



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO**

### **FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**ESCUELA: AGRONOMÍA**

**CARRERA: INGENIERÍA GEOLOGÍA Y MINAS**

### **“DETERMINACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN EL ÁREA PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN DE LA REPRESA RIO SANTIAGO”**

Trabajo de titulación presentado previo a la Obtención del título de:

### **INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS**

**AUTOR:**

**Juan Carlos Tenorio Orellana**

Macas – Ecuador  
2016

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El tribunal del Trabajo Técnico de Titulación, Constituido por los Ing. Marco Antonio Mejía Flores e José Luis Torres Flores, Luego de receptor la presentación del Trabajo Técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología y Minas cuyo tema es **"DETERMINACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN EL ÁREA PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN DE LA REPRESA RIO SANTIAGO "** elaborado por el señor Juan Carlos Tenorio Orellana, ha sido revisado y verificado, dando fe de la originalidad del presente trabajo y emite el siguiente veredicto: Se ha aprobado el informe del Proyecto Técnico por lo que se recomienda proceder a la recepción de la defensa oral.

En la ciudad de Macas a los 17 días del mes de Agosto del 2016

  
Ing. José Luis Torres Flores  
**DIRECTOR**

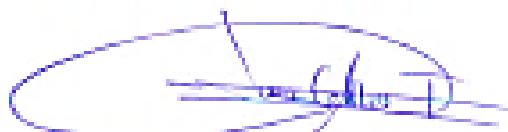
  
Ing. Marco Antonio Mejía Flores  
**MIEMBRO**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo Juan Carlos Tenorio Orellana, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales, los textos constantes y los documentos provenientes de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Macas 21 de agosto del 2016.



Juan Carlos Tenorio Orellana  
CL:140067957-5

## DEDICATORIA

*Con amor respeto y consideración para mis padres; Juan Carlos Tenorio y Fabiola Orellana, quienes han sido los pilares fundamentales en el desarrollo de este trabajo de titulación y a la vez me han forjado con esmero y dedicación durante mi trayecto de vida, infundiéndome valores fundamentales de fe y perseverancia.*

## AGRADECIMIENTO

*A mi director Ing. José Luis Torres por la ayuda que me ha prestado en el trabajo de titulación, apoyo con ideas y la excelente atención que brindada durante todo el proceso de realización del proyecto.*

*A mi asesor Ing. Marco Mejía por apoyarme en el desarrollo de este trabajo de titulación.*

*Al ing. Jefferson Jaramillo por ser guía y amigo para la culminación de este documento quien me ha guiado con ideas y conocimientos sólidos sobre este tema tan importante.*

*En general a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por su gran labor al darnos la oportunidad de obtener una profesión y ser una ayuda para la sociedad.*

*Y a nuestros familiares y amigos por todos sus buenos deseos y palabras de apoyo que nos brindaron durante todo este tiempo.*

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL</b> -----	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<b>DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD</b> -----	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<b>DEDICATORIA</b> -----	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> -----	<b>IV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> -----	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> -----	<b>3</b>
<b>1. MARCO REFERENCIAL</b> -----	<b>4</b>
<b>1.1. ANTECEDENTES</b> -----	<b>4</b>
<b>1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> -----	<b>4</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> -----	<b>5</b>
<b>1.4. OBJETIVOS</b> -----	<b>5</b>
<b>1.5. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS</b> -----	<b>5</b>
<b>2. GENERALIDADES</b> -----	<b>6</b>
<b>2.1. UBICACIÓN Y ACCESO</b> -----	<b>6</b>
<b>2.2. CLIMA Y TEMPERATURA.</b> -----	<b>7</b>
<b>2.3. HIDROGRAFÍA</b> -----	<b>7</b>
<b>CAPITULO II</b> -----	<b>8</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> -----	<b>9</b>
<b>2.1. GEOLOGÍA REGIONAL</b> -----	<b>9</b>
<b>2.2. GEOMORFOLOGÍA</b> -----	<b>12</b>
<b>2.3. FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA</b> -----	<b>14</b>

2.3.1. CAÍDA (FALL)	14
2.3.2. VUELCOS (TOPPLES)	15
2.3.3. DESLIZAMIENTOS (SLIDES)	15
2.3.4. FLUJO (FLOW)	15
2.3.5. PROPAGACIÓN LATERAL.	15
2.3.6. MOVIMIENTOS COMPLEJOS	16
<b>2.4. ANÁLISIS DE AMENAZAS CON EL MÉTODO MORA-VAHRSON</b>	<b>16</b>
2.4.1. LITOLOGÍA	19
2.4.2. HUMEDAD DEL SUELO.	20
2.4.3. PENDIENTE DEL TERRENO.	20
2.4.4. PRECIPITACIÓN	21
2.4.5. SISMICIDAD	22
2.4.6. CLASES DE SUSCEPTIBILIDAD Y SUS CALIFICATIVOS DE ACUERDO AL GRADO DE AMENAZA	23
<b>2.5. PREVENCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA ZONA DEL PROYECTO</b>	<b>25</b>
2.5.1. CRITERIOS DE SEGURIDAD	25
2.5.2. LA PREVENCIÓN	25
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>27</b>
<b>3. MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>28</b>
3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	28
3.2. TRABAJO DE CAMPO	30
3.3. GEOLOGÍA LOCAL	31

