**UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA**

# ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA REGIÓN SUR ESTE DE LA RESERVA BIOLÓGICA MONTECILLOS A TRAVÉS DEL MÉTODO MORA VAHRSON

**POR:**

DARIANA ISAMEL ÁVILA VELÁSQUEZ

**TESIS**

**CATACAMAS** **OLANCHO**

**ABRIL 2018**

# ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN LA REGIÓN SUR ESTE DE LA RESERVA BIOLÓGICA MONTECILLOS A TRAVÉS DEL MÉTODO MORA VAHRSON


POR:

**DARIANA ISAMEL ÁVILA VELÁSQUEZ**

**RAMÓN LEÓN CANACA, M. Sc**

**Asesor principal**

**JOSÉ ANTONIO DE SAN ANTONIO ESCRIBANO M.Sc**

(Asesor adjunto)


TESIS PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE LICENCIADO EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

**CATACAMAS** **OLANCHO**

**ABRIL 2018**

## DEDICATORIA

A **DIOS** padre, hijo y espíritu santo, por haberme guiado; brindarme la sabiduría y fortaleza necesaria para poder seguir este camino.

A mis padres **LUDYS VELASQUEZ MEJIA** y **IVIS ANTONIO AVILA SUAZO**, gracias a su dedicación al trabajo, enormes sacrificios y esfuerzos sobre humano para poder vencer dificultades y apoyarme para culminar mis estudios y seguir cumpliendo mis sueños.

A mis hermanos Sigrid Yuzeth Ávila Velásquez y Harold Lorenzo Ávila Velásquez, por brindarme su apoyo y su ejemplo de superación en la vida.

A mis cuñados Diana Alejandra Mejía Lobo y Louis Fernando Yánez por estar pendiente de mi persona.

A mis sobrinas Alejandra Zoe Ávila Mejía y Iamdra Nareth Yánez Ávila por ser mi motivación y alegría

## AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** ya que si el nada hubiera logrado. Por la sabiduría y fortaleza para poder continuar esta carrera.

A mis padres Ludys Velásquez Mejía y Ivis Antonio Ávila Suazo por ser mis consejeros, por cuidarme en los momentos difíciles y por llevarme en sus oraciones.

A mis hermanos Sigrid Yuzeth Ávila Velásquez y Harold Lorenzo Ávila Velásquez mis cuñados Diana Alejandra Mejía Lobo y Fernando Yánez. A mis sobrina Alejandra Zoe Mejía Lobo y Iamdra Nareth Ávila Yánez, por ser mi alegría y dedicarme cada uno de sus dibujos que son muy especiales para mí.

A Adrián Pacheco, por ser como mi abuelo y brindarme sus consejos.

A Sergio Ernesto Aguilar Gutiérrez, por ser de gran ayuda en estos últimos meses.

A cada uno de mis catedráticos que compartieron sus conocimientos con migo y me ayudaron a formarme en especial al M. Sc Ramón Canaca, Ph. D Elio Duron quienes siempre confiaron en mí, y M. Sc Mireya Suazo por enseñarme lo importante de la ética profesional.

A mis amigas Leonela Nicole Gudiel y Cecilia Maria Guerra Rosa por brindarme sus consejos y hacer grata mi estancia en la UNA, a Riccy Mabel Aparicio, Ingris Banesa Cantarero, Odalma Johana Brizuela, Katherin Castillo, Iris Esmeralda Ortiz.

A mis asesores M. Sc Ramón Canaca, Ph. D Elio Duron y Ph. D Wilmer Reyes y en especial a mi asesor adjunto M. Sc. José Antonio de San Antonio por el apoyo constante en la realización de la tesis. A la ing. Alma Santos por mostrarme lo complejo del mundo laboral.

A ASIDE por brindar el apoyo necesario para que la investigación fuera realizada. A Norlan, Juan Castillo y Gerson por hacer divertidos los recorridos de campo.

**CONTENIDO**

**Pág.**

**DEDICATORIA** ..... ii

**AGRADECIMIENTOS** ..... iii

**CONTENIDO** ..... iv

**LISTA DE TABLAS** ..... vi

**LISTA DE FIGURAS** ..... vii

**LISTA DE ANEXOS** ..... viii

**GLOSARIO** ..... ix

**RESUMEN** ..... x

**I. INTRODUCCIÓN** ..... 1

**II. OBJETIVOS** ..... 2

2.1 General ..... 2

2.2 Específicos ..... 2

**III. REVISIÓN LITERARIA** ..... 3

3.1 Conceptos relevantes ..... 3

3.2 Vulnerabilidad en Honduras ..... 4

3.3 Fenómenos de remoción en masa ..... 5

3.4 Método Mora-Vahrson ..... 6

3.4.1 Factores intrínsecos (susceptibilidad) ..... 7

3.4.2 Factores externos (disparo) ..... 10

3.4.3 Nivel de Amenaza relativa ..... 13

**IV. MATERIALES Y MÉTODO** ..... 20

4.1 Descripción del área de estudio ..... 20

4.2 Materiales y equipo ..... 21

4.3 Método ..... 21

4.3.1. Fase I. Preparación preliminar ..... 22
4.3.2. Fase II. Diagnóstico situacional ..... 23
4.3.3. Fase III. Propuestas y recomendaciones ..... 28
**V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN** ..... 30
5. 1 Fase I. Preparación preliminar ..... 30
5.2 Fase II. Diagnóstico situacional ..... 33
5.2.2 Generación de la cartografía Mora Vahrson ..... 43
5.3 Fase III. Propuestas y recomendaciones ..... 57
**VI. CONCLUSIONES** ..... 65
**VII. RECOMENDACIONES** ..... 67
**VIII. BIBLIOGRAFÍA** ..... 69
**ANEXOS** ..... 75

## LISTA DE TABLAS

**Pág.**

Tabla 1. Diferentes clases de índice de influencia de pendiente (Rr). 7
Tabla 2. Clasificación de los promedios mensuales máximos (sobre todo el registro) de la precipitación 9
Tabla 3. Clasificación del factor humedad (HUM) 9
Tabla 4. Relación entre la Intensidad Modificada de Mercalli (IMM) y la aceleración pico del terreno (PGA), calificativo del factor sismicidad para Tr =475 años 11
Tabla 5. Valoración del factor intensidad de la precipitación Tp 13
Tabla 6. Clasificación de los grados de amenaza ante deslizamientos 15
Tabla 7. Simbología de columna estratigráfica 36
Tabla 8. Resultados de las cuatro muestras de suelo de la zona de estudio. 39
Tabla 9. Ponderación de pendiente en el área de estudio según Mora Vahrson 44
Tabla 10. Ponderación litológica de la zona de estudio según Mora Vahrson 45
Tabla 11. Valores de la clasificación de datos promedio mensuales máximos de precipitación de 1971 a 2012 47
Tabla 12. Ponderación humedad de la zona de estudio según Mora Vahrson 47
Tabla 13. Ponderación de Uso de suelo de la zona de estudio según Mora Vahrson 48
Tabla 14. Ponderación sismicidad de la zona de estudio según Mora Vahrson 50
Tabla 15. Ponderación precipitación de la zona de estudió según Mora Vahrson 51
Tabla 16. Generador de deslizamientos por sismos de la zona de estudió según Mora Vahrson 52
Tabla 17. Generador de deslizamientos por precipitación con Tr 100. 53
Tabla 18.Secuencia histórica y variables del método Mora Vahrson (Etapa 1 y 2). 58
Tabla 19. Matriz sobre el grado de percepción a deslizamientos (vulnerabilidad y potencialidad) en la reserva Biológica Montecillo (Etapa 3) 62

## LISTA DE FIGURAS

**Pág.**

Figura 1. Mapa de la Reserva Biológica Montecillo área de estudio. ..... 20
Figura 2. Caseríos de la zona sur este de la Reserva Biológica Montecillos y su zona de influencia ..... 30
Figura 3. Alcance de los movimientos en masa de la zona de estudio ..... 31
Figura 4. Movimientos en masa de la zona de estudio. ..... 32
Figura 5. Litología de la zona de estudio ..... 34
Figura 6. Columnas estratigráficas, litología de la zona de estudio ..... 35
Figura 7. Mapa de fallas geológicas de la zona de estudio ..... 42
Figura 8. Ponderación de la pendiente según valores Mora Vahrson ..... 45
Figura 9. Ponderación de la litología según valores Mora Vahrson ..... 46
Figura 10. Ponderación uso de suelo de la zona de estudió según Mora Vahrson ..... 49
Figura 11. Ponderación de generador de deslizamientos por sismos en la zona de estudio. 52
Figura 12. Ponderación Generador de deslizamientos por precipitación con Tr 100. ..... 54
Figura 13. Amenaza a deslizamientos en la zona de estudio ..... 55
Figura 14. Porcentaje de opinión sobre los factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos. ..... 63

## LISTA DE ANEXOS

**Pág.**

Anexo 1. Tipos de movimientos y mecanismos de deslizamientos ..... 76
Anexo 2. Partes de un deslizamiento ..... 76
Anexo 3. Clasificación de suelos USCS ..... 77
Anexo 4- . Formula de Gumbel para obtener la precipitación máxima con los periodos de retorno de 50, 75, 100, 250, 500 años ..... 78
Anexo 5. Metodología resumida como un sistema ..... 79
Anexo 6- Ficha de deslizamientos de COPECO PGIRD. ..... 80
Anexo 7. Inventario de deslizamientos en la zona sur oeste de la reserve biológica Montecillos y su zona de influencia ..... 80
Anexo 8. Inventario de los movimientos en masa y factores que lo conducen ..... 82
Anexo 9. Graficas de las muestras de suelo (Geotecnia) ..... 85
Anexo 10. Muestras de suelo de la zona sur de la Reserva Bilógica Montecillos ..... 86
Anexo 11. Caserío de la zona sur oeste de la Reserva Bilógica Montecillos y su zona de Influencia ..... 87
Anexo 12. Comparación de las muestras de suelo según el sistema USCS y clasificación AASHTO ..... 88
Anexo 13: Relación de los grupos litológicos de la zona de estudio con los valores en tabla de González *et al.* 2004 ..... 89
Anexo 14. Geomorfología de la zona de estudio ..... 90
Anexo 15. Formas y unidades estructurales y tectónicas ..... 90
Anexo 16: Percepción humana cartografía ..... 92
Anexo 17. Formación de suelo de Agua Fría, La Peña, Los Nichos, La Guadalupe y la zona sur de la Reserva Biológica Montecillos. ..... 93

# GLOSARIO

**Diaclasas:** grieta que se forma en una roca sin existir desplazamiento de los bloques situados a ambos lados de la misma.

**Dihedros:** porciones espaciales que se encuentran limitadas por un par de semiplanos originados en la misma recta.

**Discontinuidad:** cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso.

**Esquistosidad**: capacidad que poseen ciertas rocas (los esquistos y las pizarras), para laminarse y fracturarse a partir de planos preferenciales. Estos planos se producen por la reorientación de los minerales sometida a fuerzas diferenciales, generalmente asociadas a procesos de plegamiento.

**Estratificación:** es la disposición en estratos de los sedimentos, rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas. Se refiere tanto al aspecto geométrico (dispositivo en capas sucesivas) como al genético (intervalos sucesivos de sedimentación).

**Macizos rocosos:** el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso.

**Solifluxión**: proceso característico de zonas de clima peri-glaciar consistente en el desplazamiento masivo y lento de formaciones arcillosas u otros tipos de suelo a causa de la plasticidad adquirida por éstos cuando absorben gran cantidad de agua.

**Ávila Velásquez, DI**. 2018. Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos en la región sur este de la Reserva Biológica Montecillos a través del método Mora Vahrson. Tesis Lic. Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, HN. 104 p.

## RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en la región sur este de la Reserva Biológica Montecillos y zona de influencia. Consistió en la estimación de susceptibilidad a deslizamientos a través del método Mora- Vahrson que evalúa factores condicionantes (pendiente, litología, humedad y uso de suelo) y desencadenantes (precipitación y sismos). Se identificaron deslizamientos dentro del área. Se obtuvieron primeras bases geológicas y geotécnicas, para ellos se determinaron cuatro rutas de muestreo, la primera: en Agua Fría, Los Nichos y la Peña. Segunda: zona este entre Tepanguare y La Guadalupe. Tercera: Tepanguare. Cuarta: San Rafael, San José del Playón y San Antonio del Playón. En las muestras de suelo, se realizaron los análisis granulométricos, gravedad específica, humedad, densidad, límite de Atterberg. Al obtener información base se procedió a realizar ponderaciones en los SIG de factores condicionantes y desencadenantes. Se realizaron talleres para conocer la percepción humana y cartográfica. Se identificaron 25 movimientos en masa en fotografías aéreas y validadas en campo. En el estudio geotécnico la muestra 2 y 3 presentaron mayores rangos de humedad con una granulometría fina por lo cual son muy inestables. Se determinó que las causas más influyentes del método generan amenaza a deslizamientos "Mediana" de 49.15 % a "Alta" 39.10 %. Las personas consideran al factor condicionante al uso de suelo; y desencadénate las precipitaciones las mismas que considera el método. En general el estudio servirá como base para la gestión de riesgo y la población le permitirá tener mejor conocimiento y planificación de las mismas.

**Palabras claves:** factor condicionante, factor desencadénate, movimiento en masa, percepción humana, amenaza.

# I. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son movimientos en masa de terreno que se producen cuando la fuerza de la gravedad supera a las fuerzas que lo mantienen estable (Alvares 2006). Según Suarez y Sánchez (2012), tan sólo en América Latina, los deslizamientos han dejado cifras muy altas de víctimas y pérdidas materiales, ya que gran cantidad de asentamientos humanos se localizan al pie de montañas y laderas inestables. Según Mesa (2012) el año de 1998, en Honduras, ocurrieron unos 500,000 deslizamientos como consecuencia del huracán Mitch.

La FAO (2011) considera que más del 61 % del territorio hondureño es montañoso, lo que implica que existan altas pendientes, haciéndolo susceptible a deslizamientos, pudiendo afectar la población humana. Muchas de las áreas protegidas de Honduras se encuentran en zona montañosas, como es La Reserva Biológica Montecillos, por lo que es importante caracterizar los movimientos de ladera, con el fin de conocer el alcance e impacto que tienen en la reserva y zona de influencia.

Existen diversas metodologías para definir la susceptibilidad a deslizamientos. No obstante, dadas las condiciones en las que se encuentra el país al no existir disponibilidad de series de datos o no presentar los medios básicos como una cartografía adecuada, se ha optado por la metodología Mora-Vahrson, que se basa en las características del terreno en datos de precipitaciones y sismos.

De esta manera se estimó la susceptibilidad a deslizamientos en la zona sur este de la Reserva Biológica Montecillos y zona de influencia, siendo un primer trabajo de este tipo en el área, con el que se pretende tener una idea más cercana a la realidad sobre los deslizamientos existentes. A fin de tener conocimiento integral de la situación, se determinó las causas que influyen ya sean condicionantes o desencadenantes en la zona de estudio, sirviendo como base para futuras investigaciones especialmente en áreas protegidas..

# II. OBJETIVOS

## 2.1 General

Estimar la susceptibilidad a deslizamiento a través el método Mora Vahrson en la región sur este de la Reserva Biológica Montecillos, Honduras.

## 2.2 Específicos

- Identificar los deslizamientos en la región sur este de la Reserva Biológica Montecillos y su zona de influencia.

- Obtener las primeras bases de la caracterización geológica-geotécnica de la zona de estudio y relacionarla con la ocurrencia de deslizamientos.

- Generar cartografía sobre el grado de susceptibilidad a deslizamientos aplicando el método Mora Vahrson

- Realizar análisis comparativos desde la perspectiva cartográfica y la percepción humana en relación a la sostenibilidad y vulnerabilidad del área.

# III. REVISIÓN LITERARIA

## 3.1 Conceptos relevantes

**A. Amenaza** es un evento potencialmente dañino para el ser humano, sus medios de vida o un sistema entero, que ocurre en un lugar y momento específico. Este se expresa en magnitud o intensidad y en frecuencia o recurrencia. Según su origen las amenazas pueden ser: naturales, socio-naturales y antrópicas (Ramírez 2005).

**B. La susceptibilidad** está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste para que pueda ocurrir un evento y se obtiene de los resultados del análisis técnico e histórico (Ramírez 2005).

De acuerdo a Mesa (2012), se encuentran: naturales (topografía, hidrometeorológía, geológicos) y los antrópicos (relacionados con la actividad socioeconómica: generación de taludes en vías de comunicación o en excavaciones para edificación).

**C. La vulnerabilidad** es una condición interna de la población que no le permite resistir o recuperarse de una amenaza específica. Esta depende de equilibrios o desequilibrios sociales y económicos, que permiten que una comunidad tenga mayor o menor acceso al conocimiento del riesgo, recursos y estrategias (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales/ INETER 2005).

La vulnerabilidad se analiza desde los **elementos humanos y físicos expuestos**: conjunto de personas, infraestructuras públicas y redes de servicios que por su localización podrían resultar dañados o afectados por una amenaza determinada (INETER 2005).

La relación entre la amenaza y la vulnerabilidad resulta en el **Riesgo de Desastres** el cual se entiende como la probabilidad de ocurrencia de un desastre o conjunto de pérdidas humanas, ambientales, físicas y económicas que ocurren donde las amenazas se combinan con condiciones de la población y de elementos expuestos que no tienen la capacidad de resistir ante el impacto de un evento específico (inundaciones, sismos, deslizamientos, etc.). Los desastres son la materialización del riesgo, es decir, son riesgos mal gestionados o no manejados (Narváez *et al*. 2009).

### 3.2 Vulnerabilidad en Honduras

La vulnerabilidad histórica de Honduras a las amenazas ha experimentado un dramático incremento en las últimas tres décadas. En el año de 1998 el paso del huracán Mitch por el territorio hondureño, fue considerado como el peor desastre de los dos últimos siglos (FAO 2011).

Según Eckstein *et al.* (2017), el índice de riesgo climático global categoriza a Honduras como uno de los países más afectado por eventos climáticos extremos del periodo de 1997 a 2016. Y para el año 2016 las principales causas de daño fueron las tormentas como consecuencia movimientos en masa e inundaciones.

El foro económico global (2018), menciona que las precipitaciones extremas pueden ser particularmente perjudiciales: de los 10 desastres naturales que causaron más muertes durante el primer semestre del 2017, ocho fueron inundaciones o deslizamientos de tierra.

Según Comisión Permanente de Contingencias/COPECO (2013), en su proyecto Mitigar, identifico 20 municipios más vulnerables de Honduras, como ser Copan Ruinas, Ocotepeque, La Paz, Esquías, El Rosario, Bonito Oriental, Yoro, Olanchito, Eva de Yoro, Guaimaca, Trujillo, Juticalpa, Esquipulas del Norte, Trojes el Paraíso, Apacilagua, Namasigue, San Marcos de Colon, Alianza y San Lorenzo Valle, Esquipulas del norte Olancho. Ademas siendo estas las zonas más propensas a sismicidades.

### 3.3 Fenómenos de remoción en masa

Según Alvares (2006) los procesos geológicos y climáticos, que afectan a la superficie, van creando relieves definiendo la morfología, especialmente en las laderas. En este contexto, los fenómenos de remoción en masa pueden entenderse como reajustes del medio en búsqueda de un estado de equilibrio (Anexo 1).

- **Deslizamientos**

Los deslizamientos son movimientos de masas, de suelo o roca que deslizan, con respecto al sustrato, sobre una o más superficies de roturas al ser superada la resistencia de corte de estas superficies. Esta masa, generalmente, se desplaza en conjunto, comportándose como unidad en su recorrido. Producto de la pérdida de resistencia, del contenido de agua o de la pendiente existente, la masa puede continuar deslizándose más allá del pie de la ladera, dando lugar a un flujo (Alvares 2006) (Anexo 2).

- **Flujos (movimiento en masa)**

Sepúlveda (2011) menciona que los flujos son movimientos de masas de suelo, derrubios o bloques rocosos con abundante presencia de agua, siendo esta el principal agente desencadenante. Estos movimientos poco profundos pueden tener lugar en laderas de bajas pendientes (incluso menos de 17.63 %).

### 3.4 Método Mora-Vahrson

Este método fue desarrollado en Costa Rica, por Mora y Wilhelm-Guenther Vahrson, constituye una importante referencia para clasificar la amenaza por deslizamientos, o lo que se denomina "movimientos de remoción en masa", y ha sido ampliamente utilizado, principalmente en Centroamérica a excepción de Honduras (Moreno *et al*. 2016).

Se menciona que el resultado de la investigación debe ser utilizado como una herramienta para el diseño y ubicación de las diferentes obras de infraestructura. La metodología es simple, cada uno de sus factores es claro y la terminología utilizada es ampliamente aceptada.

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 como ser factores intrínsecos y factores externos. Pero depende de la formación y experiencia de quien realiza el trabajo (el peso de la valoración de los parámetros viene muy influenciado por ello).

Sin embargo, la metodología no es capaz de pronosticar el tipo de deslizamiento que podría presentarse (Mora *et al*. 1992).

El método se evalúa a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitiendo gestionar y analizar información espacial, además de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones (Chuvieco 1996).

Los SIG han sido usados de manera efectiva en el estudio de problemas relacionados a desastres, ayudando a comprender la complejidad de los peligros naturales en el contexto geo-espacial y temporal. Tiene además la habilidad de integrar los datos ambientales y socioeconómicos en el análisis de la vulnerabilidad (Álvarez 2001)

### 3.4.1 Factores intrínsecos (susceptibilidad)

Según Ayala (2002), son factores condicionantes que evolucionan lentamente. A los factores de susceptibilidad se realiza una ponderación y calificativo según Vahrson y Mora (1990).

### A. Relieve relativo (Sr)

Para estudios se trabaja con un modelo de elevación digital del cual se deriva la información topográfica, de esta forma para el método Mora-Vahrson se utiliza tanto la pendiente del terreno como el relieve relativo (Moreno *et al.* 2016).

- **Pendiente**

La pendiente identifica la máxima inclinación de una localización sobre una superficie. Sobre el modelo de elevación del terreno la pendiente se calcula como la máxima tasa de cambio de la elevación sobre cada celda. El índice del relieve relativo (Rr) se refiere a la traducción de la rugosidad natural del terreno

**Tabla 1.** Diferentes clases de índice de influencia de pendiente (Rr).

| **Pendiente** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Nº** | **Grados** | **%** | **Ponderación** | **Calificativo** |
| 1 | 0-8 | 0-15 | 0 | Muy Bajo |
| 2 | 8-16 | 15-30 | 1 | Baja |
| 3 | 16-25 | 30-50 | 2 | Media |
| 4 | 25-30 | 50-70 | 3 | Alta |
| 5 | >30 | >70 | 4 | Muy alta |

**B. Litología (Sl)**

La influencia litológica es una de las más importantes y a la vez la más complicada de evaluar (Vahrson y Mora, 1990). Debido a la ausencia de datos geotécnicos cuantitativos, los autores de la metodología recomiendan sustituirlos con calificativos subjetivos, basados en descripciones sumarias. Entre estos se mencionan los siguientes factores:

- Resistencia al corte del material (cohesión, fricción interna, grados de alteración meteórica e hidrotermal).
- Pesos volumétricos.
- Disposición espacial con respecto a las discontinuidades y su relación con la geometría y orientación de las laderas (diaclasas, equistocidad, estratificación, fallas, cuñas, dihedros), tipos de relleno en las discontinuidades (calcita, ceolita, arcilla, fisuras limpias).
- Capacidad de drenaje, disipación rápida o no de la presión de poros (positiva o negativa), posición del nivel freático y zonas de saturación total o parcial; flujos hidrodinámicos.
- Propiedades físicas del suelo: la GTZ (2007) menciona que los deslizamientos pueden ocurrir si se observan las siguientes características; abundancia de granos finos (barro o arcilla), redondez de los grano y humedad del suelo.
- Textura: Rucks *et al.* (2004) menciona que la textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; gravas, arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla.
- Por otra parte Núñez (2010) menciona que los suelos con altos contenidos de arena fina, media o gruesa pueden resistir el impacto de las gotas de lluvia. Pero si el suelo se satura con agua, las partículas son arrastradas con el agua de escorrentía, por saltación (Anexo 3).

**C. Humedad del suelo (Sh)**

Se requiere como base la precipitación promedio mensual, categorizándose los promedios mensuales (sobre todo el registro) según la clasificación de la Tabla 3.

**Tabla 2.** Clasificación de los promedios mensuales máximos (sobre todo el registro) de la precipitación

| **Precipitación Promedio (mm/mes)** | **Valor asignado** |
|---|---|
| < 125 | 0 |
| 125 – 250 | 1 |
| > 250 | 2 |

Se suman los doce valores asignados a cada mes en una estación y se llega a un valor acumulado entre 0 y 24, clasificándolo en cinco grupos.

**Tabla 3.** Clasificación del factor humedad (HUM)

| **Valor acumulado** | **Calificativo** | **Valor parámetro HUM** |
|---|---|---|
| 0 – 4 | Muy bajo | 1 |
| 5 – 9 | Bajo | 2 |
| 10 – 14 | Medio | 3 |
| 15 – 19 | Alto | 4 |
| 20 – 24 | Muy alto | 5 |

El valor límite de 125 mm en el paso uno corresponde con una tasa generalizada de la evapotranspiración potencial mensual en América Central. Además, se puede mostrar que la infiltración de agua comienza a partir de 40 mm decadales o sea a 125 mm mensuales de precipitación.

