfica**

Es el nivel superior o de más alta generalización del sistema de clasificación. Esta categoría corresponde a una región natural hoy denominada región morfológica (región fisiográfica) en la que pueden prevalecer una o más unidades climáticas. Está constituida por conjuntos de unidades genéticas de relieve con relaciones de afinidad de tipo geológico, topográfico y espacial (Villota, 1997).

Según la figura 12, el área de estudio forma parte de la región fisiográfica: tierras altas y valles del interior y de la subregión fisiográfica: cordillera Sureña: montaña de Celaque.

Figura 12. **Mapa de características geomorfológicas de Honduras**



Fuente: Murillo, I. (2013). *Características Geomorfológicas de Honduras. Nacer en Honduras*. Recuperado de <http://nacerenhonduras.com/2013/05/caracteristicas-geomorfologicas.html>.

### 2.2.3.2. Gran paisaje

El área de estudio se encuentra ubicada en el gran paisaje: montaña de Celaque.

- Ubicación y localización: se encuentra en los departamentos de Copán, Lempira y Ocotepeque.
- Morfografía: los terrenos presentan laderas con pendientes de: 25,68 % predominan pendientes superiores al 60 %, 21,32 % entre 45-60 %, un 24,35 % entre 30-45 %, 18,54 % entre 15-35 % y solo el 10,1 % menor al 15 %. Posee alturas desde 1 100 msnm hasta 2 849 msnm (en el cerro de Las Minas punto más alto de Honduras) (Orellana, 2012).

- Tipo de roca: la unidad está formada por rocas volcánicas del grupo Padre Miguel, las que se depositaron sobre las rocas sedimentarias y metamórficas.
- Morfogénesis: la unidad tiene su origen posiblemente a una actividad volcánica de tipo de fisura que se produjo en el Plioceno, que cubrió el basamento sedimentario del Paleozoico superior y Cretácico.
- Morfocronología: la edad es del periodo Terciario.

#### **2.2.3.3. Paisaje**

El área de estudio se encuentra ubicada en el paisaje: Cerro de la Piedra.

De acuerdo con la *Enciclopedia Cubana EcuRed*, Cerro se define como, una formación terrenal que tiene características particulares que permiten diferenciarlo de otras formas geológicas, por ejemplo, lo que respecta a la altura, la forma, y otros. Son normalmente formaciones geológicas que no superan los 100 metros de altura, por lo cual se consideran más bajos que las montañas.

#### **2.2.3.4. Subpaisajes**

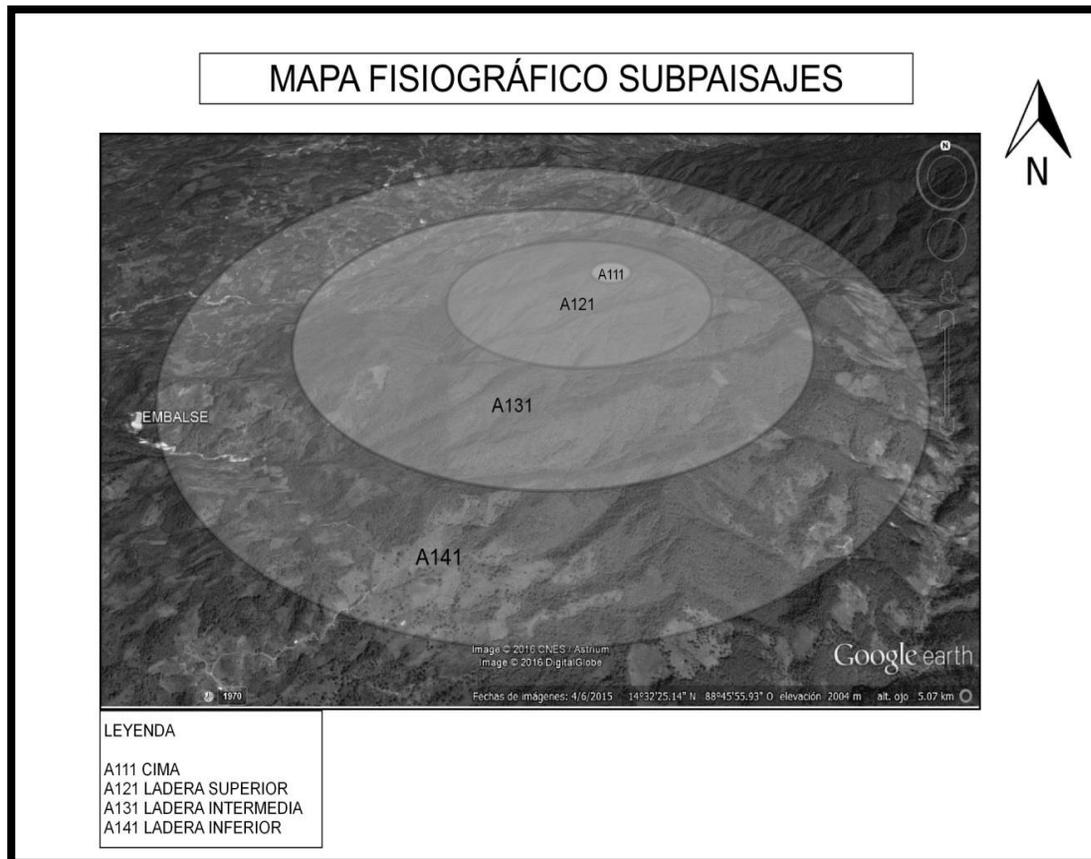
Según la figura 13. Mapa fisiográfico de subpaisajes el área de estudio está formada por:

- A111 cima o cumbre: se caracterizan por tener pendientes variadas, en general son las partes más altas, se pueden observar accesos en las partes altas de las laderas. Generalmente, el término cima solo es

empleado para los picos montañosos que poseen un grado significativo de prominencia o singularidad topográfica, es decir, gran distancia al punto más cercano de mayor elevación.

- A121 ladera superior: esta subunidad se presenta en la parte superior de los cerros, con pendientes muy fuertemente inclinadas con promedio mayores a 60 %, moderadamente escarpadas, fuertemente erosionados de manera radial por acción de la escorrentía superficial, en donde el agente modelador es el agua, ocasionando formación de barrancos.
- A131 ladera intermedia: esta subunidad está definida con pendientes fuertes a moderadas con promedios de 30 % a 60 %.
- A141 ladera inferior: esta subunidad se presenta en las partes bajas de los cerros con superficies de pendientes suaves y con promedios de 15 % a 30 %.