3.3.1. FORMACIÓN SANTIAGO (JS) -----	31
3.3.2. MIEMBRO VULCANO SEDIMENTARIO (J-S (VS))-----	32
3.3.3. MIEMBRO CALCÁREO (J-S (CZ)) -----	33
3.3.4. ROCAS INTRUSIVAS (T-DAB)-----	33
3.3.5. MATERIALES NO CONSOLIDADOS DE LA FORMACIÓN MERA (TQ-M)-----	34
3.3.6. MATERIALES NO CONSOLIDADOS RECIENTES -----	35
3.3.7. SUELOS RESIDUALES (QS): -----	36
3.3.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL -----	36
3.3.9. FALLAS -----	37
3.3.10. FRACTURAS-----	38
3.3.11. ESTRATIFICACIÓN-----	39
<b>3.4. MODELAMIENTO CON EL MÉTODO MORA-VAHRSON -----</b>	<b>40</b>
3.4.1. ELABORACIÓN DEL MAPA DE PENDIENTES -----	40
3.4.2. ELABORACIÓN DEL MAPA DE HUMEDAD DEL SUELO-----	41
3.4.3. ELABORACIÓN DEL MAPA LITOLÓGICO-----	42
3.4.3.1. Determinación de la Calidad de roca (RQD)-----	43
3.4.3.2. Caracterización del macizo rocoso en socavones-----	45
3.4.4. CONDICIONES LITOLÓGICAS -----	47
3.4.5. ELABORACIÓN DEL MAPA DE PRECIPITACIÓN -----	47
3.4.6. ELABORACIÓN DEL MAPA DE ACTIVIDAD SÍSMICA.-----	48
3.4.7. ELABORACIÓN DEL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD. -----	49
<b>CAPÍTULO IV -----</b>	<b>51</b>



<b>4. ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>52</b>
<b>4.1. ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD O AMENAZA</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>55</b>
<b>5.1 CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
<b>CAPITULO VI</b>	<b>58</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>59</b>
<b>SUMARY</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>61</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1-1: Mapa de localización del área de estudio.</i>	6
<i>Figura 1-2: Mapa Geológico Regional del Área de estudio.</i>	9
<i>Figura 2-2: Mapa de Elevaciones de la Zona</i>	13
<i>Figura 1-3: Metodología para valoración de amenaza por FRM, aplicando SIG y factores de análisis combinados y ponderados. Fuente: UNL, SENPLADES, CLIRSEN, IGM, MAGAP, UPGR y SNGR-octubre 2010</i>	29
<i>Figura 2-3: Modelamiento en 3D del área de estudio</i>	40
<i>Figura 3-3: Modelamiento del mapa de pendientes</i>	40
<i>Figura 4-3: Modelamiento del mapa mensual de humedades</i>	41
<i>Figura 5-3 Modelamiento final de la sumatoria de humedades mensuales</i>	42
<i>Figura 6-3: Modelamiento del mapa litológico</i>	42
<i>Figura 7-3: Modelamiento y clasificación del mapa litológico de acuerdo al método Mora-Vahrson</i>	43
<i>Figura 8-3: Modelamiento del mapa de precipitación</i>	48
<i>Figura 9-3: Modelamiento del mapa de actividad sísmica</i>	49
<i>Figura 10-3: Modelamiento final del mapa de susceptibilidad.</i>	50
<i>Figura 11-3: Mapa de amenaza del área de estudio.</i>	52

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1-3: Formación Santiago, afloramiento</i> .....	31
<i>Fotografía 2-3: Alternancia de paquetes de estratos delgados y estratos gruesos.</i> .....	32
<i>Fotografía 3-3 : Paquetes de estratos delgados.</i> .....	32
<i>Fotografía 4-3: Alternancia de areniscas calcáreas y brechas calcareas.</i> .....	33
<i>Fotografía 5-3: Materiales de origen volcánico tipo lahar</i> .....	35
<i>Fotografía 6-3: Depositos de talud.</i> .....	35
<i>Fotografía 7-3: Suelo residual</i> .....	36
<i>Fotografía 8-3: Falla con estrías laterales, estructuras de media luna.</i> .....	38
<i>Fotografía 9-3: Falla con aumento en la intensidad de fracturas</i> .....	38
<i>Fotografía 10-3: Estratificación con tendencia horizontal.</i> .....	39
<i>Fotografía 12.3 Socavón de la margen Izquierda</i> .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> <i>Parámetro de susceptibilidad litológica</i> -----	19
<b>Tabla 2-2:</b> <i>Parámetros de humedad del suelo</i> -----	20
<b>Tabla 3-2:</b> <i>Valoración del parámetro de humedad (Sh)</i> -----	20
<b>Tabla 4-2:</b> <i>Valoración del parámetro Sp.</i> -----	21
<b>Tabla 5-2:</b> <i>Parámetro de precipitación</i> -----	22
<b>Tabla 6-2:</b> <i>Parámetro de sismicidad</i> -----	22
<b>Tabla 7-2:</b> <i>Grado de amenaza de acuerdo al potencial de susceptibilidad</i> -----	23
<b>Tabla 8-2:</b> <i>Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento</i> -----	23
<b>Tabla 1-3</b> <i>Datos estructurales del levantamiento geológico de campo</i> -----	30
<b>Tabla 2-3:</b> <i>Datos estaciones M497, M501; promedio de un periodo de 12 años</i> -----	41
<b>Tabla 3-3</b> <i>Criterio de Don W. Deere</i> -----	43
<i>(1964) y Don U. Deere (1989) para RQD.</i> -----	43
<b>Tabla 4-3</b> <i>Valores de recuperación y RQD</i> -----	44
<b>Tabla 5-3</b> <i>Valores de recuperación y RQD en las zonas medias y altas de ambas márgenes</i> -----	45
<b>Tabla 6-3:</b> <i>Datos de máxima precipitación en 24 horas de un periodo de 12 años.</i> -----	48
<b>Tabla 7-3:</b> <i>Grado de amenaza de acuerdo al potencial de susceptibilidad</i> -----	50

## INTRODUCCIÓN

El Ecuador como país andino, amazónico, costero, tiene un conjunto de características físicas y una geodinámica que condiciona el advenimiento de las amenazas naturales. Vertientes empinadas y de gran extensión, planicies fluviales con pendiente débil, ubicación ecuatorial a la orilla del Océano Pacífico, precipitaciones pluviométricas abundantes, formaciones geológicas sensibles a la erosión, zonas de subducción de la placa oceánica de Nazca con las placas continentales de Sudamérica y del Caribe, cuyo choque genera volcanismo activo, tsunamis de muy corto plazo de advertencia y terremotos de alta intensidad o magnitud a través de fallas geológicas activas.

