



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrados

**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ZONIFICACIÓN DE MORA-VAHRSON EN LA
DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS. EL CASO DEL
PROYECTO RN-01-A, CA-01 OCCIDENTE KM. 127- ALDEA PIXABAJ**

Inga. Miriam Eugenia Castro Conde Monzón

Asesorado por el Dr. Ing. Carlos Humberto Rivera Pomés

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ZONIFICACIÓN DE MORA-VAHRSON EN LA
DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS. EL CASO DEL
PROYECTO RN-01-A, CA-01 OCCIDENTE KM. 127- ALDEA PIXABAJ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

INGA. MIRIAM EUGENIA CASTRO CONDE MONZÓN
ASESORADO POR EL Dr. ING. CARLOS HUMBERTO RIVERA POMÉS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRA EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Msc. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Msc. Ing. Alberto José Pérez Zarco
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:

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ZONIFICACIÓN DE MORA-VAHRSON EN LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS. EL CASO DEL PROYECTO RN-01-A, CA-01 OCCIDENTE KM. 127- ALDEA PIXABAJ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 9 de julio de 2013

Inga. Miriam Eugenia Castro Conde Monzón

Del Escritorio de
Carlos Humberto Rivera Pomés (PhD)

Guatemala, 30 de julio de
2013.

Dra. Mayra Castillo
Directora de Postgrado
Facultad de Ingeniería/USAC
Presente.-

Estimada Dra. Castillo:

Al enviarle un cordial saludo, me permito indicarle por este medio, que he asesorado a la Sra. Inga. Miriam Eugenia Castroconde Monzón, carné No. 100018304, en el proyecto de tesis de maestría en GEOTECNIA, titulada **"Aplicación del Método de Zonificación de Mora-Vahrson en la Determinación de la Susceptibilidad a Deslizamientos. El caso del Proyecto RN-01-A, CA-01 Occidente km. 127- Aldea Pixabaj"**

He podido revisar el documento, encontrándolo apto, pues llena todos los requisitos impuestos. Por esta razón, me permito aprobarla.

Sin otro particular, me despido de Ud.

Deferentemente,



"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Ing. Carlos Humberto Rivera Pomés
ASESOR DE TESIS



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado
Teléfono 2418-9142

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Geotécnica y revisor del Trabajo de Tesis titulado **“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ZONIFICACION DE MORA-VAHRSON EN LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS. EL CASO DEL PROYECTO RN-01-A, CA-01 OCCIDENTE KM 127- ALDEA PIXABAJ, MUNICIPIO DE SOLOLÁ, SOLOLÁ”**, presentado por la Ingeniera Civil Miriam Eugenia Castroconde Monzón, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, noviembre de 2013.

Cc: archivo
/la



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado
Teléfono 2418-9142

001195

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería Geotécnica del Trabajo de Tesis titulado **“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ZONIFICACION DE MORA-VAHRSON EN LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS. EL CASO DEL PROYECTO RN-01-A, CA-01 OCCIDENTE KM 127- ALDEA PIXABAJ, MUNICIPIO DE SOLOLÁ, SOLOLÁ”**. Presentado por la Ingeniera Civil **Miriam Eugenia Castroconde Monzón**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2013.

Cc: archivo
/la



Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios
De Postgrado
Teléfono 2418-9142

La Directora 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 dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Tesis titulado **“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ZONIFICACION DE MORA-VAHRSON EN LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS. EL CASO DEL PROYECTO RN-01-A, CA-01 OCCIDENTE KM 127- ALDEA PIXABAJ, MUNICIPIO DE SOLOLÁ, SOLOLÁ”** presentado por la Ingeniera Civil **Miriam Eugenia Castroconde Monzón**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2013.

Cc: archivo
/la

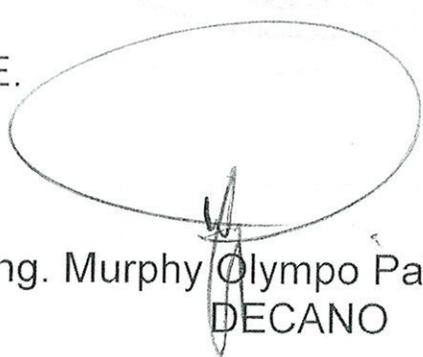


Facultad de Ingeniería
Decanato
Teléfono 2418-9142

Ref. APT-2013-010

El Decano 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 Postgrado, al Trabajo de Tesis de la Maestría en Ingeniería Geotécnica titulado: **“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE ZONIFICACIÓN DE MORA-VAHRSON EN LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS. EL CASO DEL PROYECTO RN-01 A CA-01 OCCIDENTE KM 127 – ALDEA PIXABAJ, MUNICIPIO DE SOLOLÁ, SOLOLÁ,”**, presentado por la Ingeniera Civil **Miriam Eugenia Castroconde Monzón**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, noviembre de 2013.

Cc: archivo
/la

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Mis hijos

Nadya Waleska, Margie Eunice y Adrian.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XIII
JUSTIFICACIÓN.....	XV
OBJETIVOS.....	XIX
Hipótesis.....	XIX
MÉTODOS Y TÉCNICAS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. PRIMER CAPÍTULO	1
1.1. Riesgos geológicos	1
1.2. Estudios de riesgo geológico.....	2
1.2.1. Riesgo específico	2
1.2.2. Riesgo total (Rt).....	3
1.2.3. Riesgos geológicos externos	3
1.2.4. ¿Qué aumenta su exposición al riesgo?.....	5
1.2.5. Procedimiento para evaluar el riesgo en la infraestructura vial	5
1.2.6. Los principales factores que afectan la estabilidad de las laderas identificados en la zona de estudio son los siguientes	6
1.2.7. Evaluación de riesgo por deslizamiento	8
1.3. Amenaza	9
1.3.1. Amenazas geológicas e hidrometeorológicas.....	9
1.4. Vulnerabilidad.....	10

1.4.1.	Evaluación de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) ...	11
1.5.	Mitigación	11
1.5.1.	Mitigación de desastres.....	12
2.	SEGUNDO CAPÍTULO	15
2.1.	Deslizamientos.....	15
2.2.	Anatomía de los deslizamientos.....	17
2.3.	Factores que afectan a la estabilidad del talud/pendiente.....	19
2.3.1.	Factores internos.....	19
2.3.2.	Factores externos.....	21
2.4.	Tipos de movimientos de masa o deslizamientos	22
3.	TERCER CAPÍTULO	25
3.1.	Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento, mediante el Método Mora-Vahrson	25
3.1.1.	Efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos.....	27
3.2.	Descripción del área de estudio	29
3.2.1.	Geografía física	29
3.2.2.	Geografía local	30
3.2.3.	Hidrografía.....	33
3.2.4.	Orografía	34
3.2.5.	Zonas de vida vegetal	34
3.2.6.	Geología.....	35
3.2.7.	Fisiografía.....	36
3.2.8.	Características del proyecto CA-01 Occidente a aldea Pixabaj.....	37
3.3.	Aplicación de la metodología Mora - Vahrson.....	39
3.3.1.	Parámetros de la pendiente (Sp).....	39

3.3.2.	Parámetro de susceptibilidad litológica (Si)	42
3.3.2.1.	Estratigrafía	43
3.3.3.	Parámetros de humedad del terreno (Sh)	46
3.3.4.	Parámetros de disparo por sismicidad Ds	50
3.3.5.	Parámetro de disparo por lluvia Dll	53
3.3.6.	Resumen de los parámetros obtenidos	55
4.	CUARTO CAPÍTULO	59
4.1.	Discusión de resultados.....	59
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	69
	ANEXOS	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Anatomía de un deslizamiento	19
2.	Placas tectónicas de Guatemala	30
3.	Ubicación geográfica de Sololá	31
4.	Fallas en Guatemala	35
5.	Localización del proyecto CA-01 occidente a aldea Pixabaj	38
6.	Taludes del proyecto	39
7.	Pendiente de los taludes del proyecto.....	42
8.	Estaciones meteorológicas de Guatemala	47
9.	Precipitaciones mensuales de lluvia en el 2005 (mm).....	49
10.	Cinturón de Fuego Global	51
11.	Mapa de amenazas sísmica en términos de PGA (gal) para PR = 500 años	52
12.	Susceptibilidad al deslizamiento en los taludes del proyecto	60
13.	Aldea Pixabaj después de la tormenta Agatha.....	63

TABLAS

I.	Pendiente del terreno en taludes inferiores a la carretera.....	40
II.	Clases de pendientes, condiciones del terreno, Valoración de Parámetro de pendiente (Sp)	40
III.	Resultado de los laboratorios de suelos.....	44

IV.	Valoración del parámetro de susceptibilidad litológica; caso suelos, SI	45
V.	Precipitaciones pluviales mensuales de estaciones meteorológicas	48
VI.	Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia.....	49
VII.	Valoración del parámetro: humedad del terreno (Sh)	50
VIII.	Valoración del parámetro de disparo por sismicidad, Ds	53
IX.	Valoración del parámetro de disparo por lluvias, DII	54
X.	Rango de valores versus categoría	56
XI.	Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento	56

GLOSARIO

Ángulo de reposo	Ángulo máximo con que un montículo de suelo se mantiene estable sin que se produzca deslizamiento.
Cohesión	Característica de los suelos que hace que sus partículas constituyentes permanezca más o menos unida, ante los esfuerzos.
Cualitativo	Se refiere a las cualidades o características que presenta un cierto objeto.
Cuantitativo	Se refiere a la cuantificación de una determinada característica de un objeto.
Cuenca hidrográfica	Área que es drenada por una corriente principal y sus afluentes, está limitada por los puntos altos que la rodean.
Deslizamiento	Desplazamiento de material de una ladera o talud, provocado por diferentes factores.
Diaclasas	Fracturas de las rocas sin estrillas y diferencia de las fallas, las diaclasas no muestran.

Erosión	Desprendimiento de material de la superficie de la tierra por agentes tales como el agua, viento y hielo.
Escarpe	Forma vertical o casi vertical del terreno provocado por el desplazamiento de una falla geológica.
Escorrentía superficial	Agua que corre por la superficie del terreno a través de ríos y quebradas como consecuencia de las lluvias.
Estratigrafía	Secuencia de estratos o capas de suelo o roca en una región determinada.
Factores Antrópicos	Aquellos producidas por el ser humano (contaminación, epidemias, incendios, accidentes, guerras explosiones peligrosas, derrames de sustancias nocivas, terrorismo).
Falla	En geología, es la ruptura del terreno provocada por diferentes tipos de esfuerzos que actúan en la corteza terrestre.
Fallamiento	Fracturas o discontinuidades que presentan los cuerpos de roca, las cuales son provocadas por diferentes procesos geológicos.
Fluencia del suelo	La fluencia es un movimiento extremadamente lento de una masa superficial.

Granulometría	Diferentes tamaños y proporciones de los fragmentos constituyen una capa compuesta por material granular.
Geología	Ciencia natural que estudia la tierra.
Geomecánica	Estudia el comportamiento de los materiales de la tierra cuando éstos son sometidos a diferentes tipos de esfuerzos.
Hidrológica	Lo relacionado con el ciclo del agua.
Homogéneo	Tiene una composición igual o similar en todo su volumen.
Infiltración	Cuando el agua superficial penetra dentro de los poros de suelos y rocas para recargar acuíferos.
Intemperismo	Proceso por el cual las rocas son degradadas, por agentes atmosféricos.
Ladera	Declive de un monte o de las paredes de un valle.
Litología	Características mineralógicas y químicas de las rocas.
Magma	Material fundido que se encuentra dentro de la corteza terrestre.

Magnitud de Richter	En sismología es la cantidad de energía liberada por un terremoto.
Mitigación	Obras o medidas preventivas para minimizar el efecto de los eventos naturales sobre las personas y sus pertenencias.
Morfodinámica	Efecto que tiene la dinámica de la tierra en la configuración de las formas del terreno.
Nivel freático	Nivel a que se encuentra el agua subterránea en el subsuelo.
Piroclastos	Material sólido roto por el fuego y eructado por los volcanes.
Placa tectónica	Fragmento de la corteza terrestre, puede ser oceánico o continental, que se mueve en una dirección definida.
Precipitación	Caída de agua en cualquiera de sus formas sobre la superficie de la tierra.
Resiliencia	En sistemas tecnológicos, es la capacidad de un sistema de soportar y recuperarse ante desastres y perturbaciones.

Saturación	Cuando el agua penetra dentro de los poros de una capa de roca.
Sismo	Vibración del terreno provocada por el desplazamiento de una falla geológica.
Subducción	Proceso por el cual la corteza oceánica se introduce debajo de la corteza continental, en el caso de Guatemala, la placa de Cocos se subduce bajo la placa del Caribe.
Solifluxión	Movimiento hacia abajo de suelo saturado a lo largo de las laderas bajo la influencia de la gravedad.
Talud	Superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería.

RESUMEN

Este trabajo tiene como propósito localizar y reconocer las características de los deslizamientos en el proyecto RN-1-A, CA-01 Occidente Los Encuentros, aldea Pixabaj; así como, determinar los factores físicos que contribuyen a la generación y desencadenamiento de los movimientos de masa, obtener datos físicos de su peligrosidad o amenaza a la infraestructura económica y social.

En el primer capítulo se presenta el marco teórico de riesgos, riesgos geológicos, vulnerabilidad y mitigación. En el segundo capítulo se presenta el tema de deslizamientos, anatomía y causas principales.

En el tercer capítulo se describe la zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento, mediante el Método Mora-Vahrson (Mora, R, Et,1992), para el proyecto y analizando los parámetros: de pendiente, susceptibilidad litológica, el cual incluye estratigrafía en general y la del lugar, humedad del terreno, disparo por sismicidad, disparo por lluvia.

Con el análisis de estos resultados se resumen los parámetros obtenidos, para luego poder realizar una clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento en el proyecto.

De este se concluye que la confluencia de factores influyentes como: las condiciones físicas y mecánicas de las rocas, pendientes del terreno, tipo de suelos, historia de movimientos de masa, insuficiente vegetación, inesperados acontecimientos lluviosos sumados a la actividad antrópica, sismicidad nacional, disposición espacial de rocas y vibraciones artificiales inducidas, contribuyen con

el desarrollo de nuevos procesos inestables de laderas (derrumbes, flujos de escombros, deslizamientos de tierras y otros

JUSTIFICACIÓN

En Guatemala, las amenazas hidrometeorológicas naturales combinadas con la alta vulnerabilidad de los taludes han causado pérdidas irreparables, tanto en vidas humanas como en materiales. Algunas se pudieron evitar o minimizar si se hubiera realizado una evaluación del riesgo y haber tomado las decisiones adecuadas, lo cual hubiese justificado plenamente los costos y esfuerzos involucrados en los estudios amenaza y análisis de amenaza,

En el área del altiplano, a causa de la deforestación, siembra de cultivos en zonas de ladera no aptas para tal uso, cambio climático (local y generalizado), apertura de caminos existe una mayor sensibilidad a la recurrencia a los deslizamientos (PNUD, 2006-2007).

Es necesario realizar una evaluación del riesgo geológico que pueda ser entendida como una circunstancia o situación de peligro, pérdida o daño social y económico, debida a una condición geológica o a una posibilidad de ocurrencia de proceso geológico, inducido o no.

El estudio y la solución de los problemas producidos por interacción entre el medio geológico y la actividad humana, es uno de los factores que influyen directamente en los deslizamientos, por lo que es necesario realizar un análisis y evaluación de riesgo del área, para poder plantear un plan coherente de prevención y mitigación del riesgo geológico, mediante soluciones estructurales y no estructurales (sociales, legales, etc.).

Uno de los primeros pasos en la gestión de riesgos por deslizamiento es la determinación de las zonas de amenaza, para esto existen una serie de modelos, cada cual con un nivel de complejidad y detalle, cuya selección dependerá del tipo y calidad de datos disponibles en cada región, así como de utilidad de la información generada para las personas que tomarán decisiones. Uno de los modelos, más ampliamente, utilizados en la región centroamericana es el denominado Método Mora-Vahrson, en virtud de su simplicidad y fácil aplicación.

El Método Mora-Vahrson fue elaborado en Costa Rica, por Sergio Mora y Wilhelm Guenther Vahrson en 1991. Este método depende de 5 factores: 3 intrínsecos, y 2 externos o desencadenantes, también llamados factores de disparo, es un método ampliamente utilizado en Centroamérica, para evaluar la vulnerabilidad a los deslizamientos (Lavado, 2008).

La zonificación de deslizamientos establecida con la Metodología Mora-Vahrson modificada, resulta tener suficiente precisión para establecer la susceptibilidad a deslizamientos a escala media, además, muestra ser una metodología sencilla, pero aceptable y sus resultados son aplicables al ordenamiento territorial, pero no sustituyen los estudios de estabilidad de laderas (Mora Chinchilla, Rolando, 1992).

En Mora- Vahrson se menciona que, la mayor ventaja de esta metodología es su aporte en la toma de decisiones en procesos de planificación del uso del terreno, planificación urbana y de líneas vitales, evaluaciones regionales de amenazas por deslizamientos y en planes de gestión de riesgo. Sin embargo, no sustituyen los estudios geotécnicos de campo y laboratorio, necesarios para el diseño de obras civiles y sus complementos de protección y mitigación

correspondientes, tampoco es capaz de determinar el tipo de deslizamiento que podría presentarse (Mora Chinchilla, Rolando, 1992)

OBJETIVOS

General

Determinar cuál es la magnitud a la susceptibilidad a deslizamientos en el proyecto RN-01 Occidente a Pixabaj, aplicando el Método de Mora-Vahrson.

Específicos

1. Definir las causas que provocan los deslizamientos en los taludes del proyecto.
2. Identificar las zonas de mayor riesgo al deslizamiento en el Proyecto RN-1-A, CA-01 Occidente Los Encuentros - aldea Pixabaj, Sololá.

HIPÓTESIS

Los factores como la influencia de la nueva pendiente de los taludes, después de ampliar la sección de la carretera, la estructura geológica, el agua subterránea asociada, la utilización del suelo para cultivos, las lluvias intensas, así como la sismicidad del área, son factores que crean condiciones de inestabilidad de los taludes y mecanismos de movimientos de masa. Todas estas condiciones son asociadas dentro del método propuesto. Produciendo zonificación de áreas susceptibles a deslizamiento.

MÉTODOS Y TÉCNICAS

El método a utilizar es un conjunto de principios generales que sentará las bases de la investigación. Se realizó un procedimiento concreto de acuerdo con el objeto y con los fines planteados, para organizar los pasos y propiciar que los resultados sean coherentes. Esto ayudará a establecer conclusiones objetivas y permitir alcanzar la solución del problema.

Este estudio de investigación tiene un diseño experimental, para comprobar los efectos de una intervención específica, con respecto a la recolección de datos tiene un diseño longitudinal con un periodo de 30 años y con respecto a la ocurrencia de los fenómenos que producen los deslizamiento tiene un diseño retrospectivo, al investigar los antecedentes históricos del área con respecto a los deslizamientos.

Las técnicas que se utilizó en esta investigación serán el conjunto de instrumentos de medición, por ejemplo: equipo de topografía, equipo de suelos, equipo de medición de precipitaciones pluviales y, en general equipos de meteorología elaborados con base en los conocimientos científicos. Se utilizó técnicas de recolección de la información ordenadamente, principalmente, en las variables de humedad del terreno y las variables de los parámetros de disparo por lluvia. Luego se utilizarán técnicas cuantitativas para la medición de cada uno de las variables que influyen en el estudio y poder determinar dentro de que rango de vulnerabilidad se encuentra con base al estudio que se está realizando

Las variables en este estudio son independientes, las cuales son características, factores, cualidades o atributos. En el estudio realizado influyen 5 variables, las cuales se definen operacionalmente para poder medirlas. Estas son las siguientes: parámetros de pendiente, parámetro de humedad del terreno y parámetro de susceptibilidad litológica; los cuales son los elementos pasivos, las variables de disparo son: susceptibilidad al deslizamiento por lluvia y susceptibilidad al deslizamiento por sismicidad.

Para realizar este trabajo de tesis, se investigará en campo los taludes que conforman el proyecto, y se realizó de la siguiente manera:

- Para determinar el parámetro de pendiente se realizó un levantamiento topográfico de los taludes inestables tanto de la parte superior como la parte inferior de la carretera, con el objetivo de medir las pendientes de cada talud. La validez externa de esta variable es que se utilizará el mismo equipo topográfico y las mismas técnicas de cálculo.
- Para analizar el parámetro litológico se realizó un estudio geotécnico del suelo, asimismo un sondeo dinámico (que se usa para medir la compacidad del suelo), en donde el mismo se opone a la penetración de una sonda estándar tipo SPT. Prueba de penetración estándar con un martillo de 140 libras y 30 pulgadas de caída, según las Normas del ASTM 1586-64T (Standard Penetration Test), para determinar la estratigrafía del suelo y su valor soporte.

El ensayo se realizó en forma continua, aumentando el número de golpes necesarios para la penetración de cada 6 pulgadas, con el objetivo de poder determinar con mayor exactitud el espesor y firmeza de cada uno de los estratos.

Para el diseño del programa de exploración subsuperficial se tomó en cuenta las necesidades del proyecto, que consiste en realizar un sondeo dinámico a 16 pies de profundidad o hasta alcanzar rechazo.

También se tomó 2 muestras inalteradas del talud para pruebas de corte directo y determinar las propiedades geomecánicas, las cuales permitirá medir el ángulo de fricción y la cohesión del material.

Para obtener una mayor información del suelo se realizó los siguientes ensayos:

- Límites de Atterberg: sistema que permitió cuantificar la plasticidad de los suelos finos.
- Granulometría: este ensayo sirvió para medir el tamaño de partículas y los porcentajes de suelos finos y granulares.
- Gravedad específica: este ensayo sirvió para tener el peso de las partículas que se encuentran en los suelos y así poder determinar el índice de vacíos.
- Corte directo: ensayo que sirvió para obtener las propiedades mecánicas del suelo
- El valor externo de esta variable, es la utilidad del mismo equipo, el personal con experiencia y el mismo laboratorio para los ensayos.