Figura 13. **Mapa fisiográfico de subpaisajes**

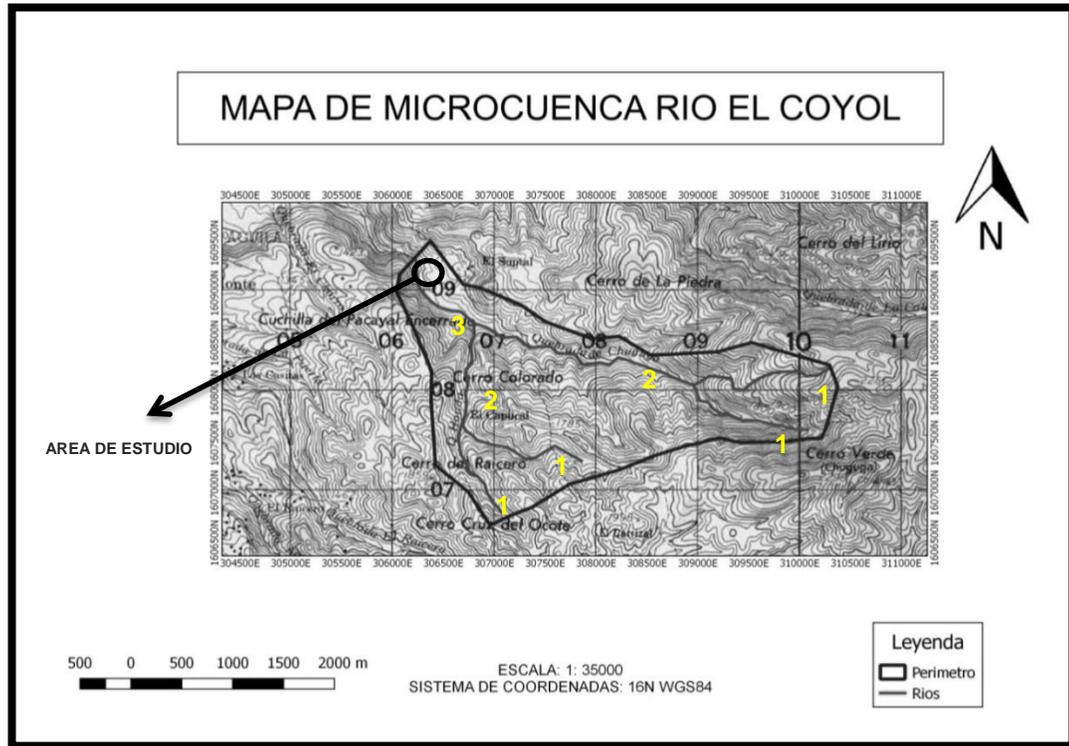


Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGN), adaptado por la autora, en formato QGIS.

#### **2.2.4. Características geomorfológicas de la cuenca**

La cuenca del río El Coyol tiene características geomorfológicas que se describen a continuación:

Figura 14. **Mapa de microcuenca río El Coyol**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGN), adaptado por la autora, en formato QGIS.

#### 2.2.4.1. **Tamaño de la cuenca**

Con el uso de un software de Sistema de Información Geográfica (SIG), se estimó que el área de drenaje de la cuenca de interés es de 5,65 Km<sup>2</sup>, correspondiente al área drenada por la Quebrada Chuguga y Quebrada Honda hasta el embalse en estudio (ver figura 14).

El perímetro correspondiente al área de drenaje es de 11,83 Km.

#### **2.2.4.2. Número de orden de río**

Esta clasificación se realiza según el hidrólogo Horton, como una medida de la ramificación del cauce principal en una cuenca. Se realiza analizando las uniones de las quebradas desde los niveles más altos hasta el área de estudio. A cada par de quebradas que se une hay cierta configuración para recibir el número de orden correspondiente. Por ejemplo, si dos quebradas con el mismo orden se unen, la quebrada resultante es de un orden y grado mayor que sus predecesoras. Ahora en caso de que ambas quebradas por unirse son de distinto orden, la quebrada resultante tendrá el número de orden de la quebrada predecesora que tiene el orden mayor.

Como se puede observar en la figura 14, mapa de microcuenca río El Coyol, el resultado de la clasificación de la cuenca es de orden 3.

#### **2.2.4.3. Forma de la cuenca**

Para determinar la forma de una cuenca se utilizan los parámetros que a continuación se describen:

#### **2.2.4.4. Coeficiente de compacidad**

Fue definido por Gravelius como la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie de la cuenca,

$$K_c = \frac{0,282P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P= perímetro (Km)

A= área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Si Kc=1 la cuenca es circular. Si Kc>1 la cuenca es alargada.

$$Kc = \frac{0,282 * 11,83}{\sqrt{5,65}} = 1,40$$

Por lo tanto, la cuenca es alargada.

#### **2.2.4.5. Pendiente de la cuenca**

Siguiendo el criterio de Alvord y basados en la obtención de las longitudes de las curvas de nivel dentro de la cuenca, se obtiene así:

$$S = \frac{D * Lcn}{A}$$

Donde:

D= desnivel constante entre curvas de nivel (Km)

Lcn= longitud total entre curvas de nivel dentro de la cuenca (Km)

A= área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

$$S = \frac{(0,1)(32,48)}{5,65} = 0,57\text{Km/Km}$$

#### **2.2.4.6. Densidad de drenajes**

Se entiende por densidad de drenaje a la mayor o menor facilidad que presenta una cuenca hidrográfica para evacuar las aguas provenientes de las

precipitaciones que quedan sobre la superficie de la tierra debido al grado de saturación. Definida como la longitud de corrientes por unidad de área.

$$Dd = \frac{Ls}{A}$$

Donde:

Ls= longitud total de corrientes (Km)

A= área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

$$Dd = \frac{9,65}{5,65} = 1,71 \text{ Km/Km}^2$$

### **2.2.5. Clima**

Según el mapa climatológico temperatura máxima, media y mínima anual de la Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas de Honduras (SERNA) la temperatura máxima es de 27 °C-28 °C, la temperatura media es de 22 °C-23 °C y la temperatura mínima es de 16 °C-17 °C.

Según el mapa climatológico de precipitación media anual de SERNA la precipitación media es de 1 600 mm.

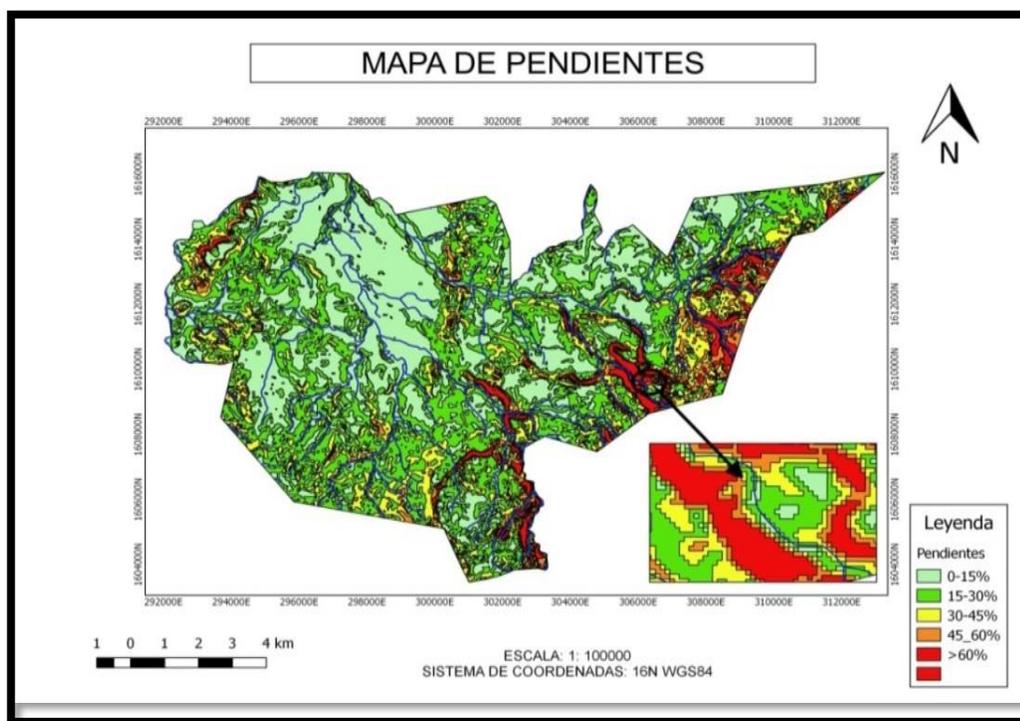
### **2.2.6. Cobertura vegetal y uso de la tierra**

El mapa en el atlas municipal, forestal y cobertura de la tierra municipio de Corquín, Copán, indica que el área de estudiada se encuentra mayormente cubierta por cafetales y bosque mixto y en menor cantidad por pastos/cultivos.