Las consecuencias reales y potenciales de los desastres, debido a su magnitud, gravedad y alcance, obligan a prestar mayor atención a las actividades de planificación y de prevención frente a los procesos geológicos. Los efectos de los fenómenos naturales deben enfocarse no solo desde el punto de vista humanitario y social, sino también económico. Así, los desastres de origen natural constituyen un serio obstáculo para el desarrollo económico y social del país.

De allí nace la importancia de concientizar a la sociedad acerca de la necesidad de prestar una mayor atención tanto a las actividades y acciones de preparación y prevención de los desastres, así como el hecho fundamental de que la prevención de los desastres y su planificación anterior, deben formar parte integrante de la política general de desarrollo. La educación de la sociedad es de vital importancia para despertar y alertar a la comunidad respecto de los peligros de desastres a corto, mediano y largo plazo y sirve para lograr una mayor cultura de prevención, reducción de riesgos y conciencia pública, así como fomentar una acción de la sociedad orientada a prevenir o mitigar los efectos perjudiciales de los

fenómenos naturales. Los desastres de origen natural, antrópicos y tecnológicos, están a menudo unidos entre sí, de forma que los unos conducen a los otros en una sucesión de acontecimientos, por estas razones es importante considerar la prevención de riesgos como una temática importante en los proyectos que se desarrollan dentro el país.

En los últimos años en el Ecuador se han planteado una variedad de megaproyectos, entre estos, proyectos hidroeléctricos como el PH Santiago, que busca promover e impulsar el desarrollo de fuentes renovables de energía en el país; considerando que para cada uno de estos se realicen estudios encaminados a la prevención de riesgos y evitar así la pérdida de vidas humanas, económicas y ambientales.

En este contexto y luego de un análisis relacionado a la ocurrencia de desastres en el país, se ha creído necesario el desarrollo del tema de tesis denominado: **“DETERMINACIÓN DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN EL ÁREA PROPUESTA PARA CONSTRUCCIÓN DE LA REPRESA RIO SANTIAGO”**, temática de gran importancia y relevancia que pretende evitar desastres en el sitio de estudio. Para la obtención de los resultados se realizaron varias visitas de campo que permitieron levantar la información necesaria para el análisis de cada una de las temáticas abordadas en el tema de tesis.

El trabajo de gabinete finalmente permitió organizar la información para la realización de cada uno de los mapas de amenaza geológica y de esta forma cumplir con los objetivos planteados; finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones, las cuales están orientadas a la zonificación de amenazas geológicas, y así prevenir y mitigar los riesgos en la zona del proyecto.

## **CAPÍTULO I**

## **1. MARCO REFERENCIAL**

### **1.1. Antecedentes**

El relieve topográfico abrupto y la actividad sísmica, combinados con una meteorización profunda, conllevan a una alta e inusual incidencia de amenazas por movimientos en masa.

Estos movimientos son procesos importantes en los países andinos y significan una pesada carga para sus habitantes y para los proyectos de ingeniería civil en general. De hecho, algunos de los peores desastres asociados a movimientos en masa en el mundo han ocurrido en la región Andina. Además de estos grandes eventos, cientos de pequeños movimientos en masa interrumpen las actividades normales en ciudades, pueblos y carreteras todos los años, provocando daños y muerte a sus habitantes y causando serias pérdidas económicas.

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta, la hidrósfera y la atmósfera. Así, si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, por otra la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos que incluyen la acción del hombre, actúan sobre las laderas ocasionando su inestabilidad y los consecuentes cambios en el relieve hacia a una condición menos inclinada. Esto implica que la posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa comienza desde el mismo momento en que se forma una ladera natural o se construye un talud artificial y que el análisis de tal posibilidad involucra distintas disciplinas de las ciencias de la tierra y del medio ambiente, así como de las ciencias naturales. Lo anterior ha conducido a una vasta producción literaria sobre el tema de las amenazas por movimientos en masa, además de la ya existente sobre estabilidad de taludes.

### **1.2. Planteamiento del problema**



Los Riesgos Geológicos presentes en la zona de construcción de la Presa del Proyecto Rio Santiago pueden ocasionar problemas tanto en la ejecución como en la vida útil del proyecto.

### **1.3. Justificación**

La construcción del Proyecto Rio Santiago requiere de un estudio técnico para determinar los riesgos geológicos presentes en la zona de construcción de la represa y que pueden ocasionar problemas en la ejecución y funcionamiento de la obra.

Es por ello que el presente estudio intenta identificar amenazas de remoción en masa en base a los estudios técnicos y características geológicas para que los ejecutores de la construcción tomen medidas de gestión de las posibles amenazas.

### **1.4. Objetivos**

#### *1.4.1. Objetivo general:*

Determinar las amenazas por fenómenos de remoción en masa para la construcción de la represa Rio Santiago.

#### *1.4.2. Objetivos específicos.*

- Determinar los mapas base a utilizar para la zonificación de amenazas geológicas.
- Determinar la peligrosidad ante procesos geológicos en la zona de estudio.
- Elaborar los diferentes mapas de amenazas identificadas en la zona.