A la fórmula de los valores intrínsecos se agregara un valor extra que es el factor uso de suelo ya que brinda mayor robustez al análisis.

**D. Factor de uso de suelos (Su)**

El uso del suelo se refiere a la actividad económica que se destina, influyendo la misma en la mayor o menor protección del mismo, lo que hace que la susceptibilidad a su movimiento sea mayor o menor. El tipo y densidad de vegetación frecuentemente reflejarán las variaciones en las aguas subterráneas de un área determinada (COPECO- PGIRD 2016).

En las regiones montañosas los diferentes microclimas producen diversas condiciones hidrológicas que, a su vez, producen comunidades de plantas que varían de acuerdo con la cantidad de humedad disponible a la pendiente y su distribución durante el año.

### 3.4.2 Factores externos (disparo)

Entre los agentes desencadenantes más comunes de remociones en masa se cuentan principalmente las lluvias de gran intensidad y los sismos (Cuanalo y Oliva 2011).

**A. Actividad sísmica (Ts)**

Para estimar el factor sismicidad se siguen los criterios de Vahrson y Mora (1990) tomando en cuenta que la información más abundante y confiable es la de intensidades (MM), por lo que recomiendan utilizarla bajo la forma de mapas históricos, corregidos de la intensidad relativa.

Es importante recalcar que los autores del modelo consideran a la sismicidad como el elemento de disparo más importante, por lo tanto se le han asignado un valor máximo de 10 para su índice de influencia.

Con la siguiente fórmula se puede obtener la relación entre la Intensidad Modificada de Mercalli (IMM) y la aceleración pico del terreno (PGA).

**Dónde:**

$log$ PGA = -0.63 + 0.55 $I_{mm}$ – 0.018 $I_{mm}^2$ ……..ecuación (1)

- *Log* PGA: Logaritmo de la aceleración pico del terreno
- *Imm*: Intensidad de Mercalli Modificada

**Tabla 4.** Relación entre la Intensidad Modificada de Mercalli (IMM) y la aceleración pico del terreno (PGA), calificativo del factor sismicidad para Tr =475 años

| **IMM** | **PGA** | **log PGA** | **Clase** | **Factor Ds (Ponderación)** |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 7 | 0.858 | Marginal o nulo | 1 |
| 4 | 19 | 1.282 | Muy bajo | 2 |
| 5 | 47 | 1.67 | Bajo | 3 |
| 6 | 105 | 2.022 | Moderado | 4 |
| 7 | 218 | 2.338 | Mediano | 5 |
| 8 | 415 | 2.618 | Considerable | 6 |
| 9 | 728 | 2.862 | Importante | 7 |
| 10 | 1175 | 3.07 | Elevado | 8 |
| 11 | 1746 | 3.242 | Muy elevado | 9 |
| 12 | 2388 | 3.378 | Extremadamente elevado | 10 |

**Fuente**: (GSHAP 1999)

**B. Precipitación (Tp)**

Para estimar la influencia de las lluvias se siguen los siguientes pasos:

- Determinar para todas las estaciones, la serie de valores máximos diarios anuales.
- Analizar si existen valores fuera de la serie y si los hay eliminarlos.
- Para los registros menores a 10 años se calculara el promedio aritmético.

Pinzón y Suarez (2011) menciona que la distribución Gumbel es una de las distribuciones de valor extremo, es llamada también distribución Fisher-Tippet tipo I o distribución doble exponencial, esta ley es apta para ajustar los valores extremos de aquellas distribuciones iniciales caracterizadas por colas factibles de ser aproximadas. Para conocer los valores máximos de precipitación según los periodos de retorno, se emplea la siguiente fórmula (Anexo 4).

$$\boldsymbol{X = Xm + K(S_n - 1)} \text{.....ecuación (2)}$$

**Dónde:**

**Xm**: Valor máximo promedio de precipitación

**K:** se obtiene médiate la siguiente formula

$$\boldsymbol{K} = \frac{YT - Yn}{Sn}$$

**Yt:** Variable de Gumbel para el periodo de retorno Tr; se obtiene por la formula

$$\boldsymbol{Yt} = -InIn\left(\frac{T}{T-1}\right)$$

**Yn**: Valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante tablas.

**Sn**: Valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante tablas.

$(\boldsymbol{S_n - 1})$**:** Desviación estándar de los valores extremos

**Tabla 5.** Valoración del factor intensidad de la precipitación Tp

| **Lluvias máximas n > 10 años**<br>**Tr = 100 años**<br>**Mm** | **Lluvias máximas n < 10 años. Promedio en mm** | **Calificativo** | **Valor del parámetro (Ll)** |
|---|---|---|---|
| <100 | <50 | Muy bajo | 1 |
| 100 – 200 | 50 – 90 | Bajo | 2 |
| 201 – 300 | 91 – 130 | Medio | 3 |
| 301 – 400 | 131 – 175 | Alto | 4 |
| >400 | >175 | Muy alto | 5 |

**Fuente**: (Vahrson y Fallas 1988)

### 3.4.3 Nivel de Amenaza relativa

H = SUSC * DISP

H = (SL * SH * SR* SU) * (Ts + Tp) ……. ecuación (3)

Dónde:

H: Grado o nivel de amenaza

SUSC: Parámetro de susceptibilidad

DISP: Parámetro de disparo

Para cada uno de los valores paramétricos se define un peso relativo y específico propio, ponderando su grado de influencia. La combinación de los pesos relativos se realiza por medio de la siguiente ecuación:

**Ad = Amenaza de deslizamiento**

Ad = Susc × Disp ……. ecuación (4):

Susc = Parámetros de susceptibilidad: relieve, litología y humedad, uso de suelo.

Disp = Parámetros de disparo: intensidad sísmica y pluviométrica.

**Susc= Parámetros de susceptibilidad**

- Susc = Rr × L × H ×U……ecuación (5)
- Rr = Índice de influencia del relieve relativo.
- L = Índice de influencia de las condiciones litológicas.
- H = Índice de influencia de la humedad usual del suelo
- U= Índice de influencia del uso de suelo

**Disp= Parámetro de disparo**

Disp = Ts + Tp ……. ecuación (6)

Ts = Índice de influencia de la intensidad sísmica máxima.

Tp = Índice de influencia de la intensidad de las lluvias.

Según las particularidades tectónicas y climáticas de cada región se da prioridad a la consideración de cada factor de disparo.

La ecuación original (3) pueden segregarse en:

**PDL = Potencial de deslizamientos de la intensidad de lluvias**

PDL = (Rr × L × H ×U) × Tp…….. ……ecuación (7)

PDL = Potencial de deslizamientos de la intensidad de lluvias

**PDS = Potencial generador de deslizamientos de la intensidad sísmica**

PDS = (Rr × L × H ×U) × Ts …….ecuación (8)

PDS = Potencial generador de deslizamientos de la intensidad sísmica.

Utilizando los valores paramétricos antes descritos y aplicando la ecuación por medio de los elementos de influencia, se obtendrá una serie de rangos y clases que ilustran la amenaza de generación. La Tabla 6 muestra la clasificación de los grados de amenaza.

**Tabla 6.** Clasificación de los grados de amenaza ante deslizamientos

| Potencial | Clases | Grado de Amenaza |
|---|---|---|
| 0 – 6 | I | Muy Bajo |
| 6 – 32 | II | Bajo |
| 32 – 162 | III | Moderado |
| 162 – 512 | IV | Mediano |
| 512 – 1250 | V | Alto |
| > 1250 | VI | Muy alto |

**Fuente**: Vahrson y Mora, 1991

# IV. MATERIALES Y MÉTODO

## 4.1 Descripción del área de estudio

La reserva Biológica Montecillos fue creada como área protegida bajo la categoría de manejo de reserva biológica en julio de 1987 (ICF 2016).

El área de estudio se dividió en la zona sur este de la Reserva Biológica Montecillos (4732.20 ha) y su zona de influencia (5053.22 ha) para La Paz y Comayagua.

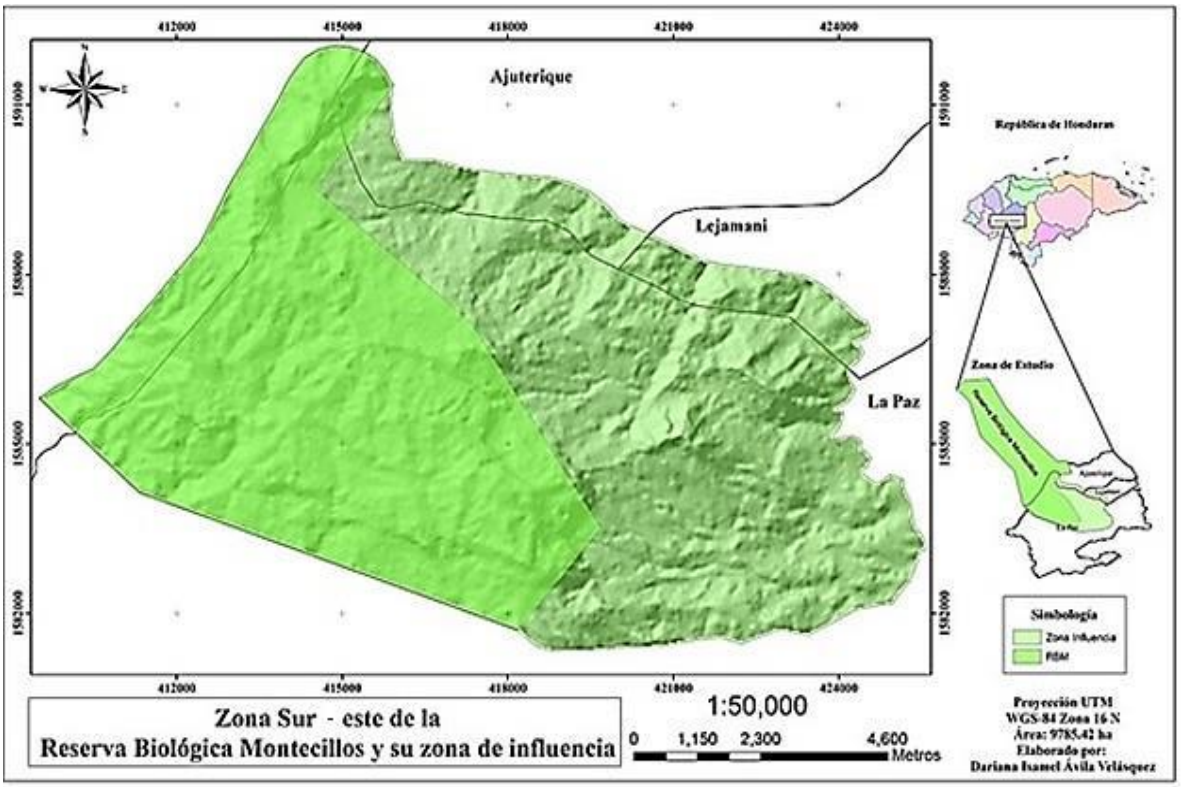



**Figura 1.** Mapa de la Reserva Biológica Montecillo área de estudio**.**

## 4.2 Materiales y equipo

Computadora, GPS Garmin (Baterías), hojas cartográficas, fotografías aérea, Plataforma SIG, programa de Office, Programa SedLog 3.1, impresora, cámara fotográfica, calculadora, lupas, Estereoscopio de espejo y de mano, cabuya, libreta, papelería (hojas tamaño carta y oficio, cartulina, papel arroz) cinta adhesiva, machete, bolsas plásticas

## 4.3 Método

La metodología que se utilizó para desarrollar la investigación se basó en una serie de fases secuenciales y en orden cronológico (Anexo 5). Para lograr los objetivos planteados y en búsqueda de las respuestas que puedan esclarecer las hipótesis.

**Fuente secundaria**: La información secundaria se obtuvo de fotografías aéreas (Instituto Geográfico Nacional) hojas cartográficas y COPECO. Es importante señalar que la mayoría de la información secundaria existente no estaba actualizada por lo cual se realizó el estudio para la generación de información primaria.

**Fuente primaria de información**: Se obtuvo mediante la visita a las comunidades y zonas afectadas de la Reserva (Figura 2), se realizaron talleres dirigidos a líderes comunitarios e instituciones que han trabajado en la zona (Anexo 16). Se levantó una ficha técnica proporcionada por COPECO para evaluar la situación del área (Anexo 6).

Además, incluye información generada mediante el uso de sistemas de información geográfica. Todas las variables utilizadas se codificaron y reclasificaron para su posterior tratamiento en la plataforma SIG en el cual se procesaron las variables del método Mora Vahrson.

El enfoque de la investigación fue mixta: metodología probabilística/ estadística (áreas específicas afectadas en la zona sur este de la Reserva Biológica Montecillos y su zona de influencia) y la metodología cualitativa, método heurístico (talleres de percepción humana).

### 4.3.1. Fase I. Preparación preliminar

En esta etapa se estudió, clasificó, y validó el uso eficaz de fotografías aéreas (del Proyecto Bolivianos de 1992 escala 1: 40,000), shape de las divisorias del territorio brindado por Catastro (municipalidad de La Paz), modelo digital de elevación (MDE), hojas cartográficas, análisis geomorfológico, geológico (se validó información del mapa geológico de 1970 por el Instituto Geográfico Nacional) y de uso de suelo de la zona bajo estudio.

A partir de este análisis se obtuvo una cartografía base, que consiste en mapas de los factores desencadenantes y condicionantes como ser geológicos (litológicos), geomorfológico, usos de suelo, todos ellos a nivel de Municipio.

**a). ¿Es probable que los deslizamientos afecten porciones grandes o significativas del área de estudio?**

Para dar respuesta a la pregunta, se realizó la identificación de deslizamientos y fallas en la zona, a través de las fotografías aéreas con ayuda del estereoscopio de espejos, de mano y las hojas cartográficas. Se utilizó Google Earth para una mejor interpretación y generación de cartografía (Figura 3).

Se adjuntó la información obtenida de los talleres realizados con las personas de las comunidades (Tabla 18 y 19); los que proporcionaron un inventario de eventos de laderas inestables, estos fenómenos se verificaron con el desarrollo de la siguiente fase.

La idea de realizar un inventario de deslizamiento, es para tener información homogénea para el análisis y para la representación gráfica espacio-temporal de los efectos de los mismos, esto porque Honduras a nivel local carece de información relativa al valor de las pérdidas que provocan los eventos naturales y antrópicos.

- **Trabajo de campo**

**b). ¿Qué tipos de deslizamientos existen?**

La etapa de campo se subdividió en las dos fases, la primera consistió en un reconocimiento a escala sub-regional (nivel de municipios) e inventario de fenómenos por inestabilidad de laderas con el objetivo de identificar las zonas con mayor susceptibilidad ante deslizamientos (Figura 4 y Anexo 7). Teniendo como actividad el contacto con los encargados del Comité de Emergencia Municipal (CODEM) del municipio de La Paz, Lejamani y Ajuterique, y las personas afectadas por los fenómenos y riesgos de cada sitio.

Con todos los datos obtenidos durante la etapa de campo, se realizó un inventario de sitios visitados. Se digitalizaron las fichas de campo, se procedió a la digitalización de la información en formato vector, por deslizamientos de los sitios visitados y digitalización de mapas temáticos.

### 4.3.2. Fase II. Diagnóstico situacional

- **Trabajo de campo**

Una vez obtenida la cartografía base y el análisis adecuado del producto de insumo mencionado en la fase uno, se planificaron las siguientes actividades:

Se trabajó con la segunda etapa de campo la cual consistió en observar la litología y estructuras geológicas que no se había identificado a nivel de municipio para lo cual se elaboró una columna estratigráfica de la zona de estudio (Figura 6).

Se determinaron las rutas de muestreo entre la zona de amortiguamiento de La Reserva Biológica Montecillos en La Paz, Ajuterique y su zona de influencia. La **Primera:** zona sur este de la RBCM en las comunidades de Agua Fría, Los Nichos y la Peña. **Segunda:** Zona Este entre Tepanguare y La Guadalupe. **Tercera**: Tepanguare. **Cuarta**: San Rafael, San José del Playón y San Antonio del Playón (Ajuterique)

Se obtuvieron los principales contactos litológicos y condiciones geotecnias, tomando muestras de suelo de cuatro puntos; una de ellas en la zona de influencia lado sur de la reserva Biológica (deslizamiento) y las otras tres en la zona este de la Reserva Biológica (Tepanguare, San Rafael y San José del Playón) sitios donde ocurrieron deslizamientos antiguos. Se realizaron tres muestras extras en Agua Fría y Tierra Colorada (Anexo 10).

En las muestras de suelo, se realizaron los análisis granulométrico (tamizado y sedimentación), gravedad específica, humedad, densidad, límite de Atterberg (Geotécnico). Estos se llevaron a cabo en el CEDA (Centro de entrenamiento de desarrollo agrícola), la porosidad se calculó indirectamente a través de las densidades aparentes y la real (Tabla 8).

La información geotécnica sirvió para dar los valores paramétricos de la litología (Condicionantes Tabla 10) dentro del método Mora Vahrson.

**a). ¿Podría el estudio de los factores de susceptibilidad y disparo ayudar a determinar un posible deslizamiento o reactivación del mismo?**

**Para responder esta pregunta se procedió a la: aplicación del método Mora- Vahrson**

- **Factores intrínsecos (susceptibilidad)**

Para trabajar en la plataforma SIG y realizar las clasificaciones sumarias se trabajó a una escala uniforme de 1:50 000 y resolución espacial de 5 m.

**Relieve relativo (Sr)**

Para el área de estudio se trabajó con un modelo de elevación digital de topografía de radar de la NASA (SRTM). Los datos obtenidos se procesaron en la plataforma SIG.

**Pendiente**

Se calculó la máxima tasa de cambio de la elevación sobre cada celda. Después de obtener el modelo de elevación se procedió a calcular la pendiente y se compararon los valores de pendiente en mapa y los observados en campo, realizando una reclasificación según la Tabla 2.

**Litología (Sl)**

Según los resultados litológicos obtenidos desde formación geológica hasta el tipo de material y la información geotécnica se procedió a actualizar la geología del sitio. Los datos obtenidos fueron procesados en la plataforma SIG y se agregaron en la tabla de atributos; realizando las reclasificación de los datos según la Tabla 10.

**Humedad del suelo (Sh)**

Se requirió como base la precipitación promedio mensual. Los datos fueron obtenidos por parte de COPECO en formato raster a nivel de país, trabajando los datos para el área de estudio. Se reclasificaron y sumaron los doce valores asignados a cada mes (tabla 11). Los datos de precipitación consideran cuatro estaciones meteorológicas, Las Flores, Playitas, El Coyolar (Comayagua) y Marcala (La Paz). Los datos de precipitaciones promedios mensuales comprenden desde el año 1970 al 2012.

**Uso de suelo (Su)**

Los datos de uso de suelo actualizados, fueron brindados por ICF y se verificaron en campo realizando la ponderación según la Tabla 13; se reclasificaron en la plataforma SIG. Según COPECO- PGIRD (2016), la categorización de los usos de suelos esta dado, asumiendo que los suelos con mayor cobertura vegetal serán menos propensos a deslizamientos, los suelos con cobertura de cultivos en pendientes fuertes (maíz y frijol) son igualmente susceptibles que suelos sin cobertura vegetal

- **Factores externos (Disparo)**

**Actividad sísmica (Ts)**

Los datos de sismicidad fueron proporcionados por COPECO del GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program) de 1992-1999. El 10 % probabilidad de ocurrencia dentro de 10 años (equivale a un periodo de retorno 475 años) considerando que es el único dato sísmico que se posee, hasta la fecha. Se realizaron las reclasificaciones y se contó con un único valor.

**Precipitación (Tp)**

Para estimar la influencia de las lluvias se siguieron los siguientes pasos:

- Se contó con datos de ocho estaciones a nivel nacional, para determinar la estación de estudio, se realizaron los polígonos de Thiessen en la plataforma SIG, siendo la estación de Vallecito ( X: 456902.2787; Y: 1605274.68), que tenía influencia sobre el área de estudio.
- Se determinó para la estación de Vallecito, la serie de valores máximos diarios anuales desde el año 1971-2004, siendo una serie de 34 valores. Para determinar la precipitación máxima diaria anual, se trabajó con el método de Gumbel (Anexo 4), para los periodos de retorno de 50, 75, 100, 250 y 500 años. Luego se pasaron los datos a la plataforma SIG en formato raster, trabajando con el periodo de retorno de 100 años.
- Se utilizaron distintas series de datos en precipitación y humedad ya que los datos de precipitación diaria solo están disponibles para ocho estaciones meteorológicas y los datos de precipitación promedio mensual están disponibles para 162 estaciones meteorológicas. Siendo los datos de precipitación diaria los más complejos de obtener.

**b). Teniendo los datos anteriores se calculó el nivel de amenaza relativa**

Para cada uno de los valores paramétricos se definió un peso relativo y específico propio, ponderando su grado de influencia. La combinación de los pesos relativos se realizó con las ecuaciones: (5), (6).

Utilizando los valores paramétricos antes descritos y aplicando la ecuación por medio de los elementos de influencia, se obtuvieron rangos y clases que ilustran la amenaza de generación de deslizamientos en el lado sur-este de la Reserva Biológica Montecillos y área de influencia.

Estas se realizaron en la plataforma SIG en un algebra de mapa ya habiendo realizado la reclasificación formato raster de los factores de susceptibilidad y de disparo. Se realizó la ecuación 5 (Parámetro de susceptibilidad), mostrando sus diferentes índices de susceptibilidad. Estos fueron multiplicados según la ecuación (8) donde resulto el potencial generador de deslizamientos de la intensidad sísmica, de la misma forma se obtuvo el potencial de deslizamientos de la intensidad de lluvias con la ecuación (7).

Luego se realizó el Parámetro de Disparo, multiplicándola con el Parámetro de susceptibilidad, dando como resultado la Amenaza a deslizamientos.

Teniendo la amenaza de deslizamientos, se utilizaron los valores paramétricos donde se obtuvieron una serie de rangos y clases que se reclasificaron según el grado de amenaza ante deslizamientos (Tabla 6).

### 4.3.3. Fase III. Propuestas y recomendaciones

Para realizar esta fase se basó en lo que menciona Lozano (2008) es una metodología fácil de implementar, con cuadros y matrices que combinan lo cuantitativo con lo cualitativo, donde lo fundamental es la asignación de las ponderaciones y valores a las variables e indicadores y los criterios técnicos, la utilización del sistema de información geográfica (SIG o GIS), para el procesamiento.

Se realizaron dos talleres para conocer la percepción humana sobre los deslizamientos de la siguiente manera: uno en la zona de La Paz con las comunidades de La Peña, La Guadalupe, Tepanguare, Piedras de Moler, San Rafael, San José del Playón, y el segundo en Ajuterique comunidad de San Antonio del Playón. Se trabajó con las juntas de agua, patronatos, voluntarios de salud, auxiliares, representantes del CODEL, personas conocedoras de la zona (fuentes históricas) y personal de la Biblioteca.

Se realizaron con la metodología participativa de Ardon *et al* (2014), se dividió en cuatro etapas: secuencia histórica, grafico de variables Mora Vahrson, matrices y mapas cartografía humana (Anexo 16). Cada una de las etapas fue desplegada en base a dos preguntas las cuales se encuentran en el siguiente inciso.

**a). ¿Tiene el área de estudio una historia a desastres causados por deslizamientos?**

La etapa de secuencia histórica consistió en el relato histórico de la zona, relacionada con los fenómenos naturales incluyendo los deslizamientos (Tabla 18). Para validar esta información se consultó la página DesInventar Honduras (2015), donde cuenta con una base de datos, presentando solo un dato de deslizamiento para La Paz en la zona de San Rafael desde 1915 a 2015 siendo un valor de la perdida de $ 80,000; por lo que se procedió a actualizar la información.

**b). ¿Cuál es el grado de percepción local que tienen las comunidades acerca del riesgo a deslizamientos?**

Para obtener el grado de percepción local se basó en lo que menciona Agnes *et al*. (2011) donde teniendo el enfoque del cartógrafo y del usuario se conoce la realidad total. Por medio de la matriz se conoció las ventajas, dificultades (de la actualidad al pasado) y las potencialidades, obstáculos (de la actualidad al futuro), que ocurren o podrían suceder en la Reserva Biológica (Tabla 19).

A través de la cartografía elaborada por las personas se logró observar cual era la percepción ante los deslizamientos.

# V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 5. 1 Fase I. Preparación preliminar

El área de estudio es 51.6 % de la zona de influencia y 48.4 % de la zona de Reserva Biológica Montecillos (RBM).