Además se analizó los siguientes aspectos complementarios:

- Parámetros de humedad del terreno: se recurre a los promedios mensuales de precipitando, efectuando con ellos un balance hídrico simplificado, en donde se asume una evapotranspiración potencial de 125 mm/mes, por lo tanto, precipitaciones mensuales inferiores a 125 mm no conducen a un aumento de la humedad del terreno, mientras que una precipitación entre 125 y 250 mm, sí incrementa, precipitaciones mensuales superiores a 125 conducen a un suelo muy alta.
- Parámetros de disparo por lluvia: se consideró las intensidades de lluvias potencialmente generadoras de deslizamientos, se utilizó la lluvia máxima en 24 horas. Con base en los registro que el INSIVUMEH lleva, se podrá determinar del atlas hidrológico de lluvia máxima diaria para un período de retorno de 30 años
- La veracidad de estas variables depende de la forma de recolectar los datos del INSIVUMEH, ya que para algunas estaciones hidrometeorológicas cuentan con equipo de tiempo real las cuales son más fidedignas que las que cuentan con equipo manual.
- Parámetros de disparo por sismicidad y de diseño sísmico: para analizar este parámetro se consideró la zona que se encuentra Guatemala, las fallas geológicas del área, así como se analizó las zonas de sismicidad en donde se encuentra el proyecto, poder así determinar la aceleración sísmica efectiva.
- Además se analizó los mapas de: cuencas hidrológicas, geología uso del suelo, amenazas hidrogeológicas y geológicas que SEGEPLAN y CONRED han realizado para el área de estudio.

Se analizó cada resultado obtenido y se calculará la clasificación que obtendrá los taludes a la susceptibilidad al deslizamiento, considerando que los parámetros de disparo son los sísmicos y la intensidad de lluvias, aunados a los parámetros pasivos, los cuales son características exclusivas del área de estudio.

Dependiendo de la clasificación obtenida se podrán hacer estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de alto riesgo

INTRODUCCIÓN

Los movimientos de ladera suponen un riesgo importante para la población. Según datos de la Organización de los Estados Americanos (OEA), los movimientos en masa fueron los causantes del 17 % de los desastres en Centroamérica durante el período 1960-1995, detrás de las inundaciones que supusieron el origen del 68 % de los desastres (Lavado, 2008)

Los movimientos de tierra, o movimientos masivos de rocas y material no consolidado, tal como suelos, lodo y derrubio volcánico, son mucho más comunes de lo que, generalmente, son percibidos por la población. Muchas personas son conscientes de los deslizamientos catastróficos, pero pocas saben que los pequeños movimientos son un problema constante para aquellos involucrados en actividades de diseño y construcción (Lavado, 2008).

En Guatemala, las amenazas naturales combinadas con la alta vulnerabilidad, han causado pérdidas irreparables, tanto humanas como materiales. Algunas de estas pérdidas pudieron evitarse o minimizar si se hubiera realizado una evaluación del riesgo y tomando las decisiones adecuadas, lo cual justifica los esfuerzos en realizar los estudios de análisis de riesgo.

Los cortes de taludes en las carreteras, las operaciones de la maquinaria para realizarlos favorecen más a la incidencia de movimientos de masa en ladera, ya que modifican el ángulo natural del talud.

En este trabajo de tesis se realizó una evaluación para la determinación de la susceptibilidad a deslizamientos, mediante la aplicación del Método de Zonificación de Mora-Vahrson, en el proyecto de la carretera que se localiza en la zona occidental de Guatemala, a la altura del km 127 de la carretera CA-01 Occidente, que en la red vial de Guatemala, tiene un registro de RN-01- A, de Los Encuentros a la aldea Pixabaj, con una longitud de 8 km de largo, y con una sección típica original de la carretera de 5 metros de ancho desde el km 127 al 135, en terracería, y que luego se amplió 8 metros de ancho de sección; se colocó asfalto con una sección típica E modificada, la cual tiene 6 metros de rodadura y 1 metro a cada lado de cunetas.

En la aldea Pixabaj, municipio de Sololá, se produce el mismo efecto, con los factores característicos del área de Sololá, como: taludes con nacimientos de agua, deforestación para el cultivo de verduras (las cuales es su principal economía y las exportan, deficiente drenaje superficial, y en algunos casos, suelos pesados como arcillas.

Los taludes en estas zonas, que han sido producto de la expansión de la frontera agrícola, tienen un horizonte orgánico que mantiene una humedad remanente apta para el cultivo; sin embargo, esta humedad en la época lluviosa, favorece a una sobresaturación de la matriz de suelo, que la hace proclive al deslizamiento, particularmente donde los cortes en taludes de la vía, son más íngremes.

Para esta evaluación se realizó un procedimiento de zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos de taludes, mediante el empleo del Método de Mora-Vahrson, a través de la combinación de la valoración y peso relativo de diversos indicadores morfodinámicos, Se pretende dividir el área estudiada en

sectores de comportamiento similar y proveer una base para entender las características de cada uno de los mismos.

1. PRIMER CAPÍTULO

1.1. Riesgos geológicos

Se puede definir el riesgo como la condición de peligro en que se encuentra una comunidad y que la hace propensa a sufrir desastres. Se expresa en los posibles daños y pérdidas de tipo económico, social y ambiental que pueden presentarse, en caso de ser afectadas por un evento de tipo natural, provocado por la mano del hombre (antrópico) o por ambos factores (Bach, 2009).

El riesgo, también se puede definir en función de las pérdidas que pueden ser ocasionadas por un proceso natural con una determinada periodicidad.

Los riesgos geológicos según, son todos los procesos, situaciones u ocurrencias en el medio geológico natural, inducida o mixta, que puede generar un daño económico o social para alguna comunidad y en cuya previsión o corrección se emplearán criterios geológicos (Bach, 2009).

Los riesgos geológicos. también pueden ser entendidos como una circunstancia o situación de peligro, pérdida o daño social y económico, debida a una condición geológica o a una posibilidad de ocurrencia de proceso geológico, inducido o no (Belteton, evaluación de riesgos geológicos e impactos ambientales (Geología Ambiental) , 2010)

La ingeniería y el riesgo geológico tienen una de sus principales aplicaciones, como ciencia aplicada al estudio y solución de problemas producidos por interacción entre el medio geológico y la actividad humana, en la evaluación, prevención y mitigación de los riesgos geológicos

1.2. Estudios de riesgo geológico

Al estudiar todas las variables geológicas que afectan el área de interés, buscando como principal objetivo analizar y determinar cuál es el grado de riesgo que presenta, se puede desde esta perspectiva, proponer medidas de prevención y mitigación al momento de concluir el estudio.

En Guatemala, las amenazas naturales combinado con la alta vulnerabilidad, han causado pérdidas irreparables tanto humanas como materiales. Algunas de estas pérdidas se hubieran podido evitar o minimizar si se hubiera realizado una evaluación del riesgo y tomado las decisiones adecuadas para prevención o mitigación (PNUD, 2006-2007)

1.2.1. Riesgo específico

Se define como el grado de pérdida esperado debido a la ocurrencia de un fenómeno particular. Se expresa por medio de la relación (Belteton, Evaluación de riesgos geológicos e impactos ambientales (Geología Ambiental) , 2010).

$$Re = A \times V.$$

Donde:

Re = riesgo específico

A= amenaza

V = vulnerabilidad

Elementos expuestos al riesgo (E): se refiere a la población, las propiedades y las actividades económicas expuestas al riesgo en un área determinada.

1.2.2. Riesgo total (Rt)

Significa el número esperado de pérdidas de vida, heridos, daños a propiedades y de interrupciones de la actividad económica, debido a un fenómeno natural determinado y es por lo tanto el producto siguiente:

$R_t = (E) (R_e) = (E) (A \times V)$, el cual se refiere a las pérdidas.

Donde:

Rt = riesgo total

E = elementos expuestos al riesgo

Re = riesgo específico

La gestión de riesgos, prevención y atención de desastres que se pretende impulsar en esta investigación, orienta hacia un aseguramiento del desarrollo sostenible, a través de fortalecer la capacidad de resiliencia de los proyectos de carreteras ante los efectos provocados por fenómenos naturales o antrópicos.

1.2.3. Riesgos geológicos externos

El estudio del riesgo geológico, relacionado con los procesos externos, debe basarse en el conocimiento de su dinámica y en una

correcta cartografía de la zona en que estos pueden ocurrir, distinguiendo en estos mapas los diferentes grados de intensidad posible.

Los procesos dinámicos externos causan la degradación de los relieves a través de la erosión y el transporte de las rocas que los forman. Se trata de procesos fluviales, gravitacionales, eólicos, marinos, etc., que dependen a su vez de las condiciones climáticas que definen la magnitud de la temperatura y de la precipitación, siendo la presencia de agua uno de los principales agentes que los gobiernan

Estos procesos no actúan en un mundo deshabitado, la ocupación humana del territorio, especialmente durante el siglo XX, con un desarrollo demográfico muy intenso, que se ha instalado en zonas donde estos procesos son especialmente activos.

El conflicto entre el desarrollo socioeconómico y la presencia de actividad geológica, la cual se manifiesta periódicamente (erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos de ladera), repercute en contra de los intereses de la población, causando daños de distinta índole.

Los factores condicionantes son aquellos intrínsecos del sistema, que caracterizan de una manera propia el área sobre la que una amenaza puede actuar. Estos son los que en mayor medida determinarán la evolución de un cierto fenómeno que vaya a suceder sobre el terreno (Lavado, 2008)

Los factores desencadenantes son aquellos parámetros externos al sistema, que producen la generación del fenómeno. Estos factores

actúan como detonante de la amenaza. En el caso de los movimientos de ladera se consideran los sismos y las lluvias como principales detonadores (Lavado, 2008)

1.2.4. ¿Qué aumenta su exposición al riesgo?

Con base en el Plan Regional de Reducción de Riesgos del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPRENAC, 2010) las variables que aumentan la exposición al riesgo son:

- La existencia de periodos de intensa precipitación, relacionados con situaciones meteorológicas extremas, como los huracanes procedentes del Caribe y del Golfo de México, tienen un fuerte impacto en el territorio, causando fuertes crecidas de los ríos y movimientos de tierras en las vertientes.
- La naturaleza volcánica del relieve, a menudo compuesto por rocas volcánicas no consolidadas.
- Una ocupación urbana localmente intensa, pero también dispersa y una deforestación de las montañas aumentan la probabilidad de que estos fenómenos interaccionen con el hombre.

1.2.5. Procedimiento para evaluar el riesgo en la infraestructura vial

Para evaluar el riesgo existente en la infraestructura vial, es necesario seguir un procedimiento que cumpla con los siguientes parámetros.

Establecer las características de la estructura y sus componentes.

- Determinar cuáles fenómenos naturales representan amenazas potenciales para el proyecto vial bajo estudio.
- Evaluar las amenazas más significativas dentro del área geográfica bajo estudio.
- Estimar la vulnerabilidad global del proyecto vial.
- Se puede definir los parámetros como un procedimiento analítico con los tres pasos generales siguientes:
- Evaluación de las amenazas: determinación de la ubicación, la severidad y la frecuencia de las amenazas naturales significativas, así como también, las descripciones de los impactos esperados.
- Evaluación de vulnerabilidad: determinación del nivel de exposición de la infraestructura vial a fenómenos naturales potencialmente peligrosos y estimación del grado de pérdidas o daños que resultaría de la ocurrencia de un acontecimiento natural de una severidad dada.
- Evaluación de riesgo: determinaciones de los niveles de riesgo ante la vulnerabilidad de las amenazas en la infraestructura vial.

1.2.6. Los principales factores que afectan la estabilidad de las laderas identificados en la zona de estudio son los siguientes

- Deforestación de las partes altas de los cerros para siembra de cultivos, principalmente maíz y vegetales.
- Pendientes de terrenos superiores a los 50 grados.
- Suelo susceptible a la erosión.
- Ubicación de zonas pobladas en cuenca de ríos o áreas de paso de corrientes de agua pluvial, sin ninguna medida de protección.

- Falta de planificación por parte de las autoridades municipales y comunitarias, para la prevención y acción en caso de emergencias
- Falta de un plan de ordenamiento territorial que permita la canalización segura de las aguas pluviales y la construcción de viviendas o áreas urbanas fuera de las zonas susceptibles a inundaciones y derrumbes.
- Población sin conocimiento sobre posibles riesgos a los que están expuestos.
- Falta de mantenimiento a carreteras.

Es importante señalar que la zona de estudio fue afectada por lluvias intensas e inundaciones en 1949, pero los daños a las propiedades privadas y pérdidas de vidas humanas fueron mínimos, ya que en dicha época la densidad poblacional era menor. Solo las autoridades municipales de Pixabaj establecieron la zona afectada por la tormenta y la declararon como zona de inundación y construyeron muros de mampostería que delimitaba el área de urbanización y la de riesgo.

Pero con el transcurso del tiempo las autoridades municipales de turno se olvidaron del riesgo existente y considerando que no volvería a ocurrir, por lo que en la década de los 80 se inició la urbanización de dichas áreas, siendo las más afectadas por la tormenta Stan y Agatha, la cual según los ancianos del lugar tuvo los mismos efectos que la tormenta de 1949, es decir que las tormentas que han afectado a los vecinos de la zona tienen un ciclo de recurrencia (Plan de Reconstrucción y Reducción de Riesgos del departamento de Sololá, 2006).

Los daños causados por las tormentas que en los últimos años han azotado el territorio nacional son los siguientes:

- Perdida de áreas de cultivos
- Perdida de infraestructura vial
- Perdida de infraestructura de vivienda
- Perdida de infraestructura sanitaria, escolar y pública
- Pérdida de vidas humanas

1.2.7. Evaluación de riesgo por deslizamiento

Los métodos para el análisis del riesgo se basan en un detallado estudio de campo en el que se observan y cartografían los factores descritos.

Una recopilación histórica de los procesos gravitacionales sucedidos, prestando especial atención a su tipología y su magnitud.

La representación cartográfica aporta un primer mapa de susceptibilidad para evaluar la peligrosidad, es preciso determinar la magnitud y frecuencia de los movimientos. Se entiende por magnitud la capacidad para producir daños y puede estimarse por el volumen de material removido y por su velocidad de desplazamiento. El volumen afectable puede estimarse mediante la observación de campo y su velocidad, en función de cálculos numéricos.

En este tipo de análisis se debe considerar la capacidad para retener el material desplazable e impedir su avance, usando obras de ingeniería civil.

1.3. Amenaza

Se trata de un fenómeno natural en análisis, caracterizado por una probabilidad de recurrencia y magnitud de manifestación determinada, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, bienes y servicios, y el ambiente (Lavado, 2008).

Se refiere a la probabilidad de ocurrencia dentro de un periodo de tiempo específico y para un área determinada, de un fenómeno con consecuencia potencialmente destructora. Se refiere, en este caso, al proceso geológico, específicamente (Belteton, Evaluación de Riesgos Geológicos e Impactos Ambientales (Geología Ambiental) Deslizamientos, 2009).

Formas de identificar amenazas en el medio:

- Identificación del lugar o zona donde procede la amenaza
- Frecuencia o recurrencia con que se han presentado en el pasado
- Intensidad de esos eventos en el pasado
- Lugares o zonas más expuestas y hasta dónde pueden extenderse

1.3.1. Amenazas geológicas e hidrometeorológicas

Este evento o fenómeno puede causar grandes daños y estas amenazas geológicas e hidrometeorológicas se pueden clasificar como:

- De consecuencias directas: se refiere a fenómenos que tienen la capacidad de causar daños por sí mismo. Dentro de estos fenómenos se encuentran los sismos, huracanes y actividad volcánica.

- De consecuencias indirectas: se refiere a fenómenos que son desencadenados por otros fenómenos de consecuencia directa. Dentro de los fenómenos que causan amenaza indirecta, se pueden mencionar los movimientos de masa, inundaciones y ráfagas de viento. (Barrantes Castillo Gustavo, 2011).

1.4. Vulnerabilidad

Es la debilidad frente a una amenaza, en la que se encuentra una población o estructura física, social y /o económica que la deja expuesta a sufrir daños ante la posible ocurrencia de un evento de origen humano y/o natural (Belteton, Evaluación de Riesgos Geológicos e Impactos Ambientales (Geología Ambiental) Deslizamientos, 2009)

La vulnerabilidad se puede decir que es el grado de daños que las personas u objetos pueden sufrir al manifestarse un movimiento en masa. Es un valor difícil de obtener ya que intervienen multitud de variables, desde económicas hasta sociales y políticas. Es un factor propio del elemento expuesto a ser susceptible y sufrir un daño del cual puede encontrar dificultades en recuperarse posteriormente (Lavado, 2008).

La exposición está relacionada directamente con la vulnerabilidad. Es la ubicación sobre el terreno de los elementos y determina la condición de un elemento a ser afectado por la amenaza. Si un elemento está fuera del alcance de la amenaza, la exposición de éste y en consecuencia el riesgo, será nulo a dicha amenaza (Lavado, 2008).

1.4.1. Evaluación de riesgo (amenaza y vulnerabilidad)

Comprende las pérdidas materiales y de vidas humanas asociadas con un evento determinado. Abarca pérdidas directas e indirectas.

El análisis de riesgo comprende las siguientes acciones concretas:

- Realizar estudios detallados de investigación geológica, hidrológica y de medio ambiente a nivel de municipio.
- Elaboración de mapas y escenarios de riesgo y del censo de la población asentada en zonas de riesgo, para su posterior uso por personal capacitado para tomar decisiones en la reducción de la vulnerabilidad.
- Cuantificación del costo de los bienes materiales vulnerables, aunque considera que las pérdidas de vidas humanas no se pueden cuantificar en precio. (Belteton, Evaluación de Riesgos Geológicos e Impactos Ambientales (Geología Ambiental) Deslizamientos, 2009).

1.5. Mitigación

Es el conjunto de acciones, medidas concretas y reales, encaminadas a disminuir el daño, a un nivel económicamente aceptable y estructural y socialmente consensuado, estas pueden variar, pero de la manera más general se dividen en:

- Medidas estructurales
- Medidas no estructurales
- Medidas combinadas (Bach, 2009)

Para la mitigación de las amenazas por deslizamientos se debe de considerar los siguientes aspectos:

- Mapeo geológico y geomorfológico
- “Si la pendiente ha fallado antes, fallará de nuevo ”
- Análisis del terreno
- Es necesario pendientes >20 grados
- Estudios de ingeniería.
- Poder establecer el factor de seguridad.
- Prácticas forestales
- Educación pública, zonificación, uso del suelo.
- Alejar a las personas para que no viva en pendientes inseguras. (Bach, 2009).

1.5.1. Mitigación de desastres

Planificar y poner en práctica medidas de intervención dirigidas a disminuir en la mejor manera el riesgo a un costo razonable.

Haciendo uso de los mapas de riesgos, establecer un plan de mitigación de desastres en los municipios que se consideren más propensos a experimentar daños severos. (PNUD, 2006-2007)

Este plan deberá tomar en cuenta:

- Adaptación de la infraestructura a los fenómenos esperados;
- Reglamentación local y nacional del uso y ocupación de la tierra;
- Fortalecimiento de las competencias, responsabilidades y recursos locales

- Capacitación a las comunidades y entidades de gobierno local en lo que se refiere a las causas y efectos de estos fenómenos.
- Creación de mecanismos eficaces de cooperación interinstitucional.

2. SEGUNDO CAPÍTULO

2.1. Deslizamientos

Los deslizamientos se refieren al movimiento hacia abajo de enormes cantidades de masas de tierra; los cuales ocurren en las pendientes o laderas empinadas de cerros y montañas pudiendo ser repentinos o lentos (Belteton, Evaluación de riesgos geológicos e impactos ambientales (Geología Ambiental) Deslizamientos, 2009).

Deslizamiento es como un término más general y más común usado para describir los movimientos en los taludes a través de una superficie de rotura determinada.

También se puede definir como la perceptible caída o deslizamiento descendente de una masa de tierra, roca o mezcla de ambas, impulsados por su propio peso, bajo la acción directa de la gravedad y por otros factores que favorecen el inicio del movimiento.

Los deslizamientos en algunos casos son un problema erosivo, donde se suma el trabajo del agua, la fuerza a la gravedad, tipo de material superficial y la pendiente del terreno.

Estos movimientos se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies o a lo largo de una franja sumamente estrecha del material, constituyendo uno de los principales

mecanismos de erosión y transporte en áreas de montaña y uno de los riesgos geológicos de mayor impacto.

Los efectos operativos que se puede distinguir en el movimiento de una ladera son los siguientes: (13. J.J. Major, 2001)

Fase previa a la rotura, puede ser de larga duración, en ella se producen pequeñas deformaciones, a menudo imperceptibles pero que pueden ser de orden métrico en los grandes deslizamientos. La superficie de separación entre la masa en movimiento y el terreno no ha llegado a desarrollarse por completo.

Fase de rotura, por lo general caracterizada por la formación de una superficie o zona de cizalla continua en el terreno con movimientos desde muy lentos a extremadamente rápidos, hasta que se produce el reajuste de la masa deslizada y el movimiento se para.

Algunas veces se dan fases de reactivación en las que el movimiento se reproduce aprovechando las superficies de rotura generadas previamente. Las reactivaciones pueden ser episódicas o continuas con variaciones estacionales de la velocidad de deformación. Cada una de estas fases implica fenómenos mecánicos y leyes de comportamiento diferentes.

Características de identificación de un deslizamiento

- Agrietamientos del terreno.
- Grietas o fracturas muy anchas (indicador del desplazamiento de la masa del terreno).
- Si hay árboles, éstos muestran una inclinación anormal. (no poseen verticalidad).

- Cambio en coloración de agua clara a café de las correntadas de agua que descienden de las partes altas.
- Corrientes de agua cargadas con lodo y fragmentos sólidos.
- Desprendimientos de pequeñas cantidades de suelos o rocas.
- Hundimiento del suelo.
- Relación entre cantidad de precipitación y el tiempo. (13. J.J. Major, 2001)

Se utilizan varios términos genéricos para referirse al conjunto de estos movimientos y entre ellos se puede encontrar:

- Movimientos en masa
- Inestabilidades gravitatorias o procesos gravitatorios
- Movimientos de ladera
- Movimientos de vertiente
- Deslizamientos
- Deslaves y derrumbes

2.2. Anatomía de los deslizamientos

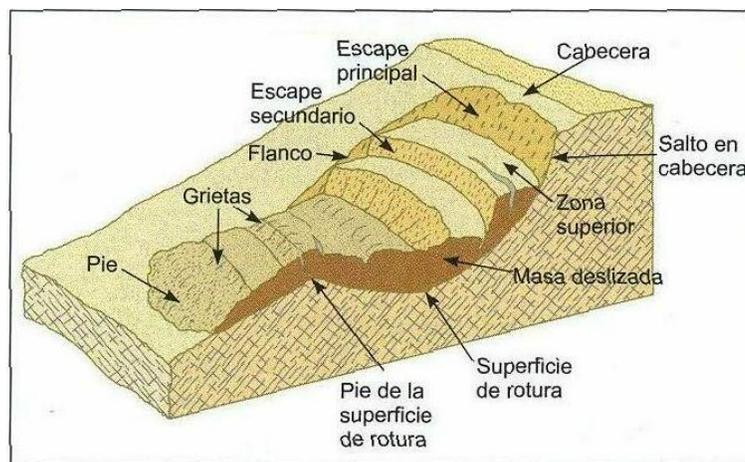
A continuación se presenta la anatomía de los deslizamientos:

- Escarpe principal: superficie de fuerte pendiente sobre terreno no perturbado alrededor de la periferia del deslizamiento, causado por movimiento de material de deslizamiento fuera del terreno no perturbado. La proyección de la superficie de escarpa debajo del material desplazado viene a ser la superficie de la ruptura.