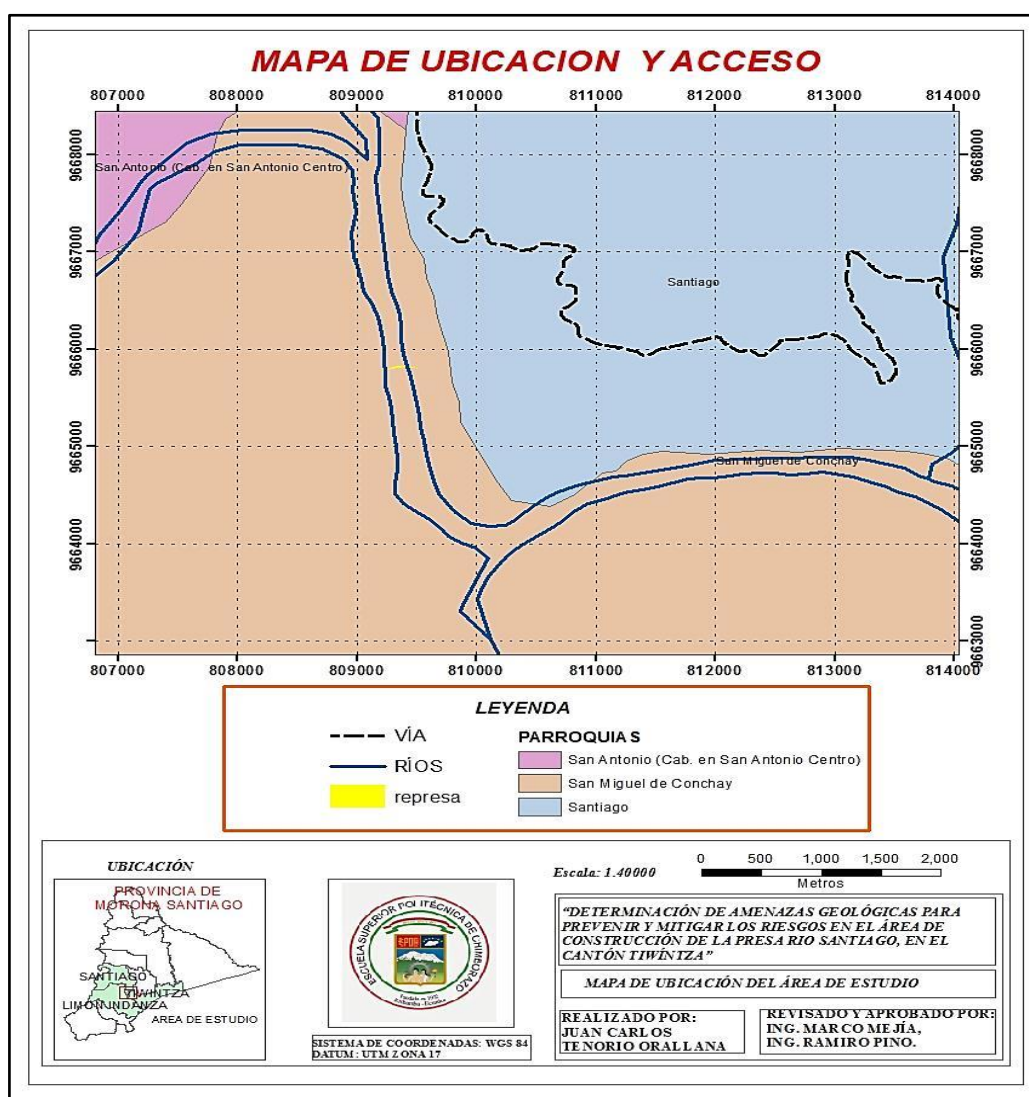
### **1.5. Planteamiento de la hipótesis**

Con una adecuada gestión de riesgos de las amenazas por fenómenos de remoción en masa específicamente, se podrá garantizar la vida útil de la presa del hidroeléctrico Rio Santiago.

## 2. GENERALIDADES

### 2.1. Ubicación y acceso

El área de proyecto se ubica en las coordenadas son: 812000 E, 9 666000 N y 814000 E, 96664000 N . El embalse comprende los cantones de Tiwintza, Limón Indanza y Santiago de Méndez y los ríos Santiago, Zamora, Namangoza, Paute, Negro y Upano.



**Figura 1-1: Mapa de localización del área de estudio.**  
 Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

El acceso se lo puede realizar a partir de la ciudad de Cuenca o la ciudad de Sucúa, tomando las vías de primer orden y segundo orden en las provincias de Azuay y Morona Santiago, como se muestra en la figura 1-1.

## **2.2. Clima y Temperatura.**

Presentan dos climas típicos de la región oriental: el clima tropical húmedo o cálido súper húmedo y el clima cálido ardiente húmedo o ecuatorial.

Con una altitud de 280 metros sobre el nivel del mar y ubicado entre la cordillera del Cutucú y la del Cóndor, se recibe la influencia directa del clima tropical húmedo con una temperatura promedio de 22°C y con precipitaciones continuas.

## **2.3. Hidrografía**

La zona de estudio se localiza al sureste del país, dentro de la Región Hidrográfica Amazonas. El área de estudio involucra las cuencas de los ríos Zamora, Namangoza y Santiago, siendo la cuenca del Santiago la zona de influencia directa donde se construirá la represa.