### 2.2.7. Pendiente

Según la figura 15, se puede observar que el área de estudio se constituye en su mayoría por pendientes suaves el rango está entre 15 % -30 % en el cauce del río y en los alrededores por pendientes fuertes el rango es >60 %.

Figura 15. Mapa de pendientes de Corquín Copán

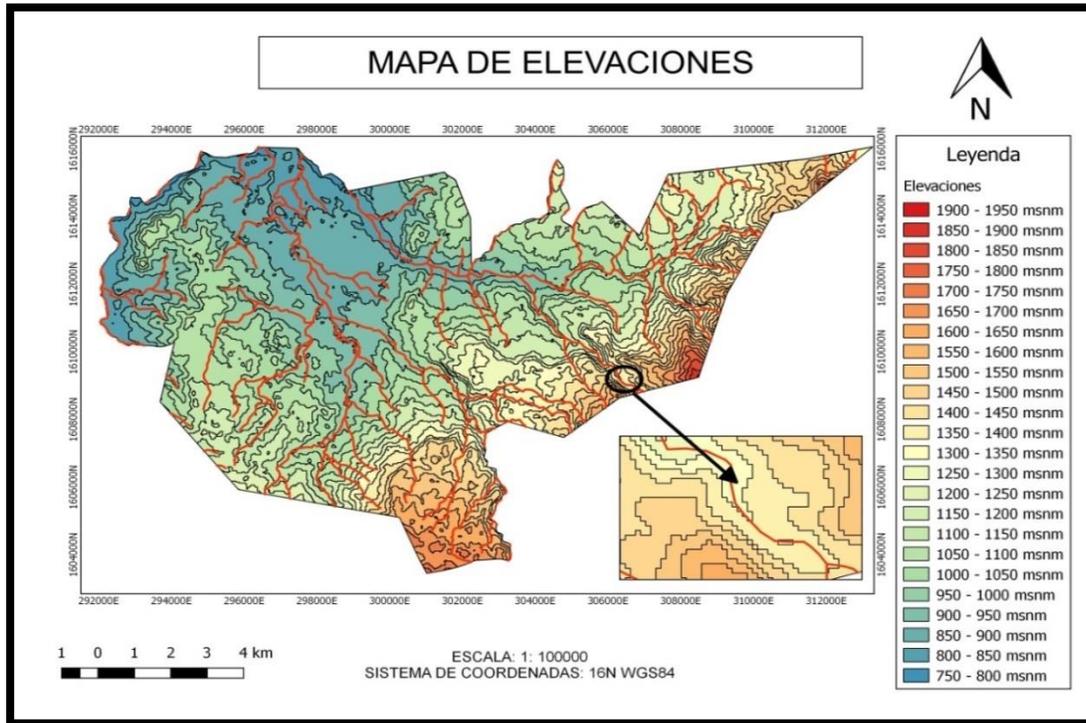


Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGN), adaptado por la autora, en formato QGIS.

### 2.2.8. Elevaciones

Según la figura 16, mapa de elevaciones de Corquín Copán, se puede observar que el área de estudio se constituye por elevaciones que oscilan entre 1 250 y 1 400 msnm.

Figura 16. **Mapa de elevaciones de Corquín Copán**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGN), adaptado por la autora, en formato QGIS.

## 2.2.9. Amenazas, vulnerabilidad y riesgos

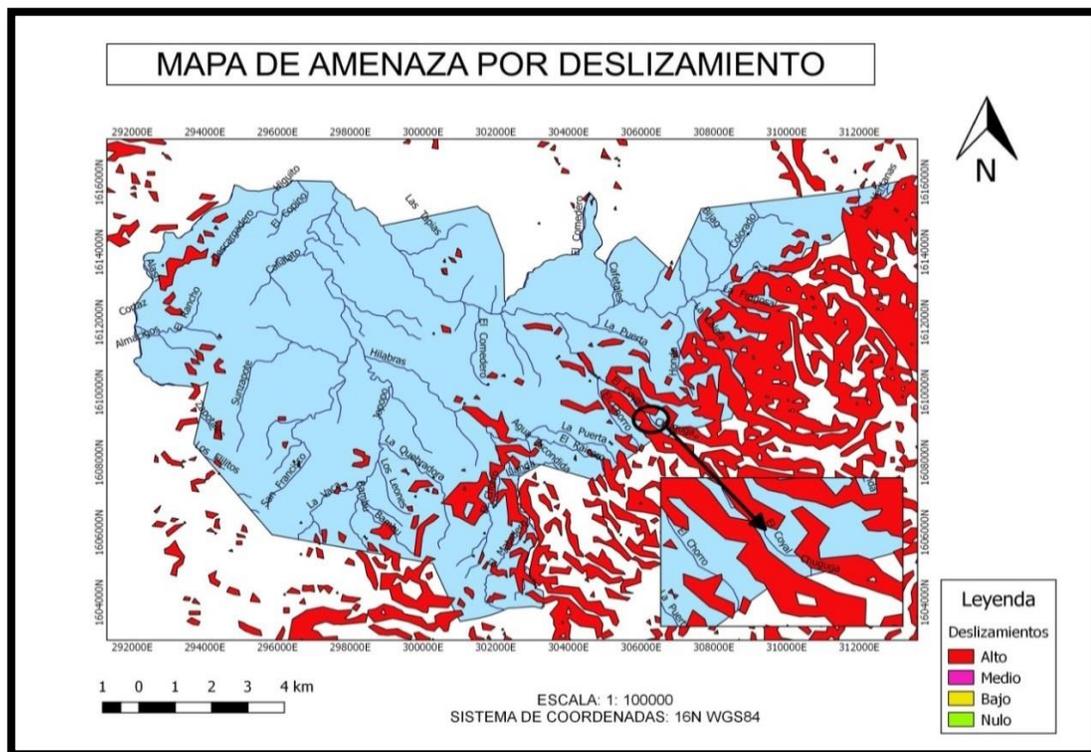
Por su posición geográfica, Honduras puede considerarse como un país de alta vulnerabilidad y riesgos, los cuales se explicarán en los siguientes párrafos.

### 2.2.9.1. Amenaza por deslizamientos

Según la figura 17, se puede observar que en el área de estudio la amenaza es alta debido al tipo de suelo que se encuentra, ya que la

inestabilidad depende directamente de las características físicas y mecánicas del material en la zona.