- Escarpe secundaria: superficie de pendiente fuerte sobre el material desplazado producida por movimientos diferenciales al interior de la masa deslizante.
- Cabeza: parte superior del material de deslizamiento a lo largo del contacto entre el material desplazado y la escarpa principal.
- Cima: punto más alto de contacto entre el material desplazado y la escarpa principal.
- Pie de la superficie de ruptura: intersección (a veces enterrada) entre la parte inferior de la superficie de ruptura y la superficie original del terreno.
- Punta del pie: margen de material desplazado más lejano de la escarpa principal.
- Puntera: punto más lejano de la margen desde la cima del deslizamiento.
- Pie: porción del material desplazado que queda pendiente abajo del margen de la superficie de ruptura.
- Cuerpo principal: Aquella parte del material desplazado supra yacente a la superficie de ruptura entre la escarpa principal y el pie y la base de la superficie de ruptura.
- Flanco: costado de un deslizamiento de tierras.
- Corona: material que aún permanece en su lugar, prácticamente no desplazado y adyacente a las partes más altas de la escarpa principal.
- Superficie original del terreno: pendiente que existía antes que ocurra el movimiento que se está considerando. Si ésta es la superficie de un deslizamiento anterior, el hecho debe ser anotado.
- Superficie de separación: superficie que separa el material desplazado del material estable pero no se reconoce que hubiera sido una superficie que falló.
- Material desplazado: material que se ha desplazado de su posición original sobre la pendiente. Puede estar en estado deforme o no deforme

- Zona de agotamiento: área dentro de la cual el material desplazado queda debajo de la superficie original del terreno.
- Zona de acumulación: área dentro de la cual el material desplazado queda encima de la superficie original del terreno. (Bach, 2009)

Figura 1. **Anatomía de un deslizamiento**



Fuente: Tupac Obando, La susceptibilidad por deslizamientos en Nicaragua (2008) p.78.

2.3. Factores que afectan a la estabilidad del talud/pendiente

Los deslizamientos ocurren debido a varios factores entre los cuales se pueden clasificar: (Dunn, 1980)

2.3.1. Factores internos

- Factores geométricos, como la altura y la inclinación del talud o ladera, proporciona las condiciones favorables para el deslizamiento de tierra. Es conocido que la mayoría de materiales son estables hasta cierto ángulo. "El ángulo crítico" o el "ángulo de reposo". Este puede variar desde los

30 ° para sedimentos no consolidados hasta los 90 grados para rocas masivas y de 60 a 90° para rocas parcialmente fisuradas diaclasas.

- Factores geotécnicos, relacionados con el comportamiento mecánico del terreno, a su resistencia a la rotura y a la deformación.
- Crean condiciones de inestabilidad: la litología o la alternancia litológica, presencia de planos de debilidad, planos de estratificaciones inclinadas, diaclasas, fallas o zonas de corte.
- Factores hidrogeológicos: el agua subterránea o agua asociada es el factor principal responsable del deslizamiento. Cuando el agua de lluvia se percola a través de algunas fracturas o diaclasas, los estratos arcillosos llegan a ser muy plásticos y actúan como una base de deslizamiento, el cual aumenta la posibilidad del suelo de sobrecarga suelto de ser deslizado hacia abajo. (Dunn, 1980)

La relación entre inestabilidades y periodos lluviosos es bien conocida. Por lo que un incremento del contenido de agua reduce la resistencia al corte de los planos de rotura, aumenta el peso del material por saturación, puede provocar la meteorización y/o disolución de los materiales del talud y la apertura de grietas por meteorización física (congelación), puede producir erosión interna por flujo sub superficial o externo. (Dunn, 1980)

El agua es el solvente más poderoso, el cual no solamente causa descomposición de los minerales, si no también, filtra la materia soluble de la roca, reduciendo su resistencia. Como por ejemplo, la roca rica en arcillas como la montmorillonita, bentonita, mica, calcita, yeso, etc., sometidos al intemperismo son propensos a la disolución y provocar deslizamientos.

Por ello, las características hidrogeológicas de las laderas y de los taludes, su porosidad y permeabilidad, capacidad de infiltración y la oscilación del nivel freático son parámetros básicos a considerar en la previsión de inestabilidades. (Dunn, 1980)

2.3.2. Factores externos

Son los desencadenantes de los deslizamientos que actúan modificando las características y las condiciones de equilibrio de los taludes y el principal factor externo es la influencia humana, principalmente cuando desarrolla las siguientes actividades:

- Corte de pie del talud a lo largo de las laderas, en la construcción de infraestructuras en las zonas de montaña, es un factor que aumenta la susceptibilidad a la ocurrencia de un movimiento de ladera. Estas infraestructuras cambian las condiciones naturales que, a menudo, habían alcanzado un cierto equilibrio ante este tipo de movimientos.
- Las vías de comunicación son las infraestructuras que inducen más movimientos de ladera, ya que modifican el perfil de la vertiente dando lugar a taludes con pendientes mayores, que aumentan la potencialidad del movimiento.
- Otras infraestructuras como los frentes de canteras de explotación de recursos mineros y todas las obras constructivas, que modifican el relieve, pueden favorecer la formación de movimientos de laderas.
- La deforestación desmedida de las zonas de bosque en las laderas de las montañas y en las tierras altas de las montañas, producen más erosión durante la estación lluviosa.
- El uso del suelo: cultivo en zonas de ladera con pendientes pronunciadas.

- Favorecer la infiltración de agua en áreas de peligro.
- Otro factor externo y el más común es la vibración, resultante de terremotos, voladura con explosivos, erupciones volcánicas, etc. Siendo los terremotos los que a menudo inician las fallas en las masas de tierra a gran escala. (Dunn, 1980)

2.4. Tipos de movimientos de masa o deslizamientos

Los procesos de movimiento de masa consisten en el transporte de una masa importante de material litológico, restos vegetales y/o escombros desplazados pendiente abajo por acción de la gravedad, del agua y/o del hielo. También pueden ser activados por movimientos sísmicos. (Belteton, Evaluación de Riesgos Geológicos e Impactos Ambientales (Geología Ambiental) Deslizamientos, 2009)

Tipos de movimientos de masa

- Derrumbe: caídas libres
- Deslizamientos: consisten en movimientos de masa, suelo o roca, que deslizan respecto al substrato, sobre una o varias superficies netas de rotura, de manera que se preserva a grandes rasgos de la forma de la masa desplazada.
- Flujo: movimientos de masa de suelo (barro o tierra), derrubios o bloques rocosos con abundante presencia de agua, que les otorga un comportamiento “fluido” y la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente.
- Creep: movimiento perpendicular al plano de deslice debido a una secuencia de incremento y disminución.
- Mixtos.

- Deslizamientos rotacionales: ocurren a lo largo de un plano de deslizamiento curvo.
- Deslizamientos traslacionales: ocurren en un plano de deslizamiento con superficie plana.
- Desprendimientos: se trata de caídas libres muy rápidas de bloques o masas rocosas, aprovechando como superficie de rotura planos de discontinuidad preexistentes. Se pueden clasificar en 3 categorías, según el volumen de la masa rocosa desprendida, que se relaciona con la capacidad de producir daños:
 - Caídas de bloques rocosos, volúmenes inferiores a 1000 metros cúbicos, están presentes en cualquier lugar de la geografía siempre que existan escarpes.
 - Desprendimientos de placas rocosas, volúmenes comprendidos entre 1000 y 1.000.000 de metros cúbicos, sólo son posibles en vertientes rocosas de gran desnivel.
 - Avalanchas rocosas, de varios millones de metros cúbicos, se localizan en puntos muy concretos de la geografía mundial

Dado que estos procesos no son continuos en el tiempo, sino que ocurren esporádicamente, en la *Guía de amenaza por deslizamientos del Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central* (CEPREDENAC 2005), define rangos temporales de frecuencia en función de las observaciones de campo y de los registros históricos. Esta frecuencia viene expresada por el intervalo de recurrencia o período de retorno.

- Frecuencia alta aquellos procesos observados en ciclos de 40 años
- Frecuencia moderada entre 40 y 500 años
- Baja frecuencia por encima de 500 años.

Efectos del daño físico directo

Todo lo que se encuentre sobre o en el paso del deslizamiento sufrirá grave daño o destrucción total. Además, las rocas pueden afectar las líneas de comunicación o bloquear los caminos. Las vías fluviales se bloquean y crean el riesgo de inundación. Las víctimas no suelen ser muchas, excepto en el caso de movimientos masivos, debido a amenazas más graves tales como terremotos o volcanes.

Efectos indirectos del daño físico

- Pérdida de la productividad agrícola, forestal e industrial por daños a la tierra.
- Reducción del valor de la propiedad en zonas de alto riesgo y pérdida de ingresos tributarios a causa de esta devaluación.
- Efectos adversos en la calidad del agua de los arroyos e instalaciones de riego.
- Efectos físicos secundarios tales como inundaciones.
- Pérdida de infraestructura o interrupción de sistemas de transporte.
- Pérdida de productividad humana a causa de muertes, heridas o trauma psicológico.
- Costo de medidas para prevenir o mitigar un deslizamiento potencial.

3. TERCER CAPÍTULO

3.1. Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento, mediante el Método Mora-Vahrson

Existen diferentes metodologías para la zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos. Entre ellas están el método heurístico y el estadístico.

La metodología de Mora –Vahrson del tipo heurístico fue originalmente desarrollada y probada en una provincia lluviosa de Costa Rica en 1992 por Sergio Mora y Wilhem Guenther Vahrson. Para la evaluación de la susceptibilidad ante deslizamientos (Barrantes Castillo Gustavo, 2011)

Esta metodología utiliza información geológica, topográfica y meteorológica para estimar el índice de susceptibilidad ante deslizamientos. En la forma más simple, este índice ilustra la susceptibilidad propia y natural del terreno a deslizarse. En pasos posteriores la metodología permite incorporar los factores de disparo (lluvia y/o actividad sísmica), para la determinación de la amenaza relativa se asume que esta metodología evalúa la susceptibilidad del terreno a sufrir deslizamientos principalmente del tipo traslacional. También se considera que los resultados obtenidos indicarían las posibles “zonas de iniciación” de tales fenómenos y no la extensión total del material desplazado. (Lavado, 2008)

Con la metodología Mora-Vahrson se estima inicialmente el índice de susceptibilidad a partir de la evaluación de tres parámetros considerados como críticos para la ocurrencia de deslizamientos:

- Pendiente,
- Geología y
- Humedad del suelo.

Seguidamente, se analiza la influencia de la lluvia como factor desencadenante de deslizamientos, utilizando datos de lluvia máxima diaria de estaciones meteorológicas vecinas. A pesar que con la metodología Mora-Vahrson también es posible analizar la influencia de la energía sísmica como factor desencadenante (ISMUGUA, 2007).

La metodología es simple, fácilmente recordada y entendible; cada uno de sus factores es claro y la terminología utilizada es ampliamente aceptada; incluye los factores más significativos desde el punto de vista de la inestabilidad de laderas; se basa en parámetros que pueden determinarse de manera rápida y barata en el campo y en la oficina, así como en valoraciones que incluyen el peso relativo de los parámetros (Mora Chinchilla, Rolando, 1992).

Además, permite desarrollar una aproximación del grado de susceptibilidad al deslizamiento de la región estudiada y de los fenómenos que influyen mayormente esta condición. Es valiosa en la identificación de áreas críticas y útil en la orientación de prioridades en cuanto al destino de los recursos destinados hacia estudios geotécnicos de detalle.

Bajo ninguna circunstancia, esta metodología debe sustituir los estudios geotécnicos de campo y laboratorio, necesarios para el diseño y concepción de las obras civiles y sus complementos de protección y mitigación correspondientes.

Adicionalmente, fuera de un concepto general, la metodología tampoco es capaz de pronosticar el tipo de deslizamiento que podría presentarse.

3.1.1. Efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos

Uno de los primeros pasos en la gestión de riesgos por deslizamiento es la determinación de las zonas de amenaza, para esto existen una serie de modelos, cada cual con un nivel de complejidad y detalle, cuya selección dependerá del tipo y calidad de datos disponibles en cada región, así como de utilidad de la información generada para el tomador de decisiones. Uno de los modelos más ampliamente utilizados en la región centroamericana es denominado Método Mora-Vahrson, del cual se analizaran exposte al terremoto de Cinchona, con la finalidad de valorar su precisión, en virtud de su simplicidad y fácil aplicación. (Barrantes Castillo Gustavo, 2011)

Esta metodología es utilizada en la actualidad para determinar la susceptibilidad a deslizamientos pudiendo mencionar varios estudios de Mora, Chavez y Vasquez (2002) en su trabajo *Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la península de Papagayo*, posteriormente también el estudio por Mora en el 2004, denominado *Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del Canton de San José Provincia de San Jose Costa Rica*. En esta línea se ubican los proyectos generados por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales de Nicaragua y El Salvador, denominados *Mapa de Susceptibilidad a deslizamientos de Nicaragua por el método Mora-Vahrson* y el otro: *Memoria técnica para el mapa de susceptibilidad de deslizamientos de tierra en El Salvador*, realizado en el 2004 (Mujica, 2010). En Guatemala Geopetrol S.A. realizó en base al Método Mora-Vahrson el *Estudio hidro-geológico para la implementación de un sistema de*

monitoreo y alerta ante deslizamientos en asentamientos urbanos del departamento de Guatemala, Centro América

Es así como se considera que el grado de susceptibilidad al deslizamiento es el producto de los elementos pasivos y de la acción de los factores de disparo.

$$H = EP * D$$

Dónde:

H= grado de susceptibilidad al deslizamiento

EP= valor producto de la combinación de los elementos pasivos

D = valor del factor de disparo

Los elementos pasivos se componen de los siguientes parámetros:

$$EP = SI * Sh * Sp$$

Dónde:

SI = valor del parámetro de susceptibilidad litológico (dado por la cohesión y el ángulo de fricción)

Sh = valor del parámetro de humedad del terreno (promedios mensuales de precipitación)

Sp = valor del parámetro de la pendiente (este valor esta dado en porcentaje de la pendiente con respecto a la horizontal)

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros:

$$D = Ds * DII$$

Donde:

Ds = valor del parámetro de disparo por sismicidad (aceleración pico PGA)

DII = valor del parámetro de disparo por lluvia (lluvia máxima en 24 horas con un período de retorno de 100 años)

Derivando la ecuación

$H_s = (S_l * S_h * S_p) * D_s$ susceptibilidad al deslizamiento por sismicidad

$H_{ll} = (S_l * S_h * S_p) * D_{ll}$ susceptibilidad al deslizamiento por lluvia

El calificativo de susceptibilidad es una representación cuantitativa de los diferentes niveles de amenaza, que muestra solamente el rango de amenaza relativa en un sitio en particular y no la amenaza absoluta (Mora Chinchilla Rolando, 192).

3.2. Descripción del área de estudio

Antes de iniciar al análisis de los parámetros del método se realizó una descripción detallada del proyecto en estudio.

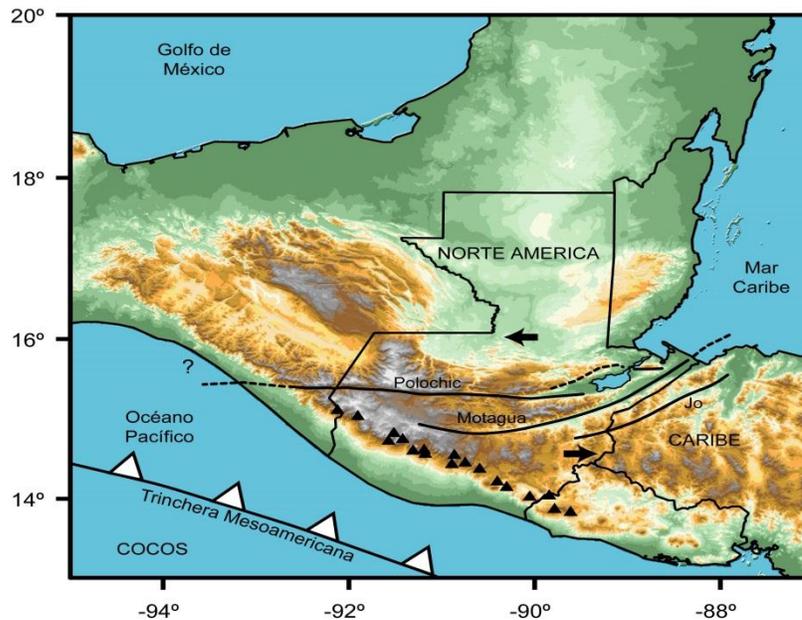
Esta carretera está expuesta a amenazas naturales, producidas por la actividad hidrometeorológica y en una parte por la influencia humana (antrópica), esto causa la inestabilidad en taludes de corte y terraplenes, así como la posibilidad de ocurrencia de flujos de lodos y detritos.

3.2.1. Geografía física

Guatemala, país de América Central, se encuentra ubicado en medio de dos océanos al sur se tiene el océano Pacífico, al noroeste se tiene el océano Atlántico. Al este colinda con México y al oeste con Belice, Honduras y El Salvador, ubicado entre los meridianos 86°30' y 92°13', y los paralelos 13°40' y 18°30', al oeste del meridiano de Greenwich. (segeplan.gob.gt, 2013)

Guatemala tiene condiciones geológicas especiales, por su ubicación convergen tres placas tectónicas, las cuales son: placa de Cocos, placa del Caribe y placa de Norteamérica.

Figura 2. **Placas tectónicas de Guatemala**



Fuente: Dr. Juan Pablo Ligorría; comunicación personal, 2013.

Guatemala cuenta con 22 departamentos, los cuales gozan de diversidad de climas y por lo tanto la producción agrícola es variada. Su riqueza cultural es amplia, la cual cuenta con veintitrés culturas diferentes con igual número de idiomas, entre los que se pueden mencionar los idiomas mayas como el quiché, k'ak'chiquel, k'ek'chi, mam, entre otros. Además el idioma garífuna y el idioma español, idioma oficial. (PNUD, 2006-2007)

3.2.2. **Geografía local**

Sololá constituido por los municipios de Sololá, San José Chacayá, Santa María Visitación, Santa Lucía Utatlán, San Antonio Palopó, Nahualá, Santa Catarina Ixtahuacán, Santa Clara La Laguna, Concepción, San Andrés

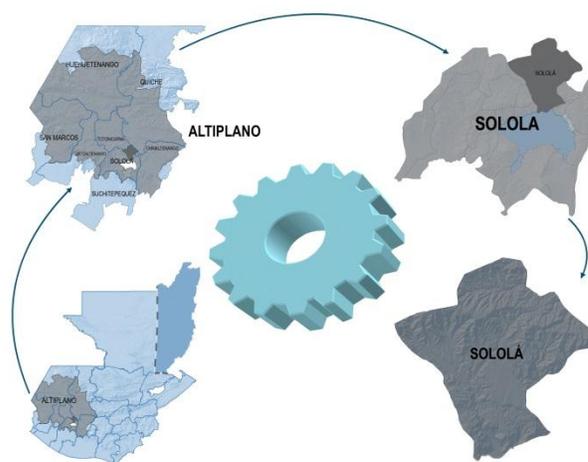
Semetabaj, Panajachel, Santa Catarina Palopó, San Lucas Tolimán, Santa Cruz La Laguna, San Pablo La Laguna, San Marcos La Laguna, San Juan La Laguna, San Pedro La Laguna y Santiago Atitlán.

Límites territoriales: al norte con los departamentos de Totonicapán y Quiché; al sur con Suchitepéquez; al este con Chimaltenango y al oeste con Quetzaltenango.

Entre los accidentes naturales de importancia, los volcanes Tolimán, Atitlán y San Pedro, además del llamado pico de Santa Clara que se encuentra a inmediaciones de la ribera del lago. (PNUD, 2006-2007)

Sololá es el reino de las montañas y todas son volcánicas ya sea que formen conos, cerros aislados, serranías superpuestas, fueron creados por una actividad volcánica. Todo el departamento pertenece a la cordillera volcánica, que atraviesa Guatemala.

Figura 3. **Ubicación geográfica de Sololá**



Fuente: Secretaria de Planificación y Programación (SEGEPLAN)

En Sololá, se desató una prolongada y potente etapa de actividad volcánica, sobre el antiquísimo zócalo Paleozoico de la Cordillera. Lo que le llaman vulcanismo Terciario, pues calculan que tuvo lugar entre 20 y 30 millones de años atrás. Durante este período, la antigua superficie se transformó en un relieve ígneo, que en la actualidad probablemente se parecería mucho al de Chiquimula. (PNUD, 2006-2007)

Pasado un tiempo de relativa calma, hace tan sólo dos millones de años se estableció otro poderoso período de actividades ígneas. Es el vulcanismo cuaternario, que dura hasta estos días con manifestaciones tibias, como las solfataras, fuentes y emanaciones gaseosas de la cúspide del volcán Atitlán. Pero en sus tiempos de esplendor provocó el colapso de extensos terrenos, la formación de cadenas montañosas y el levantamiento de conos y domos magmáticos. (PNUD, 2006-2007)

La geografía del vulcanismo cuaternario cubrió a la del terciario e impuso su imagen. Entre las nuevas serranías levantadas están las de Parraxquim, Chuatroj y María Tecún. Los conos volcánicos más prominentes son los de Atitlán, Tolimán, San Pedro, Santo Tomás o Pecul y Zunil (que se comparte con Quetzaltenango). Un domo muy conocido, evidente y fácil de localizar es Cerro de Oro, en la falda norte del volcán Tolimán.