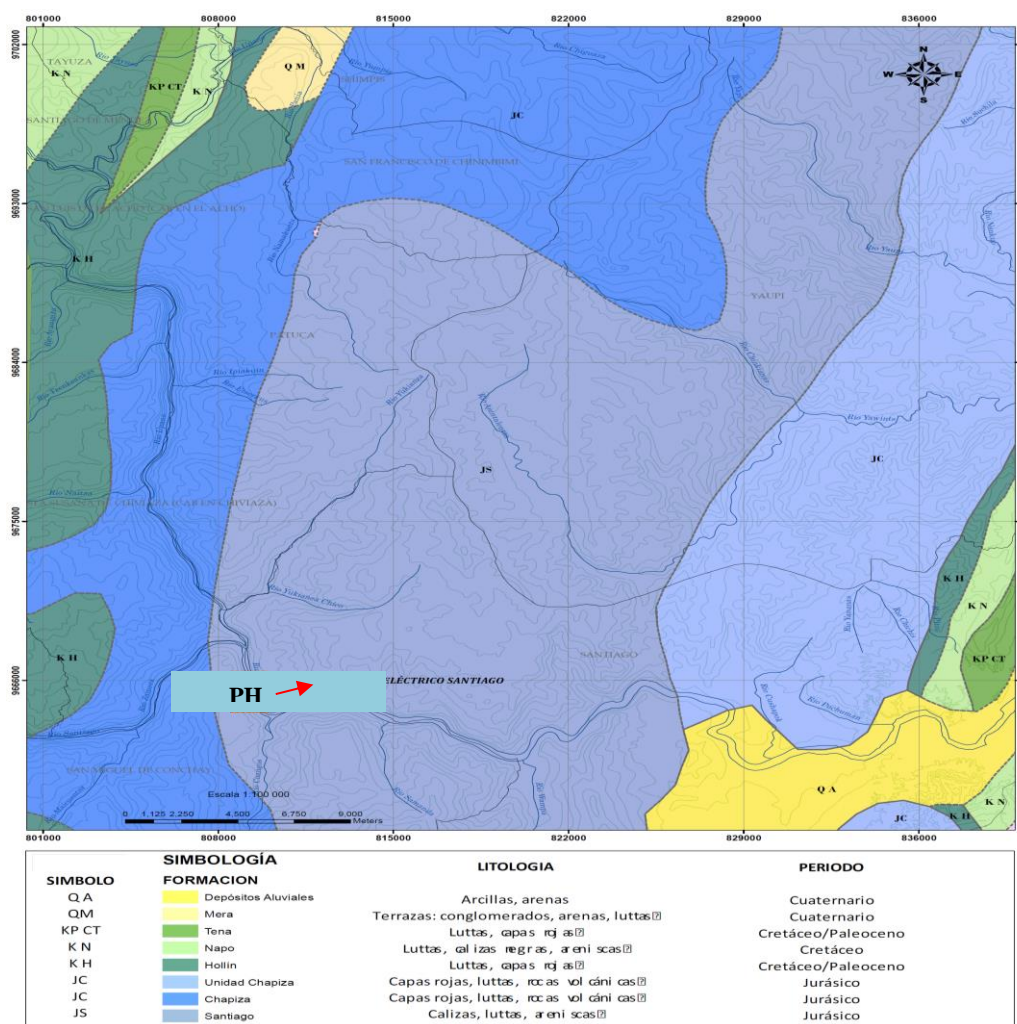
## **CAPITULO II**

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona subandina del Ecuador, en las estribaciones orientales de la Cordillera Real.

En el mapa geológico regional, se indican las unidades y formaciones geológicas que afloran en la región, las cuales se describen a continuación:



*Figura 1-2: Mapa Geológico Regional del Área de estudio.*  
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

### **Formación Santiago (JS)**

La Fm. Santiago del periodo jurásico inferior y de un ambiente de depositación marina fue descrita por Litherland et al., 1994, en la cordillera del Cutucú ubicada en la Zona Subandina y la definió como un paquete de calizas marinas, calizas silíceas grises, lutitas, areniscas, areniscas calcáreas, rocas volcánicas y turbiditas; asignándole un espesor aproximado de 2000 m.

Se ha definido como una secuencia de rocas sedimentarias, en su mayoría areniscas calcáreas, areniscas brechoides, calizas y lutitas estratificadas, además intercaladas con estas rocas se encuentran horizontes de derrames o coladas de lava andesíticos y brechas, así como horizontes de espesor fino de material netamente tobáceo presentes tanto entre los estratos vulcano sedimentarios como entre los estratos calcáreos, lo que indicaría procesos eruptivos contemporáneos a la sedimentación.

### **Formación Misahuallí (JM)**

Por su posición estratigráfica se considera entre los periodos Jurásico superior hasta Cretácico inferior de origen principalmente Volcánico, Según Romeauf et al. En 1995 y Díaz et al. En 2004, la Fm. Misahuallí se considera como la fase volcánica del arco magmático continental, la cual tiende a acuñarse hacia el este de la cuenca oriental, Litherland et al. 1994, de manera general incluyen a todas las rocas de origen volcánico restringidas al cinturón subandino dentro de esta formación. Además la describen como unidad litológica conformada por basaltos y traquitas verdes a grises, tobas y brechas tobáceas violetas a rosadas, lutitas rojas, areniscas y conglomerados; también reportan estructuras de pillows lavas en basaltos en el río Nangaritzta y piroclastos con pocos o sin sedimentos inter estratificados, pero en muchos lugares asociados con intrusiones porfídicas subvolcánicas.

**Formación Hollín (KH)**

La Fm. Hollín del periodo Cretácico inferior de origen continental y en parte marino. Estas rocas fueron descritas por Wasson T. y Sinclair J.H. en 1927, como una secuencia que se encuentran conformada principalmente por areniscas cuarzosas de color blanco, intercaladas con horizontes delgados de lutitas y lutitas carbonosas de color negro; estas últimas son frecuentes en la porción superior de la secuencia; entre las areniscas también observaron impregnaciones de asfalto. La localidad tipo de la formación la determinaron sobre el río Hollín.

**Formación Napo (KN)**

La Fm. Napo entre los periodos Cretácico Medio y Cretácico Superior, con un ambiente de depositación en un mar transgresivo. Las rocas que constituyen a esta formación fueron descritas en 1927 por Wasson T. y Sinclair J. H., como una intercalación de calizas fosilíferas de color gris oscuro, lutitas de color gris oscuro, negro y verde y areniscas calcáreas de color gris oscuro; la localidad tipo la determinaron al oeste y este de Puerto Napo. En 1953, Tschopp dividió a las rocas de esta formación en tres miembros: Inferior, caracterizado por la predominancia de lutitas y areniscas; Medio, con abundancia de calizas fosilíferas, escasos horizontes de lutitas y areniscas calcáreas y Superior, representado por el predominio de lutitas y escasos horizontes calcáreos.