Figura 17. **Mapa de amenaza por deslizamiento en Corquín Copán**

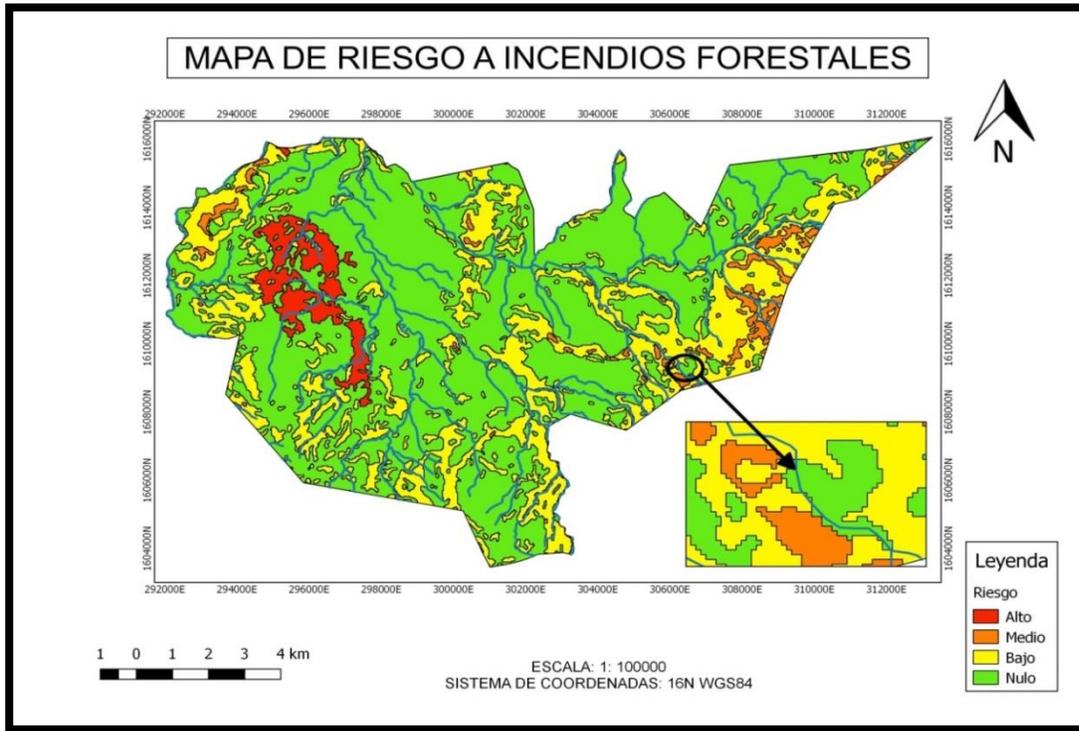


Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGN), adaptado por la autora, en formato QGIS.

### 2.2.9.2. Riesgo por incendios forestales

Según la figura 18, se puede observar que en el área de estudio el riesgo a incendios es de bajo-medio, debido a que la mayor parte de área está cubierta por cultivos de café.

Figura 18. **Mapa de riesgo a incendios forestales en Corcuín Copán**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional de Honduras (IGN), adaptado por la autora, en formato QGIS.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Ensayos de laboratorio**

Para obtener la mayor cantidad de información del sitio y determinar la granulometría, el índice de plasticidad, el coeficiente de fricción interna, la cohesión y la densidad, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

##### **3.1.1. Análisis granulométrico (ASTM D6913-04)**

El resultado del laboratorio se muestra en el anexo 1. Como se puede observar el suelo se describe como limo arenoso color café oscuro con presencia de materia orgánica, con una clasificación en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS (Prueba D-2487 de la ASTM) como ML (*Silt*), con un porcentaje de finos de 52,99, un porcentaje de arena de 42,66 y 4,35 % de grava.

Según la curva de distribución granulométrica (anexo 1) el diámetro efectivo o D10 que se define como el diámetro correspondiente al 10 % de finos en la curva granulométrica y D30 que se define como el diámetro correspondiente al 30 % de finos en la curva granulométrica no se determina debido a que el porcentaje de finos es mayor. Por lo tanto, el coeficiente de uniformidad Cu es igual a D60 que se define como el diámetro correspondiente al 60 % de finos en la curva granulométrica con un valor de 0,18 mm.

### **3.1.2. Límites de Atterberg (AASHTO T-89 Y T-90)**

El resultado del laboratorio se muestra en el anexo 2. Como se puede observar el suelo no presenta límite líquido e índice de plasticidad debido a que no hay un grado de cohesión entre las partículas.

### **3.1.3. Prueba de compresión triaxial**

Se realizó mediante el tipo de prueba no consolidado-no drenado.

El resultado del laboratorio se muestra en el anexo 3. Como se puede observar el ángulo de fricción interna del suelo  $\phi$  es igual a  $10,73^\circ$  y cohesión C es igual a cero, debido a que el suelo examinado es limo arenoso.

Según los resultados de laboratorio del ensayo de compresión triaxial (anexo 3) el porcentaje de contenido de humedad es igual a 40,46.

### **3.1.4. Peso específico**

Según los resultados de laboratorio del ensayo de compresión triaxial (anexo 3) la densidad Seca es igual a  $1,08 \text{ T/m}^3$  y la densidad húmeda es igual a  $1,56 \text{ T/m}^3$ .

### **3.1.5. Permeabilidad**

Se realizó mediante el ensayo de cabeza constante por el método de molde de pared rígida según norma ASTM D 5856-00.

El resultado del laboratorio se muestra en el anexo 4. Como se puede observar el coeficiente de permeabilidad  $k$  es igual a  $8,75 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ , lo que significa que es poco permeable, según la tabla I, valores relativos de permeabilidad.



## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1. Parámetros geotécnicos utilizados**

Según los resultados del Centro de Investigación de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala CII-USAC se obtuvieron los siguientes datos:

- Ángulo de fricción interna ( $\phi$ ):  $10,73^\circ$
- Cohesión (C):  $0 \text{ T/m}^2$
- Densidad húmeda ( $\rho$ ):  $1,56 \text{ T/m}^3$
- Peso específico ( $\gamma$ ):  $15,3036 \text{ KN/m}^3$

### **4.2. Cálculos de estabilidad**

El análisis de estabilidad se realizó por medio del software para computador llamado *SLOPE/W* en versión estudiantil año 2012.