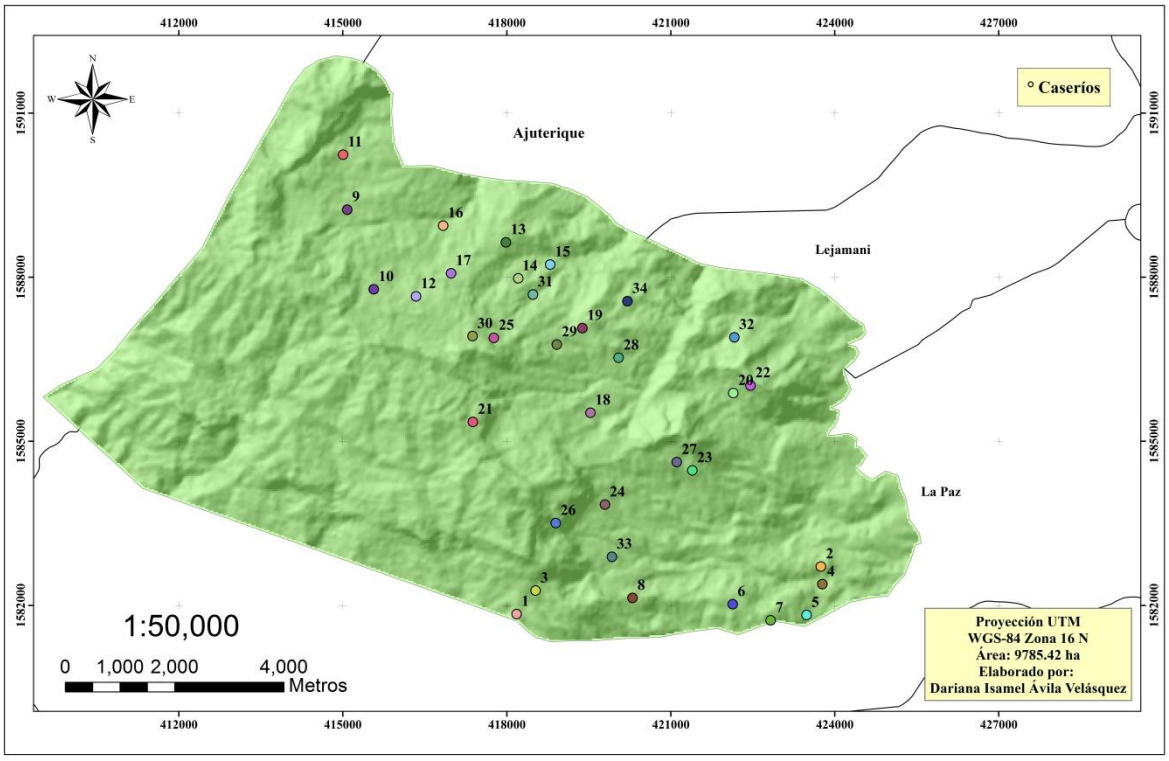



**Figura 2.** Caseríos de la zona sur este de la Reserva Biológica Montecillos y su zona de influencia

Se geo-referenciaron los caseríos siendo un total de 34, de los cuales 8 se localizan en la zona sur este de amortiguamiento de la Reserva Biológica Montecillos; y donde alrededor de 36 familias cuentan con terrenos dentro de la zona sur este de la Reserva Bilógica Montecillos (Anexo 11).

Según el censo del INE (2013), en el departamento de La Paz, del año 2001/1988 ha tenido un aumento de población de 54,733 personas y del año 2013/2001 de 42, 366 personas; observase una disminución de población del 1988- 2013, pero teniendo un impacto hacia la zona de reserva. Además la FAO (2011) el 30 % de las personas que vivía en zona de riesgo para el huracán Mitch, han retornado a estas mismas, viéndose vulnerable a cualquier amenaza.

**a). ¿Es probable que los deslizamientos afecten porciones grandes o significativas del área de estudio?**

En este caso se estimó el alcance que tendrían los movimientos en masa en la zona de estudio

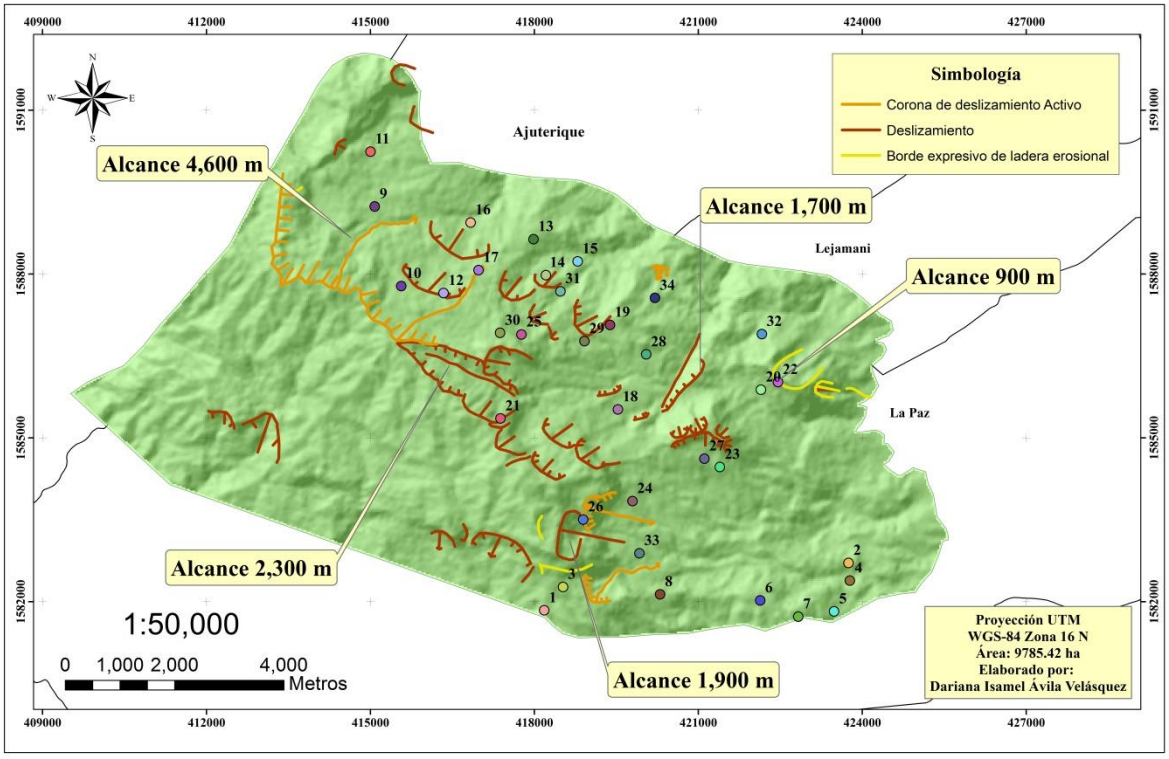



**Figura 3.** Alcance de los movimientos en masa de la zona de estudio y su impacto a los caseríos.

Se identificaron un total de 25 movimientos en masa a nivel de fotografías aéreas, ajustadas según la percepción humana y validada en campo, siendo 17 dentro del área protegida y 8

en la zona de influencia los cuales son de gran magnitud. Junto a lo anterior tres escarpes entre rio y falla geológica, una cuesta formada por la tectónica y bordes expresivos de ladera erosional.

En el área de estudio que representa un 23 % de toda la reserva, se encontraron deslizamientos rotacionales, translacionales y tipos de vuelcos de roca en la zona sur de la RBM; estos tienen una corona de gran extensión. La zona de influencia comprende el flanco y pie de los deslizamientos, algunos ya fosilizados y otros activos, considerando esto como un riesgo para la zona, lo que representa el área de afectación de los deslizamientos.

**b). ¿Qué tipos de deslizamientos existen?**

Estos se categorizaron según el movimiento y forma de los mismos como se muestra en los Anexo 7 y 8

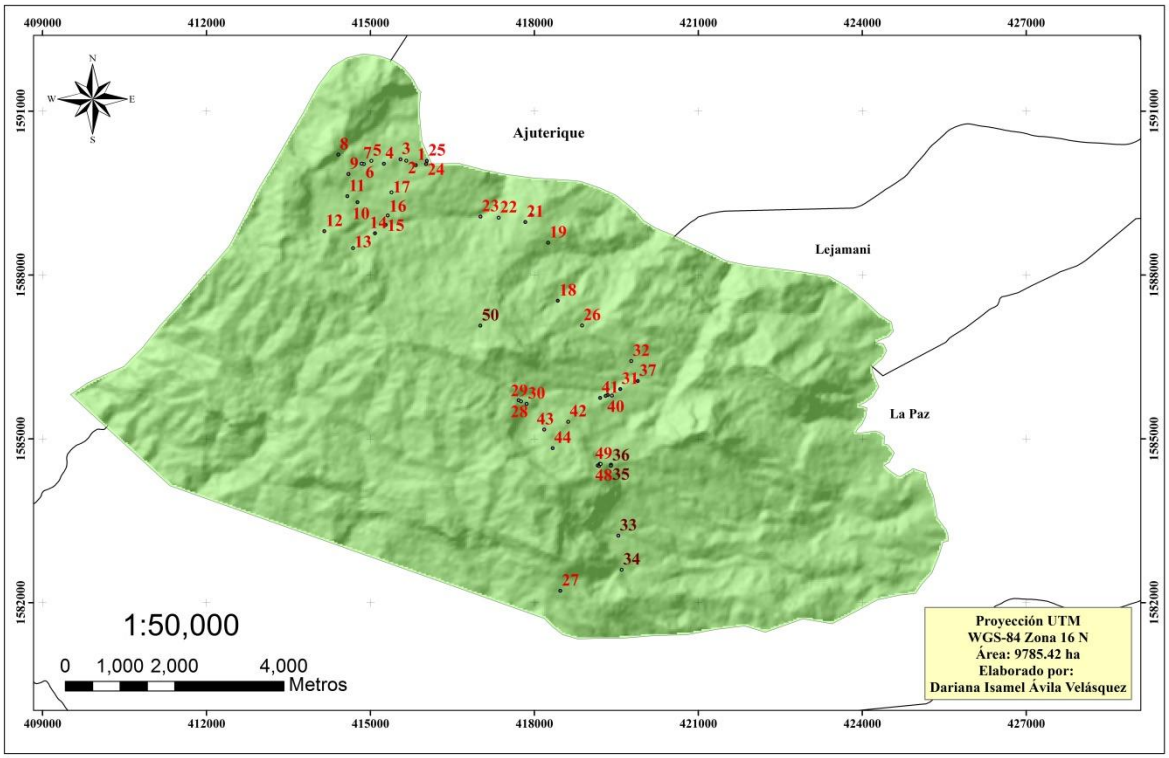



**Figura 4.** Movimientos en masa identificados en campo

Los terrenos inestables fueron identificados en campo partiendo de observaciones e interpretaciones generales de las micro-cuencas, taludes, afloramientos, tanto de sus características geomorfológicas, entre las que se destacan la presencia de un escarpe (tipo de salto que interrumpe la continuidad del suelo o roca), topografía ondulada etc. Se identificaron en campo 50 deslizamientos en total y de gran magnitud. De los cuales el 34 se presentó en la última semana de octubre de 2017.

Los deslizamientos de mayor alcance son el 34 con 250 m, el 50 con 190 m el 49-33 con 142 m y el 41 con 76 m, el resto de los deslizamientos tienen un alcance menor de 50 m y son de menor altura.

En el levantamiento de campo se corroboró cada uno de los puntos marcados por la población en aquellos sitios identificados como laderas inestables, obteniendo el resultado de la cualificación de cada uno de estos eventos (Anexo 16). Se comprobó que los movimientos en masa identificados en las fotografías aéreas eran evidentes en campo; observando la gran cantidad de material desplazado y los contenidos de humedad dentro de la zona de estudio y la variación de vegetación.

## 5.2 Fase II. Diagnóstico situacional

### 5.2.1 Factores desencadenantes

La identificación geológica (litología) ayudo a entender como es el relieve y la naturaleza de las rocas y el comportamiento de manera concreta ante los agentes de erosión de la zona de estudio. En una investigación desarrollada por el Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra/ IHCIT (2012), menciona que la identificación de factores como la geología hace posible considerar esos mismos factores para estimar movimientos futuros no precisamente su ocurrencia sino la propensión del terreno a dichos procesos.

## A. Geología

La formación geológica de la zona de estudio comprende del mesozoico (jurásico) al cenozoico (cuaternario) (Instituto Geográfico Nacional/IGN 1970).

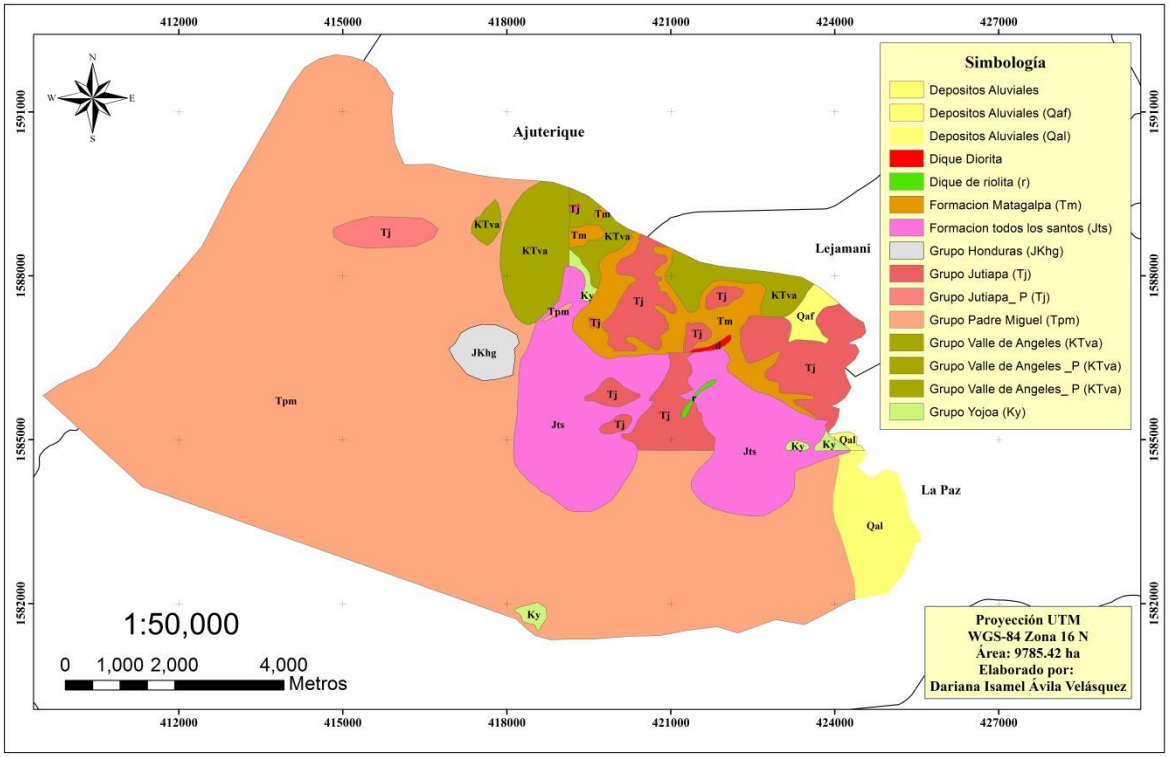



**Figura 5.** Litología de la zona de estudio

En esta zona de estudio encontramos proceso hidrotermales que según Suarez (2002), estos aceleran el proceso de meteorización, influyendo en la pérdida de resistencia del suelo y facilidad de incorporar agua y expandirse lo que se considera como un material muy inestable.

Columna estratigráfica de la zona de estudio, donde representa la formación, era, litología y estructuras fósiles.

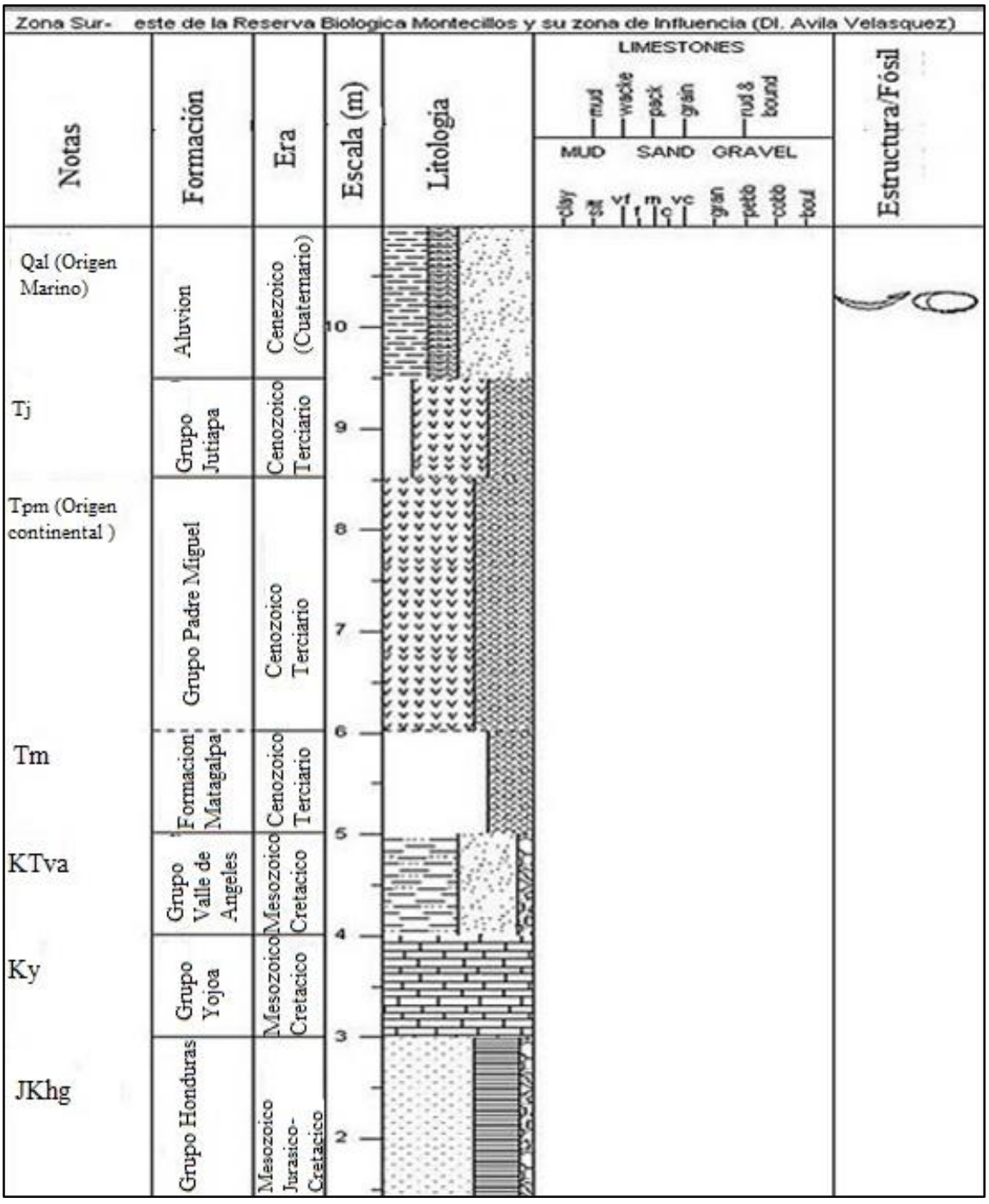
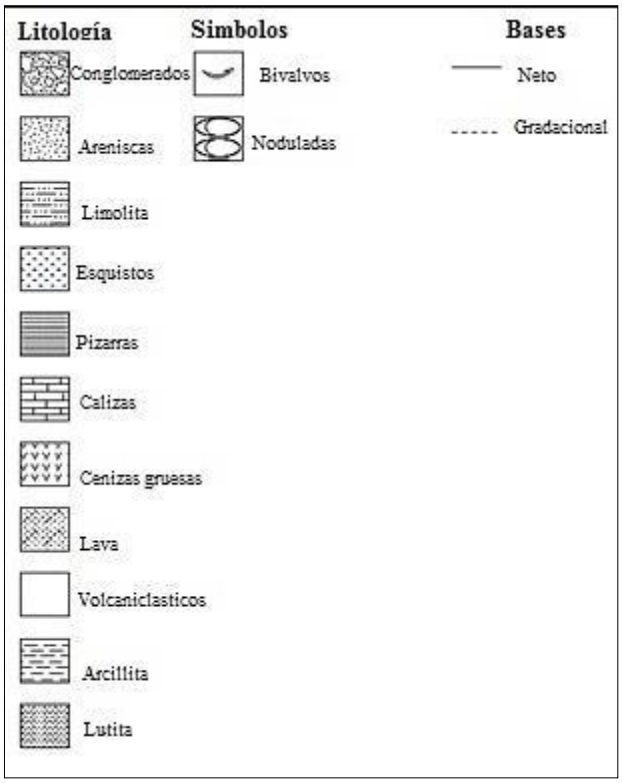



**Figura 6.** Columnas estratigráficas, litología de la zona de estudio

**Tabla 7.** Simbología de columna estratigráfica




**Descripción[1]:**

**Qal (Aluvión):** Formado por materiales de tamaño de grano arcilla hasta grava. En los tamaños más gruesos se han podido identificar fragmentos de calizas con fósiles y proceso hidrotermal (rocas noduladas) a 1240 msnm, parte baja del Ocotal.

**Tj (grupo Jutiapa):**

Formada por materiales ignimbríticos y coladas de lava. Son de naturaleza basáltico-andesítica, y riolítica (Suarez 2002). En la zona de La Guadalupe y Tepanguare, por donde pasa una vertiente de falla geológica. Se han identificado algunas rocas sedimentarias en la zona de San Antonio del Playón, Pacheco y el Cerro Másica.

Identificacion realizada con geólogo(2017)1

**Tpm (grupo Padre Miguel):**

En la zona de estudio está formado por ignimbritas, tobas riolíticas, y tobas andesíticas.. Son materiales vulcanoclasticos en los que se pueden observar fragmentos de lava, cuarzo y obsidiana. Es la que comprende la mayor área del estudio.

**Tm (formación Matagalpa):**

En la zona Tepanguare, Piedras de Moler, La Mina y La Cayota contiene cantidades considerables de andesitas y tobas. Según Suarez (2002), son una unidad volcánica pre-ignimbrítica de composición mayoritariamente básica, con predominio de coladas de andesitas, basaltos y sedimentos piroclásticos, sobre las rocas cretácicas. En la zona de El Astilllero y Durazno se encuentra gran cantidad de obsidiana y pedernal.

**KTva (grupo Valle de Ángeles):**

Los materiales que encontramos en la zona de influencia de la Reserva Biológica están compuesto por conglomerados, cenizas, margas y calizas. Está dividido en capas rojas superiores y capas rojas inferiores, separadas por formaciones de calizas (Jaitique, Esquías, etc.). Burkart y Self (1985), mencionan que es aquí donde se produce la fase tectónica, plegamiento intrusivo. Hay sedimentos detríticos en el contexto continental.

**Ky (grupo Yojoa):**

Constituido por calizas de estratificación gruesa en la formacion de Atima (Ka), y localmente presenta calizas de estratificación delgada de la formación cantarranas (Kc). Corresponden a calizas arrecifales de aguas poco profundas observándose en la parte baja del Ocotal. En la zona de El Astillero y El Ingenio también se pude identificar.

**JKhg (grupo Honduras):**

Hay gran cantidad de esquistos, y rocas sedimentarias (conglomerados, lutitas areniscas, carbones), observándose desde la zona baja del Gavilán hasta Tepanguare. Se han observado estructuras de corriente como laminación en Tepanguare.

**Jts (formación todos los santos):**

Conformado por capas rojas, conglomerados, areniscas, limolitas. Es la formación más antigua del área de estudio. Se encuentra separada en dos zonas por un dique de diorita (roca intrusiva). Está en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Montecillos (La Guadalupe) y su zona de Influencia (La Guadalupe, Pacheco y la Cayota).

**B. Geotecnia**

Los datos geotécnicos ayudaron a conocer las condiciones de ciertas áreas del terreno y las causas que podrían dañar.

González *et al.* (2004) menciona que cuando un talud está formado por diferentes tipos de roca, el comportamiento geotécnico es diferente a cada materia por separado. Por lo que se estudió cada material por separado. Encontrando esa variación de los materiales como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Resultados de las cuatro muestras de suelo de la zona de estudio.

| | **M 1** | | **M 2** | **M 3** | **M 4** | **Simbología** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Humedad de campo | 37.02 | | 89.49 | 92.37 | 19.76 | % |
| Densidad seco | 1.09 | | 0.62 | 0.57 | 1.58 | gr/ $cm^3$ |
| Densidad aparente | 1.48 | | 1.25 | 1.12 | 1.89 | gr/ $cm^3$ |
| Porosidad | 44.15 | | 52.83 | 57.73 | 28.67 | % |
| Limite Plástico | NP | | NP | NP | 22.86 | |
| Limite Liquido | NP | | NP | NP | 44.29 | |
| Índice de Plasticidad | NP | | NP | NP | 21.42 | |
| Granulometría | Arcilla | 10.45 | 7.38 | 8.98 | 8.61 | % |
| | Limo | 41-02 | 77.19 | 86.09 | 14.52 | % |
| | Arena fina | 9.41 | 4.69 | 2.73 | 7.93 | % |
| | Arena gruesa | 34.81 | 7.83 | 1.46 | 23.66 | % |
| | Grava fina | 2.78 | 1.48 | 0.62 | 10.03 | % |
| | Grava gruesa | 1.53 | 1.44 | 0.12 | 34,25 | % |
| | USCS | SM | ML | ML | GC | |
| Gravedad Especifica | 2.481 | | 2.257 | 2.253 | 2.671 | |
| Formación geológica | Tpm | | Tj | Tpm | Tpm | |
| Geomorfología | Ladera erosional (Vertiente de falla) | | Colapso estructural | Colapso estructural | Deslizamiento no activo | |
| Coordenadas | **X**:0417857 **Y**:1585641 | | **X**:415009 **Y**:1588575 | **X:**415009 **Y:**1588803 | **X**:0419597 **Y:**1582603 | |

En la muestra 2 se encontraron las gravas dentro de los finos, material ya desplazado mostrando una geomorfología de colapso estructural. Según Escobar y Potes (2010), estos poseen baja estabilidad y afectable por condiciones hidráulicas adversas.