En este período al sur se levantaron nuevos conos, cuyas coladas de lava cerraron parcialmente algunos espacios. Así se formó la cuenca del Lago de Atitlán. Una depresión, de más de 125 kilómetros cuadrados de área y profundidades superiores a los 330 metros. Capturó enormes volúmenes agua, proveniente de ríos, de la actividad volcánica misma y aún de lluvia, los flujos de lava de los volcanes meridionales habrían de ceñir la cuenca y provocar la formación de las bahías de San Juan, de Santiago y de San Lucas. Con el paso

del tiempo, este depósito habría de ser bautizado como lago de Atitlán. (PNUD, 2006-2007)

3.2.3. Hidrografía

Guatemala tiene una extensión de 108,889 kilómetros cuadrados y está conformada por 3 vertientes hidrográficas que son: vertiente del Golfo de México, vertiente del Caribe y vertiente de Pacífico. Este sistema está integrado por 38 cuencas hidrográficas. La región sur occidente es drenada por 12 cuencas (anexo A).

El accidente hidrográfico más importante lo constituye el lago de Atitlán que es una de las principales fuentes económicas del departamento, pues además de ser un centro turístico de mucho atractivo, sirve de apoyo comercial.

Además del lago este departamento es irrigado por los ríos Nahualate, Coyolate, Madre Vieja, el Mocá y muchos afluentes de estos. Y se forman en el departamento de Sololá 16 microcuencas las cuales se muestran en el anexo B.

En el anexo C se muestra la cuenca de Atitlán donde se localiza el proyecto y en la cual se muestran los datos del uso del suelo su cobertura forestal, extensión territorial y poblacional (Suarez, enero 2,011).

3.2.4. Orografía

El departamento tiene un clima relativamente frío, aunque posee una variedad de climas debido a su topografía. El suelo es naturalmente fértil, apto para una diversidad de cultivos. La precipitación pluvial es de 2.895,9 mm.

Este departamento está enclavado sobre la Sierra Madre, por lo que presenta un paisaje abrupto, con enormes montañas y profundos barrancos. Los volcanes Atitlán, Tolimán y San Pedro le hacen un lugar lleno de atractivos.

La aldea Pixabaj donde se encuentra el proyecto, se encuentra con amenazas hidrometeorológicas clasificada con base de los estudios realizados por SEGEPLAN en un rango alto anexo C.

3.2.5. Zonas de vida vegetal

A pesar de ser un departamento totalmente montañoso, en Sololá pueden apreciarse cuatro zonas topográficas según la clasificación propuesta por Holdridge, que son:

- Bosque muy húmedo subtropical cálido bmh-S(c)
- Bosque húmedo montano bajo subtropical bh-MB
- Bosque muy húmedo montano bajo subtropical bmh-MB
- Bosque muy húmedo montano subtropical bmh-

A nivel departamental se estima que aproximadamente el 70 % de su superficie es de vocación forestal Instituto Nacional de Bosques (INAB) y actualmente presenta un sobre uso de la tierra y tierras degradadas de manera generalizada, por ejemplo: el municipio de Santa Cruz La Laguna

que presenta un 67 % de su territorio en conflicto de uso, representando 748 hectáreas de suelo con vocación forestal que actualmente se utilizan para agricultura intensiva o están abandonadas por su deterioro y continúan erosionándose (PNUD, 2006-2007)

3.2.6. Geología

La geología de Guatemala está afectada por varias fallas geológicas y las principales se muestran a continuación (Monzón, 1984)

Figura 4. **Fallas en Guatemala**



Fuente: Secretaria de Planificación y Programación (SEGEPLAN) 2013.

La geología del departamento de Sololá, está compuesta de:

- Depósitos de pómez moderadamente alteradas y mezcladas con depósitos de aluvión volcánico y cenizas.

- Tobas de ceniza.
- Material de lahares y aludes tipo lahar, provenientes de los volcanes Atitlán y Tolimán.
- Basaltos, andesitas basálticas y en pequeñas cantidades Dacitas y dioritas.
- Inestabilidad Tectónica:
- Fallas geológicas de diferente magnitud, debido a la formación de la Caldera de Atitlán, durante la súper erupción de los Chocoyos, que dio origen al Lago de Atitlán, razón por la cual siempre será una zona susceptible a actividad sísmica y de deslizamientos (Monzón H.1,1984.)

La geología del departamento de Sololá se muestra en el mapa geológico por la Secretaria de Planificación y Programación (Segeplan) y en la cual se puede determinar que el proyecto se encuentra en un área de formaciones de rocas ígneas y metamórficas anexo E.

Con base en el mapa de amenazas geológicas realizado por (Segeplan), el proyecto se encuentra el rango de amenazas muy alto (anexo F).

3.2.7. Fisiografía

El departamento de Sololá de acuerdo a sus características fisiográficas presenta condiciones naturales de riesgo por deslizamientos y desbordamientos, esto se intensifica debido a las condiciones socioeconómicas de la población, dando como resultado un alto grado de amenaza.

Sololá está conformada por planicies y playas de lago formadas por rellenos volcánicos, topografía propia de faldas de volcán y de montañas y laderas con pendientes fuertes.

El departamento de Sololá en el período 2006 contaba con 40,840 hectáreas de bosque. Para el 2010 se reportó una cobertura forestal de 40,547 hectáreas se pudo determinar que durante el período 2006-2010, hubo una pérdida de 6,003 hectáreas de bosque, sin embargo, durante ese mismo período se recuperaron 5,710 hectáreas teniendo una pérdida neta de 293 hectáreas de bosque. Estas 293 hectáreas de pérdida neta en este departamento, representan una deforestación del 0.72 % del bosque que existía en el 2006. La tasa de deforestación para el departamento de Sololá es de 88 ha/año, equivalente al 0.22 % anual del bosque existente en el 2006 (Omar Regalado, 2012).

3.2.8. Características del proyecto CA-01 Occidente a aldea Pixabaj

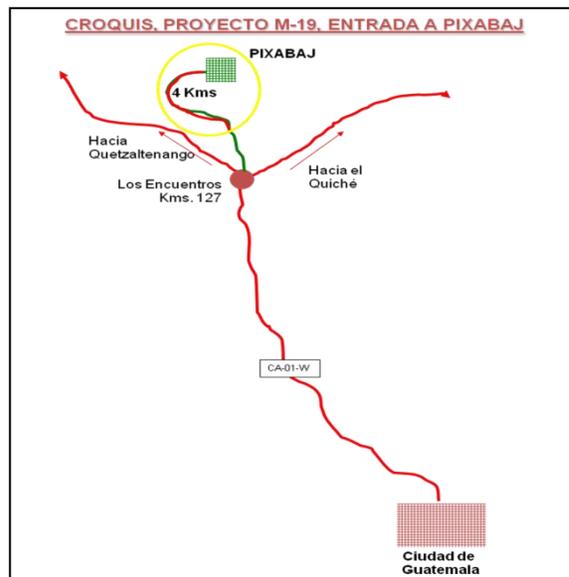
El proyecto a evaluar, se encuentra en la zona de occidente de Guatemala, a la altura del km. 127 de la carretera CA-01 occidente, en la red vial de Guatemala tiene un registro de RN-01-1 A Los Encuentros a aldea Pixabaj, con una longitud de 8 km. de largo con una sección típica de carretera de 5 m de ancho desde el km. 127 al 131 de terracería, luego se amplió 8 m. de ancho de sección ya que en el 2006 se colocó asfalto con una sección típica E modificada, la cual tiene 6 m. de rodadura y 1 metro a cada lado de cunetas.

La comunidad principalmente se dedica al cultivo de hortalizas y verduras, la exportan hacia la capital de Guatemala y hacia El Salvador, por lo que ellos solicitaron la pavimentación del proyecto carretero, para tener una mayor facilidad de exportar los productos que se cosechan en el área.

La topografía del lugar es sinuosa y bastante quebrada, por lo que se tuvo que realizar bastantes cortes en los taludes, para ampliar a una sección de

8 metros de ancho, el derecho de vía que autorizaron las comunidades ya que son áreas de cultivo, por lo que no en todos los taludes de corte se pudieron realizar bermas.

Figura 5. **Localización del proyecto CA-01 Occidente a aldea Pixabaj**



Fuente: elaboración propia.

El suelo en esta área está compuesto principalmente en algunos taludes por un limo arenoso color café y por una roca meteorizada bastante díaclasada como un suelo residual, por lo que se realizó el análisis con estos dos parámetros:

Figura 6. **Taludes del proyecto**



Fuente: aldea Pixabaj Sololá, 2010.

3.3. Aplicación de la metodología Mora - Vahrson

Aplicando la metodología se sugiere dividir el rango de valores obtenidos en cinco clases de susceptibilidad y asignar los calificativos que se presentan en el siguiente cuadro.

3.3.1. Parámetros de la pendiente (S_p)

Este parámetro utiliza las clases de pendiente de Van Zuidam (1986) con las cuales se escriben los procesos característicos esperados, las condiciones del terreno y la leyenda de colores sugerida por el autor.

Con base a la topografía, que se han realizado en los taludes que presentan más problema, se pueden determinar las siguientes pendientes, además, que la mayoría de ellos presentan denudación y nacimientos de agua los cuales se han tratado con subdrenaje francés para evitar que esta agua de escorrentía llegue a la estructura del pavimento.

Con ayuda de levantamientos topográficos se obtuvieron el grado de pendiente de los taludes en la parte inferior de la carretera, a continuación se muestran las pendientes obtenidas:

Tabla I. **Pendiente del terreno en taludes inferiores a la carretera**

Estación	Grado de pendiente
0 + 022	55 %
0+076	35 %
1+296	50 %
2+212	48 %
2+693	45 %
2+760	56 %
2+820	45 %
3+111	47 %
3+432	45 %
3+710	45 %

Fuente: elaboración propia con datos de levantamiento topográfico (2012)

Tabla II. **Clases de pendientes, condiciones del terreno, Valoración de Parámetro de pendiente (Sp)**

Clases de grado	Pendiente (%)	Características del terreno	Valor de Sp
0 – 2	0 -2	Planos sin denudación apreciable	0
2 – 4	2 – 7	Pendiente muy baja, peligro de erosión	1

Continuación de la tabla II.

4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión	2
8 – 16	15 – 30	Pendientes moderadas, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo	3
16-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos de denudación intensos (deslizamientos) peligro extremo de erosión de suelos	4
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, reforestación posible	5
55	>140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos procesos denudación intensos, (Caída de roca) cubierta vegetal limitadas	6

Fuente: Mora R, et al 1992.

Como se puede observar, el parámetro de la pendiente Sp se encuentra dentro del rango de 35 a 55 grados, con pendientes muy fuertes, por lo que se le asigna un valor de Sp = 5.

Las pendientes de los taludes superiores a la carretera no se han sacado topografías, pero se encuentran dentro del rango de 60 a 90 grados de pendiente, a por que la comunidad no permitió ampliar el derecho de vía. Por lo que el parámetro Sp se encuentra dentro del rango de mayor a 55 grados, con pendientes extremadamente fuerte, afloramientos rocosos procesos denudación intensos, cubierta limitadas, por lo que se le asigna un valor de Sp = 6.

Figura 7. **Pendiente de los taludes del proyecto**



Fuente: aldea Pixabaj, Sololá, mayo 2010.

3.3.2. Parámetro de susceptibilidad litológica (Si)

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas.

La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturación, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, influyen claramente en la estabilidad o inestabilidad de las laderas

La evaluación de este parámetro puede realizarse según las sugerencias de Mora-Vahrson, sin embargo si se cuenta con descripciones de los macizos rocosos y la evaluación de propiedades geotécnicas de suelos.

Para determinar el valor del parámetro de susceptibilidad litológica, los resultados de los ensayos de laboratorio que se efectuaron en el área y de información recabada en el área de estudio.

3.3.2.1. Estratigrafía

Para el estudio geotécnico se utilizó un sondeo dinámico para medir la compacidad del suelo, en donde el mismo se opone a la penetración de una sonda estándar tipo SPT. Prueba de penetración estándar con un martillo de 140 libras y 30 pulgadas de caída, según las normas del ASTM 1586-64T.

El ensayo fue llevado también en forma continua, aumentando el número de golpes necesarios para la penetración de cada 6 pulgadas, con el objetivo de poder determinar con mayor exactitud el espesor y firmeza de cada uno de los estratos.

Para el diseño del programa de exploración sub superficial se tomó en cuenta las necesidades del proyecto, que consiste en realizar un sondeo dinámico a 16 pies de profundidad o hasta alcanzar rechazo.

Se tomaron 2 muestras de los taludes para realizarles pruebas de corte directo y determinar las propiedades geomecánicas para el análisis de estabilidad del talud.

Para obtener una mayor información del suelo se realizaron los siguientes ensayos:

1. Límites de Atterberg: Permite conocer la plasticidad de los suelos finos.

2. Granulometría: permite determinar el tamaño de partículas y los porcentajes de suelos finos y granulares.
3. Gravedad específica: nos sirve para tener el peso de las partículas que se encuentran en los suelos y así poder determinar el índice de vacíos.
4. Corte directo: para obtener las propiedades mecánicas del suelo y diseñar obras de protección.

Tabla III. **Resultado de los laboratorios de suelos**

Material:	Limo arenoso color café
Espesor:	16 pies o 4.88 m
Clasificación unificada	ML
Densidad seca	1.74 g/cm ³
Humedad	31.18%
Gravedad específica	2.57
Relación de vacíos	0.48
Peso específico de partícula	2.57 g/cm ³
Peso específico del suelo	2.06 g/cm ³
Límite Líquido	36.04
Índice de plasticidad	9.20
Cohesión	Estrato 1 =9.41 Kpa Estrato 2 = 3.52 Kpa
Ángulo de fricción	Estrato 1 =24 ° estrato 2 = 34°

Fuente: elaboración propia datos de laboratorios de suelos 2013.

Se considera que la sobresaturación se mide porcentualmente de 0 a 100 y suelos en taludes con una humedad arriba del 18 ya se consideran que son inestables, por lo que un 31.18 % aunado que el material que compone

estos suelos es un limo arenoso, el cual tiene las características que es inestable por su propia naturaleza particularmente cuando aumenta la humedad, con tendencia a fluir cuando está saturado. Es fácilmente erosionable, de semipermeable a impermeable. (Lambe, 2004)

Al analizar los valores del porcentaje de humedad, límite líquido y porcentaje de vacíos se puede caracterizar estos suelos que acumulan agua y fácilmente llegan al grado de saturación. Considerando que el agua en Movimiento ejerce una fuerza de filtración sobre el esqueleto del suelo por efecto de un arrastre friccional. (Lambe, 2004)

Por lo que este suelo en los taludes es más susceptible a los deslizamientos, principalmente en época de invierno.

Tabla IV. **Valoración del parámetro de susceptibilidad litológica; caso suelos, SI**

Ángulo de fricción efectiva (grados)	Cohesión efectiva (Kpa.)	Descripción	Valoración del parámetro. SI
0 – 15	0 – 10	Muy bajo	5
15 – 20	10 – 15	Bajo	4
20 – 25	15 – 20	Medio	3
25 – 30	20 -25	Alto	2
30	25	Muy Alto	1

Fuente: Mora R, et al 1992).

Se utilizaron los datos del estrato 1 con un ángulo de fricción de 24 grados y una cohesión de 9.1 Kpa. Los parámetros de SI dependiendo de su

cohesión presenta un valor de parámetro de 5 con una característica muy baja, y con respecto a su ángulo de fricción efectiva, presenta un valor de parámetro de 3, con una característica media, por lo que se tomó el valor del parámetro de 3, con respecto a su ángulo de fricción

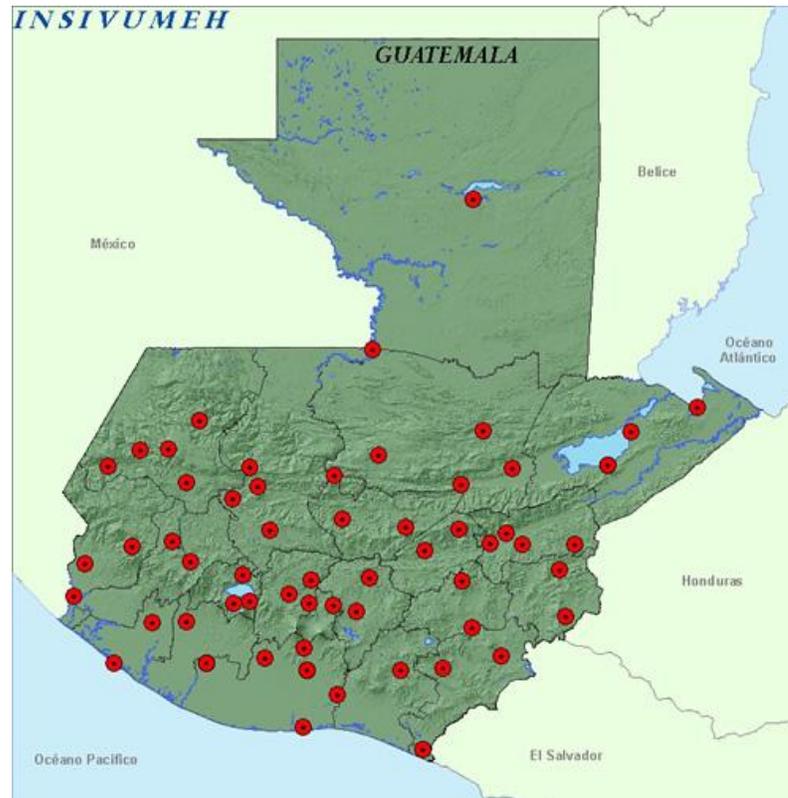
3.3.3. Parámetros de humedad del terreno (Sh)

Se recurre a los promedios mensuales de precipitación, efectuando con ellos un balance hídrico simplificado, en donde se asume una evapotranspiración potencial de 125 mm/mes, por lo tanto precipitaciones mensuales inferiores a 125 mm no conducen a un aumento de la humedad del terreno, mientras que una precipitación entre 125 y 250 mm si incrementa y precipitaciones mensuales superiores a 125 conducen a un suelo muy alta. (Mora Chinchilla, Rolando, 1992)

A los promedios mensuales se les asignan los valores de la tabla 7 y se efectúa la suma de estos valores para los doce meses del año, con lo que se obtiene valores que pueden oscilar entre 0 y 24 unidades, el resultado refleja los aspectos relacionados con la saturación y la distribución temporal de humedad en el terreno.

Para el área del proyecto se utilizará los promedios mensuales de precipitación estimados por personal de la División de Hidrología del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), las tres estaciones meteorológicas que se encuentran en el área de Sololá son El Tablón, El Capitán, Santiago Atitlán, se utilizó los datos del 2005 de la estación del El Tablón que es la más próxima al proyecto, año en que el territorio guatemalteco fue afectado por la tormenta tropical Stan

Figura 8. Estaciones meteorológicas de Guatemala



Fuente: Mapas de INSVUMEH (2013).

Los promedios mensuales del 2005 (anexo G) se le asignan valores como se muestra en la tabla 7 y se efectúa la suma de estos valores para los doce meses del año, con lo que se obtiene un valor de 8. Este resultado se ubicados en la tabla 9, se obtiene la valoración del parámetro: humedad del terreno (Sh) (Mora Chinchilla Rolando, 1992).

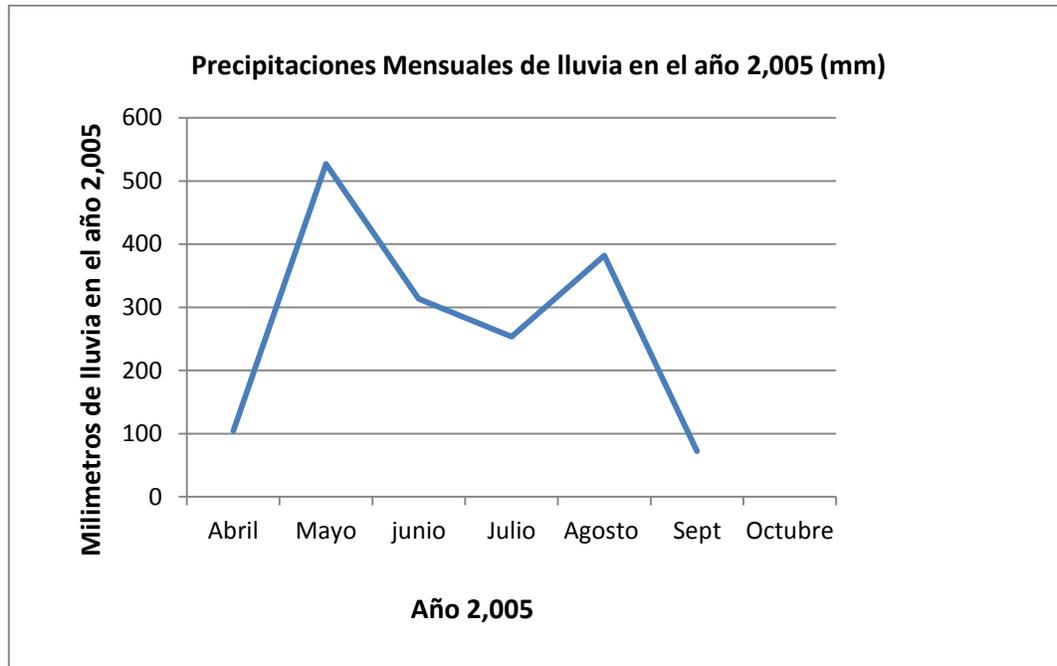
Tabla V. **Precipitaciones pluviales mensuales de estaciones meteorológicas**

Mes	Valor asignado Por mes
Enero	0
Febrero	0
Marzo	0
Abril	0
Mayo	2
Junio	2
Julio	2
Agosto	2
Septiembre	0
Octubre	0
Noviembre	0
Diciembre	0
SUMA	8

Fuente: elaboración propia, datos de estaciones meteorológicas INSIVUMEH (2013).

En la gráfica siguiente se muestra la tendencia de las precipitaciones mensuales del 2005, pudiéndose observar que los meses de mayo a agosto tienen precipitaciones mayores a los 150 mm.

Figura 9. **Precipitaciones mensuales de lluvia en el 2005 (mm)**



Fuente: elaboración propia con datos de precipitaciones mensuales 2005 INSIVUMEH (2013).