**Formación Mera (QM)**

La Fm. Mera de la Época Plioceno-Pleistoceno de ambiente de depositación de tipo continental tipo fluvial formando terrazas aluviales. La Fm. Mera fue descrita por Tschopp en

1953, considerada como la formación más joven del oriente con una edad pleistocénica, indicativa del último periodo importante de fallamiento y levantamiento.

Dentro de la zona del proyecto se presenta como una secuencia de sedimentos clásticos gruesos con un grado de cementación variable, formando una alternancia de tobas arenosas y limosas con varios lentes u horizontes de conglomerados gruesos con estratificación cruzada.

## **2.2.GEOMORFOLOGÍA**

La zona subandina, donde se localiza el proyecto, se caracteriza por presentar elevaciones y valles alargados de orientación principalmente NNE-SSW; en esta zona el río Santiago se constituye en el límite geográfico de la Cordillera de Cutucú en su margen izquierda y la de El Cóndor hacia su margen derecha.

En la Zona Subandina, se definen dos zonas morfológicas, la primera desde las estribaciones de la cordillera Real hasta las estribaciones de la cordillera del Cutucú, corresponde al dominio del río Upano (entre 450,0 a 700,0 msnm) formando un valle rectangular limitado por taludes aproximadamente verticales, que culminan en una explanada controlada por las rocas de la Fm. Mesa y por los lahares del Upano, producto de las erupciones del volcán Sangay incluidos dentro de la Formación Mera.

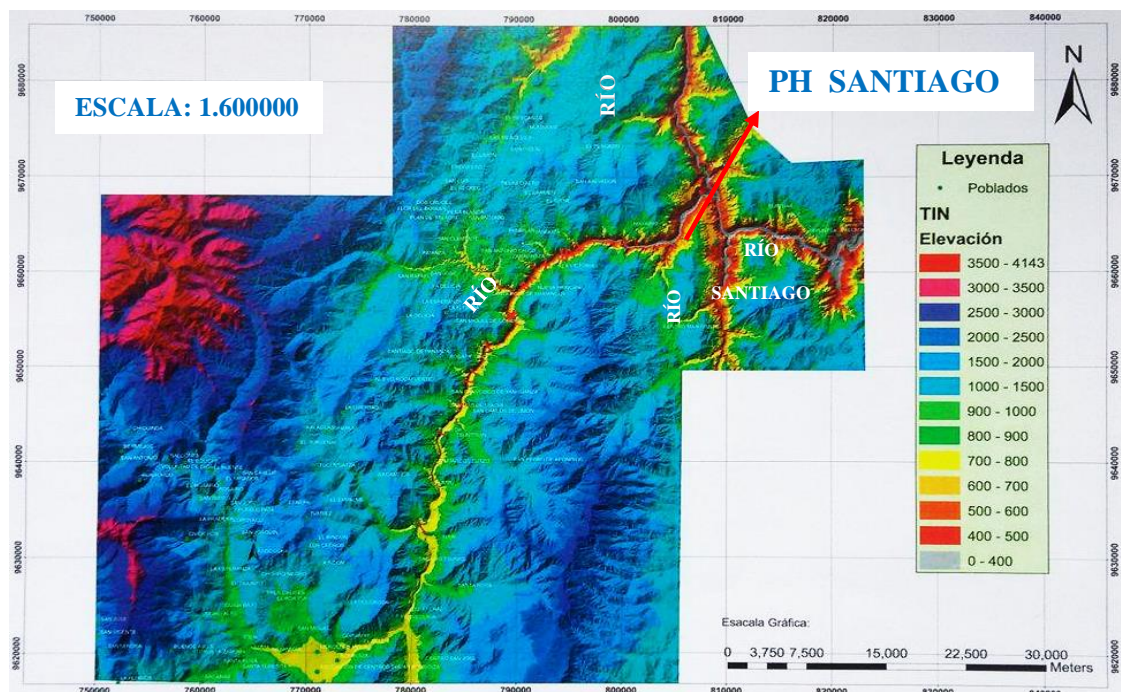
La segunda zona morfológica corresponde a las estribaciones de las cordilleras Cutucú y El Cóndor, con elevaciones que se ascienden a más de 2500,0 msnm, donde se aprecia una distribución en elevaciones de diversa orientación, controlados por la diversidad litológica del sector, en el cual los valles son en V.



Las rocas de la Fm. Santiago generan valles estrechos y verticales con cascadas y saltos principalmente en las zonas de desembocadura de los afluentes. Las rocas volcánicas de la Fm. Misahualli forman igualmente valles estrechos y taludes verticales, las rocas de la Fm. Mera, generan formas con taludes verticales y valles estrechos.

Las rocas del intrusivo Zamora, donde el río labró la mayor parte de su cauce, presentan pendientes fuertes y valles cerrados en las partes bajas. Los depósitos coluviales generan valles amplios, extendidos y aplanados.

En resumen la morfología regional está caracterizada por la presencia de valles en forma de V o rectangulares de pendientes fuertes con tendencia a la vertical y que terminan en zonas aplanadas, donde se observan elevaciones de cimas semi redondeadas y suaves pendientes



**Figura 2-2: Mapa de Elevaciones de la Zona**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), sobre la base topográfica imagen satelital.

## **2.3.FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA**

Los fenómenos de remoción en masa se definen como el proceso gravitacional que involucra movimientos pendientes abajo de roca, regolito y/o suelo, bajo la influencia directa de la gravedad. Puede ser causado por varios factores, ya sean geológicos, morfológicos, físicos o humanos.

La clasificación de los *fenómenos de remoción en masa* o también conocidos como movimientos de ladera, depende de los criterios utilizados para su diferenciación. La clasificación usada en el presente estudio se apoya en las publicadas anteriormente de Varnes, 1958, Ayala, F.J.et. al. 1987, Corominas, J. & Yagüe, A., 1997, Highland & Johnson, 2004 y se basa fundamentalmente en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento utilizando básicamente criterios morfológicos. Se diferencian los siguientes tipos básicos de deslizamientos: Caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales, reptaciones y sus sub-clasificaciones.