Según Rodríguez (2008) el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), el suelo de granos finos como la muestra 1, 2 y 3 del grupo ML (limos inorgánicos), SM (Arenas limosa) son inestables por su propia naturaleza, particularmente cuando aumenta la humedad, con tendencia a fluir cuando está saturado. Es relativamente impermeable, difícil de comportar, fácilmente erosionable.

En los suelos G-S las arenas y las gravas como la muestra 4, tiene las mismas propiedades ingenieriles, aunque en grados diferentes, resultan fáciles de compactar y resultan un poco afectadas por la humedad, suelen ser más resistentes a la erosión, las arenas finas tienen las mismas características de los limos, es decir su permeabilidad reduce su estabilidad al aumentar la humedad (Rodríguez 2008). Se presentan los gráficos de granulometría en el (Anexo 9).

En la muestra 1, 2, 3 y 4 se presentaron densidades reales menores a 2.5 gr/ $cm^3$ y gravedades específicas de 2.20- 2.60; según Escobar y Potes (2010), los suelos con densidades reales menores a 2.5 gr/ $cm^3$ y gravedades específicas de 2.20- 2.50 contiene grandes cantidades de yesos y cenizas (suelos de origen volcánico) provocando inestabilidad en ladera.

Poseen una alta permeabilidad ya que tiene muchos poros y los contenidos de humedad son altos, encontrándose depósitos lacustres por lo que según Alfaro (2012) tienen características de suelos residuales de origen volcánico

Según la clasificación en tablas de González *et al.* (2004). En suelos finos como la muestra 3 es de 92.37 % y la muestra 2 es 89.49 % la humedad está en el rango de mayor

de 55 % lo que indica que son suelos muy blandos.

Attewell citado por Suarez (2002), menciona que la acidez de las rocas ígneas extrusivas varia ya que las más ácidas poseen un gran contenido de cuarzo siendo muy competentes, y las básicas poseen poco o ningún cuarzo tendiendo a meteorizarse formando suelos pocos resistentes. Lo que representa la muestra 1, 2 y 3 por el lugar en que se encontraban ya que eran zonas dendríticas.

El límite de plasticidad en las muestras 1, 2, 3 es no plastico y Urios (2009) menciona que los no plásticos son no potencialmente expansivos y presentan una fuerte variación por los cambio de humedad.

La muestra 4 según la geomorfología realizada por COPECO (2013) se encuentra en área de deslizamiento no activo, sin embargo esta se ha reactivado desde el año 2017 en el mes de septiembre, lo cual ha sido de gran magnitud, observándose coluviones y movimientos rotacionales.

En general, el estudio geotécnico se aplicó según lo que menciona Hauser (1993), .a materiales sueltos, donde se incluyen también depósitos de deslizamientos antiguos, desprendimientos y laderas que presenten movimiento lento.

**C. Geomorfología**

Se definieron ocho unidades geomorfológicas basadas en su génesis en la zona sur-este de la Reserva Biológica Montecillos (Anexo 15).

El mapa cuenta con una leyenda que agrupa formas y unidades geomorfológicas según su origen (Anexo 14). Según Šebesta *et al.* (2016), el origen y la dinámica de cada unidad geomorfológica está determinado por procesos endodinámicos (tectónica, actividad

volcánica) y exodinámicos (procesos, que son provocados por interacción de la atmósfera y la superficie de la corteza terrestre).

Estas no se definieron dentro del método Mora Vahrson, ya que los pesos relativos que se le colocan son similares a los de pendiente, por ello solo se trabajó con la litología. Al momento de ponderar geomorfología replicaría valores resultando datos más altos para la amenaza a deslizamientos, por lo que se presenta solo las unidades encontradas dentro del área de estudio.

- **Tectónica de la zona de estudio**

Se identificaron en las fotografías aéreas, y mapas topográficos como líneas marcadas en la morfología de relieve, como se muestra en la (Figura 7), basado en lo que menciona Mantón citado por Rodríguez (2016) las fallas son fracturas de la corteza terrestre que se producen cuando las fuerzas tectónicas exceden la resistencia de las rocas.

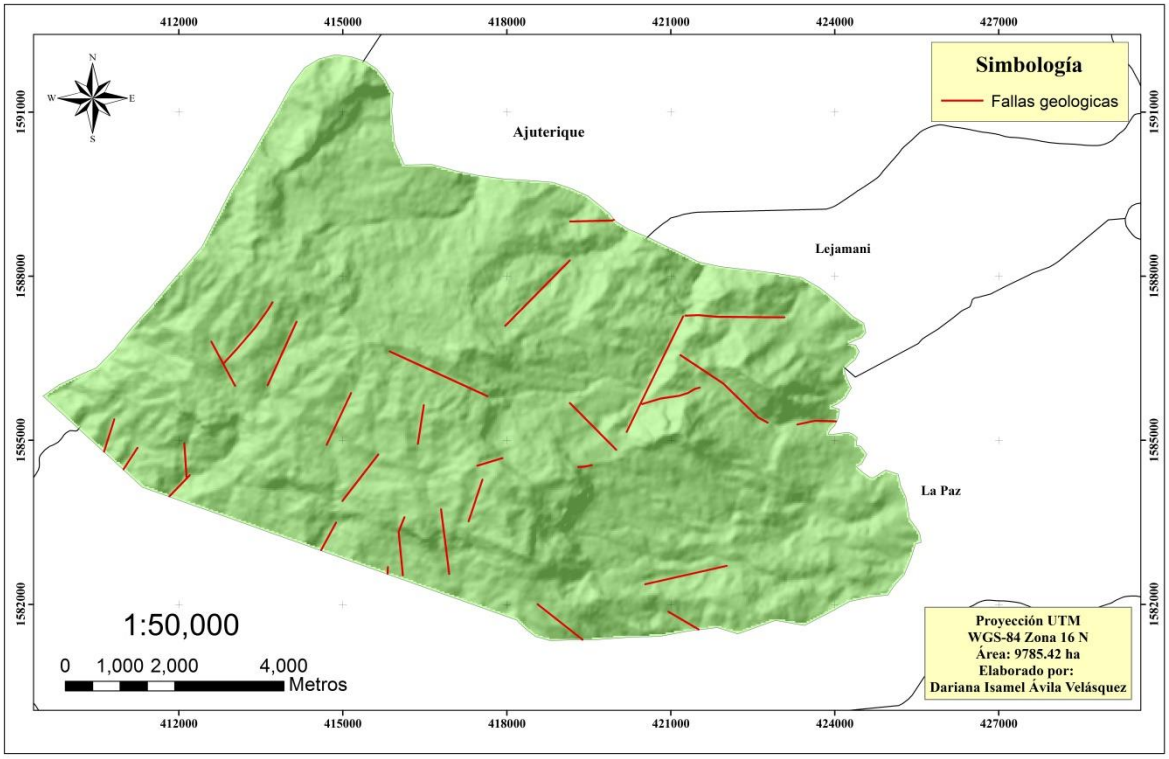



**Figura 7.** Mapa de fallas geológicas de la zona de estudio

Se lograron identificar 26 fallas a nivel de fotografía aérea, algunas de ellas son evidentes en campo, encontrando 17 fallas dentro de la Reserva Bilógica Montecillos. Por sus expresiones morfológicas se supone, que las fallas muestran poca actividad dentro de la zona sur este de la reserva biológica Montecillos y su zona de influencia. Aunque Burkart y Self (1985), propusieron que la deformación en la región está dominada por la rotación de bloques y la segmentación del arco volcánico y la depresión transversal de Honduras.

Según Mantón citado por Rodríguez (2016), generalmente si la falla atraviesa una ladera, se produce la erosión de manera vertical, dando lugar a un barranco o quebrada (valle predispuesto por falla); encontrándose estas evidencias en la zona del río Tepanguare.

### 5.2.2 Generación de la cartografía Mora Vahrson

**a). ¿Podría el estudio de los factores de susceptibilidad y disparo ayudar a determinar un posible deslizamiento o reactivación del mismo**?

Los factores de susceptibilidad como ser la pendiente, uso de suelo y litología son los que representan mayores pesos relativos al momento de realizar la ponderación, y la humedad (susceptibilidad), sismos y precipitación (disparo), representan valores constantes en el área de estudio, no porque son menores, sino por la falta de investigación de estos. Pero de esta manera al realizar las clasificaciones sumarias los pesos de los factores ayudan a determinar la existencia de deslizamientos y la reactivación de estos. Según lo comprobado en campo.

Obteniendo las siguientes cualificaciones de los factores se determinó la amenaza a deslizamiento:

- **Factores condicionantes**

**A. Pendiente**

La mayor parte de la superficie de estudios presenta pendientes medias y bajas (36.8 y 32. 2 % respectivamente) (Tabla 9), indicando que no es un factor condicionante aunque en las áreas donde se encuentran pendientes de "Alta" a "Muy Alta" es un peligro para la parte baja de la zona de estudio.

**Tabla 9.** Ponderación de pendiente en el área de estudio según Mora Vahrson

| Valor | % | Ponderación | Calificativo | Área ha | Área % |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0-15 | I | Muy Bajo | 1,162.26 | 11.87 |
| 1 | 15-30 | II | Baja | 3,544.11 | 36.21 |
| 2 | 30-50 | III | Media | 3,597.57 | 36.76 |
| 3 | 50-70 | IV | Alta | 1,135.35 | 11.60 |
| 4 | >70 | V | Muy alta | 346.86 | 3.5 |

Sin embargo, se determinó que la mayor influencia la ejerce el factor de la pendiente, mostrando sectores de muy alta susceptibilidad principalmente donde la pendiente es mayor. En cambio lo observado en el campo muestra que no todas las zonas de muy alta pendiente presentan problemas de inestabilidad, hay zonas de pendiente moderada que poseen grandes problemas de deslizamientos, lo que se debe tener en cuenta a la hora de efectuar planes reguladores.

Lo que validó según lo menciona Lara (2007), las condicionantes de un evento de remoción en masa son principalmente, la pendiente de las laderas, y la extensión y altura de las laderas. Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse.

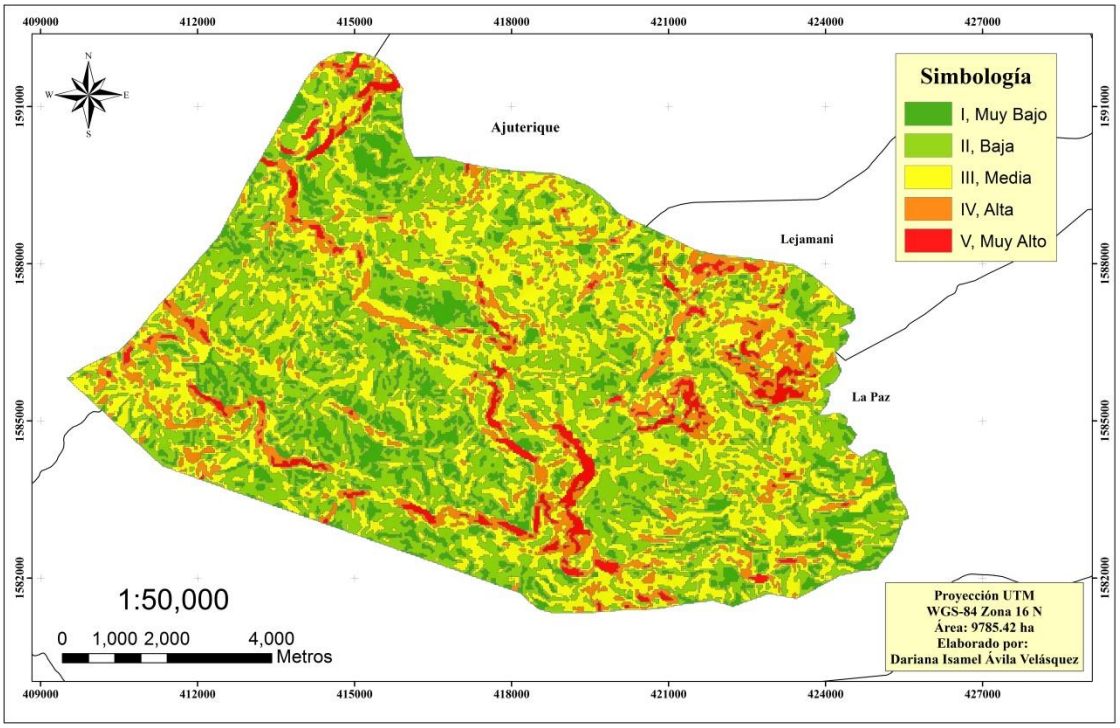



**Figura 8.** Ponderación de la pendiente según valores Mora Vahrson

**B. Litología**

Las ponderaciones litologías indican el grado de amenaza a deslizamientos que presenta la formación geológica (material), y se analizó el proceso hidrogeológico variando según la ubicación estas se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10.** Ponderación litológica de la zona de estudio según Mora Vahrson

| Formación | Clase | Ponderación | Área ha | Área % |
|---|---|---|---|---|
| Aluvión (Qal) | 5 | Muy Alto | 347.19 | 3.54 |
| Grupo Jutiapa (Tj) del Playón y Grupo Valle de Ángeles (Ktva) de la zona del Playón (Material Alterado) | 4 | Alta | 475.43 | 4.85 |
| Padre Miguel, Grupo Jutiapa (Tj), Grupo Valle de Ángeles (Ktva), Grupo Yojoa (Ky), Formación todos los Santos (Jts) | 3 | Medio | 8,603.00 | 87.91 |
| Formación Matagalpa Tm, Riolita "r", Andesita "a", Diorita “d” | 2 | Baja | 359.78 | 3.67 |

En el caso de los valores litológicos con calificativo “Alta” se dio esa ponderación ya que

en la zona lo que se encuentra es material desplazado (Coluviones), grandes porcentajes de humedad y zonas pantanosas aunque presenta características de otros grupos. Este es uno de los factores condicionantes que podría causar mayor inestabilidad de laderas.

La litología según valores Mora Vahrson se representaron en cuatro clases para esta zona de estudio; siendo para el país es variada la formación geológica que encontraremos.

Sin embargo en un estudio realizado por el IHCIT (2012), los departamentos que presentan mayor área en nivel de susceptibilidad alta a movimientos de ladera por condiciones geológicas y geomorfológicas son: La Paz (23.96%), Intibucá (21.72%), Comayagua (19.94%), Francisco Morazán (19.89%), Choluteca (17.82%), Santa Bárbara (16.22%), Valle (14.9%) y Ocotepeque (12.84%).

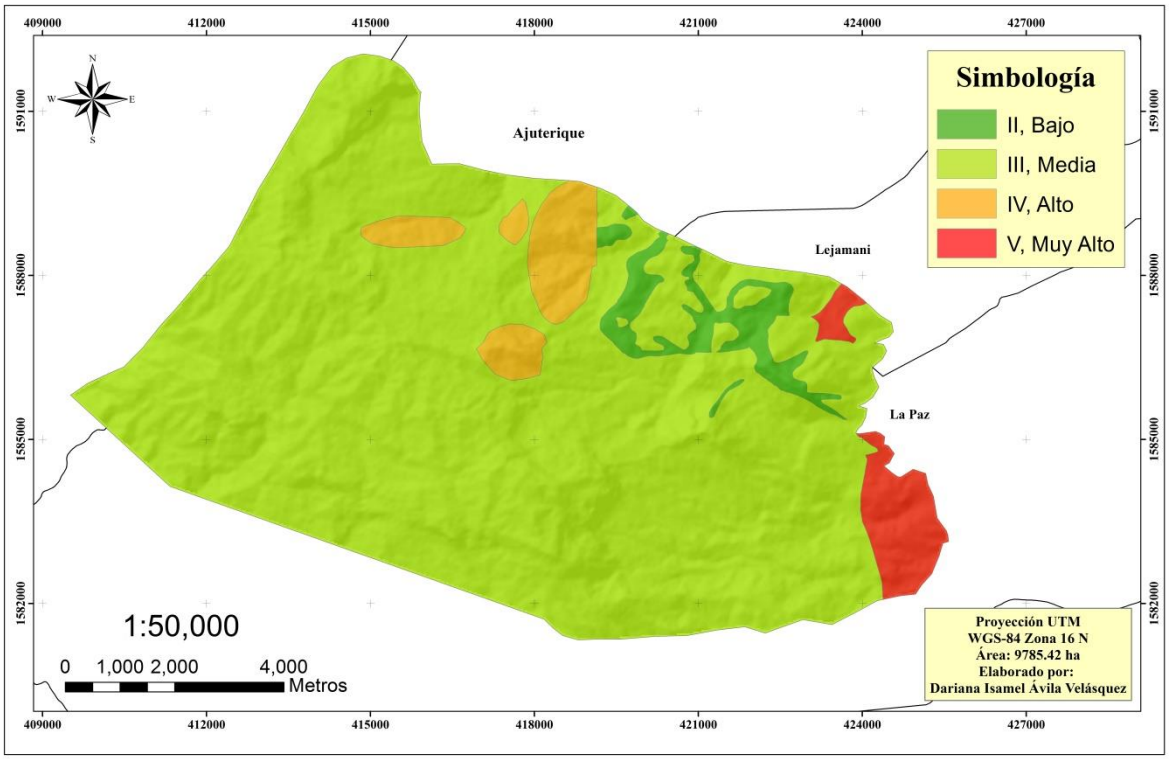



**Figura 9.** Ponderación de la litología según valores Mora Vahrson

**C. Humedad**

Las humedades en el área de estudio representan los máximos promedios mensuales de precipitación según la tabla 2.

La zona de influencia se encuentra dentro del corredor seco por lo que las precipitaciones no son tan marcadas, sin embargo la zona de reserva por su altura se encuentra en un bosque húmedo montano bajo, presentado precipitaciones moderadas (tabla 11) en comparación con las áreas protegidas del Lago de Yojoa, Las encuentran en el departamento de Gracias a Dios, Colon, Atlántida, Islas de la Bahía zona este de Olancho y El Paraíso, según lo menciona la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional/USAID (2014) la zona de Ocotepeque ha presentado alta pluviosidad.

**Tabla 11.** Valores de la clasificación de datos promedio mensuales máximos de precipitación de 1971 a 2012

| | **Ene** | **Feb** | **Mar** | **Abr** | **May** | **Jun** | **Jul** | **Ago** | **Sep** | **Oct** | **Nov** | **Dic** | **Total** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **mm** | 16.2 | 11.9 | 14.4 | 48.1 | 149.2 | 228.8 | 138.1 | 158.1 | 222.9 | 144. | 41.8 | 23.5 | |
| **Valor** | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 |

Al realizar la sumatoria da una ponderación de 6 según la clasificación de la tabla 3 el calificativo es Bajo debido a que se encuentra en un rango de 5-9.

**Tabla 12.** Ponderación humedad de la zona de estudio según Mora Vahrson

| **Valor acumulado** | **Calificativo** | **Valor parámetro HUM** | **Área ha** | **Área %** |
|---|---|---|---|---|
| 5 – 9 | Bajo | II | 9785.42 | 100 |

Las humedades representan valores bajos ya que las precipitaciones intensas en menor frecuencia que se han presentado, no dan la oportunidad de infiltración de agua, lo que

provoca más erosión y menor cantidad de agua disponible.

**D. Uso de suelo**

En las zonas de bosque primario, la susceptibilidad es menor ya que está más protegido, mientras que en las de cultivo o potreros, esta susceptibilidad es mayor ya que sólo posee una vegetación con un enraizamiento superficial dejándolo a la acción de la escorrentía superficial.

Esta se ve influenciado por la presión que ejercen el crecimiento demográfico como ser el cambio de usos de suelo, los programas de asentamiento y colonización, la distribución no equitativa de la tierra y los débiles sistemas de tenencia. Según la FAO (2011), solo el 15 – 23 % del país son tierras cultivables y el resto ha sido modificado lo que provoca una alteración en la estabilidad del suelo viéndose marcado para el área de estudio (tabla 13).

**Tabla 13.** Ponderación de Uso de suelo de la zona de estudio según Mora Vahrson

| Uso de suelo | Calificativo | Valor de parámetro | Área ha | Área % |
|---|---|---|---|---|
| Zona urbana continúa | 2 | Bajo | 13.518 | 0.13 |
| Bosque latifoliados deciduo, Bosque latifoliados húmedo, Bosque mixto, Bosque de conífera denso, Bosque de conífera ralo, | 3 | Medio | 3,715.82 | 37.97 |
| Cafetales, Pastos y cultivos, Vegetación secundaria decidua, Vegetación secundaria húmeda, Arboles dispersos fuera del bosque | 4 | Alto | 6,049.77 | 61.82 |
| Suelo desnudo continental, | 5 | Muy Alto | 6.11 | 0.06 |

Considerando que estos valores variarían al año 2018 ya que los datos de este mapa fueron tomados de ICF (2013), no están detalladas las zonas que fueron afectadas por el gorgojo; existiendo en este momento cambios de uso de suelo (forestal a cultivos), siendo un factor que aumente el porcentaje de susceptibilidad para la zona de estudio.

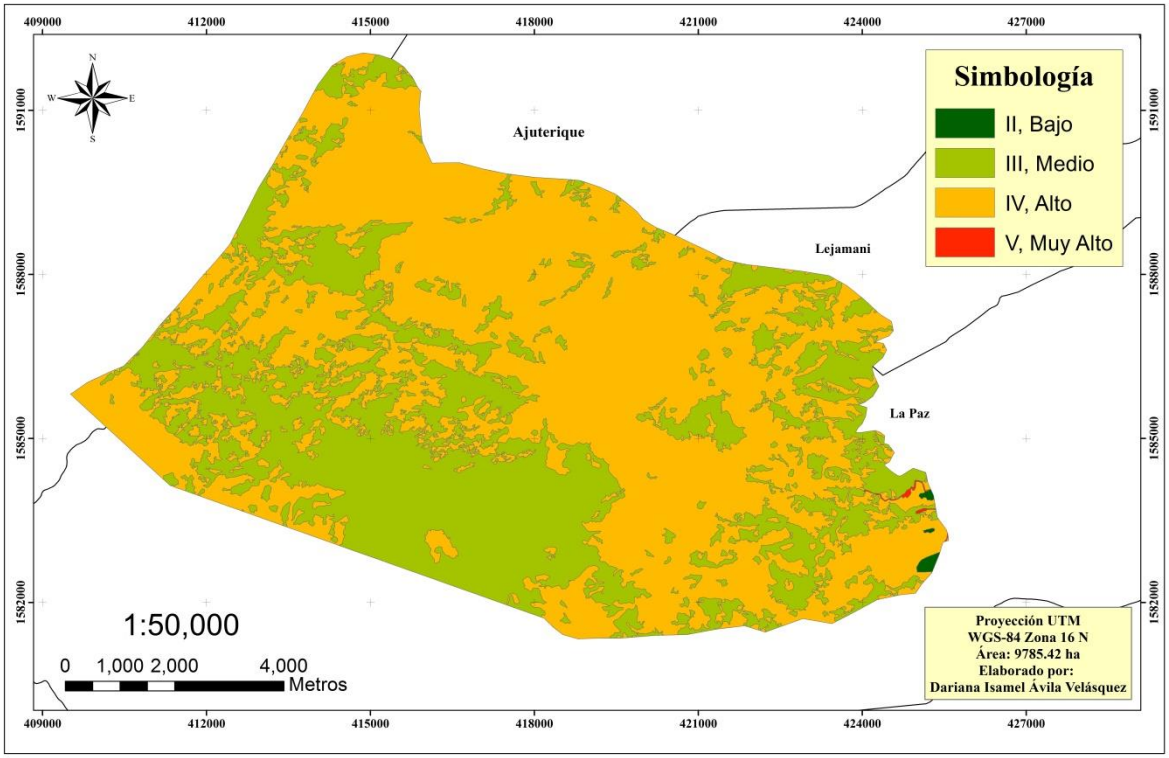



**Figura 10**. Ponderación uso de suelo de la zona de estudió según Mora Vahrson

Además Prieto (1985) establece que la estabilidad dada por la vegetación está fuertemente condicionada por el efecto del clima y topografía y la pendiente. Según González (2002) el control que ejerce el factor humano sobre la estabilidad de laderas es muchas veces primordial en la generación de eventos de remoción en masa.

- **Factores desencadenantes**

**E. Actividad sísmica (Ts)**

La Paz según COPECO (2013) está entre las cuatro regiones de mayor sismicidad de Honduras, ya que la placa de Cocos se encuentra a muy poca distancia de la zona de estudio. Estos valores se representan en la tabla 14.