Tabla VI. **Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia**

Promedio de precipitación mensual (mm)	Valor asignado
< 25	0
125 – 250	1
>250	2

Fuente: Mora R, et al 1992)

Tabla VII. **Valoración del parámetro: humedad del terreno (Sh)**

Suma de valores asignados a cada mes	Descripción	Valoración del parámetro Sh
0 – 4	Muy bueno	1
5 – 9	Bueno	2
10 – 14	Medio	3
15 – 19	Alto	4
20 – 24	Muy Alto	5

Fuente: Mora R, et al 1992).

Con base en los resultados de la suma mensual se obtiene que el valor del parámetro de humedad del terreno Sh es de 2 con descripción del parámetro de bueno.

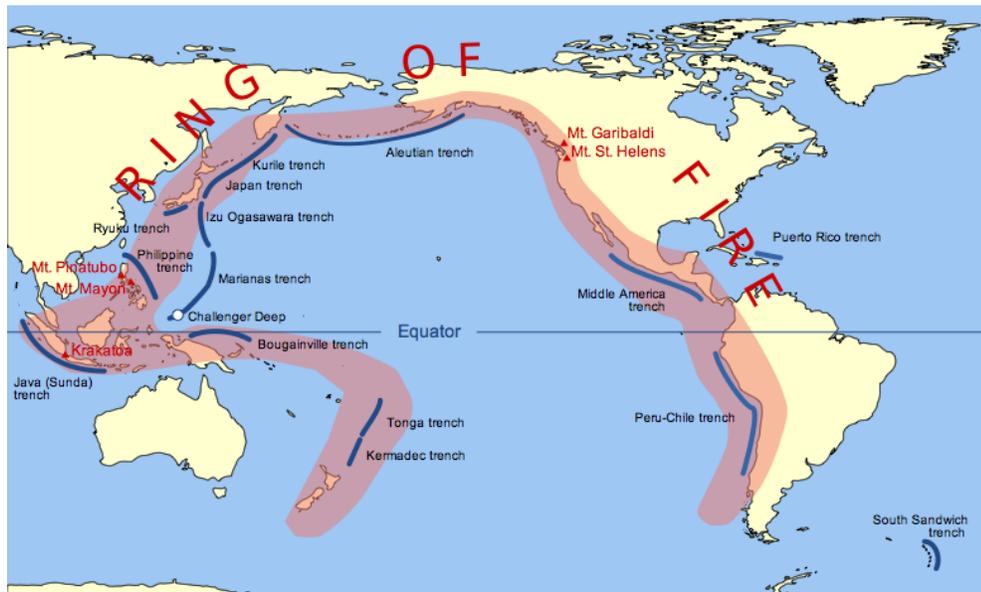
3.3.4. Parámetros de disparo por sismicidad Ds

La sismicidad es el evento natural que ha causado la mayor destrucción por deslizamientos y se ha observado que el potencial de generación de deslizamientos por actividad sísmica puede correlacionarse con la escala de intensidades Mercalli Modificada (Mora Chinchilla Rolando, 1992)

Guatemala es un país cuyas características geológicas le hacen sensible a sufrir sismos. Aquí se localizan más de 10 volcanes, muchos de ellos activos. Además, tres placas tectónicas se desplazan en el territorio. Estas "propiedades" dan como resultado terremotos de considerable magnitud y destrucción, siendo el último en 1976, y algunos estiman que ocurrirá uno de importancia en un intervalo de 50 años. (Monzón H.1,984.)

Viéndolo de manera global, Guatemala se encuentra en el Cinturón de Fuego, toda una línea de fricción entre placas, muchas de ellas de subducción.

Figura 10. **Cinturón de Fuego Global**



Fuente: CEPREDENAC 2010.

Fallas geológicas de diferente magnitud, debido a la formación de la Caldera de Atitlán, durante la súper erupción de los Chocoyos, que dio origen al lago de Atitlán, razón por la cual siempre será una zona susceptible a actividad sísmica y de deslizamientos.

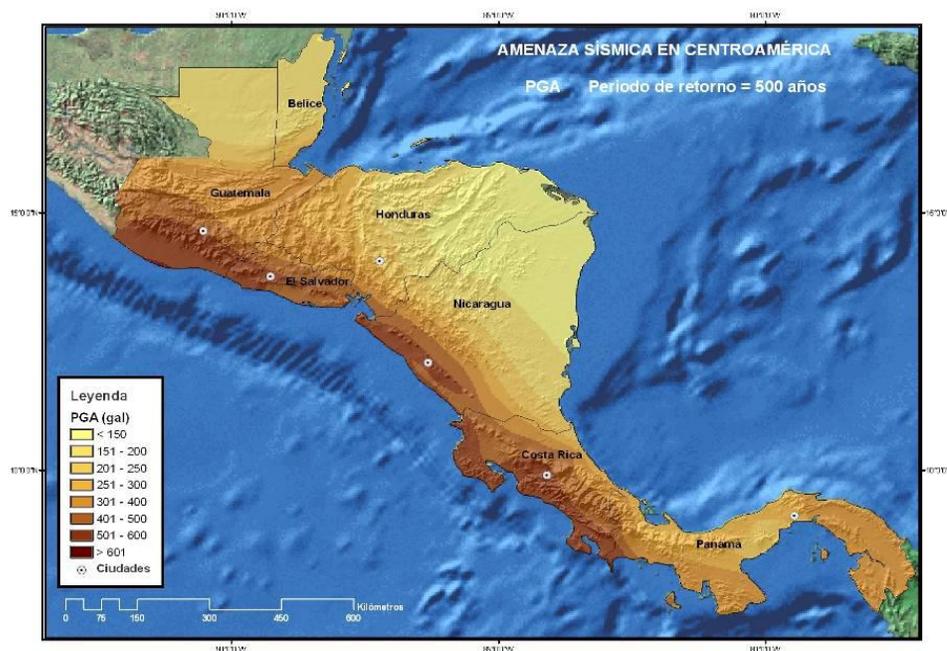
El área de influencia con respecto a la localización de fallas se puede determinar que el proyecto se encuentra aproximadamente 15-20 km de Chichicastenango que es donde termina la zona de falla del Motagua. Con respecto a las provincias fisiográficas de Guatemala el Proyecto se encuentra

en la zona volcánica, además se encuentra dentro de la faja volcánica occidental.

La zona estudiada se encuentra sobre la región sísmica denominada tipo zona 4.2, para esta zona se consideró una aceleración sísmica de $A_0 = 0.40g$ y $A_f = 0.20g$, Con una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años. (AGIES 2013)

Contando con datos de aceleraciones pico (PGA), se ha utilizado la relación Trifunac y Brady (1975) para establecer los valores correspondientes del parámetro de disparo por sismicidad, D_s .

Figura 11. **Mapa de amenazas sísmica en términos de PGA (gal) para PR = 500 años**



Fuente: Evaluación regional de la amenaza sísmica en Centro América, ALO8-PID-038.

Tomando en consideración el dato de la aceleración pico 0.4 g el valor del parámetro de disparo por sismicidad es de VIII.

Tabla VIII. **Valoración del parámetro de disparo por sismicidad, Ds**

Intensidad de Mercalli Modificada	Aceleración Pico (% g) Trifunac Brady	Valoración del parámetro Ds.
I	0.3 – 0.6	1
II	0.6 - 1.1	2
III	1.1 – 2.2	3
IV	2.2 – 4.5	4
V	4.5 – 8.9	5
VI	8.9 – 17.7	6
VII	17.7 - 35.4	7
VIII	35.4 – 70.5	8
IX	70.5 – 140.8	9
X	140.8 – 280.8	10
XI	280.8 – 560.4	11
XII	>560.4	12

Fuente: Mora R, et al 1992.

3.3.5. Parámetro de disparo por lluvia DII

Se consideran las intensidades de lluvias potencialmente generadoras de deslizamientos, su utiliza la lluvia máxima en 24 horas con un período de retorno de 100 años.

Tabla IX. **Valoración del parámetro de disparo por lluvias, DII**

Lluvias máxima en 24 horas, período de retorno 100 años	Descripción	Valor del parámetro DII.
< 100	Muy bajo	1
100 – 200	Bajo	2
200 – 300	Medio	3
300 – 400	Alto	4
>400	Muy alto	5

Fuente: Mora R, et al 1992)

Con base en los registros del INSIVUMEH se puede determinar del *Atlas Hidrológico* de lluvia máxima diaria (anexo H) para un período de retorno de 30 años entre 150 mm y 200 mm por lo que se obtiene un valor del parámetro de DII de 2 con una descripción bajo. El método recomienda utilizar la lluvia máxima en 24 horas con un período de retorno de 100 años, pero por falta de información se utilizó un periodo de retorno de 30 años que son los registros que se encontraron en el INSIVUMEH.

Ahora bien al analizar un día de lluvia máximo durante la tormenta tropical Agatha, el 30 mayo de 2010, tiene un máximo de 391.1 mm en la estación del Tablon (Instituto Nacional de Sismología, mayo 2010), por lo que se obtiene un parámetro de 4 y a la tormenta Stan del 4 de octubre de 2005, tiene un máximo de 230 mm en la estación de Santiago Atitlán (INSIVUMEH V. M., octubre de 2005), con una clasificación de 3.

3.3.6. Resumen de los parámetros obtenidos

Parámetro de disparo de susceptibilidad sísmica $D_s = 8$

Parámetro de disparo por lluvia $D_{II} = 2$ utilizando *Atlas Hidrológico* de lluvia máxima diaria (anexo H) durante tormentas tropicales anexo H

Parámetro de disparo por lluvia $D_{II} = 4$ utilizando lluvias máximas de tormenta tropical Agatha

Parámetro de la pendiente $Sp = 5$ talud inferior $Sp = 6$ talud superior

Parámetro de susceptibilidad litológica $SI = 3$

Parámetro de humedad litológica $Sh = 2$ utilizando *Atlas Hidrológico* de lluvia máxima diaria anexo H

Los elementos pasivos se componen de los siguientes parámetros:

$$EP = SI * Sh * Sp$$

$$EP = 3 * 2 * 6 = 36$$

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros:

$$D = D_s + D_{II}$$

$$D = 8 + 2 = 10$$

$$D = 8 + 4 = 12$$

Susceptibilidad al deslizamiento por sismicidad

$$H_s = (SI * Sh * Sp) * D_s = (36) * 8 = 288$$

Susceptibilidad al deslizamiento por lluvia

$$H_{II} = (SI * Sh * Sp) * D_{II} = (36) * 2 = 72$$

$$H_{II} = (SI * Sh * Sp) * D_{II} = (36) * 4 = 144$$

Grado de susceptibilidad al deslizamiento

$$H = EP * D$$

$$H = (36) (10) = 360$$

$$H = (36) (12) = 432 \text{ lluvia máxima en tormentas tropicales}$$

Los valores producidos por esta fórmula, se valoran de acuerdo con la siguiente clasificación:

Tabla X. **Rango de valores versus categoría**

Clase	Rango valores	Categoría
1	0 – 6	Muy bajo
2	7 -32	Bajo
3	33 – 162	Moderado
4	163 -512	Medio
5	513 -1250	Alto
6	> 1251	Muy Alto

Fuente: Mora R, et al 1992.

Tabla XI. **Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento**

Clase	Calificativo de susceptibilidad al deslizamiento	Características
I	Muy baja	Sectores estables, no requieren medidas correctivas. Debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta.

Continuación de la tabla XI.

I I	Baja	Sectores estables, requieren medidas correctivas menores solamente en casos especiales, debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta.
I II	Moderada	No permitir la construcción de infraestructura, si no se mejora la condición del sitio
I V	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta en casos de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Se deben realizar estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy Alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta en casos de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Se deben realizar estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.

Fuente: Mora R, et al n)

Por los resultados obtenidos, tanto el grado de la susceptibilidad total como el grado de la susceptibilidad por lluvias y el grado de la susceptibilidad

por sismo es de III moderada con las características de que no se debe permitir la construcción de infraestructuras cercanas a los taludes, si no se mejora la condición del sitio

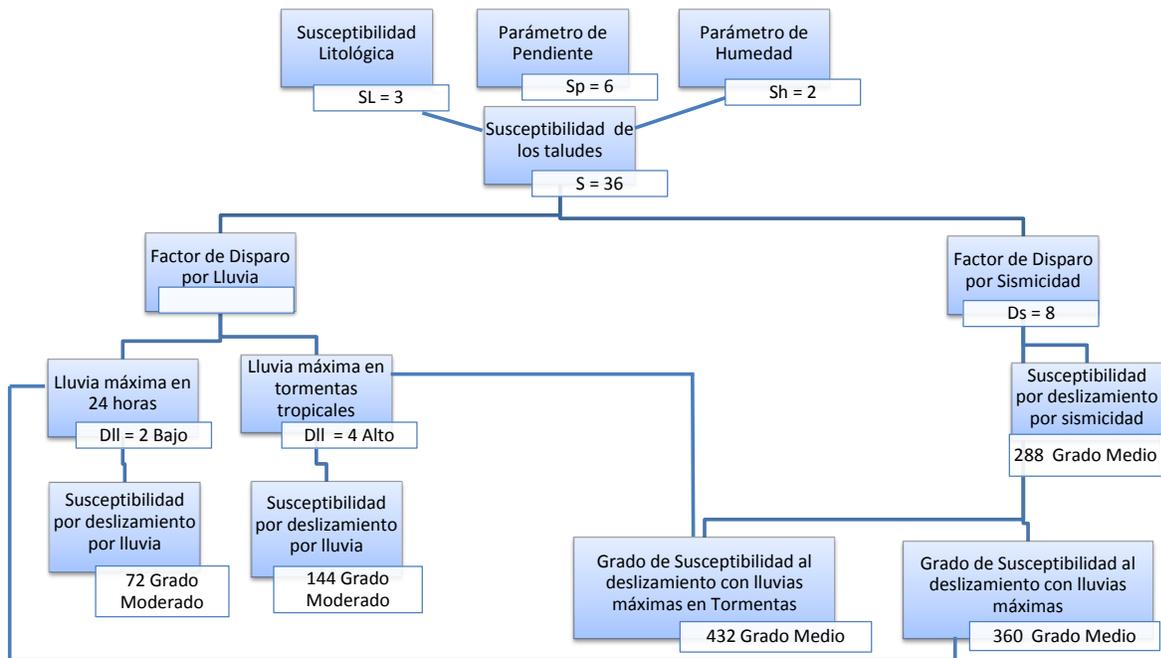
4. CUARTO CAPÍTULO

4.1. Discusión de resultados

El Método de Mora-Vahrson se ha utilizado en varios países de Centroamérica para zonificar áreas con susceptibilidad al deslizamiento, resulta ser una herramienta para ayudar en la toma de decisiones y disminuir la vulnerabilidad estructural de los taludes, al permitir conocer de antemano, aquellos sitios proclives a falla. Con este conocimiento, se pueden generar medidas mitigativas implementables y económicamente viables.

A continuación se resume los resultados obtenidos al aplicar el Método Mora Vahrson a las condiciones especiales del proyecto:

Figura 12. Susceptibilidad al deslizamiento en los taludes del proyecto



Fuente: elaboración propia con datos de análisis del Método Mora Vahrson.

Considerando las características específicas del proyecto

- Los estudios realizados por SEGEPLAN, con respecto a las amenazas hidrometeorológicas de la aldea Pixabaj donde se encuentra el proyecto, está clasificada en un rango alto (segeplan.gob.gt, 2013) (anexo C)
- Con base en el mapa del uso del suelo (segeplan.gob.gt, 2013) (anexo D) se puede determinar que el área donde se encuentra el proyecto, es área de cultivos, las comunidades por sus actividades económicas han variado el uso de las montañas del lugar, utilizándolas para la siembra principalmente de hortalizas. .

- Considerando el mapa de amenazas geológicas realizado por SEGEPLAN (segeplan.gob.gt, 2013), el Proyecto se encuentra el rango de amenazas muy alto (anexo F).
- Con respecto a sus características fisiográficas el departamento de Sololá presenta condiciones naturales de riesgo por deslizamientos y desbordamientos.
- La tasa de deforestación para el departamento de Sololá es de 88 ha/año, equivalente al 0.22 % anual del bosque existente en el 2006 (Omar Regalado, 2012)
- Se considera que la sobresaturación se mide porcentualmente de 0 a 100 y suelos en taludes con una humedad arriba del 18 ya se consideran que son inestables, por lo que un 31.18 % de humedad y aunado que el material que compone estos suelos es un limo arenoso que en algunos tiene las características de inestabilidad por su propia naturaleza particularmente cuando aumenta la humedad, con tendencia a fluir cuando está saturado. Es fácilmente erosionable, de semipermeable a impermeable. (Lambe, 2004)

Por los resultados obtenidos con datos de lluvia máxima en 24 horas y lluvias máximas en tormentas, la susceptibilidad al deslizamiento tiene una categoría media, la que le corresponden las características de no se debe permitir la construcción de infraestructura, si no se mejora la condición del sitio. Por lo que se deben realizar estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.

Es necesario mencionar que los resultados obtenidos al aplicar el Método de Mora Vahrson con lluvia máxima en 24 horas en un año normal de época de invierno entre 100 y 200 mm y con lluvias máximas en 24 horas en

tormentas tropicales de 391.1 mm, la clasificación de los valores da el mismo resultado, un valor medio, por lo que también es de considerar que el método aplicado tiene rangos de valores es bastante amplios por lo que se recomendaría revisar estos rangos de estos valores para poder clasificarlos mejor.

Al hacer el análisis de los resultados y por observaciones del comportamiento de los taludes en campo, se puede concluir, que en años normales de lluvia los deslizamientos ocurren más lentamente y en los meses de septiembre y octubre cuando el suelo ya está saturado y cuando las lluvias son intensas en época de tormentas los taludes se satura rápidamente y los deslizamientos son mayores principalmente en los taludes de mayor pendiente de 35 grados en adelante

Por lo que el proyecto es bastante vulnerable a los deslizamientos y provocar daños principalmente con eventos climatológicos como tormentas tropicales o inviernos muy copiosos, y es cuando más susceptible se encuentra los taludes al deslizamiento y provocan no solo un daño a la carretera sino a las comunidades que habitan en el área

En este proyecto es necesario realizar un estudio más detallado para poder determinar cuáles son las mejores medidas de mitigación que podrían aplicarse a este tramo y evitar que continúen los daños.

En la siguiente fotografía se muestra como quedo la aldea Pixabaj luego de las fuertes lluvias de la tormenta Agatha

Figura 13. **Aldea Pixabaj después de la tormenta Agatha**



Fuente: aldea Pixabaj. Sololá, mayo de 2010

CONCLUSIONES

1. Luego de aplicar el Método de Mora-Vahrson para determinar la susceptibilidad a deslizamientos, en el proyecto se pudo determinar por los resultados obtenidos la susceptibilidad al deslizamiento tiene una categoría media, la que le corresponden características de que no se debe permitir la construcción de infraestructura, si no se mejora la condición del sitio. Por lo que se deben realizar estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
2. Por el análisis de los resultados y por observaciones del comportamiento de los taludes en campo, se puede concluir, que en años normales de lluvia, los deslizamientos ocurren más lentamente y en los meses de septiembre y octubre cuando el suelo ya está saturado. Ahora bien, cuando las lluvias son intensas en época de tormentas los taludes se saturan rápidamente y los deslizamientos son mayores principalmente en los taludes de mayor pendiente de 35 grados en adelante.
3. Los principales factores críticos en la ocurrencia de deslizamientos en el proyecto son las inclinaciones de los taludes mayores de 35 % como factor pasivo, y los niveles de saturación del suelo en los meses más lluviosos del invierno como factor de disparo, favorecen la ocurrencia de deslizamientos. Por lo tanto, las medidas de mitigación deberán estar enfocadas al manejo y canalización de las aguas de lluvia, escorrentía e infiltración. También es de considerarse que el factor de disparo sísmico puede producir deslizamientos en el área.

4. Las zonas de mayor probabilidad al deslizamiento dentro del Proyecto son las cercanas a los taludes, por lo que es necesario realizar medidas de mitigación para evitar que los deslizamientos ocurran.

5. Por medio del análisis del caso, fruto del presente estudio, queda demostrada la utilidad de la aplicación del Método de Mora-Vahrson en la zonificación de sitios susceptibles a deslizamientos y aplicables a la realidad vial de Guatemala siempre y cuando se analicen adecuadamente los resultados obtenidos ya que los rangos de clasificación del método son bastante amplios.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario realizar planes de mitigación en el proyecto acorde con los resultados preliminares de la aplicación del Método de Mora - Vahrson, ya que se ha evidenciado que las lluvias intensas, han contribuido a los deslizamientos en la zona de estudio, al punto de haber dejado incomunicada la aldea en varias oportunidades.
2. Aplicar el Método de Mora- Vahrson tanto en la ampliación y mejoramiento de carreteras existentes como en apertura de nuevas vías, cuando la topografía sea muy quebrada, y así determinar la susceptibilidad al deslizamiento y analizando los resultados obtenidos conforme a las características reales de cada proyecto.
3. Como en este proyecto ya se ha construido la carretera, es necesario realizar los estudios a detalle para la estabilización efectiva y económicamente viable de los taludes, para proteger no solo la carretera, sino también las viviendas que se encuentran próximas a los taludes, evitando así, pérdidas de vidas humanas y económicas.
4. Es necesario considerar como parte del plan de contingencias locales, el traslado de la población que se encuentra ubicada en las zonas de mayor riesgo a otros terrenos más seguros, en un apoyo conjunto coordinado por instituciones como la Secretaría Ejecutiva de la Presidencia.

5. Identificar y planificar el uso que se le podría dar al suelo donde existe la probabilidad de deslizamientos, con el propósito de que el mismo no sea utilizado para zona de asentamiento humano o de cultivos.

6. Por los resultados obtenidos en el análisis de susceptibilidad del proyecto sería recomendable revisar los rangos de valores para la clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento ya que son bastante amplios y nos dan las mismas características con lluvias en años normales y con lluvias intensas en época de tormenta.