#### **4.2.1. Perfil del terreno**

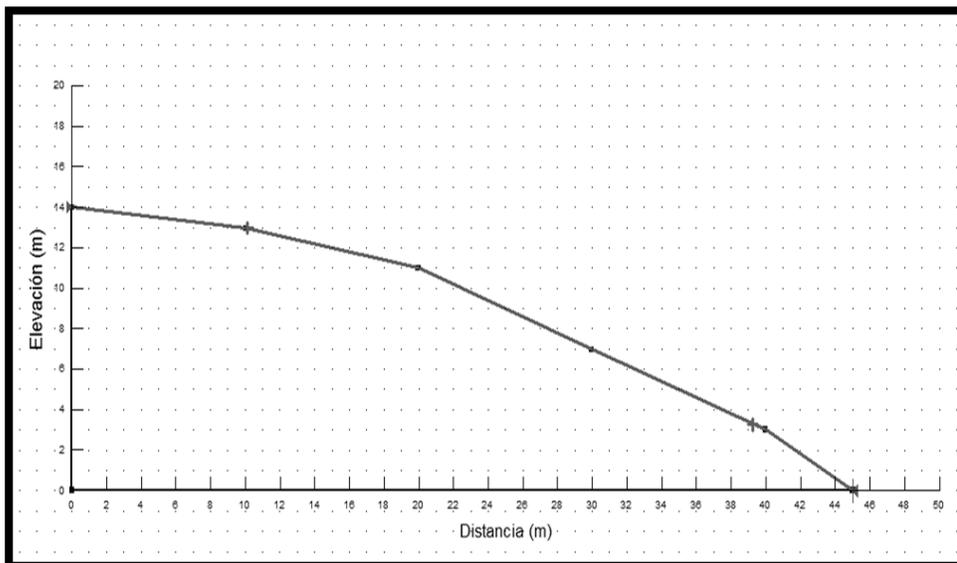
Al realizar el análisis de estabilidad en el software, lo primero que se debe hacer es generar una gráfica de elevación frente a la distancia del área de estudio, como se muestra a continuación:

Tabla II. **Coordenadas del perfil del terreno**

<b>PUNTO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>1</b>	0	0
<b>2</b>	0	14
<b>3</b>	10	13
<b>4</b>	20	11
<b>5</b>	30	7
<b>6</b>	40	3
<b>7</b>	45	0

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Perfil del terreno**

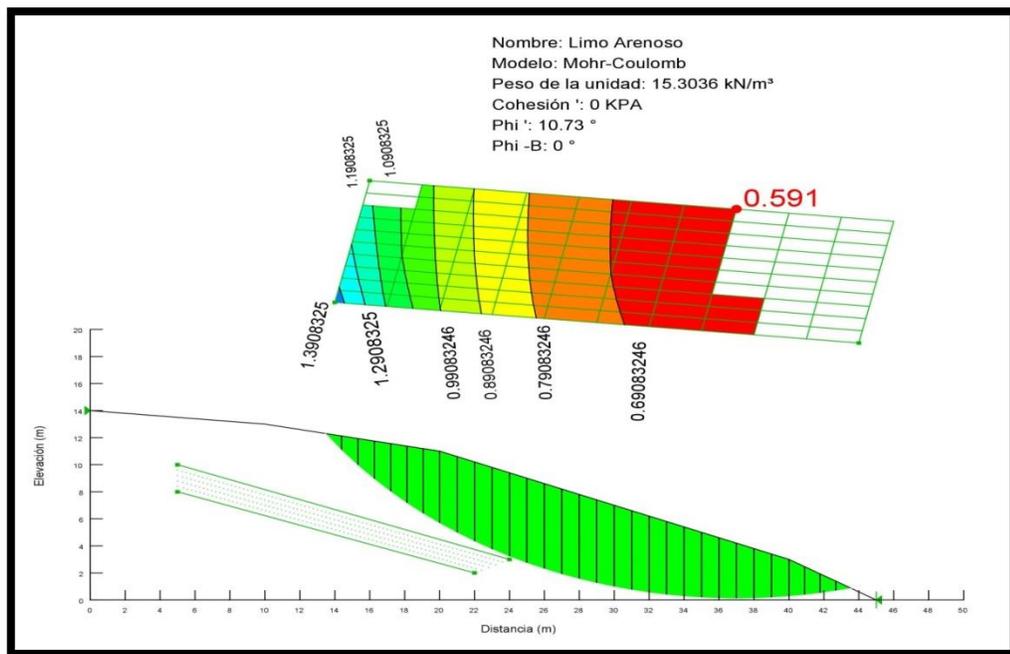


Fuente: elaboración propia, empleando SLOPE/W.

### 4.3. Resultados obtenidos

Después de realizar la gráfica se introducen los resultados de laboratorio en el software el cual genera un resultado en minutos como se observa en la figura. 20.

Figura 20. **Gráfica de resultados de superficie de menor coeficiente de seguridad**



Fuente: elaboración propia, empleando SLOPE/W.

Según la figura 20, el factor de seguridad mínimo en el análisis de estabilidad es de 0,591 menor que 1. Lo que significa que es una ladera inestable, según el apartado 6.4.5, pérdida en la resistencia del suelo del Código Hondureño de la Construcción CHOC-08.



## **5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN**

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de laderas es establecer medidas de mitigación, prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo (Suarez, 2009).

### **5.1. Métodos para disminuir o eliminar el riesgo**

Existen varias formas de enfocar y resolver cada problema específico y la metodología que se requiere emplear depende de una serie de factores técnicos, sociales, económicos, políticos; con una gran cantidad de variables en el espacio y en el tiempo (Coliente, 2010).

#### **5.1.1. Métodos de elusión de amenaza**

Se describe a continuación los dos métodos que se considera que podrían ser la mejor opción para asegurar la estabilidad de la ladera.

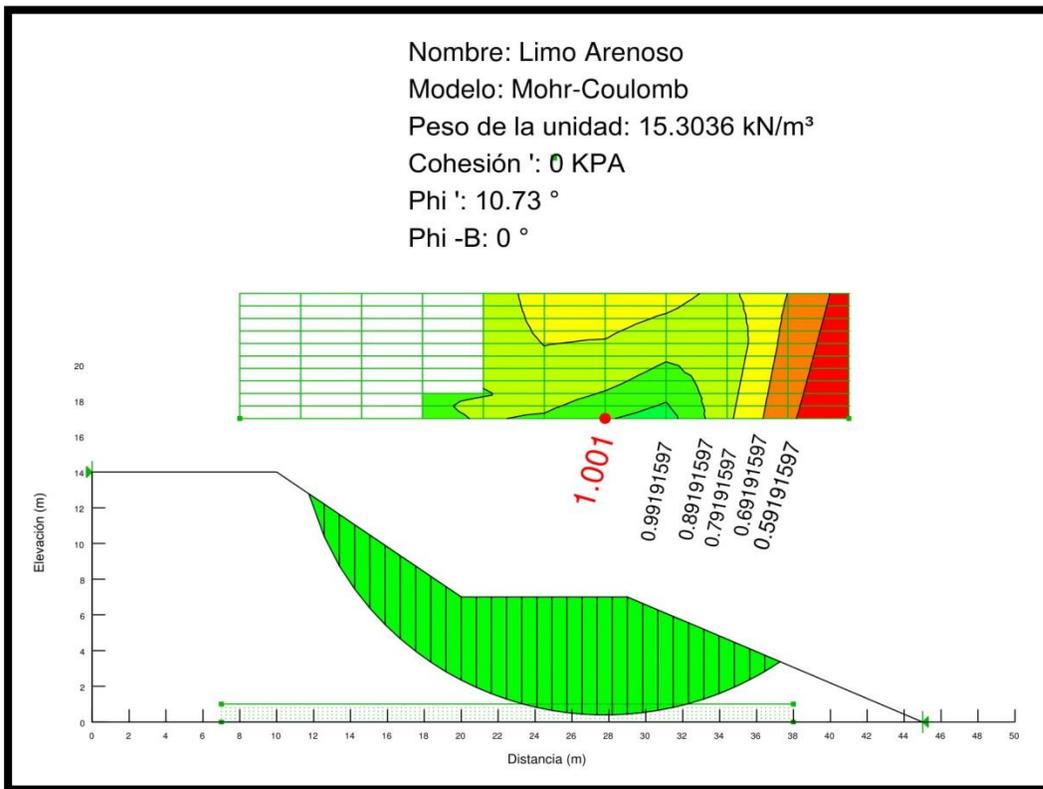
##### **5.1.1.1. Remoción parcial de materiales inestables**

Se pueden remover los materiales inestables, cuando sus espesores no son muy grandes pero se dificulta cuando el nivel freático se encuentra subsuperficial (González, 2002).