**Tabla 14.** Ponderación sismicidad de la zona de estudio según Mora Vahrson

| IMM | log PGA | PGA | Clase | Factor Ds (Ponderación) | Área ha | Área % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 2.338 | 218 | Mediano | 5 | 9,785.42 | 100 |

El PGA encontrado dentro del área es de 272.797 a 292. 294 formatos raster se procedió a realizar la reclasificación según la tabla 4, el IMM es 7 ya que su PGA esta ente 218-415. Obteniendo la clase valor "Medio" y la ponderación 5 según el factor de sismicidad (Ts). Este se considera como un valor de disparo medio, para la zona de estudio, pero el peligro seria la gran cantidad de fallas geológicas y las coronas de los deslizamientos su activación.

En comparación con un estudio realizado por Moreno *et al.* (2016) en Goascorán (Honduras), la sismicidad es de alta a muy alta por encontrase en el arco volcánico y más cerca de la placa cocos, en comparación con la zona de estudio.

Según Suarez y Sánchez (2012), un índice detallado de riesgos global 2011 posicionaba a Honduras en no. 23 en el ranking, esto debido a su baja exposición a sismos, (algo discutible pues como el resto de países centroamericanos hay varias zonas del país con alta amenaza sísmica) debiéndose esto a la falta de información accesible sobre la exposición en Honduras.

**F. Precipitación (Tp)**

Las precipitaciones diarias más intensas registradas desde 1970 a 2004 reportan un promedio de 89.58 mm/diario.

Para conocer la precipitación máxima con un periodo de T 100 se determinó a través del método Gumbel.

**Tabla 15.** Ponderación precipitación de la zona de estudió según Mora Vahrson

| Lluvias máximas n > 10 años Tr = 100 años, mm | Calificativo | Valor del parámetro (Ll) | Área ha | Área % |
|---|---|---|---|---|
| 100 – 200 | Bajo | II | 9,785.42 | 100 |

Se obtuvieron los datos de precipitación máxima diarias anuales para un T de 50 años con P max de 169.65 mm, T de 75 años con P max de 179.75 mm, T de 100 años con P max de 186.91 mm, T de 250 años con P max 209.62 mm, T de 500 años con P max de 226.77 mm (Anexo 4). Para lo cual se trabajó con T de 100 años en la plataforma SIG, se reclasifico y según tabla 5 el valor está en calificativo Bajo, siendo un único valor para toda la zona de estudio., para realizar comparaciones se trabajó con T de 250 años donde aumenta el calificativo a Media.

Un indicador de los datos de precipitación, presentan un indicativo bajo es debido a que la estación meteorológica no está cerca de la zona de estudio. El área de estudio se encuentra en zona de mayor altitud lo que aumentaría los datos de precipitación si existiera una estación cercana, siendo el factor de disparo más esencial a considerar.

No obstante, la frecuencia y la intensidad de las lluvias revelan que este aumento podría obedecer a tormentas más intensas y no a la cantidad real de días con mayor precipitación

**G. Grado de amenaza**

El grado de amenaza está determinado según el potencial numérico obtenido, en el generador de deslizamientos por sismos (tabla 16), precipitaciones o amenaza a deslizamientos.

**Tabla 16.** Generador de deslizamientos por sismos de la zona de estudió según Mora Vahrson

| Potencial | Clases | Grado de Amenaza | Área ha | Área % |
|---|---|---|---|---|
| 0 – 6 | I | Muy Bajo | 1,154.47 | 11.79 |
| 32 – 162 | III | Moderado | 1.234.033 | 12.61 |
| 162 – 512 | IV | Mediano | 4,326.83 | 44.21 |
| 512 – 1250 | V | Alto | 2,914.89 | 29.78 |
| > 1250 | VI | Muy alto | 137.84 | 1.14 |

Generador de deslizamientos por sismos es en condiciones secas (sin precipitación) en la zona de estudio donde se representan cinco clases, figura 12.

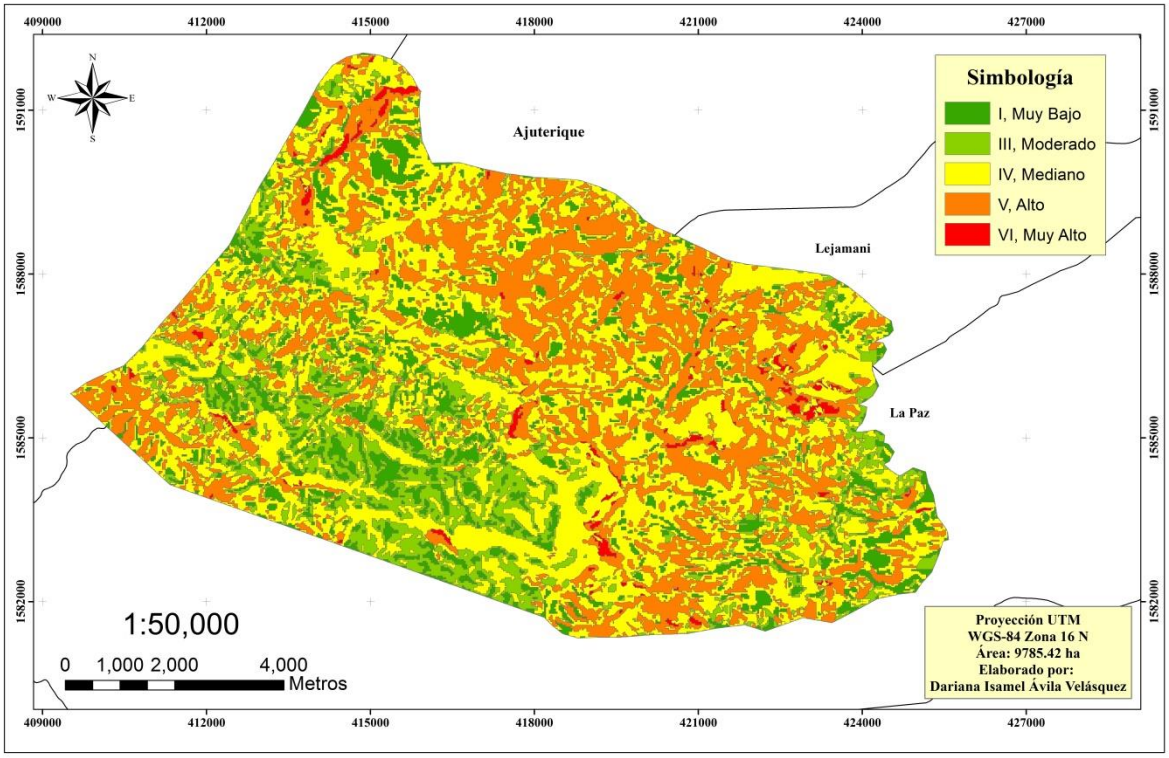



**Figura 11.** Ponderación de generador a deslizamientos por sismos según Mora Vahrson

La ponderación de generación a deslizamientos por sismos considera los porcentajes de área de "Medio" a "Muy Altos", presentándose en mayor porcentaje dentro de la zona de

influencia, en la zona de reserva es medio pero al considerar las fallas geológicas que están dentro de la reserva biológica esto aumenta la generación a deslizamientos.

En el generador a deslizamientos por precipitaciones se tomó en cuenta el T 100, según lo mencionado por el método Mora Vahrson cuando tenemos datos mayores de 10. Presentando para la zona de estudio 34 datos de 1970 a 2004. Estos se multiplico los factores de susceptibilidad para obtener el grado de amenaza se presenta en la tabla 17.

**Tabla 17.** Generador de deslizamientos por precipitación con Tr 100.

| Potencial | Clases | Grado de Amenaza | Área ha | Área % |
|---|---|---|---|---|
| 0 – 6 | I | Muy Bajo | 1,122.09 | 11.46 |
| 6-32 | II | Bajo | 8.25 | 0.08 |
| 32 – 162 | III | Moderado | 5,369.238 | 54.86 |
| 162 – 512 | IV | Mediano | 3,268.65 | 33.40 |

Se considera que el potencial de precipitaciones, podría generar deslizamientos de moderado a medio en la zona de estudio, considerando un Tr de 100 pero si se realiza con un Tr de 250 este aumentara la inestabilidad de las laderas. Estos se muestran en la figura 13.

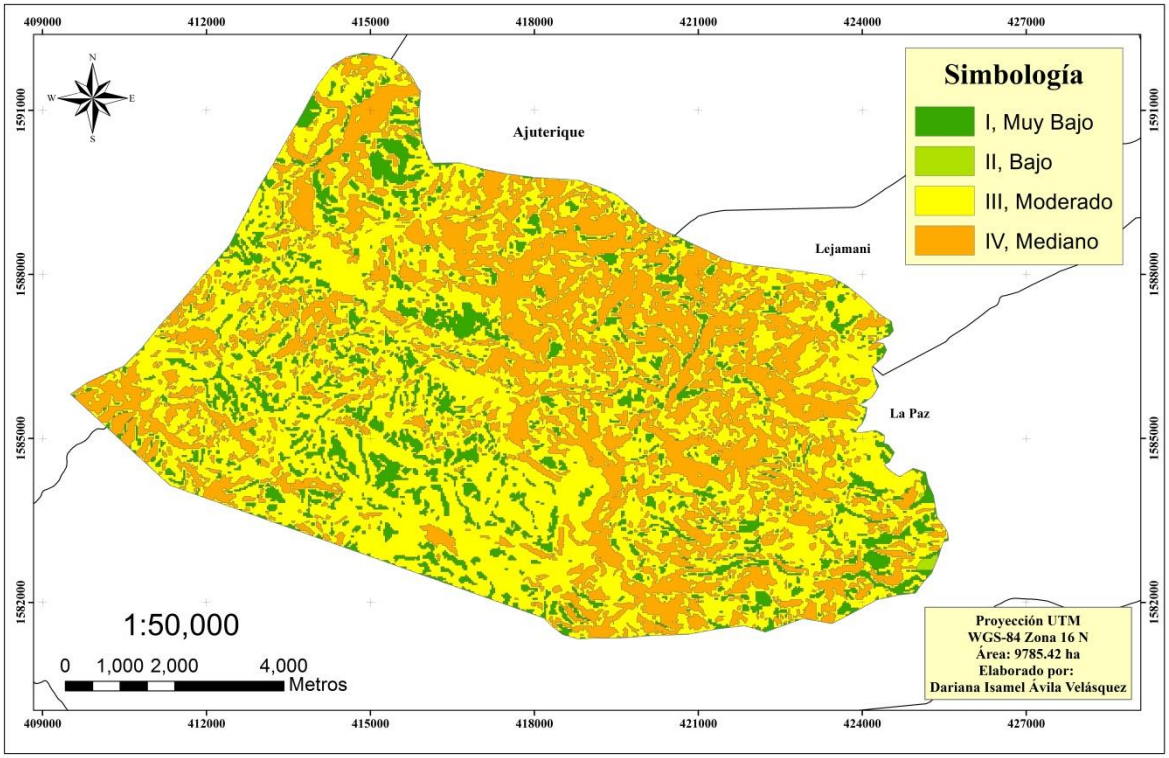
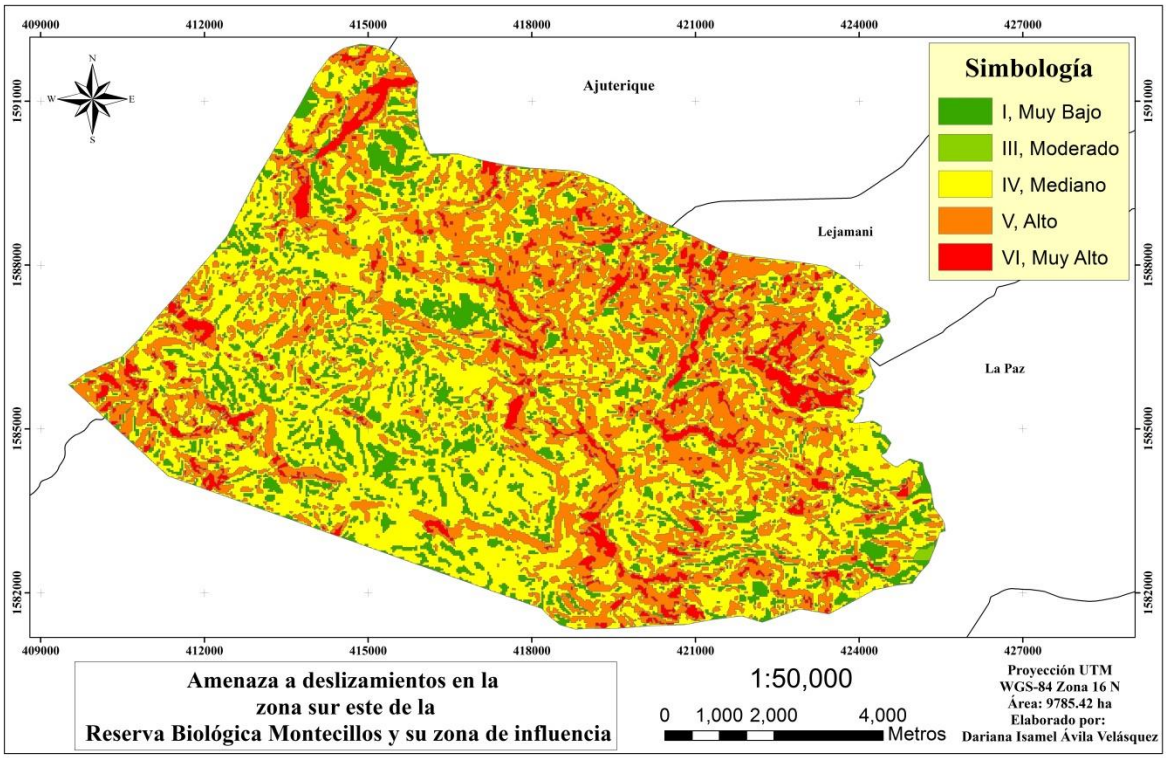



**Figura 12.** Ponderación generador a deslizamientos por precipitación con Tr 100, según valores Mora Vahrson.

## H. Amenaza ante deslizamiento

Al evaluar los deslizamientos por sismos y precipitación, se obtuvieron más altas las ponderaciones de sismos, considerando que el dato de sismos es de Tr 475 años, mientras que el dato de precipitación de Tr 100 años.

Según datos de la población esta es una zona muy lluviosa y la zona de vida es bosque húmedo (ICF 2016), siendo el factor desencadénate más esencial, sin embargo los sismos son un factor importante a considerar ya que la zona de La Paz desde la Reserva Biológica hasta la zona de influencia hay una cantidad considerable de fallas geológicas, al momento de ocurrir un evento sísmico pueden afectar  a 300 km a la redonda considerando otros rasgo geológicos se puede ampliar a 400 km alrededor del evento sísmico. Los datos se muestran para zona de estudio y específicamente para la zona de reserva, tabla 18.




| Zona de Estudio | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Potencial** | **Clases** | **Grado de Amenaza** | **Área ha** | **Área %** |
| 0 – 6 | I | Muy Bajo | 1,123.263 | 11.47 |
| 32 – 162 | III | Moderado | 8.2561 | 0.08 |
| 162 – 512 | IV | Mediano | 4,809.80 | 49.15 |
| 512 – 1250 | V | Alto | 3,117.75 | 31.86 |
| > 1250 | VI | Muy alto | 709.02 | 7.245 |
| **Zona sur este de la Reserva Biológica Montecillos** | | | | |
| 0 – 6 | I | Muy Bajo | 653.42 | 13.81 |
| 162 – 512 | IV | Mediano | 2,682.49 | 56.68 |
| 512 – 1250 | V | Alto | 1,114.97 | 23.56 |
| > 1250 | VI | Muy alto | 258.80 | 5.46 |

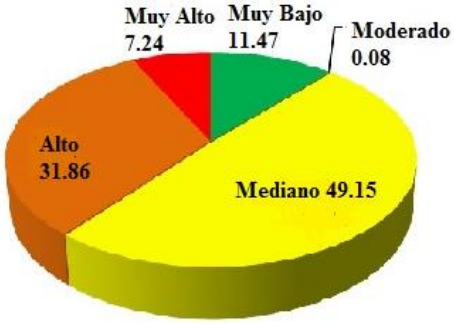



**Figura 13.** Amenaza a deslizamientos en la zona de estudio

Se encuentran mayores porcentajes de área a amenaza a deslizamiento de "Mediano" a "Alto" en las zonas de mayor pendiente; lo cual es un peligro latente para la población.

El mayor porcentaje de amenaza a deslizamiento dentro de la zona sur este de la Reserva Biológica Montecillos y su área de influencia es de "Mediana" con 49.15 %. El rango más bajo es "Moderado" con un valor de 0.08 %, pero es de considerar que el valor que le sigue

es el “Alto” y “Muy Alto” los cuales suman un 39.10 % estos validados en campo, debiendo establecer medidas ante tales amenazas. La zona de “Muy Alta” amenaza es donde se encuentran las coronas de deslizamientos.

Y analizando solo el área de Reserva se encuentran mayores porcentajes de amenaza a deslizamiento de “Mediano” a “Alto” y no considera la ponderación “Moderada”.

Estos resultados son base para futuras investigaciones ya que según menciona el foro económico mundial (2018), la gestión de riesgos inicia con la identificación y la estimación de la probabilidad y el impacto de una determinada amenaza como son los movimientos en masa. Basados en la prevención, mitigación y preparación.

Considerando el estudio del IHCIT (2012) de mapa de susceptibilidad a movimientos de ladera muestran que el 15% del territorio nacional está entre, una susceptibilidad alta y muy alta a movimientos de ladera. Lo que es similar para el área de estudio, pero con distintas condiciones para cada zona del país.

El resultado de los mapas no exonera la importancia de la valorización en campo, simplemente nos da una idea general del comportamiento de las laderas y los suelos

### 5.3 Fase III. Propuestas y recomendaciones

#### a). ¿Tiene el área de estudio una historia de desastres causados por deslizamientos?

Esta pregunta respondió a la susceptibilidad de la zona, vista desde la perspectiva histórica. Según lo plasmado por la población en los talleres, la zona de Reserva tiene una historia de deslizamiento, viéndose más reciente para la zona de Ajuterique, sin embargo en la zona de La Paz, se encuentran deslizamientos inactivos en su mayoría tabla 18.

#### b). ¿Cuál es el grado de percepción local que tienen las comunidades acerca del riesgo a deslizamientos?

Según DesInventar Honduras (2015), solo reporta un problema de deslizamiento en la zona de San Rafael, afectando a 16 viviendas incluida una iglesia. El deslizamiento es considerado por predisposición litológica y depósitos de movimientos antiguos. Por lo que se validó en campo y se completó con mayor información.

El grado de percepción a deslizamientos se observó variado (tabla 19), debido a que la población de San Rafael, San Antonio del Playón, y San José del Playón, consideran los deslizamientos como un riesgo; presentándose estos de manera continua en los últimos años. Mientras que en La Guadalupe, La Peña, Tepanguare, Piedras de Moler, no los consideran como una amenaza. Sin embargo la zona de La Paz, según las interpretación de fotografía aéreas tiene gran cantidad de deslizamientos inactivos y con mayor cantidad de fallas geológica, por lo cual tienen que trabajar de manera conjunta con los CODEM y CODEL"s y aplicar el plan de gestión de riesgo para prevenir un desastre.

**Tabla 18.**Secuencia histórica y variables del método Mora Vahrson (Etapa 1 y 2).

| Variables | La Paz | | | Ajuterique | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Condicionantes | | | | | |
| | Aldea | Descripción | % | Aldea | Descripción | % |
| **Litología** | San Rafael | Hay una falla como un río. Es un terreno muy arcilloso. Un gran deslizamiento dejo incomunicada ambas comunidades este se dio en 2008 a las 5: 00 pm. | 40 | San Antonio del Playón | El nombre según Gavino Ávila, era que la zona presentaba características de una playa, zona donde había quedado descubierta por los deslizamientos. Se dio un derrumbe de gran magnitud, hace unos 130 años En la zona de la Reserva hay gran cantidad de minerales; hace 60 años se está dando la extracción minera que está en posesión de grupos campesinos. El problema es que la mina está en la orilla del rio Chivito y realizan varias detonaciones por quererlo desviar, afectando más la zona y sus habitantes. Hay gran cantidad de cuevas que se encuentran a unos 500 metros de la comunidad En la zona del Playoncito, ya había aberturas en el suelo, provocando un deslizamiento en 2010. Donde está el tanque de agua de la comunidad se está moviendo presentando hendiduras y las casas cercanas desde hace tres años tiene hendiduras. | 12 |
| | El Playón | Se descubrió una falla por lo que han sido deshabitados algunos lugares. Existen dos afloramientos de mina, los cuales han sido explorados pero no han continuado debido a la falla geológica, además se encuentra en la zona de amortiguamiento de la Reserva Biológica Montecillos | 30 | | | |
| | Tepanguare | Zona de vega, hay derrumbes antiguos y suelo suelto | 15 | | | |
| | La Peña | Es suelo con mucha roca y es pequeña la capa de suelo que la cubre, no habiendo raíces que lo sostengan esto se desliza (Anexo 17). El color de suelo es de color rojo en la parte media y alta es color café, y en los lados es de color blanca. | 27.5 | | | |
| | Piedras de Moler | Es terreno rocos. Donde se dio el deslizamiento es suelo color gris y lo demás color naranja y blanco. La falla que pasa por la cordillera, afecta a todas las comunidades. | 15 | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | La Guadalupe | El terreno es muy suelto. Cuando el Mitch hubieron deslizamientos a causa de la lluvia lo que más arrastro fue suelo no muchas rocas | 10 | | | |
| **Pendiente** | San Rafael | En las faldas de la cordillera de Montecillos aproximadamente a 75 km de la parte más alta en la cual la mayoría tiene sus terrenos en la zona | 13 | | La comunidad está en una zona plana pero 500 m hacia arriba están las grandes pendientes que ocupa gran parte de la reserva Biológica Montecillos. | 11 |
| | El Playón | Zona montañosa y con grandes rocas (La Peñona). | 15 | | | |
| | Tepanguare | Hay cerritos y la zona de fuente de agua es de alta pendiente. La comunidad se encuentra en una zona ondulada. | 10 | | | |
| | La Peña | El relieve muy montañoso y con rocas de alta pendiente. | 20 | | | |
| | Piedras de Moler | Es un terreno ondulado, con cerros de alta pendiente | 20 | | | |
| | La Guadalupe | Está en una zona de portillo, la comunidad está en una zona plana pero a ambos lados hay grandes pendientes | 15 | | | |
| **Cobertura** | San Rafael | No hay muchos árboles solo sauce y cultivos de maíz, | 17 | | Hace unos 130 años la cobertura que había en ese tiempo era de liquidámbar, tatascan y milpa, era como rastrojo. Los techos de las casas eran de cuspia, actualmente la gran cantidad de cobertura es de café y solo la zona de reserva conserva | 28 |
| | El Playón | Liquidámbar, pino, café | 20 | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tepanguare | La vegetación que cubría la zona consistían en arboles de liquidámbar y pino en su mayoría; pero ha sido devastado por el gorgojo, las áreas afectadas están en una zona de 80 manzanas aproximadamente de La Reserva Biológica Montecillos. Existen cultivo de milpa y café en la zona forestal | 30 | | parte del bosque de pino y liquidámbar. | |
| | La Peña | Pino, Café, milpas de maíz y frijol | 5 | | | |
| | Piedras de Moler | Roble, Café, pero en 1960 eran suelos desnudos, y cañales | 20 | | | |
| | La Guadalupe | Ciprés, pino, liquidámbar, café y milpas de maíz. | 40 | | | |
| **Humedad** | San Rafael | Hay gran cantidad de vertientes, y el suelo es muy blando y húmedo | 12 | | Toda la zona de San Antonio del playón, es zona pantanosa. Hay gran cantidad de humedad la cual hay 12 lagunas dentro de ella, hay vertientes de agua y el agua de las cascadas cae en las rocas la cual no tiene salida, sino que se profundiza. Esa zona es conocida como Lagunetas y pozo negro.<br><br>El agua la extraían de pozo entre 1 o 5 metro de profundidad, luego donde nace el rio Chivito y Ganzo se creó un proyecto el cual ya caduco porque tiene 35 años | 26 |
| | El Playón | Hay gran cantidad de lagunas, y se extrae agua de pozo, casi no se puede plantar café, debido a la humedad que es muy alta (pantanoso) | 15 | | | |
| | Tepanguare | Hay gran filtración de agua, y a las riveras del rio se ha cedido parte del terreno, hay gran cantidad de nacimientos de agua | 25 | | | |
| | La peña | No hay vertientes de agua, pero el agua que cae de las cascadas se infiltra y no tiene salida; esta subterránea. | 27.5 | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Piedras de Moler | La comunidad ha presentado grandes problemas de humedad desde vertiente de agua (pozos) que están en la parte alta, hasta el barrio abajo lo cual preocupa a la comunidad. El nivel freático es muy alto. | 20 | | | |
| | La Guadalupe | La zona del mal paso es una zona con gran cantidad de humedad. | 5 | | | |
| **Desencadenantes (Disparo)** | | | | | | |
| **Sismos** | San Rafael | Durante los últimos años se han sentido pero no han provocado grandes daños solo en alguna casas | 6 | | Los temblores afectan aunque sea poco lo que dure ya que nosotros estamos conscientes que la zona se está moviendo actualmente. | 5 |
| | El Playón | Se sienten movimientos en las noches, pero es común | 10 | | | |
| | Tepanguare | Se han sentido pero no han provocado daños | 0 | | | |
| | La Peña | Cuando se da un temblor lo que preocupa son las grandes rocas ya que se da caída de ellas. | 10 | | | |
| | Piedras de Moler | Se han sentido, pero lo que ha provocado es hendiduras en algunas casas, en 1999 existió preocupación ya que hubo movimiento por 28 días seguidos. | 10 | | | |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | La Guadalupe | Se han sentido pero no ha provocado muchos daños. | 5 | | | |
| **Precipitación** | San Rafael | La lluvias son de gran preocupación ya que si continua lloviendo, provocara más deslizamientos | 12 | | Cuando El Mitch la zona se vio más afectada, ya que varias casas presentaron hendiduras hubo movimiento del suelo y la casa de varios habitantes se perdió quedando destruidas.<br><br>Y actualmente las fuertes lluvias preocupan | 18 |
| | El Playón | Las lluvias preocupan, se ha visto que aumenta los deslizamientos | 10 | | | |
| | Tepanguare | En la zona de la Vega cuando llueve, preocupa a la población, por el tipo de terreno. Para el Mitch fue afectado en gran manera, se perdieron varias casas. | 20 | | | |
| | La peña | Las lluvias afectaron, ya que provoco deslizamientos | 10 | | | |
| | Piedras de Moler | Las lluvias, preocupan ya que hay zonas de la comunidad donde se dieron deslizamientos. | 15 | | | |
| | La Guadalupe | Las lluvias lo que más arrastran son suelo, no roca. Para el Mitch fue una gran preocupación ya que las lluvias provocaron grandes deslizamientos. | 25 | | | |

El porcentaje de opinión sobre los factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos según la percepción humana, ayudo a esclarecer las variables del método mora Vahrson. Estos concordaban con los pesos relativos que se habían plasmado anteriormente.