BIBLIOGRAFÍA

1. 13. J.J. Major, S. S. (2001). Zonificación de Peligros por Lahares para el Volcan de San Salvador. San Salvador.
2. Atlas Hidrológico de Guatemala. (2012). Recuperado el Enero de 2013, de INSIVUMEH: www.INSIVUMEH.gob.gt.
3. segeplan.gob.gt. (2013). Recuperado el Marzo de 2013, de www.segeplan.gob.gt
4. (s.f.). Gui Complemento par dictámenes Geológicos recomendados por AGIES. En el Capítulo 6, “Condiciones del Terreno Norma NR-2:200, Demandas Estructurales, Condiciones del Sitio y Niveles de protección. En AGIES. Guatemala.
5. Alberto, C. C. (2010). Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura vial nacional. Costa Rica.
6. Azabache, D. (2011). ESCENARIOS DE RIESGO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN. Lima Peru.
7. Bach, J. (2009). Riesgos Procesos Geológicos Externos: Movimientos De Ladera Taller Sobre Deslizamientos. Guatemala.

8. Barrantes Castillo Gustavo, B. S. (2011). Efectividad de la Metodología Mora - Vahrson Modificada en el Caso de los Deslizamientos Provocados por el Terremoto de Cinchona . Costa Rica.
9. Belteton, O. F. (2009). Evaluación de Riesgos Geológicos e Impactos Ambientales (Geología Ambiental) Deslizamientos. Riesgos Geológicos, (pág. 35). Guatemala.
10. Belteton, O. F. (2010). Evaluación de Riesgos Geológicos e Impactos Ambientales (Geología Ambiental) . Riesgos Geológicos, (pág. 40). Guatemala.
11. Dunn, I. L. (1980). Fundamentals of Geotechnical Analysis. New York: John Wiley & Sons.
12. INSIVUMEH. (2012). INSIVUMEH.gob.gt. Recuperado el Febero de 2013.
13. Instituto Nacional de Sismología, V. M. (Mayo 2010). Resumen del Impacto Meteorologico Tormenta Tropical Agatha. Guatemala.
14. Instituto Nacional de Sismología, V. M. (Octubre de 2005). Resumen del Impacto Asociado al Huracan Stan. Guatemala.
15. ISMUGUA, G. P.–E. (2007). Estudio Hidro-geológico para la Implementacion de un Sistema de Monitoreo y Alerta Ante. Guatemala.
16. Lambe, W. (2004). Mecánica de Suelos. Mexico: Limusa.

17. Lavado, C. F. (2008). Manul Metodologico Para la evaluación de Movimientos de Ladera en el Area Metropolitana de San Salvador . (P. I. Mundo, Ed.) San Salvador.
18. Major, J. (2001). Zonificacion de peligros por lahares por el volcan de San Salvador. San Salvador.
19. Monzón, H. (1984). Programa de Cooperación tecnica en Ingenieria de Terremotos. Guatemala: GTZ Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH F.R. Germany el INDE Instituto Nacional de Electrificación.
20. Mora Chinchilla Rolando, C. G. (192). III curso Internacional sobre Microzonificación y su Aplicación a la Mitigación de Desastres "Zonificación a La Susceptibilidad al Deslizamiento, Mediante El Método Mora-Vahrson . Costa Rica.
21. Mujica, S. C. (2010). LA GESTIÓN DE RIESGO EN VENEZUELA Y AMÉRICA LATINA. Ar@cne, Revista electronica de recursos internet, Universidad de Barcelona , 2.
22. NORAD-CEPREDENAC. (2000). Microzonificación Sísmica. . En NORAD-CEPREDENAC, Microzonificación Sísmica. (págs. 120-123). 2000: Climent A .
23. Omar Regalado, X. V. (2012). Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 Dinamica de la Cobertura Forestal 2006- 2010. Guatemala.

24. PNUD. (2006-2007). Plan de Reconstrucción y Reducción de Riesgos del departamento de Solola, Basado en el Plan de Desarrollo Sostenible 2006-2007 . Guatemala.
25. Suarez, G. (Enero 2,011). Cuencas Hidrográficas de Guatemala, MARN. Guatemala.
26. Territoriales, I. N. (2004). 15. Mapa De Susceptibilidad A Deslizamientos De Nicaragua por el Método Mora-Vahrson. Nicaragua.

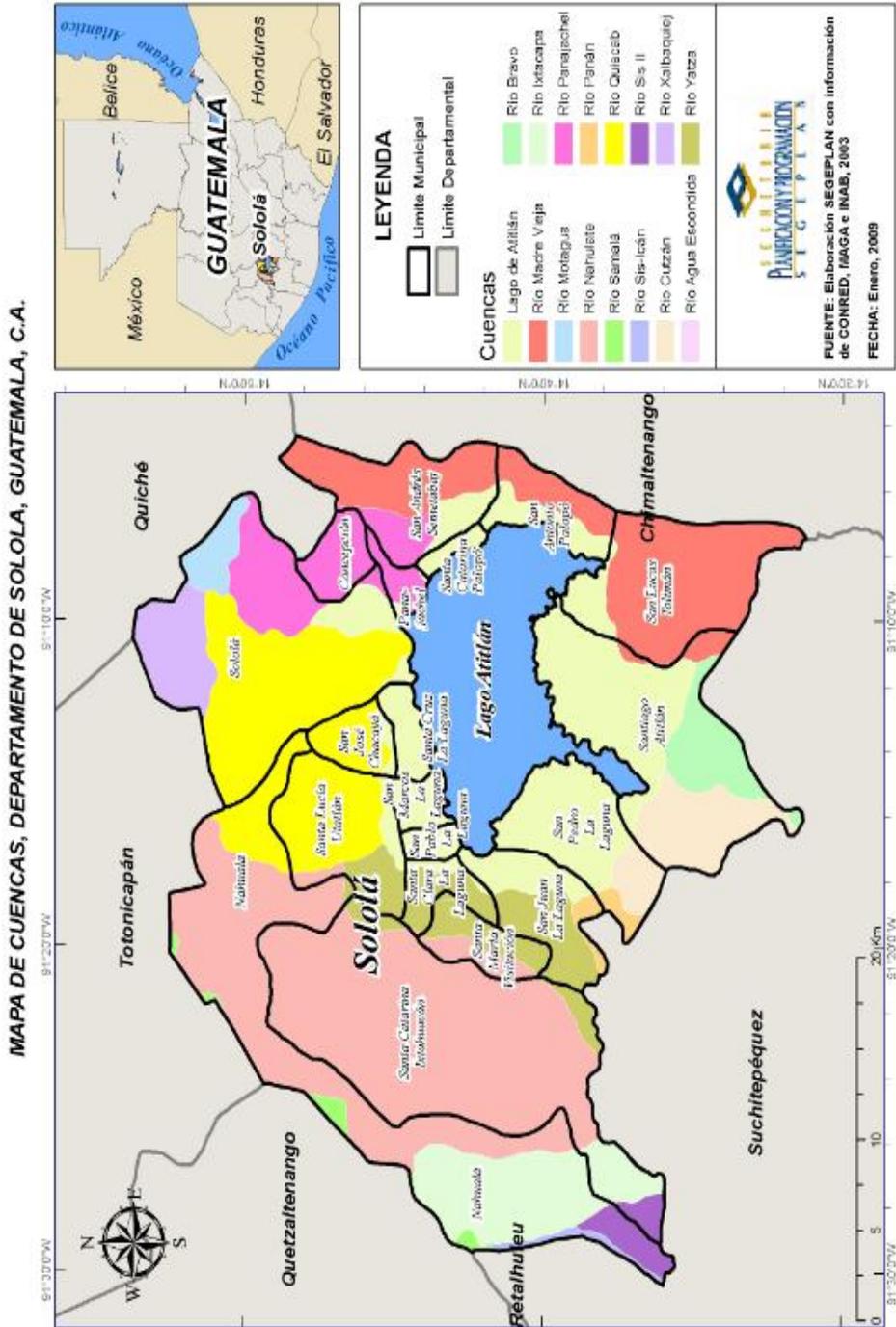
ANEXOS

ANEXO A: Cuencas de Guatemala



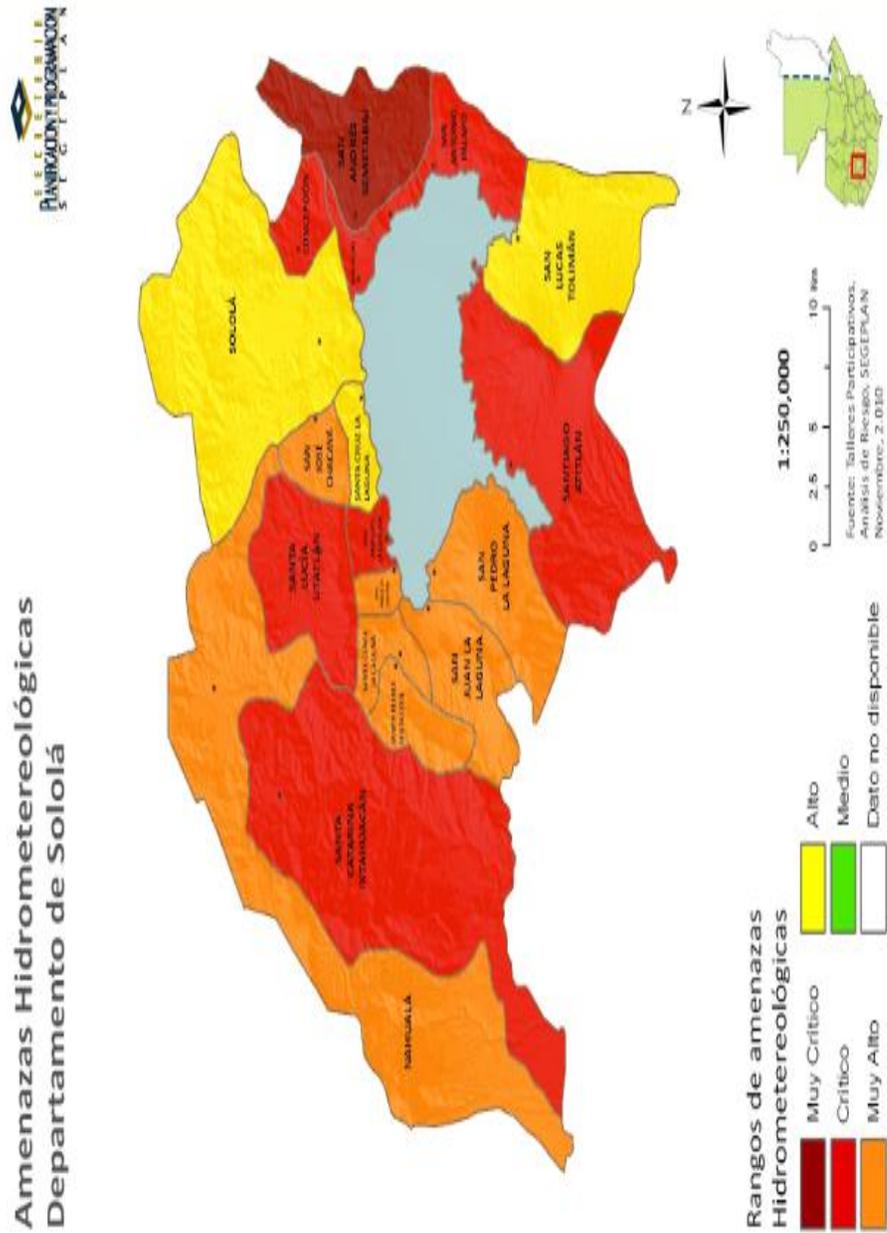
Fuente: Ministerio de Agricultura (MAGA)

ANEXO B: Cuencas del departamento de Sololá



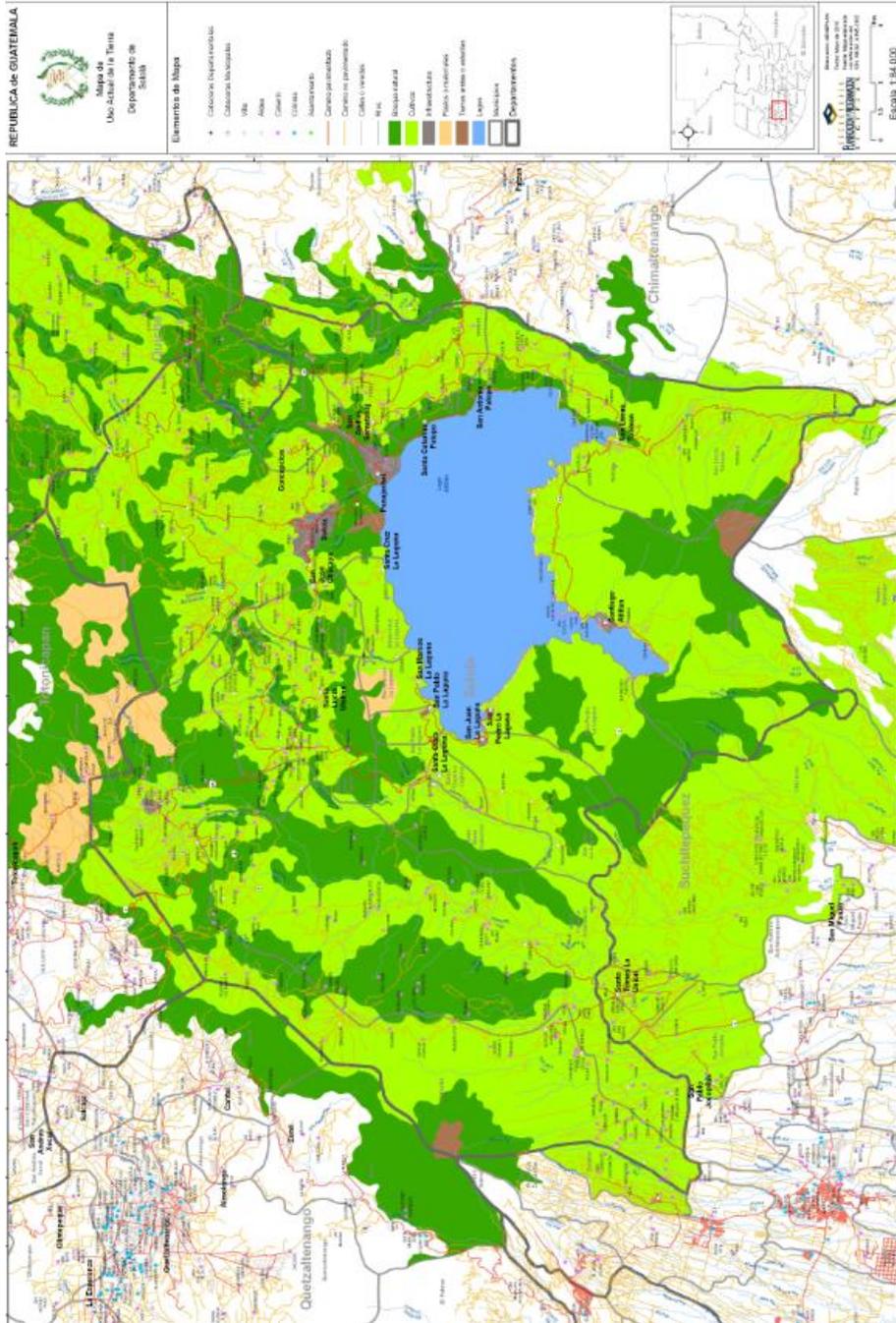
Fuente: SEGEPLAN.

ANEXO C: Amenazas hidrometeorológicas del departamento de Sololá



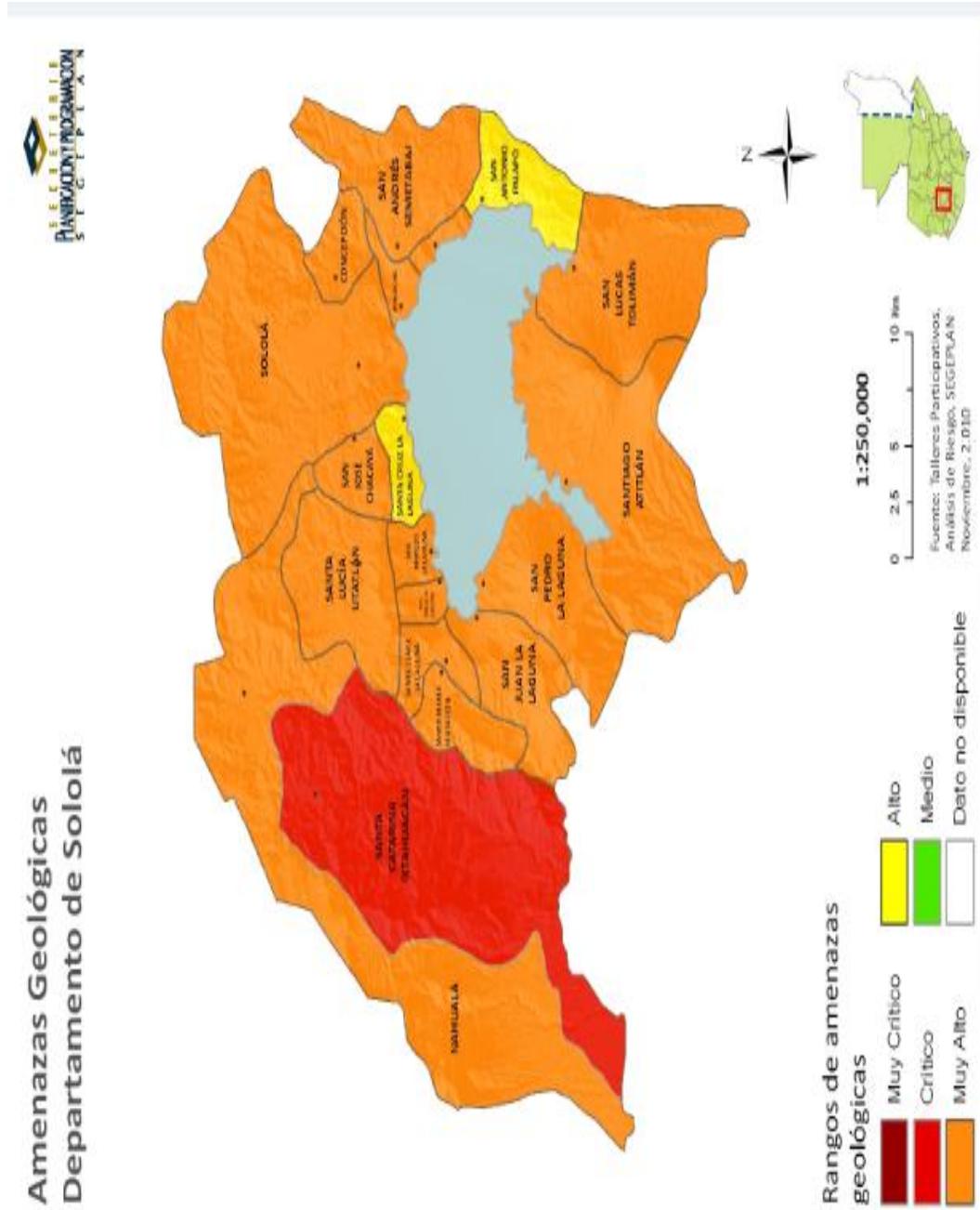
Fuente: SEGEPLAN.

ANEXO D: Uso del Suelo



Fuente: SEGEPLAN.

ANEXO F: Amenazas geológicas del departamento de Sololá



Fuente: SEGEPLAN.

ANEXO G: Estación meteorológica El Tablón lluvia en mm



INSIVUMEH

Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología

Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda
GUATEMALA C.A.