En el proyecto estudiado (ver figura 21) se podría realizar un corte en el material deslizado y una berma en el centro de la ladera para mejorar el factor de seguridad.

Las ventajas de hacer una berma es que son económicas y rápidas de construir y la desventaja es que requiere espacio grande a mitad de la ladera.

Figura 21. **Gráfica de corte de material deslizado y berma en ladera para mejorar el factor de seguridad**



Fuente: elaboración propia, empleando SLOPE/W.

### 5.1.1.2. Recubrimiento de ladera con vegetación

Se puede sembrar vegetación, cuando se necesite una protección rápida en gran extensión.

En la ladera estudiada se podría sembrar vegetación para evitar o reducir la erosión superficial, tanto eólica como hídrica.

Las ventajas de la vegetación son que reduce la escorrentía superficial, mejora el proceso de infiltración y absorbe la energía de las gotas de lluvia. Las desventajas son que ejerce peso que desestabiliza la ladera y las raíces tienden a invadir grietas y canales que causan la inestabilidad.



## CONCLUSIONES

1. Con base en el análisis realizado en el programa comercial de software llamado SLOPE/W, el factor de seguridad para evaluar las condiciones de estabilidad de ladera son de 0,591, lo cual es menor que 1, con este resultado se concluye que es una ladera inestable.
2. El área de estudio se encuentra en la unidad geológica Tpm: Grupo Padre Miguel, que se caracteriza por tener sedimentos de rocas volcánicas del periodo Terciario Superior.
3. Las propiedades del suelo de El Suptal pertenecen a la clasificación ML, que se describe como un suelo limo arenoso color café oscuro, con presencia de materia orgánica, con un alto porcentaje de finos (52,99 %) y con un alto porcentaje de arena (42,66 %), lo que define el suelo como susceptible a deslizamientos.
4. Se determinaron los valores de los parámetros geotécnicos; el ángulo de fricción interna es igual a  $10,73^\circ$  y la cohesión es igual a cero, lo cual determina que el suelo es arenoso.
5. Se realizó el análisis de alternativas de mitigación y se considera que el mejor método para asegurar la estabilidad de ladera es la remoción parcial de materiales inestables.
6. Se valida la hipótesis, pues en la ladera estudiada las características dominantes, para determinar las condiciones de estabilidad sí dependen

de la geología y de las propiedades físico-mecánicas del material, estos tienen un efecto directo sobre el comportamiento de la ladera que provoca inestabilidad.

## RECOMENDACIONES

1. Al considerarse una ladera propensa a deslizamientos, se recomienda realizar un corte de material deslizado y hacer una berma en medio de la ladera, al analizar por medio de programa comercial de software llamado SLOPE/W aumenta el factor de seguridad a 1,001, lo que indica que este, depende de la geometría y de la pendiente de la ladera.
2. Realizar una cuneta paralela a la ladera para interceptar y canalizar las corrientes superficiales de agua y así evitar que la infiltración directa produzca un aumento de presiones intersticiales.
3. Existen otras formas de estabilización de ladera que se pueden aplicar dependiendo de la factibilidad económica. Algunos métodos podrían ser: utilización de concreto lanzado (*shotcrete*), diseño y construcción de estructuras de contención, colocación de pilotes de compactación.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alonso, E. Corominas, J. & Hurlimann, M. (2013). *VIII Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables*. Barcelona, España: Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE).
2. Ayala, F. & Andreu, F. (1987). *Manual de Taludes*. España: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
3. Barborak, J. Morales, R. & Macfarland, C. (1984). *Plan de manejo y desarrollo del monumento nacional ruinas de Copán*. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Departamento de Recursos Naturales y Renovables.
4. Coliente, A. (2010). *Inestabilidad en laderas y taludes*. (Tesis de postgrado), Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. Recuperado de: <https://edoc.pub/tesis-inestabilidad-de-taludes-y-laderaspdf-pdf-free.html>.
5. Comisión técnica del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras "CICH". (2008). *Código Hondureño de Construcción. Normas Técnicas. "CHOC-08"*. Tegucigalpa, Honduras: XMEDIA Impresos.
6. Das, B. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Thomson Learning.

7. Das, B. (2006). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. México: Cengage Learning.
8. Enciclopedia Cubana Ecured. (2017). *Cerro (accidente geográfico)*. Recuperado de: [https://www.ecured.cu/Cerro\\_\(accidente\\_geogr%C3%A1fico\)](https://www.ecured.cu/Cerro_(accidente_geogr%C3%A1fico)).
9. González, L. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid, España: Pearson Educación.
10. Instituto Geográfico Nacional de Honduras "IGN". *Hojas cartográficas formato Shape: 0405 Hidrografía Corquín, Deslizamientos, Riesgo a incendios forestales, Pendiente, Elevaciones y Geología. Honduras*.
11. Instituto Geográfico Nacional de Honduras "IGN". (1993). *Mapa topográfico de Honduras: Hoja Corquín (2459 IV). Escala. 1:50000. Honduras*.
12. Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre de Honduras "ICF". (2015). *Atlas municipal, forestal y cobertura de la tierra. Municipio de Corquín, Copán. Honduras*.
13. Instituto Nacional de Estadística de Honduras "INE". (2013). *XVII Censo de Población y VI Vivienda a nivel de municipios. Honduras*. Recuperado de: <http://www.ine.gob.hn/index.php/component/content/article?id=103>

14. Juárez, E. & Rico, A. (2005). *Mecánica de Suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México: Limusa.
15. Maps of World. *Map of Copan*. Recuperado de: <https://espanol.mapsofworld.com/continentes/norte-america/honduras/departamentos/copan.html>.
16. Murillo, I. (2013). *Características Geomorfológicas de Honduras. Nacer en Honduras*. Recuperado de: <http://nacerenhonduras.com/2013/05/caracteristicasgeomorfologicas.html>.
17. Orellana, O. (2012). *Estimación del Carbono Almacenado en la Zona Núcleo del Parque Nacional Montaña De Celaque (Pnmc) Honduras, utilizando la Teledetección y Sistemas de Información Geográfica*. (Tesis de pregrado), Escuela Nacional de Ciencias Forestales ESNACIFOR. Recuperado de: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A11098e/A11098e.pdf>.
18. Peck, R. Hanson, W. & Thornburn, T. (1953). *Ingeniería de Cimentaciones*. México: Limusa.
19. Pérez, J. (2008). *Qué significa cima*. Recuperado de: <https://definicion.de/cima/>.
20. Rogers, R. (2003). *Jurassic-Recent tectonic and stratigraphic history of the Chortis block of Honduras and Nicaragua (Northern Central America)*. (Tesis de postgrado), The University of Texas at Austin.