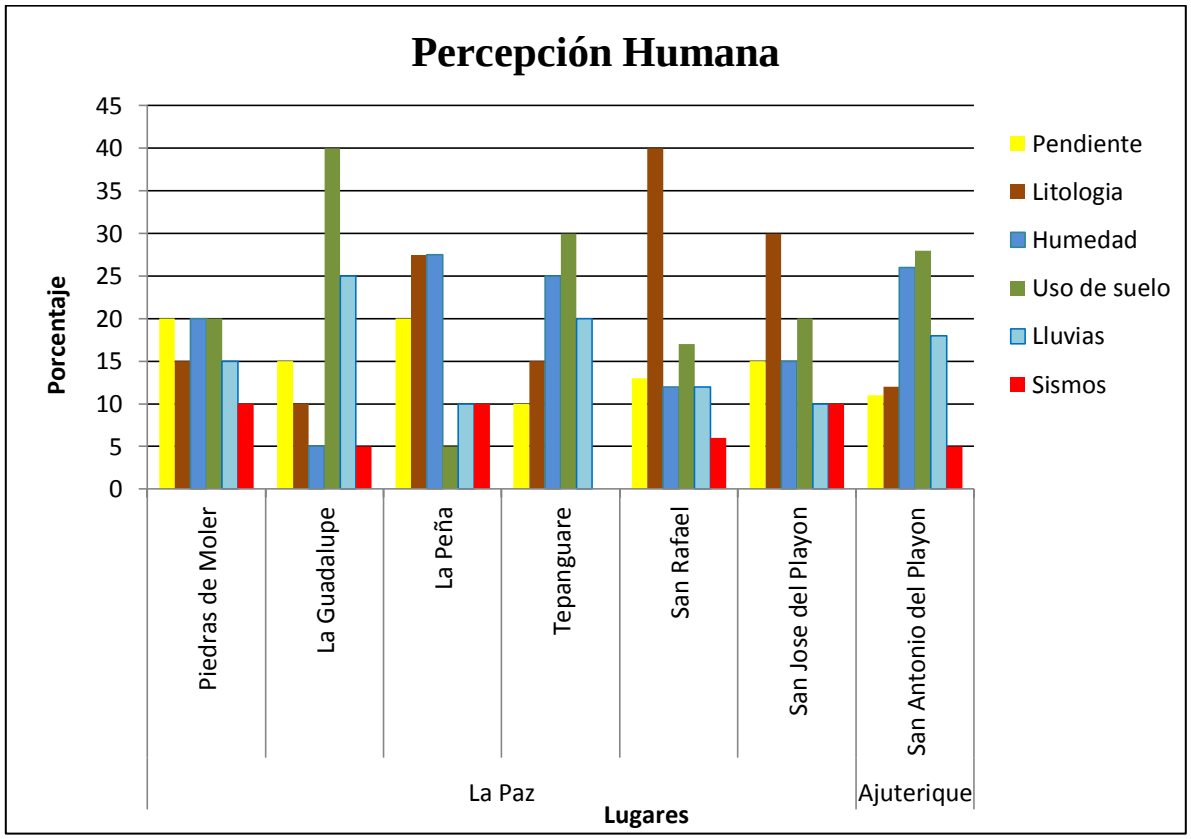



**Figura 14.** Porcentaje de opinión sobre los factores condicionantes y desencadenantes de los deslizamientos.

La pendiente como factor condicionante lo consideran las comunidades de Piedras de Moler, La Guadalupe. La Humedad la consideran La Peña y Piedras de Moler. La Litología la consideran San Rafael y La Peña. Uso de Suelo, San José del Playón, Piedras de Moler, La Guadalupe y Tepanguare. Como factor desencadénate las seis comunidades consideran la lluvia, sin embargo San José del Playón y La Peña consideran la lluvia y los sismos

San Antonio del playón (Ajuterique) considera el uso de suelo y la humedad como factor condicionante y factor desencadénate la precipitación.

En la tabla 19 se presentan una matriz con las ventajas y debilidades que esta presentado y las potencialidades y obstáculos que podría presentar el área de estudio en referencia a los deslizamientos y como los factores que lo producen están afectando de igual forma.

La población es consiente que muchas de las actividades realizadas por ellos mismos está provocando estos proceso, visualizándose de una manera más clara durante los últimos años.

Una de las grandes debilidades que la población ha percibido, es la renuencia por parte de las instituciones en apoyar las comunidades, siendo este un obstáculo a futuro en las comunidades de San Antonio del Playón, San José del Playón y San Rafael, ya que muchas de las instituciones no quieren apoyar por estar en zona de riesgo.

Es de rescatar que la zona tiene muchas potencialidades como ser zona productora de agua, hábitat de muchas especies y con un gran potencial turístico. Además cuanta con sitios que podrían declarase monumentos naturales, ya que poseen objetos de conservación como ser fósiles marinos y bosque petrificado.

**Tabla 19.** Matriz sobre el grado de percepción a deslizamientos (vulnerabilidad y potencialidad) en la reserva Biológica Montecillo (Etapa 3)

| | < Año 2017 | | > Año 2017 | |
|---|---|---|---|---|
| | **Ventajas** | **Debilidades** | **Potencialidades** | **Obstáculos** |
| **La Paz** | Agua potable, carreteras, centros de salud, centros básicos, medios de transporte, bibliotecas.<br>Producción de café y granos básicos por ser suelos fértiles. | Falta de centro comunal.<br>No hay un mantenimiento permanente de las carreteras.<br>Falta de atención a la falla geológica que existe, ya que todo solo se ha quedado en documentos por parte de autoridades.<br>No existen rutas de evacuación y el comité de alerta no tiene el apoyo necesario.<br>El banco no da préstamos para construcción en la zona del San Rafael y esto afecta a la población.<br>Por causa de la deforestación se dan los deslizamientos de la tierra.<br>Las lluvias han generado preocupación por los deslizamientos.<br>Invasión por grupos de usurpadores de oficio a la zona de Reserva.<br>Hay deslizamientos en la zona del zancudal y plan del Sixto lo cual | Existencia de un radio comunicador.<br>Antena para mayor cobertura.<br>Reforestación de áreas afectadas y vigilancia de las mismas.<br>Delimitación y declaración de las microcuenca.<br>Mantenimiento a las obra toma de agua potable y mejorar la calidad.<br>Aumentar la producción de agua potable con el apoyo de nuestras autoridades.<br>Realizar barreras vivas para evitar deslizamientos.<br>Talleres para hacer conciencia a la población de no contaminar las fuentes de agua.<br>Poder de gestión con autoridades del gobierno para el desarrollo a las | No apoyar e invertir en proyectos por estar declarada zona inhabitable.<br>No tener opciones donde vivir.<br>No poder comercializar, disminuyendo el desarrollo.<br>La falla seguirá afectando si no se toman las medidas adecuadas.<br>No tener agua disponible a causa de los deslizamientos ya que las tuberías presentan problema.<br>La población y jóvenes no se interesen en el cuido de los recursos naturales.<br>Grupos campesinos o usurpadores en la zona.<br>Eventos naturales como lluvias fuertes en las zonas inestables.<br><br>Vencer la apatía que existe en los pobladores en estar organizados para las eventualidades de todo tipo |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ha quebrado las tuberías y se ha perdido una calle.<br>Finca de café se perdieron por los deslizamientos del suelo en el zancudal.<br>Lo que se produce para sostener las familias se obtiene de la reserva, muchas veces contaminan y dañan.<br>Deforestación y pérdida de fauna por el gorgojo.<br>Gran falla geológica desde Guachipilín que afecta la zona de amortiguamiento.<br>Varios pobladores tienen terrenos privados dentro del área no están conscientes del cuido de la zona y la vulnerabilidad.<br>No hay apoyo para cumplir leyes y abogar por la reserva | comunidades.<br>Campañas de reforestación.<br>Personas más consientes sobre los recursos naturales.<br>Establecer zonas turísticas por el potencia en flora, fauna y arqueología de La Reserva | |

| | Ventajas | Debilidades | Potencialidades | Obstáculos |
|---|---|---|---|---|
| **Ajuterique** | En la parte alta de la reserva se encuentran las fuentes de agua.<br>El área de reserva tenía una extensión más grande.<br>No se daba la explotación minera.<br>Las plantaciones de café se realizaban en la zona de influencia de la reserva.<br>Existencia de CODEL en la comunidad.<br>No se realizaba la tala de bosque.<br>Menor cantidad de habitantes en la comunidad | Se dificulta el transporte ya que las calles están en mal estado.<br>Ha disminuido la economía en la comunidad.<br>Falta de capacitación.<br>Explotación de minas del rio Chivito. | Protección a las fuentes de agua (Proyectos).<br>Certificación de café.<br>Mayor acceso a la zona de influencia.<br>Más cantidad de centros educativos.<br>Sitio turístico el Liquidámbar.<br>Estudios a zonas arqueológicas dentro de la reserva biológica.<br>La construcción de un centro de acopio ante desastres.<br>La construcción de un centro de salud<br>Creación de viveros para reforestar la zona con el apoyo de algunas instituciones. | Las municipalidades no apoyen o falta de interés.<br>Explotación de minas.<br>Por estar situados en una zona de riesgo no pueden lograr un mejor desarrollo y no poder lograr un proyecto de agua potable |

La cartografía humana Etapa 4, se presenta en el Anexo 16 donde sirvió para validar los movimientos en masa de campo.

# VI. CONCLUSIONES

Los movimientos en masa, comprende coronas de deslizamiento que están en la Reserva Biológica Montecillos, el área de flanco abarca parte de zona núcleo y amortiguamientos, afectando la parte baja (zona de influencia).

Las primeras bases geológicas que se obtuvieron, muestran la peligrosidad de algunos materiales litológicos comprendiendo la mayor área, la clase tres y dos. Esta es una de las clasificaciones más complejas de obtener a nivel de campo.

Los análisis geotécnicos cualitativos de las muestras de suelo, confirmaron que los valores de granulometría, humedad y límites de Atterberg indican inestabilidad del terreno en el área de estudio.

Con las variables del método Mora Vahrson a partir de la información base, se encontró ponderaciones "Altas" de susceptibilidad a deslizamientos en relación a los sismos y "Moderada" en relación a las precipitaciones, considerando que para sismos es mayor el periodo de retorno.

La amenaza a deslizamiento considera que las áreas de "Muy Alto" a "Alto", son áreas donde se identificaron las coronas de deslizamiento y los validados en campo, por lo que las variables del método (susceptibilidad y disparo) son confiables.

Las comparaciones del método Mora Vahrson, con la percepción local se asemeja en gran manera. Las personas consideran al factor condicionante al uso de suelo, seguido de la humedad y la litología; como factor desencadénate consideran las precipitaciones. El método considera al factor condicionante el uso de suelo, pendiente y litología, como factor desencadénate la precipitación.

# VII. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio más específico, contando con micro zonaciones sísmicas del área ya que se cuenta con una generalizada a nivel de país, donde es un único valor para el área de estudio.

Establecer estaciones meteorológicas en la zona de reserva y tener información actualizada de la humedad y contar con datos más precisos de la zona para evitar el sesgo.

En la zonas donde se encuentra susceptibilidad a deslizamientos por sismos establecer medidas y monitoreo a las fallas geológicas ya que reactiva los movimientos en masa.

Monitorear los deslizamientos fosilizados ya que se encuentran en zona de alta pendiente y material inestable y estos en un futuro podrían reactivarse afectando la población de la zona de influencia.

Continuar con líneas futuras de investigación y generalizar el estudio a toda el área protegida u otras zonas para un adecuado ordenamiento territorial, gestión de riesgos.

Esta investigación es una línea base para emplear la metodología dentro de las áreas protegidas de Honduras y sus zonas de influencias (paisaje). Realizando estudios geotécnicos a detalle.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA


Alfaro, LD. 2012. Geotecnia (en línea). Panamá. 57 p. Consultado 28 de dic. 2017. Disponible en https://es.scribd.com/document/359143663/00Introduccion-Geotecnia-Alfaro

Álvarez, A. 2001. Sobre la evaluación de riesgo de desastres naturales y vulnerabilidad de la comunidad utilizando sistemas de información geográficos. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 5(2).

Alvares Arriaga, MA. 2006. Factibilidad de Utilización de técnicas geofísicas en estudios de fenómenos de remoción en masa (en línea). Santiago, CL. Consultado 23 jun 2017. Disponible en http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/alvarez_m/sources/alvarez_m.pdf

Angnes, A; Maldonado, J; Matos, T. 2011.Marco semiológico/ semiótico de la comunicación cartográfica (en línea). Geoenseñanzas Vol 16 (2). Consultado 2 jun 2017. Disponible en http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/40250/1/articulo1.pdf

Ardon Mejía, M; Gonzales, HJ; Morales, R; 2014. Del mapeo participativo a la maqueta comunitaria como instrumento de comunicación para el desarrollo con énfasis en gestión de riesgo. Lithocom. Tegucigalpa, HN. 37 p.

Attewell P.B., Farmer I.W. (1976) "Principles of engineering geology". Chapman and Hall. John Wiley & Sons, New York (en línea). 1045 p. Citado por Suarez Díaz, J.2002. Litología y estructura geológica. s.l. Consultado 14 sep 2017. Disponible en http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/14-libro-deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales-jaime-suarez.html?download=136:070-5-litologiayestructurageologica.

Ayala, FJ; Carcedo, JA. 2002. Riesgos Naturales, Análisis de riesgo movimiento de laderas. Ciencias, España.382-384.

Burkart**,** B; Self, S. 1985. Extension and rotation of crustal blocks in northern Central America and effect on the volcanic arc (en línea). Geology v. 13. Consultado el 4 de dic 2017. Disponible en http://www.geo.mtu.edu/rs4hazards/links/Seismicity-Rudiger/burkart_self_extension_rotation_block_central_america_volcan.pdf

COPECO (Comisión Permanente de Contingencias). 2013. Primer proyecto de prevención y mitigación del riesgo a desastres naturales, proyecto mitigar. Tegucigalpa, HN. Esc, 1:45000. Color

_____-PGIRD (Comisión Permanente de Contingencias- Proyecto Gestión de Riesgos de Desastres). 2016. Informe geológico. Yoro, HN. 91p.

Chuvievo, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. 3. Ed. Madrid. Rialp. p. 497-513.

Cuanalo Campos, OA; Oliva Gonzales AO. 2011. Inestabilidad de laderas: Deslizamientos y factores desencadenantes (en línea). México. Academia Española. Consultado 13 jun 2017. Disponible en https://www.eae-publishing.com/catalog/details/store/es/book/978-3-8465-7051-7/inestabilidad-de-laderas-deslizamientos-y-factores-desencadenantes

DesInventar Honduras. 2015. Sistema de Inventarios de Efectos de desastres (en línea).Consultado el 24 ene de 2018. Disponible en https://online.desinventar.org/desinventar/#HND-20170516055942

Eckstein D; Künzel V; Schäfer L. 2017. Resumen Índice de Riesgo Climático Global 2018. Ed, Germanwatch. Consultado 17 de abril 2018. Disponible en www.germanwatch.org/en/14638

Escobar, GD; Escobar Potes; CE. 2010. Mecánica de suelos I: Origen formación y constitución del suelo, fisicoquímica de las arcillas. Manizales CO. 171 p.

FAO **(**Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT**).** 2011. en Tierra Segura Desastres Naturales y Tenencia de la Tierra (en línea). Consultado 29 jul 2017. Disponible en http://www.fao.org/docrep/013/i1255b/i1255b01.pdf

GSHAP ( Global Seismic Hazard Assessment Program). 1992-1999. Investigación internacional sobre los sismos en Centro américa. Consultado 12 de nov. 2017. Disponible en http://www.seismo.ethz.ch/GSHAP/)

González Vallejo, LL de. 2002. Deslizamientos y otros movimientos del terreno (en línea). Ingeniería Geológica, Madrid, ES. Consultado 10 jun 2017. Disponible en https://es.slideshare.net/victorflaviomanriquezuniga/ingenieria-geologica-vallejos

_____; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C. 2004. Ingeniería Geológica. Ed. I, Campella. ORIMU. Madrid, ES. 738 p.

GTZ (cooperación técnica alemana SV,GT).2007. Guía para la gestión local de riesgo por deslizamientos (en línea). 2 ed. San Salvador, SV. s.e. Consultado 28 jul 2017. Disponible en http://www.bivica.org/upload/gestion-riesgo-deslizamientos.pdf

Hauser, A. 1993. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín no. 45. 7-29

ICF (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre). 2016. Plan De Manejo Reserva Biológica Montecillos. Comayagua, HN, FAPVS. 80 p.

IGN (Instituto Geografico Nacional). 1970. Hojas Geológicas de Comayagua: Investigacion de Jonh R. Everett. Tegucigalpa, HN. Esc. 1:5000. Color.

_____. 1992. Fotografías Aéreas del Proyecto Bolivianos. Tegucigalpa, HN. Esc. 1:40000.

IHCIT (Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra). 2012. Atlas Climático y gestión de riesgos Honduras. Tegucigalpa, HN. 161 p.

INE (Instituto Nacional de Estadística). 2013. Principales resultados del XVII censo de población y VI vivienda (en línea). Consultado 4 de mar 2018. Disponible en http://www.ine.gob.hn/index.php/component/content/article?id=101.

INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2005. Inestabilidad de Laderas: Mapa de amenazas.Nicaragua.88 p.

Lara, M. 2007. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana (en línea). Tesis. M.Sc. Geó. Universidad de Chile. Consultado 29 jun 2017. Disponible en http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/lara_mc/sources/lara_mc.pdf

Manton**,** W. 1987. Tectonic interpretation of the geológica of Honduras. Tectonic, 4: 219-236. Citado por Rodriguez, N. 2016. Informe geológico PGRD. Yoro, HN. 91 p.

Mesa Ramos, MG. 2012. Estudio de factores de Susceptibilidad (Topográfico, Geológico, Hidrológico, Geomorfológico, Desarrollo Social y Económico) de la Quebrada Situada al Flanco Este del Cerro Susanga, ante la posible rreactivación del macro deslizamiento, durante el periodo de Noviembre 2011 a Agosto 2012. Guaranda, EC. s.e.116 p

Mora, CR; Chávez, G; Vásquez, FM. 1992. Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: resultados obtenidos para la península de Papagayo mediante la Modificación del método Mora-Vahrson (en línea). Sección Geotecnia e Hidrogeología. Escuela Centroamericana de Geología Universidad de Costa Rica. Consultado 15 jun 2017. Disponible en http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf15.pdf

Mora Chinchilla, R. 1994. Fundamentos sobre Deslizamientos (en línea). Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/confl5.pdf

_____; Cerdas, A; Molina, F; Vega, E. 1990. Caracterización Geológica del Deslizamiento Chiz (Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica): Amenaza y Prevención. Geología América Central no.11: 59-68.

Mora, S; Vahrson, W. 1991. Determinación a priori de la amenaza de deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando indicadores morfo-dinámicos. En: Memoria sobre el Primer Simposio. Bogotá, CO. p. 259-273.

Moreno Segura, EL; Mondragón Rivera, CN; Cáceres Coello, JD; Carias Arias, B. 2016. Identificación de riesgos por desastres naturales en las cuencas hidrográficas Matasnillo (Panamá) y Goascorán (Honduras), y su relación con el cambio climático utilizando Tecnologías de Información Geográfica. Revista de Ciencias Espaciales 1(9). Tegucigalpa, HN. 53-80

Narváez, L; Lavell, A; Pérez Ortega, G. 2009. La Gestión del Riesgo de Desastres Un enfoque basado en procesos (en línea). Lima, PE. PULL CREATIVO Consultado 13 jun 2017. Disponible enhttp://www.comunidadandina.org/predecan/doc/libros/procesos_ok.pdf

Núñez Solís, J. 2010. Manejo y conservación de suelos. 1 ed. San José, CR. EUNED.288 p.

Pinto, A. 2016. Deslizamientos de laderas (en línea). Ingeniería Real feb. 2016. Consultado 12 jun 2017. Disponible en http://ingenieriareal.com/analisis-de-deslizamientos-combinados/

Pinzon Melo, JD; Suarez Blanco, JD. 2011. Determinación de crecientes extremas en las cuencas de alta montaña del río Guadalupe y la quebrada piedras blancas mediante la aplicación del método Gradex. Bogotá, CO. p 89.

Prieto, C.1985. Inestabilidades y erosión de laderas asociadas a riadas. Geología y prevención de riesgos por inundaciones, Instituto Geológico y Minero de España, p. 117-192

Ramírez Forero, S. 2005. Guía Metodológica 1: Prevención y la Reducción de Riesgos en los Procesos de Ordenamiento Territorial (en línea). Bogota, CO. mprenta Panamericana Consultado 3 jun 2017. Disponible en http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc17083/doc17083-contenido.pdf

Rodríguez, AM. 2008. Mecánica del suelo y cimentaciones (en línea). Consultado el 23 de nov 2017. Disponible en https://es.scribd.com/document/225289902/Manual-de-Mecanica-del-Suelo-y-Cimentaciones-Cap-5-ANGEL-MUELAS-RODRIGUEZ-pdf

Rucks, L; Garcia, F; Kaplan, A; Ponce de Leon, J; Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Montevideo, UG. 68 p.

Sepúlveda, S. 2011.Remociones en masa (en línea). Chile. UNESCO. Consultado 20 jun 2017. Disponible en http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/templates/conaphi.cl/documentos/XV_Jornadas/Remociones_en_masa_CIREN__Sepulveda.pdf

Šebesta, J; Hroch, T; Rajchl, M; Ruiz, M; Bertrand, R. 2016. Informe Geomorfológico PGDR. Yoro, HN. 45 p.

Suarez Díaz, J. 2002. Litología y estructura geológica. s.l. Consultado 14 sep 2017. Disponible en http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/14-libro-deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales-jaime-suarez.html?download=136:070-5-litologiayestructurageologica.

Suarez G; Sánchez WJ. 2012. Desastres Riesgos y Desarrollo en Honduras. PNUD. 86 p.

Urios, JS. 2009. Basalto: Informe técnico. Costa Rica.

Vargas Mesa, JE. 2009. Evaluación de los métodos AASHTO y USCS en la caracterización del suelo del Barrio Mochuelo bajo en la localidad de ciudad Bolívar -propuesta de una metodología particular (en línea). Colombia. Consultado 3 de ene 2018. Disponible en http://repository.uniminuto.edu:8080/xmlui/bitstream/handle/10656/1391/TIC_VargasMesaJuan_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y

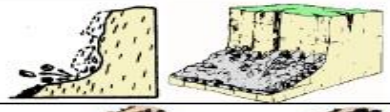
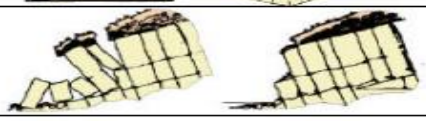
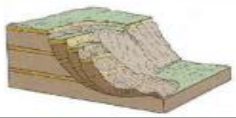
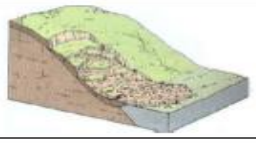
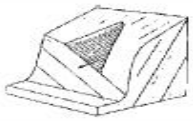
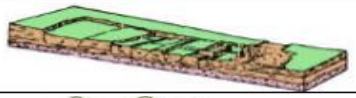
Vahrson, WG; Fallas, J. 1998. Evaluación Preliminar de tres métodos para estimar periodos de retorno para lluvias máximas de 24 horas para la estación San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, Nota de Investigación no.7.

USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional por sus siglas en ingles). 2014. Vulnerabilidad y resiliencia, frente al cambio climático en el occidente de Honduras. Estados Unidos. 115 p.

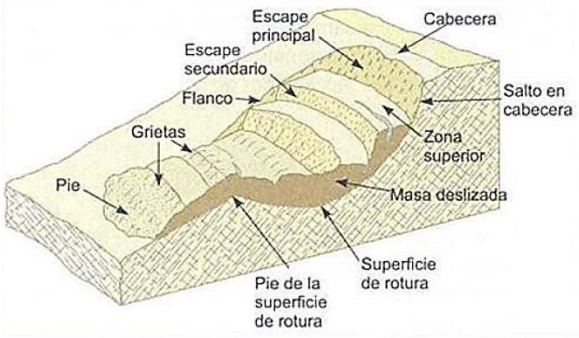
WEF (Foro Económico Mundial por sus siglas en ingles). 2018. Informe de riesgos mundiales 2018. 13 ed. Estados Unidos. Consultado 17 de abril 2018. Disponible en https://www.mmc.com/content/dam/mmc-web/Global-Risk-Center/Files/the-global-risks-report-2018-es.pdf

# ANEXOS

**Anexo 1.** Tipos de movimientos y mecanismos de deslizamientos

| MOVIMIENTOS DE LADERA | | |
|---|---|---|
| **MECANISMO** | **DIVISION** | **GRAFICO** |
| **Desprendimientos, Caídas** | **Rocas (suelos, detritos)** |  |
| **Vuelcos** | **Rocas (bloques) Flexural de roca o del macizo rocoso** |  |
| **Deslizamientos** | **Rotacionales** |  |
| | **Traslacionales** |  |
| | **En cuña** |  |
| **Desplazamientos Laterales** | **Lentos Por licuefacción** |  |
| **Flujos** | **Detritos Lodo** |  |
| **Reptación** | **Lentos** |  |
| | **Extremadamente lentos** | |
| **Fuente: Mora Chinchilla R 2004** | | |

**Anexo 2.** Partes de un deslizamiento[2]




[2] (Pinto 2016)

**Anexo 3.** Clasificación de suelos USCS

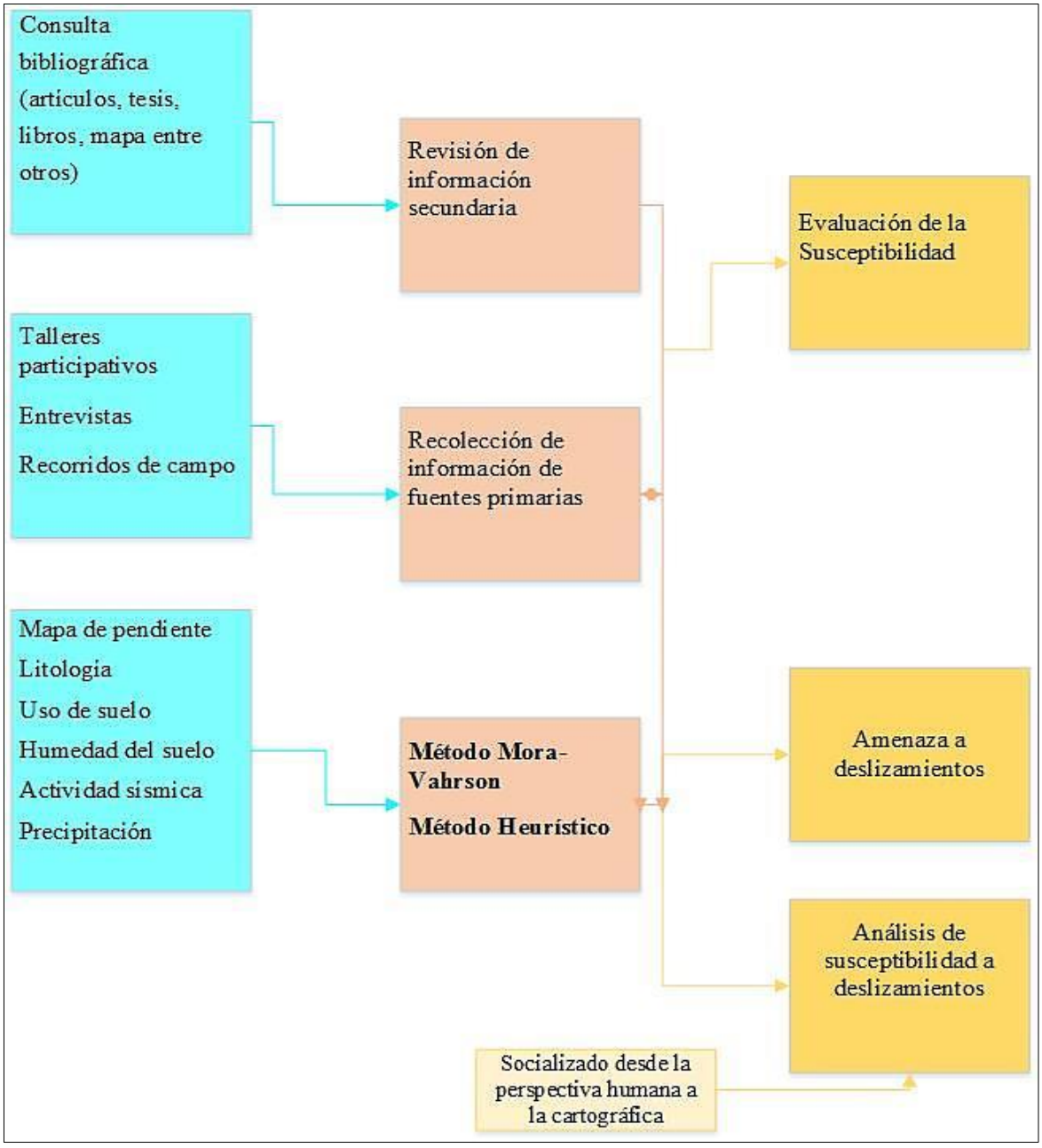
| Identificación en el campo (excluyendo las partículas mayores de 7,6 cm y basando las fracciones en pesos estimados | | | | | | Símbolo del grupo | Nombres típicos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Suelos de grano grueso-Más de la mitad del material es retenido por el tamiz N.° 200 (La abertura del tamiz N.° 200 corresponde aproximadamente al tamaño de la menor partícula apreciable a simple vista) | Gravas-más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N.° 4 | Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos) | Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios | | | GW | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos |
| | | | Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios | | | GP | Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos |
| | | Gravas con finos (cantidad apreciable de finos) | Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo *ML* más abajo) | | | GM | Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo |
| | | | Finos plásticos (para identificación ver el grupo *CL más* abajo) | | | GC | Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla |
| | Arenas-más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N.° 4 (Para la clasificación visual puede suponerse que la abertura del tamiz N.° 4 es equivalente a medio centímetro) | Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos) | Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios | | | SW | Arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos |
| | | | Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios | | | SP | Arenas mal graduadas, arenas con grava con pocos finos o sin ellos |
| | | Arenas con finos (cantidad apreciable de finos) | Finos no plásticos (para identificación ver el grupo *ML más* abajo) | | | SM | Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas |
| | | | Finos plásticos (para identificación ver el grupo *CL más* abajo) | | | SC | Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas y arenas y arcillas |
| | Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz N.° 40 | | | | | | |
| | Limos y arcillas con límite líquido menor de 50 | | Resistencia en estado seco (a la disgregación) | Distancia (reacción a la agitación) | Tenacidad (consistencia) | | |
| | | | Nula a ligera | Rápida a lenta | Nula | ML | Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad |
| | | | Media a alta | Nula a muy lenta | Media | CL | Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas |
| | | | Ligera a media | Lenta | Ligera | OL | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad |
| | Limos y arcillas con límite líquido mayor de 50 | | Ligera a media | Lenta a nula | Ligera a media | MH | Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos |
| | | | Alta a muy alta | Nula | Alta | CH | Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas |
| | | | Media a alta | Nula a muy lenta | Ligera a media | OH | Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta |
| Suelos altamente orgánicos | | | Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa | | | Pt | Turba y otros suelos altamente orgánicos |
| Los suelos que poseen características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. P. ej., *GW-GC*, mezcla bien graduada de arena y grava. Todos los tamaños de tamices se refieren al U.S. Standard. | | | | | | | |

Fuente: Rodríguez (2008)

**Anexo 4- .** Formula de Gumbel para obtener la precipitación máxima con los periodos de retorno de 50, 75, 100, 250, 500 años.

<table>
<tr><th colspan="2">Método de Gumbel</th></tr>
<tr><td>$$\boldsymbol{X = Xm + K(S_n - 1)}$$<br><br>Xm: Valor máximo promedio de precipitación<br>K: se obtiene médiate la siguiente formula<br>$$\boldsymbol{K = \frac{YT - Yn}{Sn}}$$<br>Yt: Variable de Gumbel para el periodo de retorno T; se obtiene por la formula<br>$\boldsymbol{Yt = -InIn\left(\frac{T}{T-1}\right)}$<br>Yn: Valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante tablas.<br>Sn: Valor que se obtiene a partir del número de años de la serie, mediante tablas.<br><br>$\boldsymbol{(S_n - 1)}$: desviación estándar de los valores extremos</td><td>$$\boldsymbol{X = Xm + K(S_n - 1)}$$<br>$\boldsymbol{T_{100\ años}}$ (2104)<br><br>Xm: 86.58 mm<br>Número de años de la serie: 34<br>$\boldsymbol{(S_n - 1)}$: 27.81mm<br>$\boldsymbol{Yt = -InIn\left(\frac{100}{100-1}\right)}$= 4.60015<br><br>1. Se encuentra el valor de K<br>$$\boldsymbol{K = \frac{4.60015 - 0.53959}{1.12555}}$$<br>$$\boldsymbol{K = 3.60762}$$<br>2: Con los valores se completa la formula<br>$$\boldsymbol{X = 86.58mm + 3.60762(27.81mm)}$$<br>$$\boldsymbol{X = 186.91\ mm}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\boldsymbol{T_{50\ años}}$<br>$$\boldsymbol{X = 169.65\ mm}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\boldsymbol{T_{75\ años}}$<br>$$\boldsymbol{X = 179.75\ mm}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\boldsymbol{T_{250\ años}}$<br>$$\boldsymbol{X = 209.65mm}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$\boldsymbol{T_{500\ años}}$<br>$$\boldsymbol{X = 226.77mm}$$</td></tr>
</table>

**Anexo 5.** Metodología resumida como un sistema




D.I, Ávila Velásquez

**Anexo 6**- Ficha de deslizamientos de COPECO PGIRD.

**FICHA DE CAMPO Evaluación de movimientos de ladera** | Nº 1

Fecha 22/10/17

Responsable de la inspección: Dariana Ávila y José Antonio

**TIPO DE MOVIMIENTO**:

Deslizamiento [X] Desprendimiento…..[ ] Vuelco…..[ ] Flujo [ ] Complejo [ ]

**DATOS DEL MOVIMENTO DE LADERA**

Fecha en que ocurrió el movimiento ____/__09__/____ 2017

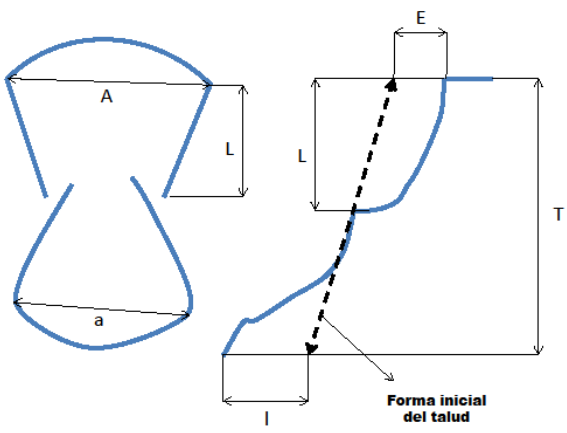
Departamento: La Paz Municipio: La Paz

Lugar: Los Nichos

Coordenadas: X: 0419597

Coordenadas Y: 1582603

**CONDICIONES TOPOGRÁFICAS Y GEOMETRICAS**




| |
|---|
| Altura de la corona: 150 (msnm) |
| Altura del talud (T): 75 (m) |
| Pendiente talud original: 45 (º) |
| Pendiente talud originado: 85 (º) |
| Escalones (1 ) Altura :_____(m) |

| |
|---|
| Medidas de la superficie de ruptura: |
| Ancho (A): 80 m |
| Largo (L): 70 (m) |
| Espesor (E): 140 (m) |
| Volumen (AxLxE) 784,000 ($m^3$) |

| |
|---|
| Grietas en parte superior corona: |
| Abertura |
| Longitud |
| Profundidad |

**"Estimación actual, no del antiguo evento"**

**MATERIAL DESLIZADO**

Suelos [X] Rocas [X] Relleno [ ] Basura y ripio [ ] Árboles [X]

Otros: El movimiento fue de un coluvión

Superficie de afectación: Ancho(a) 80 (m) Largo (l) 70 (m) Área ($a_x l$) 5,600 ($m^2$)

Ocupando cauce de río o quebrada [SI X] [NO] Permanece: [SI x] [NO]

Viabilidad de movilizar el material (manual, máquina…) ____Si

Características geotécnicas del material: Valor del RMR (Para macizos rocosos): [ ]

Ángulo de rozamiento interno: [36 ϕ] Cohesión: [ ]

**FACTORES DESENCADENANTES**

Precipitaciones: Intensas [ ] Prolongadas [X]

Tormentas/Huracanes [ ] Nombre:

Procesos de erosión o socavamiento [X] La quebrada erosiona el material suelto.

Sismos [ ]

Actividad antrópica [X] (Minería, Obra civil, Sobrecargas,….) Lo que se vino tapo parte de la calle y en la parte alta había plantaciones de café

**EVALUACIÓN DE DAÑOS**

Nº PERSONAS AFECTADAS: Ningunas VÍCTIMAS: Ninguna

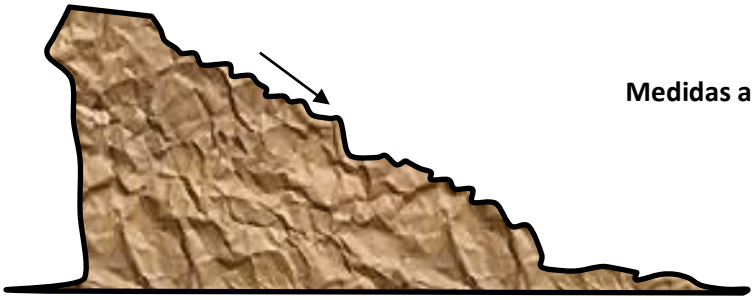
Nº VIVIENDAS AFECTADAS: Ninguna

INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS AFECTADOS (Descripción y situación mediante GPS): Carretera

¿EXISTÍAN MEDIDAS PREVENTIVAS? [SI] [NO X] Descripción:

**CROQUIS**

Diagrama en planta y perfil del deslizamiento, indicando situación de las medidas tomadas



**Medidas a tomar: Elaborar y ejecutar un sistema de drenaje**
**Para evitar que el suelo se sature y erosione.**

Carretera

**FOTOGRAFÍAS**





Se observa que es muy poca la profundidad de las raíces de los arbusto de café. Y la línea color café se observa que antes en esa zona ya se había dado un deslizamiento. Hay una quebrada que pasa a la orilla siendo permanente y esta pasa por la tubería bajo la calle.



Durante el Mitch esta zona hubo dos personas desaparecidas, y este deslizamiento se reactivó en gran magnitud.

Este en el lugar que esta se había presentado uno antiguo pero con la construcción de la carretera lo dejo inestable y ha cedido una parte del mismo junto con material vegetal.

**Anexo 7.** Inventario de deslizamientos en la zona sur oeste de la reserve biológica Montecillos y su zona de influencia

| MM | Imagen | Descripción | Coordenada | MM | Imagen | Descripción | Coordenada |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Deslizamiento Rotacional** |  | Deslizamiento **# 34** identificado en La Zona de los Nichos. Se observa que es muy poca la profundidad de las raíces. Y la línea color café se observa que antes en esa zona ya se había dado un deslizamiento.<br><br>Hay una quebrada que pasa a la orilla y que es permanente y esta pasa por la tubería bajo la calle. | X: 0419597<br>Y: 1582603 | **Vuelcos** |  | **# 4.** Esta es una gran roca del mismo material (Ignimbrita) , que comprende la zona sur de la Reserva**.** Actuamnente se estan presentando vuelcos dentro de la misma. | X: 415245<br>Y:1590038 |
| **Coluvion** |  | Deslizamiento **# 33** antiguo en la Zona Sur-Este de la Reserva.<br>En el que se observa que es un coluvión. Y que estos se pueden activar en un futuro. Encontrándose a orilla de calle. | X: 0419537<br>Y: 1583226 | **Rodado de roca (Vuelcos)** |  | **# 45**<br>Desprendimiento de la roca de la otra parte, lo cual es considerado un riesgo ya que en la parte baja hay poblacion. | X: 419286<br>Y: 1584494 |
| **Flujo (Derrubio)** |  | Deslizamiento en una finca de café a orilla de la carretera donde pasa una quebrada efímera. Este se dio en la última semana de Octubre del 2017. | X: 418943<br>Y: 1584703 | **Deslizamiento activo** |  | Deslizamiento **# 18** en el Coyolito en la zona norte del deslizamiento hay una mina. | X: 418429<br>Y: 1587529 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Escarpe** |  | **# 35**. Deslizamiento activo dede el Mitch. | X: 419571<br>Y: 1585911 | **Humedad (caida de arboles)** |  | **#5.** Debido a la cantidad de humedad en la zona se esta presentando la caida de los arboles.En un bosuqe de liquidambar | X: 415454<br>Y: 1590091 |
| Fotos: DI, Avila Velasquez | | | | | | | |

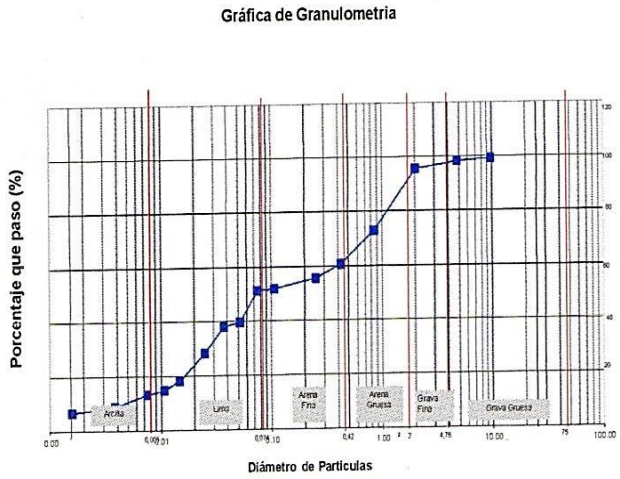
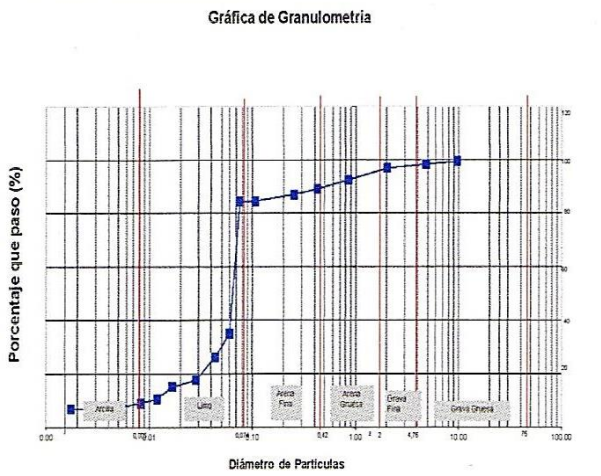
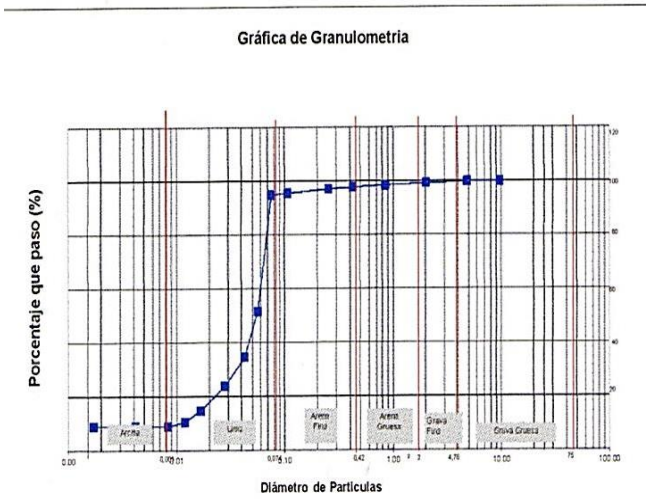
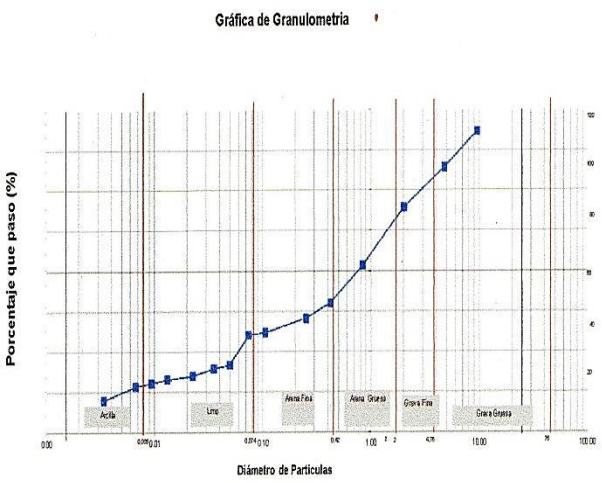
**Anexo 8.** Inventario de los movimientos en masa y factores que lo conducen