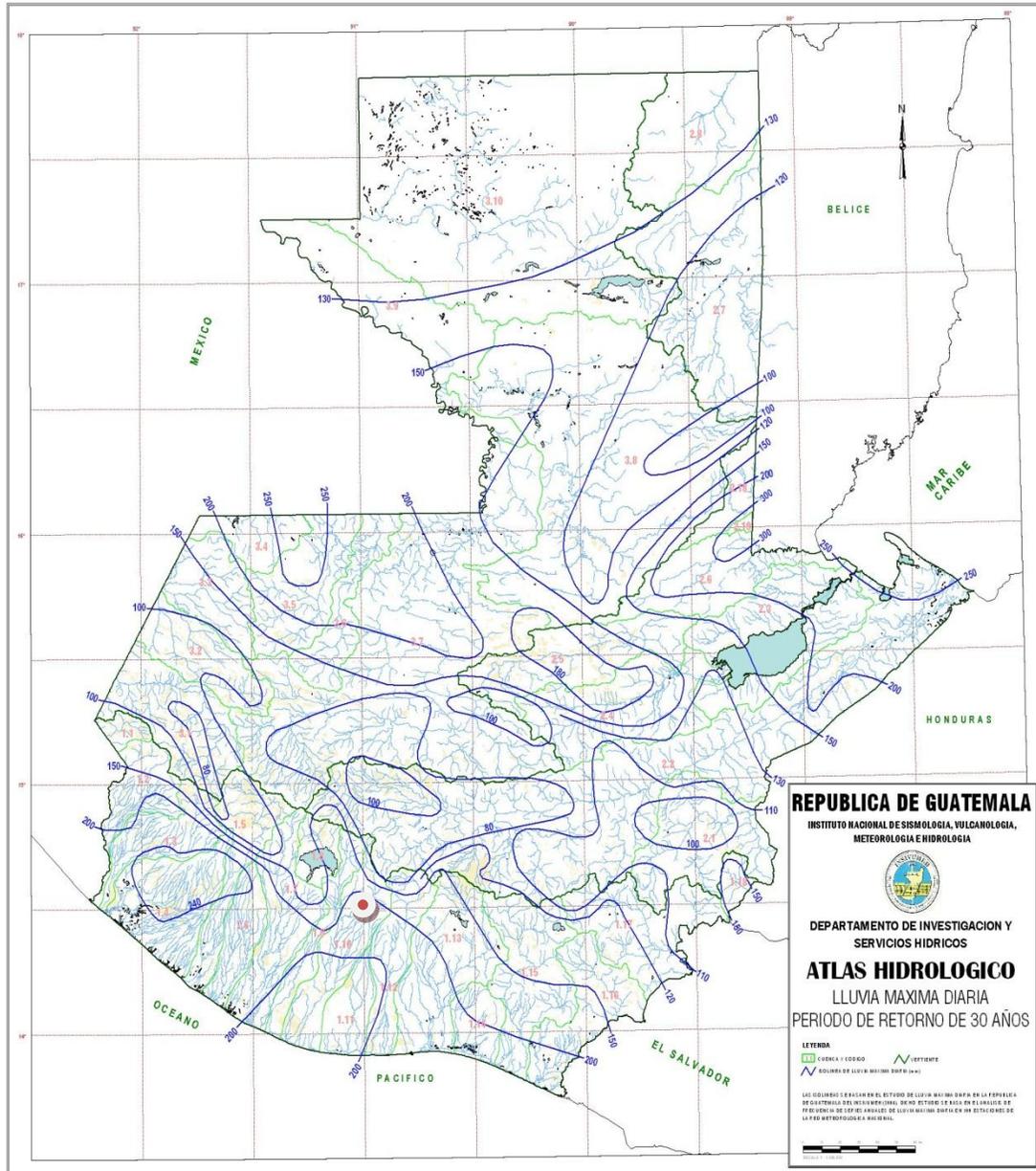
ESTACION: EL TABLON lluvia en mm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1993	---	---	---	---	---	---	156.0	254.1	282.4	119.9	2.3	3.2	817.9
1994	16.6	1.7	0.0	44.0	170.5	179.1	120.7	183.4	140.7	123.1	40.4	26.8	1049
1995	0.0	0.0	4.7	59.4	100.1	299.6	157.0	332.6	271.7	174.7	1.1	25.8	1446.7
1996	5.0	1.6	0.9	139.8	148.4	265.0	214.7	169.2	391.0	145.4	47.6	19.2	1545.8
1997	5.9	23.9	3.1	11.3	117.0	332.8	116.9	133.7	422.6	191.3	95.0	45.9	1492.4
1998	0.7	0.0	0.0	7.5	84.4	206.7	255.0	248.1	220.8	287.5	279.4	2.3	1692.4
1999	0.5	5.2	3.0	6.8	74.3	378.8	236.8	186.0	395.9	263.7	8.9	16.3	1876.2
2000	0.0	0.0	1.4	45.5	275.1	340.4	67.2	203.1	372.2	111.0	12.3	0.0	1430.2
2001	0.0	0.0	242.4	9.5	226.8	222.2	216.8	156.5	366.0	63.9	19.7	5.2	1630
2002	1.7	2.8	0.9	13.9	115.3	181.7	130.6	77.5	309.7	102.6	27.1	2.9	966.7
2003	0.0	7.7	29.1	82.4	120.3	391.4	176.8	132.3	276.0	123.4	39.4	0.0	1688.8
2004	1.0	16.0	28.1	14.0	245.2	202.0	113.9	95.2	237.8	131.4	10.5	2.1	1097.2
2005	2.2	0.0	2.3	28.6	166.1	469.1	222.2	230.8	313.1	376.5	9.9	6.8	1827.6
2006	18.9	0.2	4.7	62.0	181.3	359.7	195.1	136.4	211.3	211.3	113.9	26.0	1615.8
2007	3.6	0.0	6.0	46.8	94.8	275.1	127.5	218.2	266.3	180.5	7.5	1.7	1228
2008	2.1	5.8	5.6	3.8	139.0	468.1	297.1	273.4	303.8	143.3	6.3	0.3	1647.6
2009	0.0	0.0	0.0	24.1	264.2	307.7	80.5	213.7	181.9	45.9	64.0	0.0	1182
2010	0.0	13.0	3.4	104.5	527.0	312.2	253.5	382.0	72.2	---	---	---	1668.8

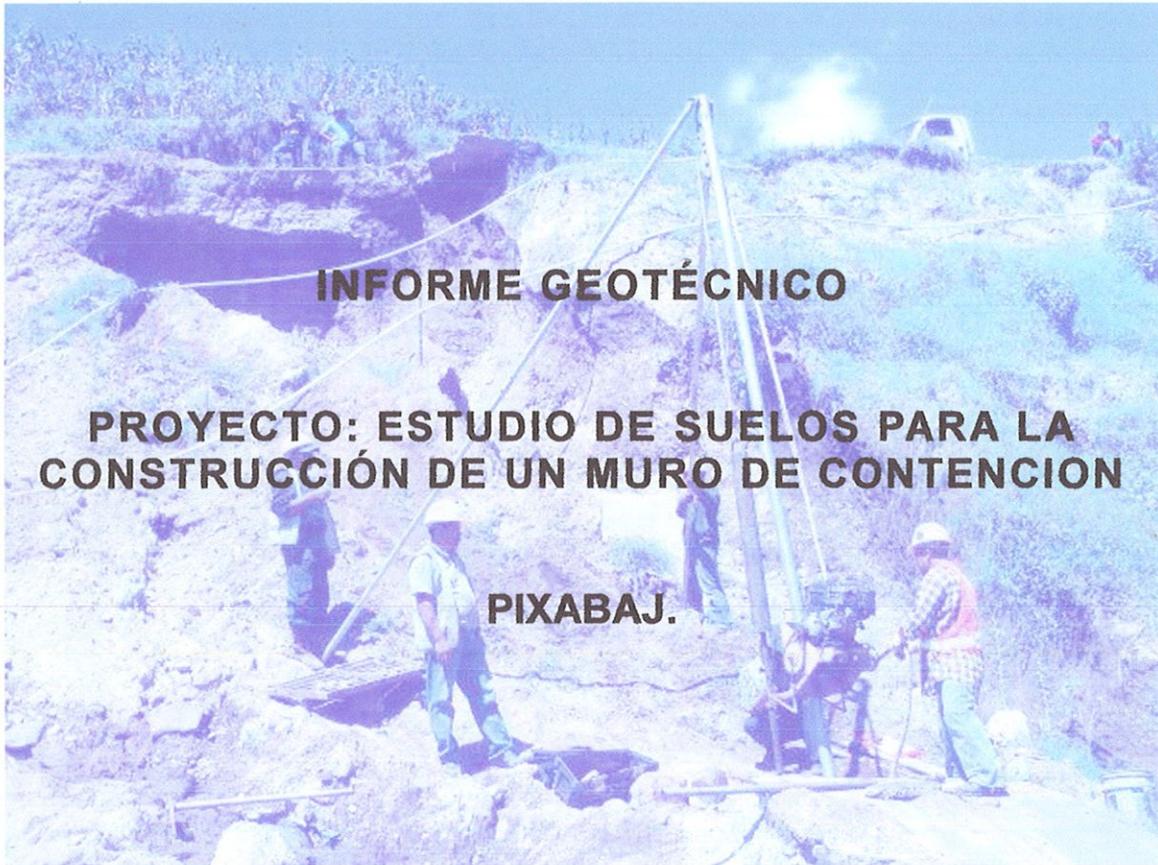
Para solicitud o consulta de otros datos climáticos por favor comunicarse al 23105024 ó indireccion@insivumeh.gob.gt

Fuente: INSIVUMEH

**ANEXO H: Atlas o Hidrológico Lluvias Máxima Diaria, periodo de
retorno de 30 años**



Anexo I: Estudio Geotécnico



15 de octubre de 2010

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
1 INTRODUCCIÓN.....	3
2 OBJETIVOS.....	3
3 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	4
4 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	4
5 ESTRATIGRAFÍA.....	5
6 NIVEL FREÁTICO.....	5
7 CAPACIDAD SOPORTE.....	5
8 PARÁMETROS DE DISEÑO SÍSMICO.....	6
9 ASENTAMIENTOS.....	7
10 EMPUJE DE TIERRAS.....	7
11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	8
A N E X O.....	9
Tabla de perforaciones.....	10
Resumen de laboratorio.....	12
Presión admisible vrs profundidad.....	13
Perfil Estratigráfico.....	14
Plano de ubicación de los sondeos.....	15
Gráfica de Golpes.....	16
Prueba de corte directo no drenado y no consolidado M-1.....	17
Prueba de corte directo no drenado y no consolidado M-2.....	18
Granulometría Estrato 1.....	19
Límites de Atterberg Estrato 1.....	19
Fotos.....	20

1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio trata del reconocimiento geotécnico del suelo donde se construirá el muro de contención en el camino de Pixabaj, ubicado a 4 kilómetros de la Aldea Pixabaj, Sololá.

El cálculo de la capacidad soporte está fundamentada por los resultados obtenidos del comportamiento de la curva de penetración estándar, deducida del récord de conteo de golpes tomados en campo.

Para la construcción del muro de contención en el sitio analizado, el Ingeniero Estructural deberá decidir las dimensiones y forma de los mismos en función de la capacidad soporte que aquí se establece y sus recomendaciones.

2 OBJETIVOS

Con dicho informe se pretende:

- Conocer los diferentes estratos de suelo con sus respectivas características geomecánicas.
- Conocer la capacidad soporte del suelo a diferentes profundidades del sondeo.
- Evaluar el mejor lugar para ubicar el sondeo y así obtener la mayor información posible.
- Conocer las propiedades del suelo para determinar los empujes que ejercerá sobre la estructura de contención.
- Dar conclusiones y recomendaciones en base a los resultados del estudio de suelos.

3 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

El sondeo dinámico se usa para medir la compacidad del suelo, en donde el mismo se opone a la penetración de una sonda estándar tipo SPT. Prueba de penetración estándar con un martillo de 140 libras y 30 pulgadas de caída, según las normas del A.S.T.M. 1586-64T (Standard Penetration Test).

El ensayo fue llevado también en forma continua, aumentando el número de golpes necesarios para la penetración de cada 6 pulgadas, con el objetivo de poder determinar con mayor exactitud el espesor y firmeza de cada uno de los estratos.

Para el diseño del programa de exploración sub superficial se tomó en cuenta las necesidades del proyecto, que consiste en realizar un sondeo dinámico a 16 pies de profundidad o hasta alcanzar rechazo, debido al tipo de estructura que ahí se construirá.

También se tomaron 2 muestras del talud para realizarles pruebas de corte directo y determinar las propiedades geomecánicas para el análisis de estabilidad del talud.

4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Según lo requerido por el cliente y para obtener una mayor información del suelo se realizaron los siguientes ensayos:

1. Límites de Atterberg: Sistema que permite conocer la plasticidad de los suelos finos.
2. Granulometría: Este ensayo nos sirve para determinar el tamaño de partículas y los porcentajes de suelos finos y granulares.
3. Gravedad específica: Este ensayo nos sirve para tener el peso de las partículas que se encuentran en los suelos y así poder determinar el índice de vacíos.

4. Corte directo: este ensayo nos servirá para obtener las propiedades mecánicas del suelo para poder diseñar el muro de contención.

Los resultados de los ensayos se muestran en los anexos y en la descripción del perfil.

5 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía obtenida se definió por medio de las muestras sacadas del sondeo dinámico, dando como resultado 1 estrato:

Estrato 1

Material:	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ
Espesor:	16 pies o 4.88 m
Clasificación Unificada:	ML
Densidad Seca:	1.74 g/cm ³
Humedad:	31.18 %
Gravedad Específica:	2.57
Relación de vacíos:	0.48
Peso específico de partícula:	2.57 g/cm ³
Peso específico del suelo:	2.06 g/cm ³
Límite Líquido:	36.04
Índice de plasticidad:	9.20
Cohesión:	5.08 t/m ²
Ángulo de Fricción:	21

6 NIVEL FREÁTICO

Al realizar el sondeo no se detectó presencia de nivel freático..

7 CAPACIDAD SOPORTE

Para conocer las propiedades geomecánicas del suelo donde se cimentará el muro de contención, se realizó el ensayo de penetración dinámica, con éste se procedió a calcular la capacidad soporte del suelo admisible utilizando un factor de seguridad de 3, para poder cimentar de

forma estable la estructura, la capacidad soporte del suelo se muestra en la gráfica de “Presión admisible vs Profundidad” de los anexos.

8 PARÁMETROS DE DISEÑO SÍSMICO

La zona estudiada se encuentra sobre la región sísmica denominada tipo zona 4.1, $I_0 = 4.0$, para ésta zona se considerará una aceleración sísmica de $A_0 = 0.40g$ y $A_f = 0.20g$, de la aceleración de la gravedad para las condiciones de diseño (ver figura 1). El perfil del suelo es un perfil tipo S_3 para condiciones de diseño se tomará $T_A = 0.12$ y $T_F = 1.00$

Donde:

I_0	=	Índice de sismicidad
A_0	=	Aceleración máxima efectiva
A_f	=	Aceleración máxima frecuente
S_3	=	Suelos sueltos a medianamente densos.
T_A	=	Período de vibración depende de S_3
T_F	=	Período de vibración depende de S_3

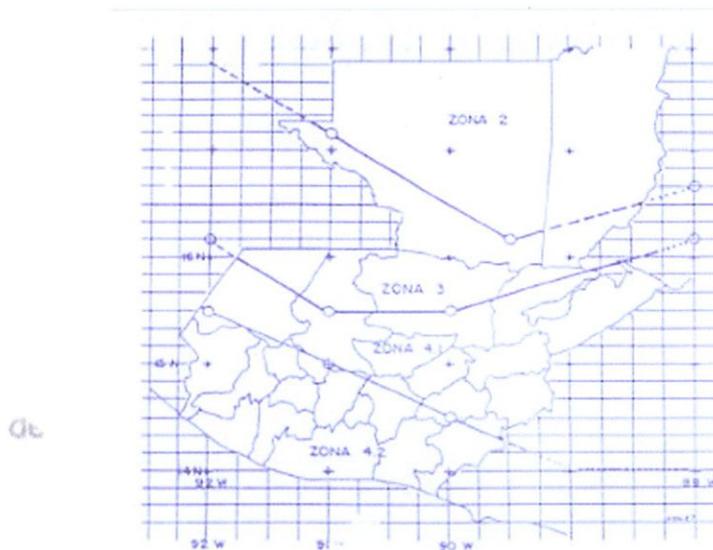


Figura 1. Mapa macrozonificación sísmica de Guatemala, Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales y Sísmicos (AGIES)

9 ASENTAMIENTOS

Si se utiliza la capacidad soporte proporcionada en éste informe no se esperan tener asentamientos mayores a 2.54 centímetros para zapatas y pilas de cimentación.

10 EMPUJE DE TIERRAS

Para el diseño del muro, es necesario considerar la presión de lateral de tierras, para el cálculo de estas fuerzas se utilizará las propiedades que fueron dadas por el ensayo de corte directo de las muestras tomadas en campo, con éstas se procederá a calcular la presión activa que el suelo ejercerá sobre el muro.

Para calcular la presión activa se utilizará la ecuación de Rankine:

$$P_a \text{ estática} = \frac{1}{2} \gamma k_a H^2$$

$$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2)$$

Donde

- γ = peso específico del suelo
- k_a = Coeficiente de presión de tierras activo del suelo
- H = altura del muro
- ϕ = Ángulo de fricción interna de suelo

A la presión del suelo también se le deberá de considerar una presión dinámica por sismo y por paso de vehículos.

Los datos del suelo para el cálculo de fuerzas ejercidas por el suelo al muro de contención se presentan en la siguiente tabla:

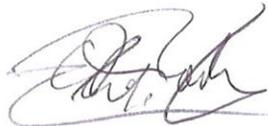
Datos para cálculo de fuerzas en el muro		
Muestra No.	Cohesión (Ton/m ²)	ϕ (grados)
1	0.96	24
2	0.75	34

Tabla: Resumen del ensayos de corte directo no drenado y no consolidado.

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El factor de seguridad es F.S.=3, para el cálculo de la capacidad soporte.
- Se recomienda cimentar con por debajo de los 4 pies de profundidad.
- Se recomienda remover los restos del deslizamiento, ya que es un material suelto y se encuentra saturado.
- El grado de dificultad en la excavación es medio.
- Tomar las medidas de protección necesarias en el momento de la excavación, debido a que pueden ocurrir derrumbes.
- Cada capa de compactación deberá ser verificada ya sea por una densidad de campo o un densímetro nuclear.
- Si en un momento de la construcción del muro se encuentra una situación que no se ha mencionado en éste estudio, como estratos de materiales que no haya aparecido en el muestreo, nivel freático, se recomienda ponerse en contacto con el suscrito para hacer una visita y tomar las medidas al respecto. ←

Atentamente,



Erick José Rodas Aldana
INGENIERO CIVIL
COL. 6766

MsC. Ing. Erick José Rodas Aldana
Colegiado 6,766

ANEXO

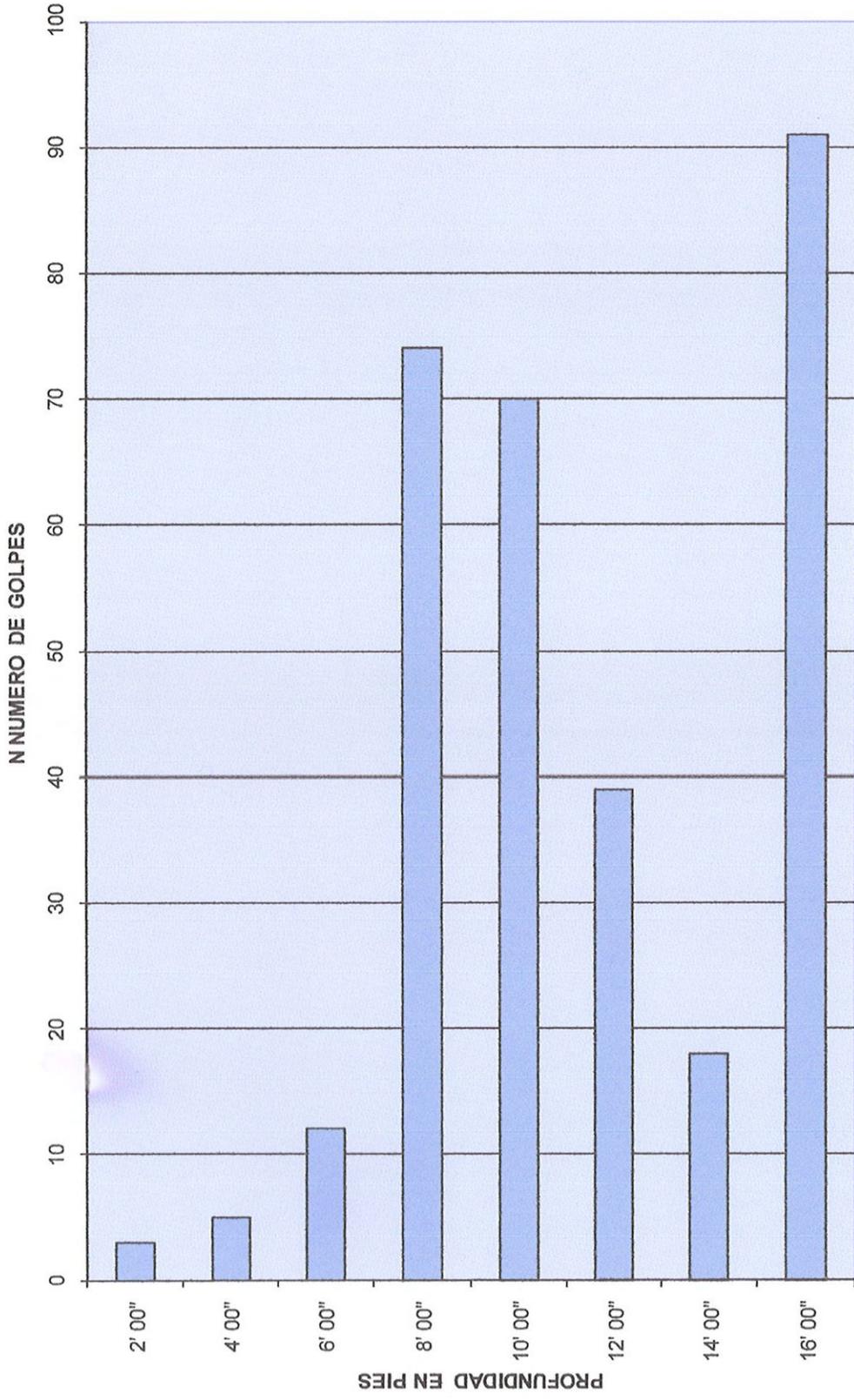
Tabla de perforaciones

TABLA DE PERFORACIONES
PIXABAJ SOLOLA

PROYECTO: MURO DE CONTENCIÓN PIXABA FECHA: 11/10/2010 PERFORACIÓN: S-1
 LUGAR: PIXABAJ SOLOLA PESO MARTILLO: 140 lb

ESTRATO	PROFUNDIDAD		GOLPES A CADA 6"					EXAMEN VISUAL	OBSERVACIONES
	INICIO	FINAL	1	2	3	4	N		
2' 00"	0' 00"	2' 00"	1	1	2	3	3	LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ	
2' 00"	2' 00"	4' 00"	2	3	2	3	5		
2' 00"	4' 00"	6' 00"	4	5	7	8	12		
2' 00"	6' 00"	8' 00"	24	46	28	37	74		
2' 00"	8' 00"	10' 00"	20	34	36	36	70		
2' 00"	10' 00"	12' 00"	21	20	19	16	39		
2' 00"	12' 00"	14' 00"	6	8	10	10	18		
2' 00"	14' 00"	16' 00"	19	31	60		91		RECHAZO