Recuperado de:  
<https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/889>

21. Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas de Honduras "SERNA". *Mapa climatológico temperatura máxima, media y mínima anual. mapa climatológico precipitación media anual.* Honduras.
22. Serrato, P. (2009). *Clasificación fisiográfica del terreno a partir de la inclusión de nuevos elementos conceptuales.* Colombia: Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica.
23. Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: análisis geotécnico.* Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
24. Suárez, J. (2012). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.* Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
25. Terzaghi, K. & Peck, Ralph. (1978). *Mecánica de suelos en la ingeniería práctica.* España: El Ateneo S.A.
26. Wikipedia. (2017). *Corquín.* Recuperado de:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Corqu%C3%ADn.](https://es.wikipedia.org/wiki/Corqu%C3%ADn)

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Nivelación y medición de terreno en ladera en embalse, comunidad El Suptal



Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 2. Medición de 2 metros de profundidad del agujero en ladera en embalse, comunidad El Suptal



Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 3. Corte de cubo de suelo de 30 x 30 cm en ladera en embalse, comunidad El Suptal**



Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 4. Aplicación de capa de parafina a cubo de suelo en ladera en embalse, comunidad El Suptal**



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 5. Reporte generado en SLOPE/W

### Ejercicio Tesis

---

Reporte generado utilizando GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2015 GEO-SLOPE International Ltd.

#### Información del archivo

Archivo de la versión: 8.15

Número de revisión: 111

Fecha: 31/03/2017

Tiempo: 03:28:59 p.m.

Versión de la herramienta: 8.15.3.11339

Nombre de archivo: Ejercicio Tesis.gsz

Directorio: C:\Users\KEMBERLIN DERAS\Desktop\ESTABILIDAD\2016\

Última fecha solucionado: 31/03/2017

La última vez solucionada: 03:29:02 p.m.

#### Ajustes del proyecto

Unidades de longitud (l): Metros

Unidades de tiempo: Segundos

Unidades Fuerza (F): Kilonewtons

Unidades Presión (p): KPA

Unidades de fuerza: KPA

Unidad de peso de agua: 9.807 kN/m<sup>3</sup>

Vista: 2D

Elemento grueso: 1

#### Configuración de análisis

#### Ejercicio Tesis

Descripción: Análisis de estabilidad

Clase: SLOPE/W

Continuación apéndice 5.

Método: Morgenstern-Price

Configuración

Función lateral

Opción de función de fuerza entre rebanadas: Medio-Seno

PWP condiciones fuente: (ninguno)

Superficie de deslizamiento

Dirección de movimiento: Izquierda a Derecha

Use el modo pasivo: No

Opción superficie antideslizante: Cuadrícula y radio

Superficies de deslizamiento crítico salvadas: 1

Ángulo convexo máxima resistencia lateral: 1 °

Ángulo convexo máxima conducción lateral: 5 °

Optimizar la ubicación de la superficie de deslizamiento crítica: No

Fisura de tensión

Opción de grieta de tensión: (ninguno)

Distribución del FS

F de la opción de cálculo de S: Constante

Avanzado

Número de rebanadas: 30

F de S tolerancia: 0.001

Profundidad superficial mínimo resbalón: 0.1 m

Método de búsqueda: Localizador de raíz

Diferencia tolerable entre F de S inicial o de convergencia: 3

Máximo de iteraciones para calcular lambda convergente: 20

Lambda absoluto máximo: 2

Continuación apéndice 5.

Materiales

Limo Arenoso

Modelo: Mohr-Coulomb

Peso de la unidad: 15.3036 kN/m<sup>3</sup>

Cohesión 'c': 0 KPA

Phi 'φ': 10.73 °

Phi -B: 0 °

Cuadrícula de superficie de deslizamiento

Superior izquierda: (16, 31) m

Inferior Izquierda: (14, 22) m

Inferior derecha: (44, 19) m

Incremento horizontal de cuadrícula: 10

incremento vertical de cuadrícula: 10

Ángulo de proyección izquierdo: 0 °

Ángulo de proyección correcta: 0 °

Radio superficie antideslizante

Superior izquierda coordenada: (5, 10) m

Coordenada superior derecha: (24, 3) m

Coordenada inferior izquierda: (5, 8) m

Coordenada inferior derecha: (22, 2) m

Número de incrementos: 5

Proyección izquierdo: No

Ángulo de proyección izquierdo: 135 °

Proyección correcta: No

Ángulo de proyección correcta: 45 °

Límites de superficie antideslizante

Coordenada izquierda: (0, 14) m

Continuación apéndice 5.

Coordenada derecha: (45, 0) m

Puntos

	X (m)	Y (m)
Punto 1	0	0
Punto 2	0	14
Punto 3	10	13
Punto 4	20	11
Punto 5	30	7
Punto 6	40	3
Punto 7	45	0

Regiones

	Material	Puntos	Área (m <sup>2</sup> )
Región 1	Limo Arenoso	1,2,3,4,5,6,7	402.5

Superficie de deslizamiento actual

Superficie de deslizamiento: 703

F de S: 0.591

Volumen: 132.36794 m<sup>3</sup>

Peso: 2,025.706 kN

Resistencia al momento: 10,906.792 kN-m

Momento de activación: 18,458.649 kN-m

Fuerza de resistencia: 348.03693 kN

Fuerza de activación: 589.10642 kN

Rango F de S (Análisis): superficies de deslizamiento 1 de 726

Rango F de S (Consulta): superficies de deslizamiento 1 de 726

Continuación apéndice 5.

Salida: (43.564941, 0.86103554) m

Entrada: (13.463563, 12.307287) m

Radios: 28.797256 m

Centro: (37, 28.9) m

Rebanadas de deslizamiento

	X (m)	Y (m)	Presión de agua intersticial (KPA)	Tensión normal de base (KPA)	Resistencia friccional (KPA)	Resistencia por cohesión (KPA)
Rebanada 1	13.930451	11.681736	0	5.5352859	1.0489052	0
Rebanada 2	14.864228	10.494667	0	15.932444	3.0191074	0
Rebanada 3	15.798005	9.4248611	0	25.083843	4.7532455	0
Rebanada 4	16.731782	8.4537508	0	33.297809	6.3097452	0
Rebanada 5	17.665558	7.5677642	0	40.808913	7.7330567	0
Rebanada 6	18.599335	6.7566264	0	47.798944	9.0576278	0
Rebanada 7	19.533112	6.0123429	0	54.409904	10.310367	0
Rebanada 8	20.5	5.306363	0	59.818104	11.33519	0
Rebanada 9	21.5	4.6372725	0	64.050417	12.13719	0
Rebanada 10	22.5	4.0263791	0	68.049591	12.89501	0
Rebanada 11	23.5	3.4694765	0	71.839035	13.613088	0
Rebanada 12	24.5	2.9630783	0	75.418501	14.291377	0
Rebanada 13	25.5	2.5042708	0	78.764895	14.925499	0
Rebanada 14	26.5	2.0906056	0	81.832735	15.506838	0
Rebanada 15	27.5	1.7200178	0	84.554733	16.022641	0
Rebanada 16	28.5	1.3907632	0	86.842985	16.456251	0

Continuación apéndice 5

Rebanada 17	29.5	1.1013709	0	88.591268	16.787541	0
Rebanada 18	30.5	0.85060517	0	89.678908	16.993643	0
Rebanada 19	31.5	0.63743628	0	89.976612	17.050056	0
Rebanada 20	32.5	0.46101767	0	89.354443	16.932158	0
Rebanada 21	33.5	0.32066785	0	87.691759	16.617089	0
Rebanada 22	34.5	0.21585671	0	84.888472	16.085882	0
Rebanada 23	35.5	0.14619512	0	80.876508	15.325638	0
Rebanada 24	36.5	0.11142761	0	75.629921	14.33144	0
Rebanada 25	37.5	0.11142761	0	69.17195	13.107691	0
Rebanada 26	38.5	0.14619512	0	61.577487	11.668583	0
Rebanada 27	39.5	0.21585671	0	52.969971	10.037508	0
Rebanada 28	40.445618	0.31314576	0	42.56012	8.0649005	0
Rebanada 29	41.336853	0.43474927	0	30.645924	5.8072282	0
Rebanada 30	42.228088	0.5849205	0	18.448401	3.495867	0
Rebanada 31	43.119323	0.76411737	0	6.1317243	1.1619269	0

Fuente: elaboración propia, empleando SLOPE/W.