### **2.3.1. CAÍDA (FALL)**

Conocido también como: desprendimiento, colapso según Corominas, J. & Yagüe, A., 2013 o rockfall según Highland & Johnson, 2004. La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamientos Varnes D. , 1978. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca o caída de suelo.

### **2.3.2. VUELCOS (TOPPLES)**

Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. La fuerza desestabilizadora es la gravedad así como el empuje ejercido por el terreno adyacente o los fluidos (agua o hielo) en las grietas Corominas, J. & Yagüe, A., 2013.

### **2.3.3. DESLIZAMIENTOS (SLIDES)**

Es un desplazamiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante Corominas, 1989.

### **2.3.4. FLUJO (FLOW)**

Bajo este sustantivo se agrupan a diferentes movimientos de ladera que tienen en común la deformación interna y continúa del material y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento Varnes D. , 1978. En algunos casos la superficie de rotura se puede asimilar a toda una franja de deformación. Las diferencias estriban en el material implicado, su contenido en agua y la velocidad de desarrollo, de lenta (reptación) a súbita (flujos de rocas).

### **2.3.5. PROPAGACIÓN LATERAL**

La propagación lateral es un movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre por deformación interna o expansión del material.

Varnes D. , 1978 distingue dos tipos de propagación, uno en que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas y otro que ocurre en suelos cohesivos que sobreyacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales de flujo plástico.

### **2.3.6. MOVIMIENTOS COMPLEJOS**

Con frecuencia, los movimientos de ladera implican uno o más tipos de movimientos. Estos movimientos de masa complejos se manifiestan por las diferentes partes de la masa movilizada o por las distintas etapas del desarrollo de los movimientos Varnes D. , 1978. Así, es común que una masa comience a moverse con un determinado tipo de rotura y posteriormente evolucione en su desplazamiento a otro tipo de movimiento.

## **2.4. ANÁLISIS DE AMENAZAS CON EL MÉTODO MORA-VAHRSON**

Para el desarrollo de la metodología tenemos que considerar estos términos tan importantes como son:

**Amenaza:** Cualquier factor externo de riesgo con potencial para provocar daños sociales, ambientales y económicos en una comunidad durante determinado periodo de tiempo.

**Vulnerabilidad:** Factor complejo interno de riesgo o sistema que corresponde al grado de exposición a sufrir algún daño por la manifestación de una amenaza específica, ya sea de origen natural o antrópico, debido a su disposición intrínseca de ser dañado.

**Riesgo:** Magnitud probable del daño a las personas y sus bienes, en un territorio o ecosistema específico (o en algunos de sus componentes) en un periodo momento determinado, relacionado con la presencia de una o varias amenazas potenciales y con el grado de vulnerabilidad que existe en ese entorno.

***Riesgo volcánico:*** según SEMPLADES El concepto de peligrosidad volcánica engloba todo el conjunto de eventos que se pueden esperar en un determinado volcán y que pueden provocar daños a personas o bienes expuestos. Estos eventos pueden ser muy diversos, como coladas de lava, flujos piroclásticos, caída de cenizas. Por este motivo, generalmente, en un área volcánica activa se elabora un mapa de peligrosidad por cada uno de los peligros esperables en dicha área.

SEMPLADES genera un mapa de riesgo volcánico en el cual se excluye al volcán Sangay por tener una actividad regular y estar alejado de los centros poblados, para nuestro estudio el riesgo se considera nulo por estar a una distancia considerable de 150 km aproximadamente, para mayor apreciación ver el ANEXO E.

### ***Introducción al método mora Vahrson.***

Este método propuesto por Mora, Vahrson, 1993, fue desarrollado en Tapanti, en el valle central de Cosa Rica. Es de tipo explícito y semianalítico y tiene por objeto predecir la amenaza por Fenómenos de Remoción en Masa o FRM.

En este método se consideran dos tipos de elementos, pasivos y activos. Dentro de los elementos pasivos se incluyen: el relieve relativo, la litología y la humedad del suelo, la combinación de estos elementos se realiza considerando que los FRM ocurren cuando una ladera adquiere un grado de susceptibilidad, determinado por los elementos activos como son la sismicidad y la intensidad de lluvias o precipitaciones, éstos actúan como elementos de disparo que alteran el equilibrio, la mayoría de veces precario que mantienen las laderas.

De esta forma se considera que el grado o nivel de amenaza es el producto de la susceptibilidad y de la acción de los elementos de disparo.

$$\mathbf{H} = \mathbf{EP} * \mathbf{D}$$

Dónde:

**H:** grado de susceptibilidad al deslizamiento

**EP:** valor producto de la combinación de los elementos pasivos

**D:** valor del factor de disparo.

Por su parte el valor de los elementos pasivos se componen de los siguientes parámetros:

$$\mathbf{EP} = \mathbf{S_I} * \mathbf{S_H} * \mathbf{S_P}$$

Dónde:

**S<sub>I</sub>:** valor del parámetro de litológica

**S<sub>H</sub>:** valor del parámetro de humedad del terreno

**S<sub>P</sub>:** valor del parámetro de pendiente

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros

$$\mathbf{D} = \mathbf{D_{LL}} + \mathbf{D_s}$$

**D<sub>LL</sub>:** valor del parámetro de disparo por lluvia

**D<sub>s</sub>:** Valor del parámetro de disparo por sismicidad

Sustituyendo los parámetros apropiados, la ecuación original se puede expresar como.

$$H = (S_I * S_H * S_P) * (D_{LL} + D_S)$$

A continuación se describe cada uno de los parámetros, activos y pasivos, que intervienen en la valoración del grado de susceptibilidad al deslizamiento de una zona determinada.

#### 2.4.1. Litología

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas. La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, etc., influyen claramente en la estabilidad o inestabilidad de las laderas Mora, Vahrson, 1993.