| No | Movimineto en Masa (MM) | Descripción | Coordenada |
|---|---|---|---|
| **1** | **Humedad en zona de deslizamiento** | En esta zona siempre se presnta humedad pero la naciente de agua ha cambiado ya que sale en otro lugar. | **X:** 415829 **Y:** 1590013 |
| **2** | **Humedad (Zona Pantanoza)** | En esta zona del Playon hay gran cantidad de nacientes de agua. | **X:** 415656 **Y:** 1590094 |
| **3** | **Laguna** | Zona de laguna hay de 12 lagunas en la zona del Playon | **X:** 415550 **Y:** 1590120 |
| **6** | **Deslizamiento inactivo** | Zona donde se dio un deslizamiento durante el Mitch, se logra observar la inestabilidad. | X:414880 Y: 1590033 |
| **7** | **Deslizamiento** | Deslizamientos que se dio antes del Mitch y se reactivo, actualmete hay gran cantidad de humedad. | X: 414840 Y: 1590039 |
| **8** | **Rodados de roca** | Se observan rodados de roca y grandes masa de suelo desplazado. | X: 414413 Y: 1590205 |
| **9** | **Deslizamiento** | Deslizamiento en la zona del rio chivito | **X:**414597 **Y:**1589849 |
| **10** | **Desprendimiento de suelo antrópico** | Moviemto de roca y suelo en la zoana de mina Chivito, ya que realizaban extaccion de minerales | **X:**414763 **Y:**1589334 |
| **11** | **Desprendimiento de suelo antrópico** | Moviento, en zona donde ha sido desviado el Rio Chivito. | **X:**414578 **Y:**1589442 |
| **12** | **Deslizamiento** | Deslizamiento en la parte alta de la fuente de agua de San Antonio del Playon | **X:**414157 **Y:**1588803 |
| **13** | **Escarpe** | Zona de Escarpe donde esta la parte mas alta de la reserva, se observa claramente el corte. | **X:**418642 **Y:**1588492 |
| **14** | **Flanco** | Esta la zona intermedia entre el escarpe y la corona del deslizamiento. | **X:**415082 **Y:**1588765 |
| **15** | **Pie de deslizamiento** | Pie de deslizamiento antiguo, donde esta afectando a los tanques del proyecto de agua | **X:**415279 **Y:**1588921 |
| **16** | **Deslizamiento** | Deslizamiento afectando infraestructura (Casa, iglesi, escuela) | **X:**415318 **Y:**1589089 |
| **17** | **Rodados** | Rodados de roca de gran tamaño | **X:**415385 **Y:**1589514 |
| **19** | **Deslizamiento** | Deslizamiento en la carretera hacia San Rafael | **X:**418252 **Y:**1588592 |
| **20** | **Deslizamiento** | Moviento em masa entre San Rafael y San Jose del Playon | **X:**417942 **Y:**1589099 |
| **21** | **Deslizamiento** | Deslizamiento en la zona de San Rafael el cual es ativacion del deslizamiento grande. | X: 417835 Y: 1588971 |
| **22** | **Desprendiendo de roca** | Desprendimiento de pequeña parte de roca laminada | **X:**417346 **Y:**1589050 |
| **23** | **Rio Ganzo** | Descripcion:Rio Ganzo. | X: 417014 Y: 1589070 |
| **24** | **Deslizamiento** | Deslizaminto a 500 m hay uno de gran magnitud. | X: 416019 Y: 1590033 |
| **25** | **Rodados de roca** | Rodados de Roca en San Antonio del playon en gran cantidad. | **X:**416034 **Y:**1590092 |
| **26** | **Deslizamiento** | Deslizamiento en la parte baja de la mina | **X:**418874 **Y:**1587076 |
| **27** | **Corona de deslizamiento fosilizado** | Corona de deslizamiento de Tierra Colorada y Agua Fria | **X:**418474 **Y:**1582218 |
| **28** | **Falla** | Falla del filo del Mico, donde nace el rio | **X:**417713 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | Tepanguere | **Y:**1585705 |
| **29** | **Desplazamiento** | Se observa el desplazmiento del suelo de unos 40 cm | **X:**417757<br>**Y:**1585687 |
| **30** | **Deslizamiento** | Se observan fracturaciones y en la parte baja una pequeña falla. | **X:**417857<br>**Y:**1585641 |
| **31** | **Deslizamiento** | Zona de Tepangure, deslizamiento antiguo | **X:**419571<br>**Y:**1585911 |
| **32** | **Desplazamiento** | En la zona de la quebrada Salada se logra obsevar la zona de escrpe y desplazmineto de 30 cm de suelo | **X:**419774<br>**Y:**1586424 |
| **36 y 37** | **Falla de deslizamiento** | Falla en la carretera del rio de Tepanguare. | **X**: 419893<br>**Y**: 1586059 |
| **38** | **Deslizamiento activo** | Deslizamiento activo desde el Mitch, dode se ha desalojado una familia | **X:**419419<br>**Y:**1585792 |
| **39** | **Deslizamiento activo ( Escarpe)** | Deslizamiento a orilla de calle de la Vega, habiendo poblacion en la zona de corona. | X: 419343<br>Y: 1585803 |
| **40** | **Deslizamiento Activo** | En la parte baja de la zona de escarpe circula el rio Tepanguare. | X:419305<br>Y: 1585788 |
| **41** | **Zona Vulnerable** | Casa vulnerable ya que esta a orilla del deslizamiento al noroeste. | X: 419203<br>Y: 1585749 |
| **42** | **Deslizamiento** | Humedad en el camino. | X: 418620<br>Y: 1585313 |
| **43** | **Rodados** | Rodado de roca. | X: 418179<br>Y: 1585170 |
| **44** | **Escarpe** | Zona de escrpe, evidente y de gran tamaño en la formacion Padre Miguel (El Gavilan, a 50m de filo del Mico) | **X:**418336<br>**Y:**1584831 |
| **46** | **Deslizamiento Activo** | Activacion de deslizamiento en la zona donde esa formacion de Grupo Honduras. | X: 419183<br>Y: 1584502 |
| **47** | **Humendad en zona de deslizamiento** | Humedad en zona de deslizamiento. | X: 419194<br>Y: 1584541 |
| **48** | **Humedad en zona de falla** | En esta zona se logra observar una falla habiendo de humedad. | X: 419199<br>Y: 1584542 |
| **49** | **Deslizamiento antiguo evidente** | Se observa la zona de escarpe del deslizamiento | **X:**419214<br>**Y:**15884540 |
| **50** | **Deslizamiento** | Zona de inestabilidad El Zancudal, en la parte baja se observa la perdida de carretera por el Plan del Sixto, | **X:**417012<br>**Y:**1587073 |
| **Otros movimientos en masa, fallas y humedad** | | | |
| | **Deslizamiento** | Deslizamiento de en la zona conocida plan del horno, donde hay materia de ceniza y limo. | **X**:419884<br>**Y**:1587431 |
| | **Deslizamiento** | Deslizamiento a orilla de carretera por las precipitaciones(Desencadenantes) | **X**:419864<br>**Y**:1587834 |
| | **Deslizamiento** | Deslizamiento en una finca de café de la zona del Astillero | **X**: 419968<br>**Y:** 1588109 |
| | **Deslizamiento** | deslizamiento de materia vegetal y suelo. | X: 419815<br>Y: 1588150 |
| | **Deslizamiento** | deslizamiento con arratre de material | X: 419800<br>Y: 1588161 |
| | **Deslizamiento** | Se observa la corona del mismo. | X: 419775<br>Y: 1588176 |
| | **Deslizamiento** | En una zona donde hay gran cantidad de roca y | X: 419762 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | arcilla se observa bajo la vegetacion la corona del deslizamiento el cual esta desplazandose. | Y: 1588180 |
| | **Escarpe** | En esta zona se observa el escarpe del deslizamiento que esta activo. | X: 419720<br>Y: 1588183 |
| | **Escarpe** | Se observa la zona escarpada donde las raices son poca la cantidad de suelo el cual sujeta. | X:419663<br>Y:1588154 |
| | **Fractura** | Se observa esta fracturacion a orilla de calle la cual se ha ido prolongando por la precipitaciones. | X:419634<br>Y:1588161 |
| | **Deslizamiento Activo** | Zona de la Vega gran cantidad de deslizamientos a orilla de carretera. | X: 419335<br>Y: 1585793 |
| | **Deslizamiento** | Deslizamiento a orilla del camino | X: 418699<br>Y: 1585494 |
| | **Zona del pie del deslizamiento** | Culticos a 1926 msnm | X: 418453<br>Y: 1584586 |
| | **Rodados** | Rodados de roca de ignibrita, en la parte baja consrva humedad. | X:418063<br>Y:1584474 |
| | **Fractura o coroda del deslizamiento** | Roca ( Cascada), donde se observa la fracturacion de deslizamiento antiguo. | X: 418064<br>Y: 1584492 |
| | **Escarpe** | Deslizamiento Antropico ya que esta a orilla de carretera. | X: 419719<br>Y: 1581912 |
| | **Zona de falla** | | X: 419172<br>Y: 1581575 |
| | **Escarpe a orilla de falla** | Se observa gan pendiente y en la parte baja pasa una quebrada, que se une al rio Tepanguare. | X: 418380<br>Y: 1585532 |
| | **Deslizamiento** | Corona del deslizamiento donde se logra observar todas sus parte y hay gran cantidad de rodados. Y cambio de uso de suelo. | X: 417858<br>Y: 1585604 |
| | **Zona de Falla** | Aquí pasa el rio Teapanguare donde hay una gran falla evidente. | X: 417845<br>Y: 1585648 |
| | **Rodados** | Rodados de roca de la zona de la de reserva. | X: 418419<br>Y: 1585547 |
| | **Falla y Movimiento en masa** | En la zona el Gavilan se observa la ruptura y materia deslizado. | **X**: 418064<br>**Y:** 1584492 |
| | **Corona de deslizamiento** | Esta es la zona de la corona del deslizamiento, en la parte baja se observa el escarpe. | **X:** 414519<br>**Y:** 1588588 |
| | **Falla de deslizamiento** | Falla de deslizamiento activo que pasa por la carretera. | **X**:419822<br>**Y:**1587979 |
| | **Humedad** | Esta laguna se encuentra a 1619 msnm. Lo cual indica que hay humedad en el sitio. | X: 418894<br>Y: 1585521 |
| | **Humedad en zona de deslizamiento** | Vertientes de en zona de deslizamiento inactivo | X: 418796<br>Y: 1584700 |
| | **Humedad** | | X: 418548<br>Y: 1582150 |
| | **Humedad** | Agua estancada. | X: 418219<br>Y: 1585175 |
| | **Humedad** | Agua se inflitra y su salida no se observa. | X: 418196<br>Y: 1585158 |

**Anexo 9.** Graficas de las muestras de suelo (Geotecnia)

| Muestra 1 | Muestra 2 |
|---|---|
|  |  |
| **Muestra 3** | **Muestra 4** |
|  |  |

**Anexo 10.** Muestras de suelo de la zona sur de la Reserva Bilógica Montecillos

| | **M# 5** | **M#6** | **M#7** | **Simbología** |
|---|---|---|---|---|
| Humedad de campo | 39.88 | 26.01 | 14.3 | % |
| Densidad seco | 1.06 | 1.13 | 1.23 | gr/ $cm^3$ |
| Densidad aparente con humedad | 1.42 | 1.39 | 1.4 | gr/ $cm^3$ |
| Porosidad | 46.4 | 47.5 | 47.1 | % |
| Formación geológica | Tpm | Ky | Tpm | |
| Geomorfología | Paleorelieve | Paleorelieve | Paleorelieve | |
| Angulo de rozamiento interno Según Rodríguez (2008) | 28-25 | 31 | 34 | $\phi$ |
| USCS | CL | ML | SW | |
| Coordenadas | **X**:418474 **Y**:1582218 | **X**:419721 **Y**:15819007 | **X**:419719 **Y**:1581912 | |

La muestra 5, fue tomada de la zona sur de la reserva biológica Montecillos, con contenidos de arcilla y arenas muy finas determinados en campo. La porosidad tiende a mostrar facilidad que las partículas de agua fluyan, mostrando en algunos casos suelos sueltos.

La muestra 6, fue tomada en la zona sur entre la línea divisoria de la reserva biológica Montecillos y su zona de influencia, en la cual se encontraron contenidos de limolita. Pendiente ondulada y cobertura de café. El problema de los suelos (Muestra 5 y 6) encogen cuando están secos y a hincharse húmedos provocando inestabilidad o movimiento en el suelo.

La muestra 7, fue tomada de la zona de influencia de la reserva biológica, donde hay gran cantidad de arenas y gravas encontrándose zeolitas Y pendiente con vegetación de pino y suelo desnudo. Comprendiendo la parte más alta de la corona de un deslizamiento fosilizado.

La muestra número 7 es de 14.3% lo que indica que son suelos flojos ya que se encuentra entre 12-16 % e humedad según tablas González *et al*. (2004)

La muestra número 5 es de 39.88 %y la muestra número 6 es de 26.01 % lo que indica según González *et al*. (2004) que son de consistencia media ya que está en el rango de 25-40% de humedad.

**Anexo 11.** Caserío de la zona sur oeste de la Reserva Bilógica Montecillos y su zona de Influencia

| **No** | **Caserío** | **No** | **Caserío** |
|---|---|---|---|
| 1 | Agua Fría | 18 | Tepanguare |
| 2 | Gramalito | 19 | El Astillero |
| 3 | La Crucita | 20 | El Ocotal |
| 4 | La Cueva de León | 21 | Filo del Mico |
| 5 | La Culebrina | 22 | La Coyota |
| 6 | Los Charcos | 23 | La Guadalupe |
| 7 | Sosomico | 24 | La Peña |
| 8 | Tierra Colorada | 25 | La Vega |
| 9 | San Jose del Playon | 26 | Los Nichos |
| 10 | El Papal | 27 | Pacheco |
| 11 | Laguneta | 28 | Piedra de Moler |
| 12 | Montana El Zancudal | 29 | Piedra Parada |
| 13 | San Rafael | 30 | Plan de Sixto |
| 14 | Agua Caliente | 31 | Plan del Durazno |
| 15 | El Coyolito | 32 | Plan del Horno |
| 16 | Grupo Playón No.3 | 33 | Rinconcillo |
| 17 | La Chorrera | 34 | San Antonio de La Fraternidad |

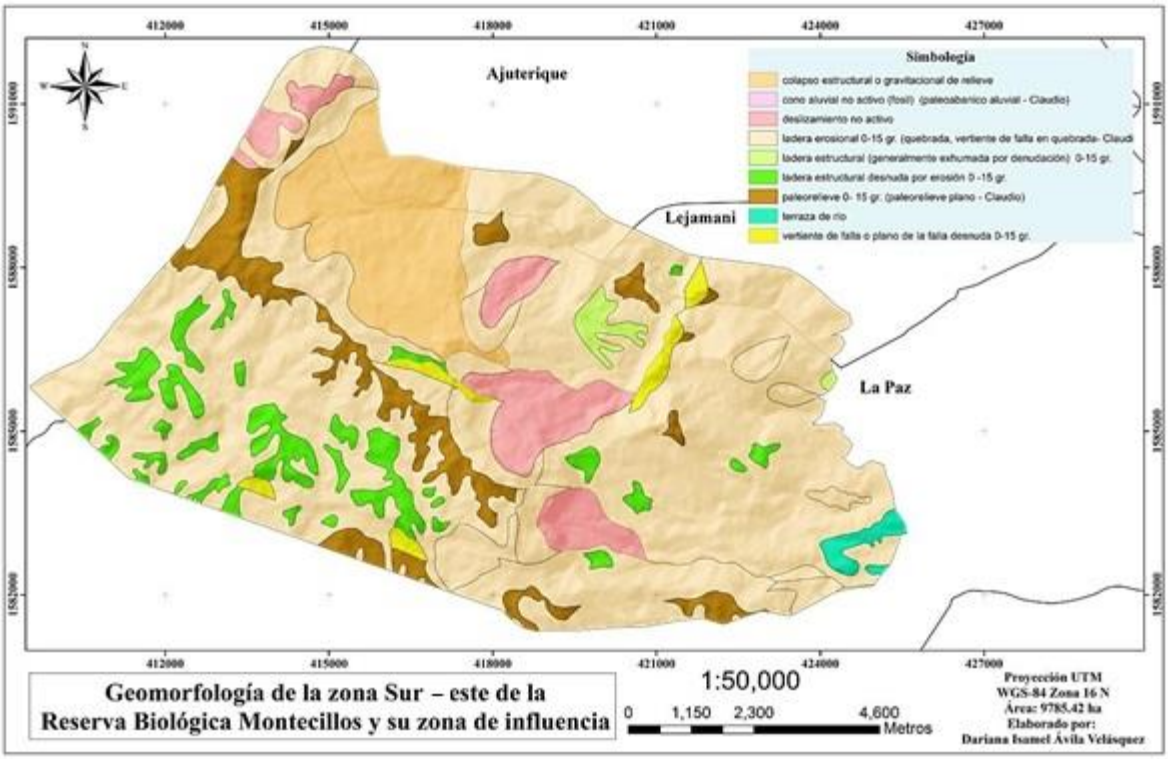
**Anexo 12.** Comparación de las muestras de suelo según el sistema USCS y clasificación AASHTO

| **Muestras** | **USCS** | **Descripción** | **Valor como terreno de apoyo** | **Comprensibilidad y expansión** | **Características de drenaje** | **Modificación de resistencia por cambios de humedad** | **Riesgo de deslizamiento de taludes** | **Fallos que presenta el terreno (Clasificación AASHTO) Vargas (2009).** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Comparación de las muestras en tablas según Alfaro ( 2012)** | | | | | |
| **M (1)** | SM | Arenas limosas | Mediano a bueno | Muy Ligera | Pobre a mediano | Baja | Bajo a medio | Se reblandece cuando llueve y en tiempo seco se vuelve sucio y polvoriento |
| **M (2)** | ML | Limos inorgánicos de baja comprensibilidad | Pobre a mediano | Ligera a media | Pobre a mediano | Media a alta | medio | Absorbe agua rápidamente perdiendo estabilidad. Susceptible de erosiones y lavado en épocas de lluvia. Posibilidad de hinchamiento del terreno |
| **M (3)** | ML | Limos inorgánicos de baja comprensibilidad | Pobre a mediano | Ligera a media | Pobre a mediano | Media a alta | medio | Absorbe agua rápidamente perdiendo estabilidad. Susceptible de erosiones y lavado en épocas de lluvia. Posibilidad de hinchamiento del terreno |
| **M(4)** | **GM** | Gravas limosas, mesclas de grava, arena y limo | Bueno | Muy ligera | Pobre a mediano | Muy baja | Muy bajo | Prácticamente ninguno |

**Anexo 13**: Relación de los grupos litológicos de la zona de estudio con los valores en tabla de González *et al.* 2004

| Formación | Descripción según Suárez (2002) | Según González *et al.* 2004 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Rocas** | **Cohesión ($kp/cm^2$)** | **Angulo de rozamiento Interno ($\phi$)** | **Porosidad** | **Densidad** | **USCS** |
| **Tj (Grupo Jutiapa)** | **Tobas (**estas son porosas, estas contienen materiales arcillosos que son expansivos provocando inestabilidad) **y ignimbritas.** Cuando son transportados por el agua los minerales procedentes de las rocas volcánicas son altamente inestables frente a la meteorización, | **Tobas** | 7 | 40-60 | 14-40 | 1.9 -2.3 | CL |
| | | Andesita | | | 10-15 | 2.2- 2.35 | - |
| | | Rolita | | | 4-6 | 2.4-2.6 | - |
| **Qal (Aluvial)** | **Las Lutitas** son unos de los materiales más complejos desde el punto de vista de inestabilidad de taludes ya que tiende a desintegrarse con el secado o humedecimiento siendo no pláticas. | **Lutitas** | 30-350 | 30-50 | 2-15 | 2.2-2.6 | ML |
| | Las areniscas son relativamente débiles cuando su cementación ha sido pobre. Se encuentran en la zona de influencia de la Reserva Biológica Montecillos) | **Arenisaca** | 8-350 | 30-50 | 5-25 | 2.3-2.6 | SW |
| **Ky ( Grupo Yojoa)** | **Calizas** (Por lo general dura y compacta pero presenta problemas geotécnicos relacionados con la disolución de $CaCo_3$ ). | **Calizas** | 50-400 | 35-50 | 5-20 | 2.3-2.6 | - |

**Anexo 14.** Geomorfología de la zona de estudio

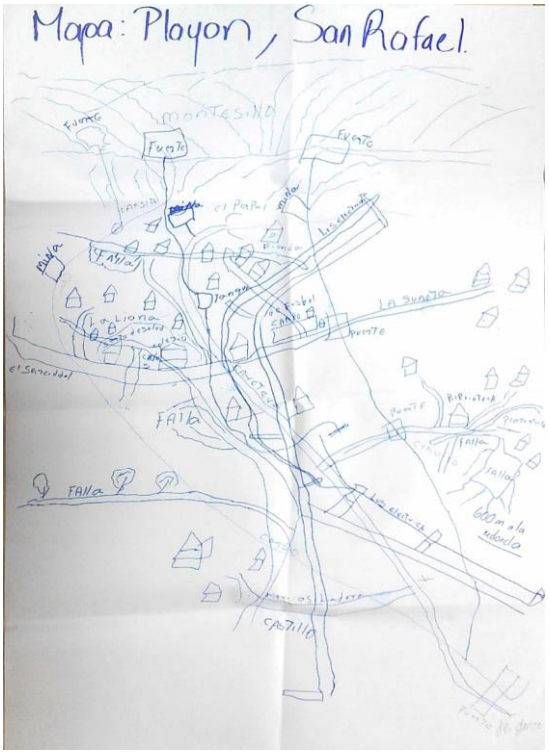
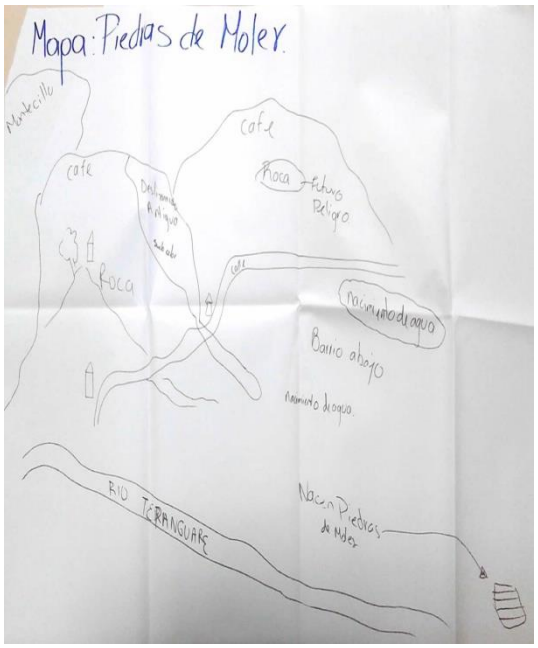


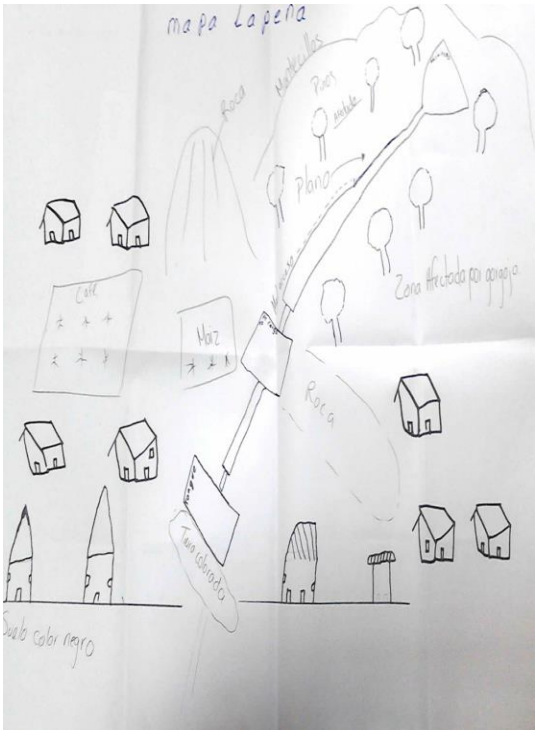
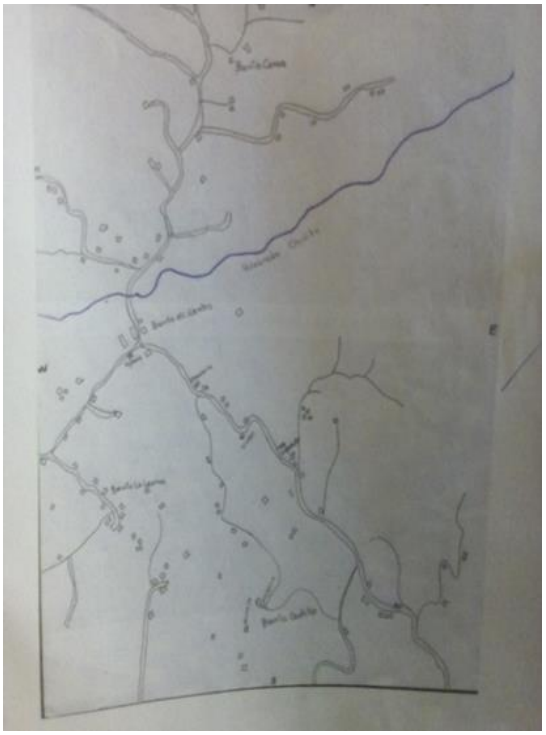

**Anexo 15.** Formas y unidades estructurales y tectónicas

| | Unidades | Descripción |
|---|---|---|
| **Endodinamicos** | **Vertiente de falla o plano de falla desnuda** | En la zona de estudio son laderas con pendiente moderada a fuerte, generalmente formadas por rocas fracturadas y con una actividad directamente relacionada con la de la propia falla identificándose cinco de ellas y una de las más grandes se encuentra en la fuente de agua de Tepanguare hasta donde continua el rio |
| | **Ladera estructural** | Se identificaron laderas estructurales desnudas por erosión y exhumadas por denudación. Presenta una susceptibilidad alta a deslizamientos. |

| | | |
|---|---|---|
| **Exodinámica** | **Paleorelieve** | En la zona de Sosomico se encuentra un bosque petrificado mostrando los restos de un relieve antiguo Presentan susceptibilidad media a deslizamientos. Una parte de la zona de Tepanguare está en paleorelieve y la otra en deslizamiento no activo |
| | **Ladera erosional (Quebrada, vertiente de falla en quebrada)** | Se origina en las laderas de las montañas Filo del Mico y vertientes, con diferentes inclinaciones (El gavilan). Esta cubre la mayor parte de la zona sur-oeste de la reserva Biológica y su zona de influencia. |
| | **Cono aluvial no activo (Fósil, Paleoabanico aluvial)** | En la zona de estudio es antiguo ya que anteriormente se depositaron sedimentos de ríos y quebradas |
| | **Colapso estructural o gravitacional de relieve** | Está presente entre la montaña del Zancudal y San José del Playón llegando hasta Ajuterique. Se observa la caída de masas de material, con una trayectoria vertical, debido a la socavación efectuada por fuentes de agua, pendiente la meteorización |
| | **Deslizamiento no activo** | Se observa de manera evidente los flancos y escarpes de los mismos, siendo una alerta ya que de estos se activaron en 2017 en la zona de la Peña y los Nichos. |
| | **Terrazas de rio** | Estos abarcan una pequeña pare de la zona de influencia de la reserva biológica Montecillos. Donde la pendiente es muy baja. |

**Anexo 16:** Percepción humana cartografía

| San José del Playón y San Rafael | La Guadalupe |
|---|---|
|  |  |
| **Piedras de Moler (La paz)** | **Tepanguare (La Paz)** |
|  |  |

| La Peña (La Paz) | San Antonio del Playon, Ajuterique |
|---|---|
|  |  |

**Anexo 17.** Formación de suelo de Agua Fría, La Peña, Los Nichos, La Guadalupe y la zona sur de la Reserva Biológica Montecillos.