**Anexo 2. Análisis de contenido de humedad en la zona de estudio: ladera en embalse, comunidad El Suptal**



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

INFORME No. 078 S.S.

O.T.: 37.062

**No. 09935**

Interesado: Kemberlin Jeannette Deras Robles

Proyecto: Proyecto de Investigación "Análisis de Estabilidad en Embalse: El Suptal, Corquín Copán, Honduras"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Corquín Copán, Honduras

FECHA: viernes, 3 de marzo de 2017

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	N.P.	N.P.	ML	Limo Arenoso Color Café Oscuro con Presencia de Materia Orgánica

(\*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

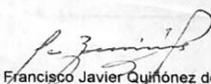
Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,



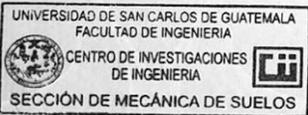
Ing. Omar Enrique Meltrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quirón de la Cruz  
DIRECTOR CII/USAC



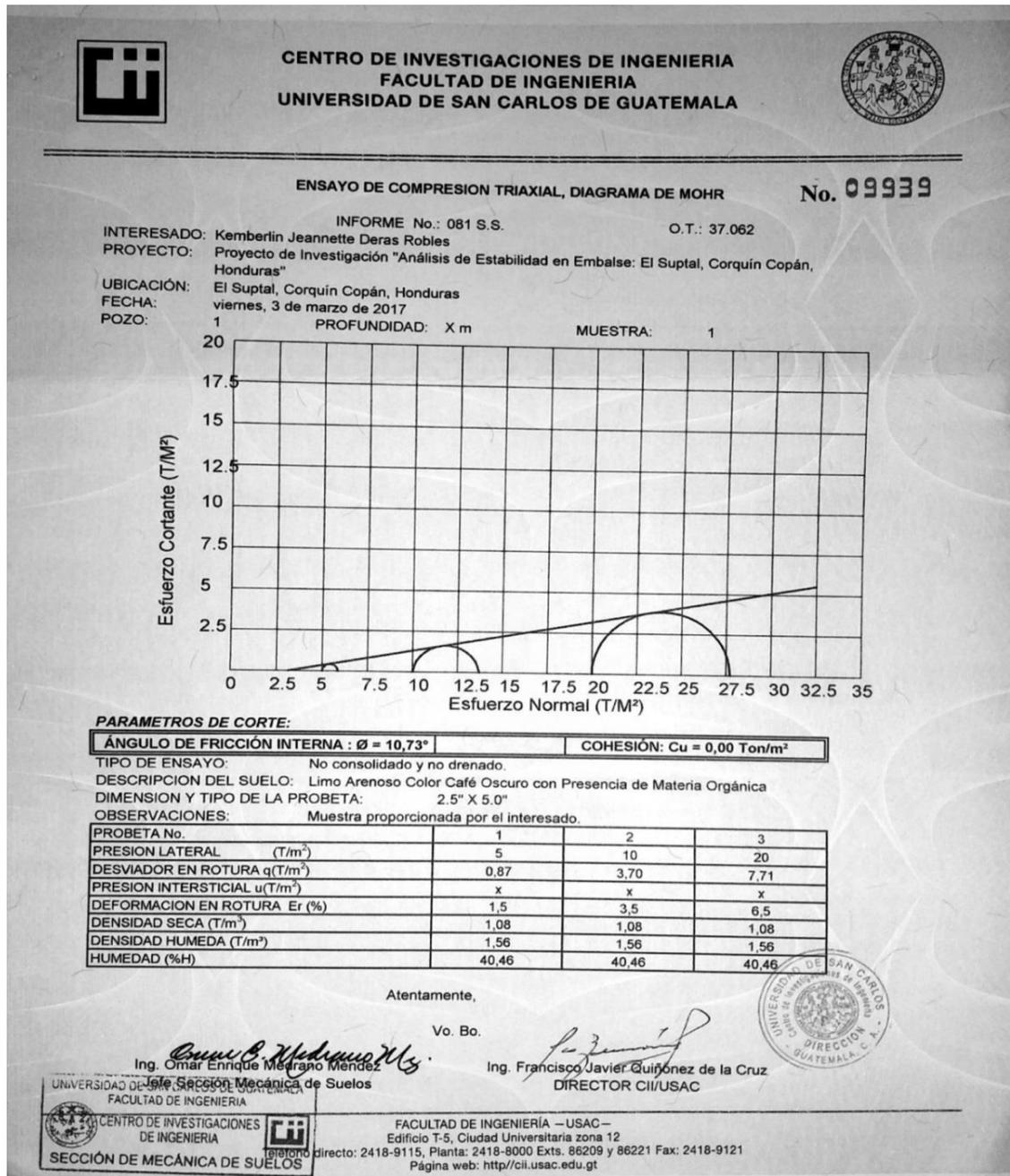


---

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 3. Análisis de ángulo de fricción interna, cohesión y peso específico en la zona de estudio: ladera en embalse, comunidad El Suptal



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 4. **Análisis de permeabilidad en la zona de estudio: ladera en embalse, comunidad El Suptal**

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** 

---

**No. 09940**

**INFORME No.:** 080 S.S.                      **O.T. No.:** 37.062

**INTERESADO:** Kembelin Jeannette Deras Robles

**PROYECTO:** Proyecto de Investigación "Análisis de Estabilidad en Embalse: El Suptal, Corquín Copán, Honduras"

**ASUNTO:** Ensayo de Permeabilidad Cabeza Constante por el método de molde de pared rígida

**NORMA:** ASTM D 5856-00

**UBICACIÓN:** Corquín Copán, Honduras

**MUESTRA No.:** 1                      **PROFUNDIDAD:** X m

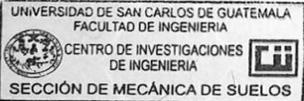
**DESCRIPCIÓN DEL SUELO:** Limo Arenoso Color Café Oscuro con Presencia de Materia Orgánica

**FECHA:** viernes, 3 de marzo de 2017

**RESULTADO DEL ENSAYO:**

**COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD = 8.75 x 10<sup>-4</sup> cm/s**

**OBSERVACIONES:**  
Muestra proporcionada por el interesado.

 **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS** 

Atentamente,

*Omar E. Meltrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Meltrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

*Francisco Javier Quiñonez de la Cruz*  
Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
DIRECTOR CII/USAC

---

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC –  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.