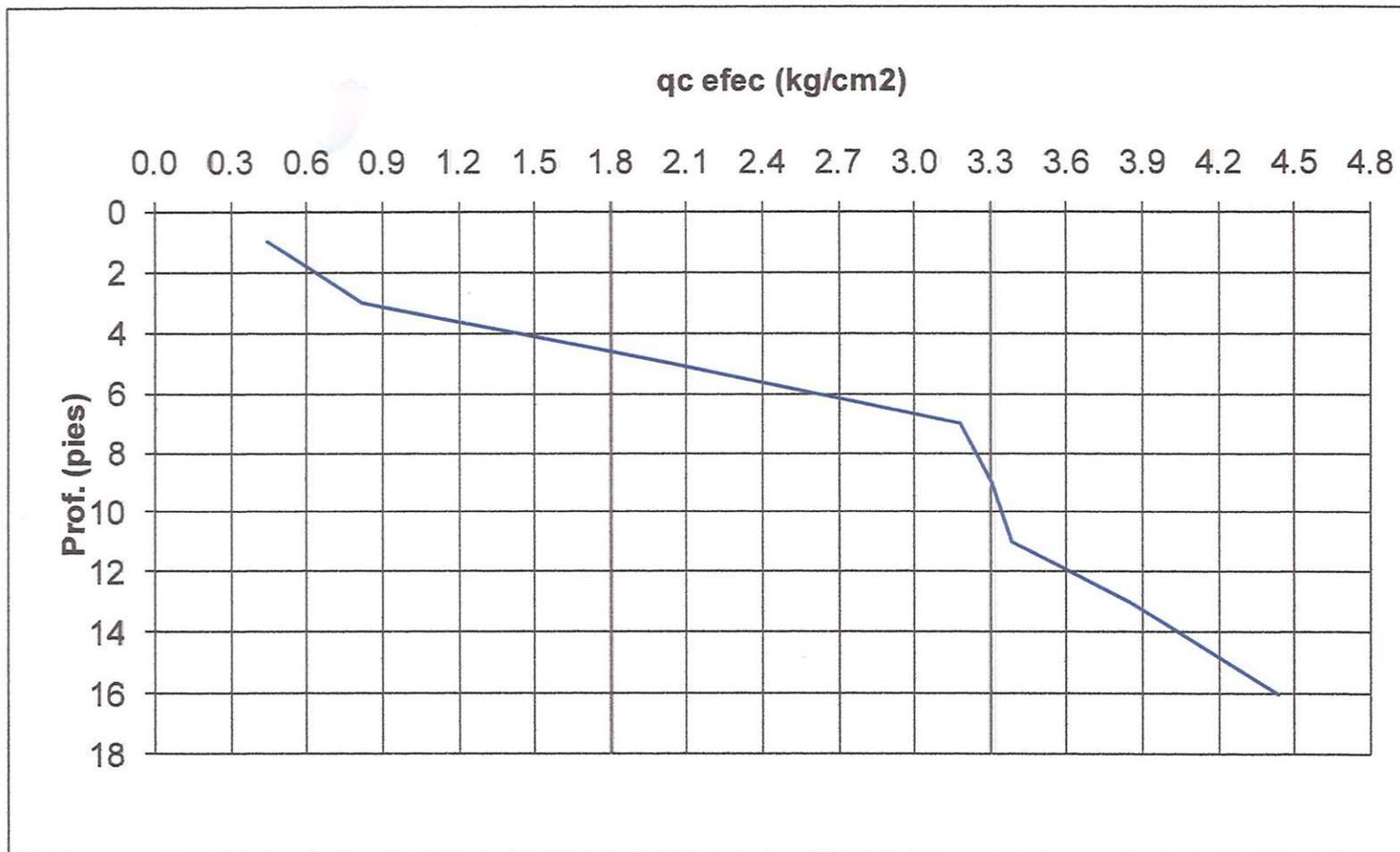
S-1



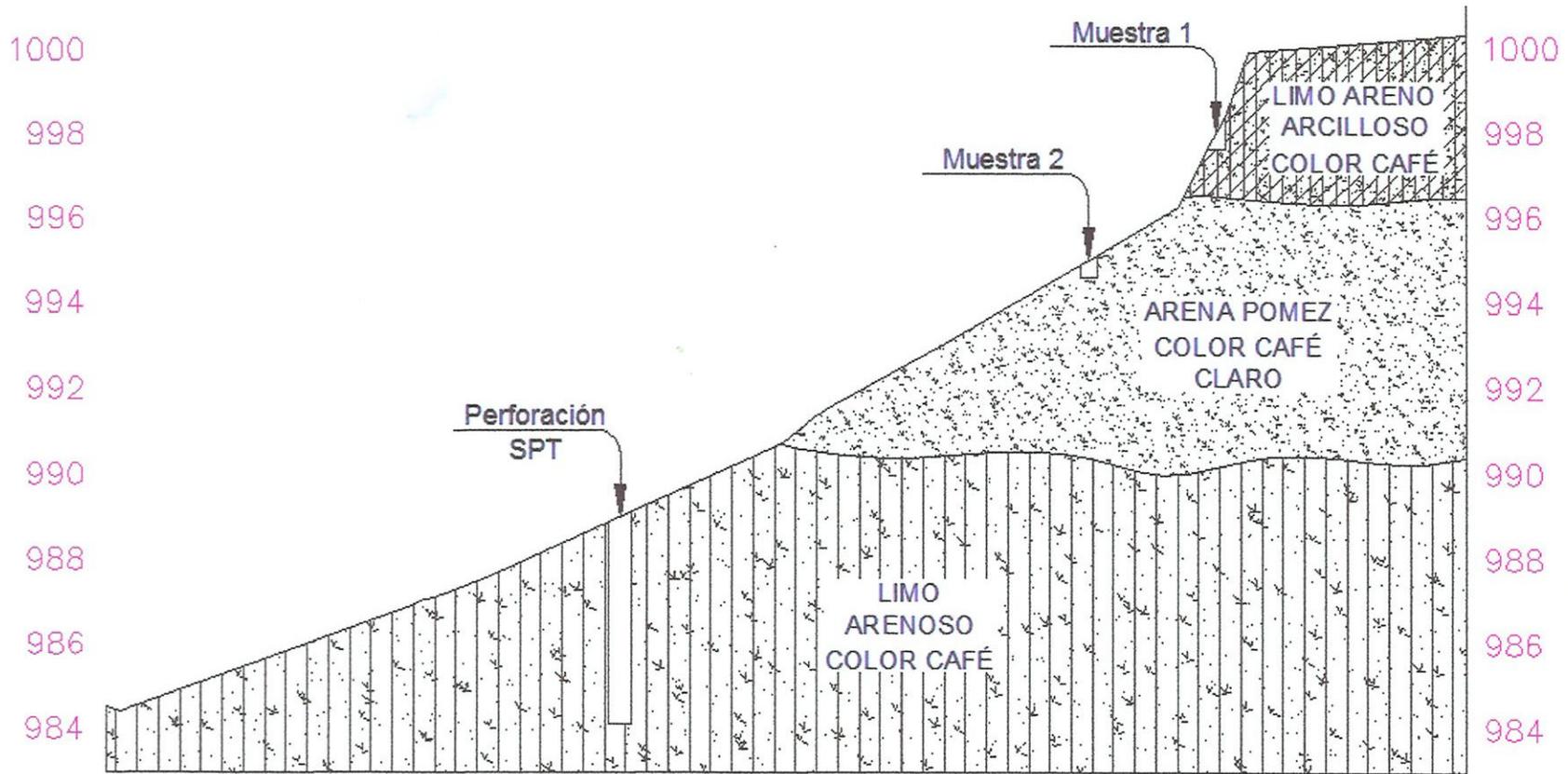
Resumen de laboratorio

PIXABAJ											
Muestra	Profundidad de muestra (pies)	Límites de Atterberg			% pasa T. 200	Clasificación	Humedad %	Gravedad Específica	Densidad seca g/cm ³	Índice de poros	Módulo de reacción kg/cm ³
		LL	LP	IP							
Estrato 1											
LIMO ARENOSO COLOR CAFÉ	8.00	36.04	26.84	9.20	55.24	ML	31.18	2.57	1.74	0.48	1.31

Presión admisible vrs profundidad

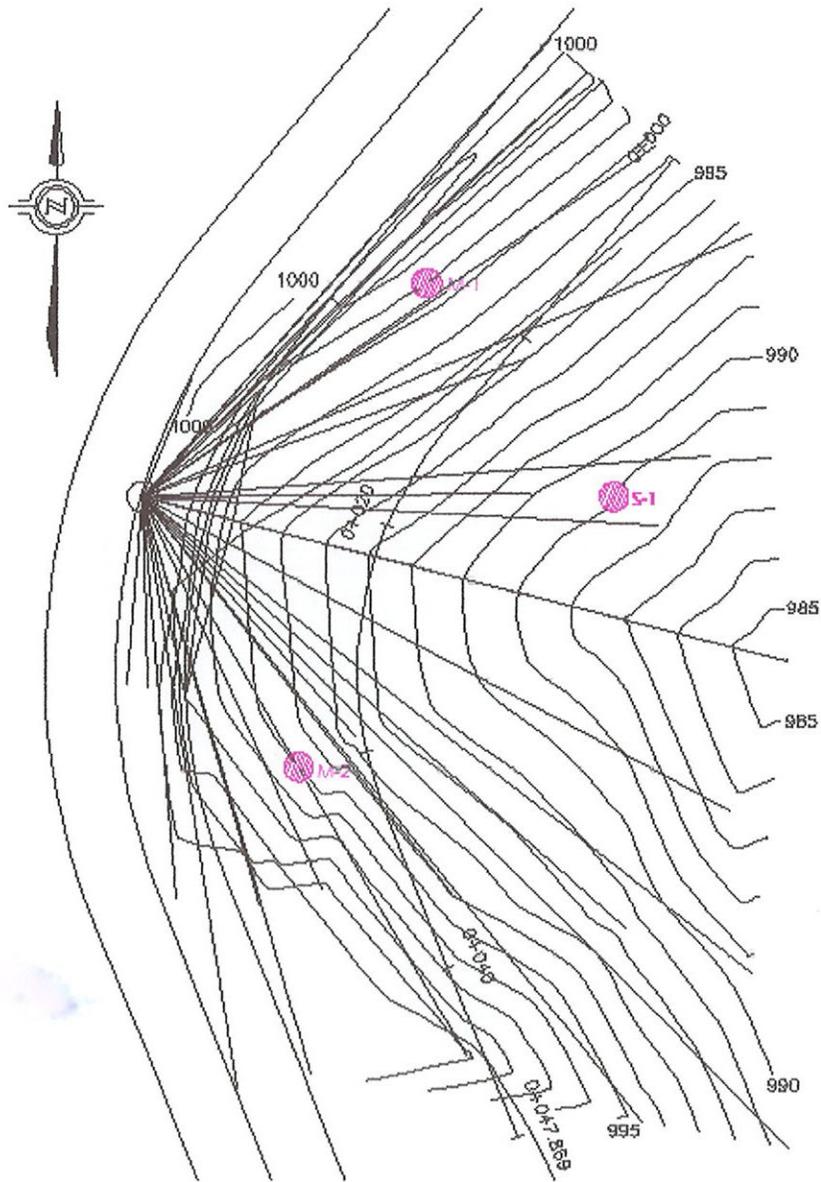


Perfil Estratigráfico



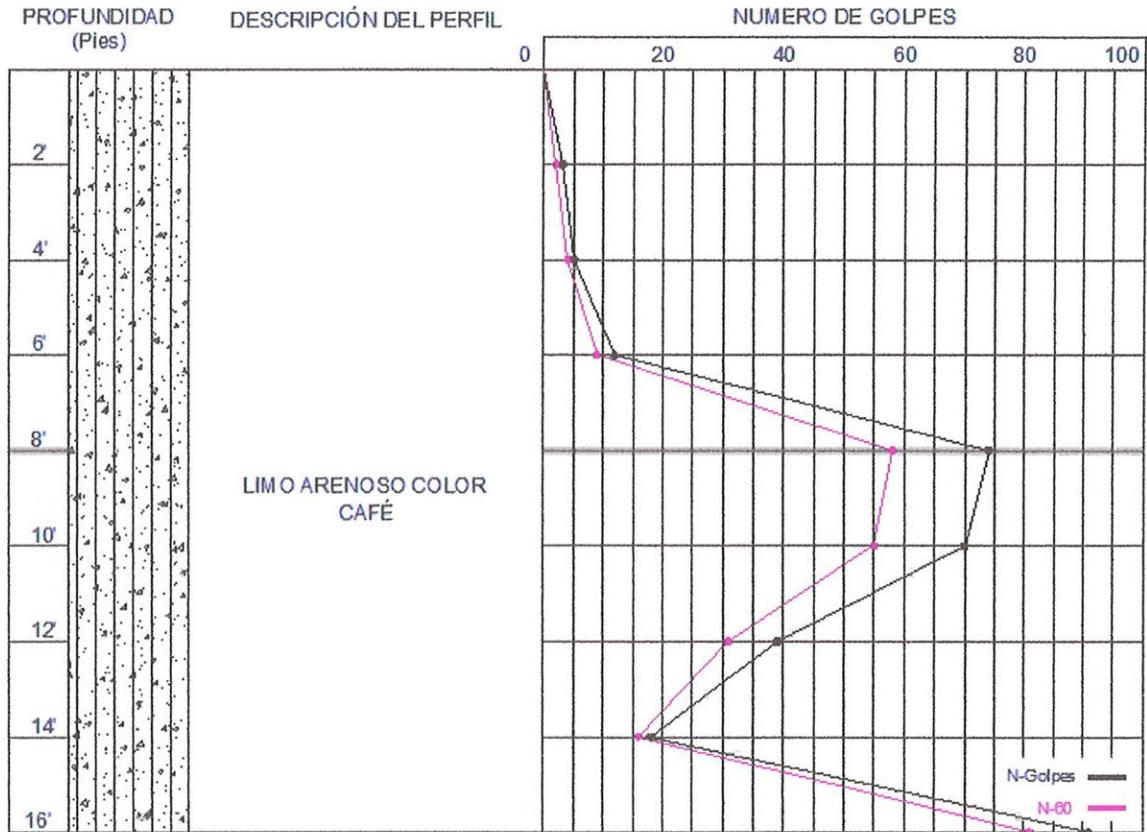
SECCIÓN A-A'

Plano de ubicación de los sondeos



Gráfica de Golpes

SONDEO DINÁMICO S-1
PIXABAJ SOLOLA

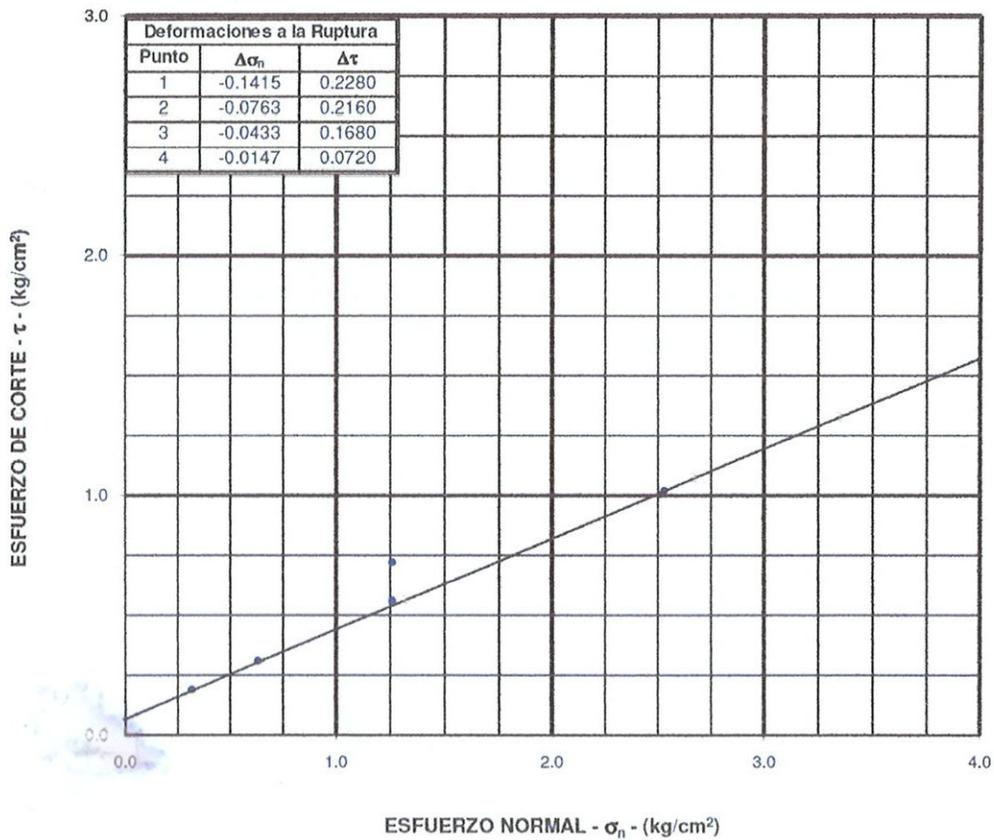


Prueba de corte directo no drenado y no consolidado M-1

No.	Fecha	Pozo No.	Muestra No.	Profundidad (en m)	Contenido de humedad (en %)	Densidad húmeda (lb/p ³)	Cohesión (T/p ²)	ϕ (en grados)
1	13/10/2010	Talud expuesto	M-1	1.20	66.3	74.7	0.09	24° 00'

Descripción de la muestra:

Limo con poca arcilla y poca arena fina a media, café, con trazas de piedra pómez pequeña a media y trazas de grava pequeña, blando, poco a medio plástico.

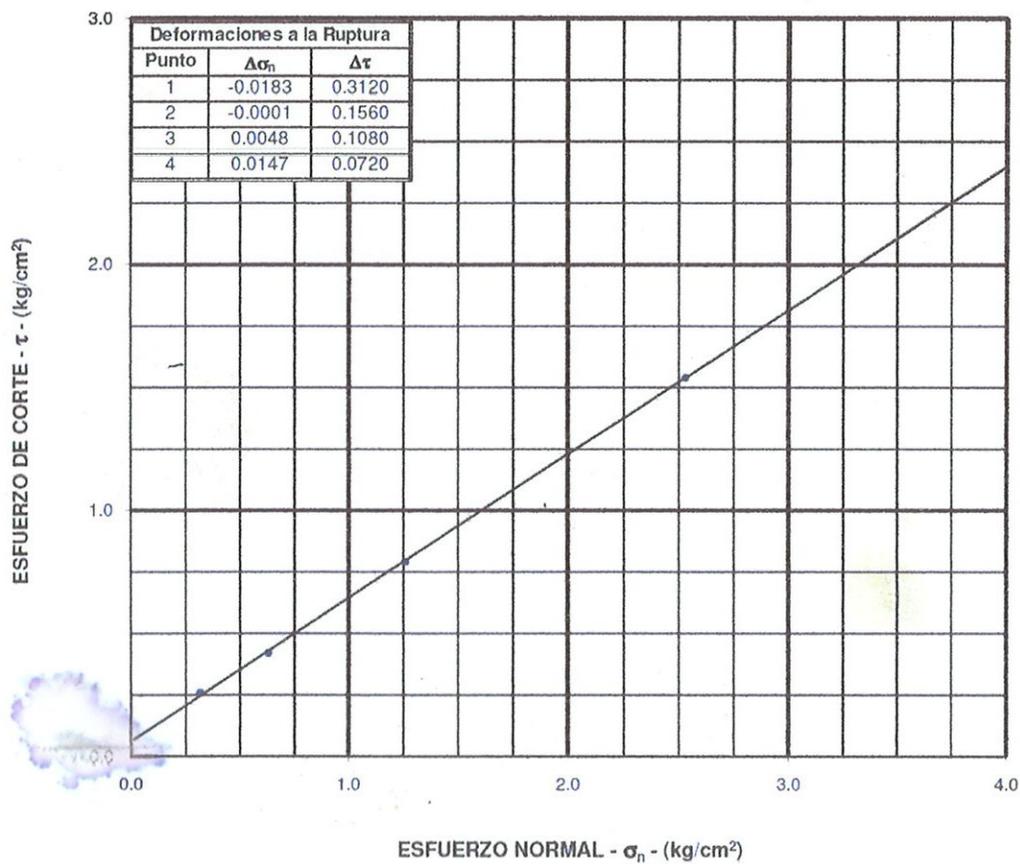


Prueba de corte directo no drenado y no consolidado M-2

No.	Fecha	Pozo No.	Muestra No.	Profundidad (en m)	Contenido de humedad (en %)	Densidad húmeda (lb/p ³)	Cohesión (T/p ²)	ϕ (en grados)
2	14/10/2010	Talud expuesto	M-2	7.50	19.0	93.7	0.07	34° 30'

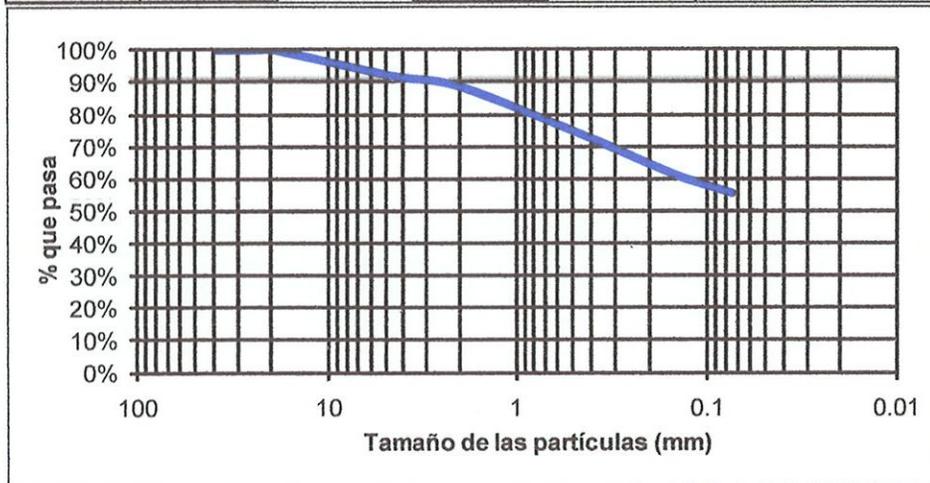
Descripción de la muestra:

Arena pómez media a fina, con limo, café claro, con trazas de piedra pómez
pequeña, medio compacto, no plástico.



Granulometría Estrato 1

PROYECTO: PIXABAJ							
Muestra	Estrato 1					Fecha:	15/10/2010
Tamiz	Tamiz en mm	peso bruto (g)	tara (g)	peso neto (g)	peso neto acumulado (g)	% Pasa	
1 1/2"	38.1					100.00	
1"	25.4					100.00	
3/4"	19					100.00	
No. 4	4.75	258.55	238.48	20.07	7.900	92.10	
No. 10	2	267.46	238.48	28.98	11.407	88.59	
No. 40	0.425	307.25	238.48	68.77	27.068	72.93	
No. 100	0.15	337.02	238.48	98.54	38.786	61.21	
No. 200	0.075	352.2	238.48	113.72	44.761	55.24	



Límites de Atterberg Estrato 1

PROYECTO: PIXABAJ			
Muestra	Estrato 1	Fecha: 15/10/2010	
ENSAYO	HUMEDAD NATURAL	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO
GOLPES		25	
TARRO	1.1	1.1	1.1
PBH gr.	36.49	43.82	25.47
PBS gr.	31.08	35.92	22.99
TARA gr.	13.73	14	13.75
DIF gr.	5.41	7.9	2.48
FNS gr.	17.35	21.92	9.24
HUMEDAD	31.18	36.04	26.84
		K= 1	
MUESTRA			
PROFUNDIDAD			
L.L.:	36.04		
LP.:	9.20		
W:	31.18		
CLASIFICACION	ML		

Fotos



Figura 1: Ensayo S.P.T. Sondeo 1



Figura 2: Muestras del Ensayo S.P.T. Sondeo1



Figura 3: Muestra inalterada M-1



Figura 4: Muestra inalterada M-2



Figura 5: Talud