En la tabla 1-2 se muestra el valor y la calificación que se asigna dependiendo del tipo de litología obtenida en el área de estudio.

**Tabla 1-2:** Parámetro de susceptibilidad litológica

Litología	Calificación	Factor SI
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas. Características físicas mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno	Bajo	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas Calizas duras permeables Rocas intrusivas, calizas duras características físico mecánicas: resistencia al corte media a elevada	Moderado	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas, niveles freáticos relativamente altos	Medio	3
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con los niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos altos	Muy Alto	5

Fuente: Tomado de Mora & Vahrson, 1993

### 2.4.2. Humedad del suelo.

Este parámetro considera la precipitación media mensual y se le asigna valores de acuerdo a la clasificación según Mora Vahrson.

En las tablas 2-2, 2-3 se indica los rangos de precipitación y su clasificación según su precipitación media mensual.

**Tabla 2-2:** Parámetros de humedad del suelo

Precipitación media mensual (mm/mes)	Valor asignado
< 125	0
125 – 250	1
> 250	2

Fuente: Tomado de Mora y Vahrson, 1993

**Tabla 3-2:** Valoración del parámetro de humedad (Sh)

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

Fuente: Tomado de Mora y Vahrson, 1993

### 2.4.3. Pendiente del terreno.

Este parámetro utiliza las clases de pendiente de Zuidman, 1986. Con las cuales se describen los procesos característicos y esperados, además de las condiciones del terreno, así como una leyenda de colores sugerida por los autores. Las clases de pendientes pueden coincidir con los sectores críticos, donde los procesos de deslizamiento son dominantes Zuidman, 1986.



En la tabla siguiente se indica las características del terreno según su pendiente en grados y el valor asignado.

**Tabla 4-2:** Valoración del parámetro Sp.

Pendiente	Condiciones del terreno	Color sugerido	Valor del parámetro Sp
Grados			
0-2	Planicie, sin denudación apreciable	Verde oscuro	0
2-4	Pendiente muy baja, peligro de erosión	Verde claro	1
4-8	Pendiente baja, peligro severo de erosión	Amarillo	2
8-16	Pendiente moderada, deslizamientos accionales, peligro severo de erosión	Naranja	3
16-35	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos	Rojo claro	4
35-55	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	Rojo oscuro	5
> 55	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada	Morado	6

Fuente: Tomado de Mora y Vahrson, 1993

#### **2.4.4. Precipitación**

Este parámetro considera la máxima precipitación en 24 horas y se le asigna valores de acuerdo a la clasificación según mora Vahrson.

En la tabla siguiente se indica el valor que se debe asignar según la máxima precipitación en 24 horas.

**Tabla 5-2:** Parámetro de precipitación

precipitación máxima mm/día	Descripción	Factor D <sub>LL</sub>
< 100	Muy bajo	1
101 – 200	Bajo	2
201 – 300	Medio	3
301 – 400	Alto	4
> 400	Muy alto	5

Fuente: Tomado de Mora y Vahrson, 1993

#### 2.4.5. Sismicidad

Se ha observado que el potencial de generación de deslizamientos por actividad sísmica puede correlacionarse con la escala de intensidades de Mercalli-Modificada MORA R, 1992. En la tabla siguiente se indica una calificación según aceleración del suelo y la intensidad del sismo.

**Tabla 6-2:** Parámetro de sismicidad

<b>Intensidad Mercalli- Modificada</b>	<b>Aceleración Pico (%g)</b>	<b>Aceleración PGA (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Calificación</b>	<b>Valor Ds</b>
III	1-12	0,098 - 1,226	Leve	1
IV	13-20	1,227 - 2,011	Muy bajo	2
V	21-29	2,012 - 2,894	Bajo	3
VI	30-37	2,895 - 3,679	Moderado	4
VII	38-44	3,680 - 4,365	Medio	5
VIII	45-55	4,366 - 5,445	Elevado	6
IX	56-65	5,446 - 6,426	Fuerte	7
X	66-73	6,427 – 7210	Bastante fuerte	8
XI	74-85	7,211 - 8,388	Muy fuerte	9
XII	>85	> 8,389	Extremadamente fuerte	10

Fuente: Tomado de Mora y Vahrson, 1993

Para los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada. Por este motivo, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos, para el área de estudio, en cinco clases de susceptibilidad y asignar los calificativos que se presentan en la siguiente tabla Mora, 2004.

**Tabla 7-2:** Grado de amenaza de acuerdo al potencial de susceptibilidad

$SUS = [ L * P * H ] * [ S + LI ]$		
<i>Potencial</i>	<b>Clase</b>	<b>Grado de amenaza</b>
0 – 6	I	Muy baja
7 – 32	II	Baja
33 – 512	III	Moderado
513 – 1251	IV	Alto
> 1251	V	Muy alta

Fuente: Mora Vahrson, 1991.

#### **2.4.6. Clases de susceptibilidad y sus calificativos de acuerdo al grado de amenaza**

**Tabla 8-2:** Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento

<b>Clase</b>	<b>Calificativo de susceptibilidad</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>I</b>	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.
<b>II</b>	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños son susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc. los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado

<b>III</b>	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bio estabilización de terrenos, etc. los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendado para usos urbanos de baja densidad.
<b>IV</b>	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta (< 50%) en caso de lluvias de intensidad alta. Para su utilización se debe realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
<b>V</b>	Muy alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta (> 50%) en caso de lluvias de intensidad alta. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección.

Fuente: Tomado de Mora R, 1992.

Se debe enfatizar que esta clasificación relativa de la susceptibilidad se basa en la influencia que tienen las diferentes condiciones examinadas en un área específica; es decir, las áreas de susceptibilidad determinadas para un sitio son válidas únicamente para este sitio. Condiciones similares, encontradas fuera del sitio, pueden producir un resultado diferente por una pequeña diferencia en alguno de los factores Mora, 2004.

## **2.5. PREVENCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA ZONA DEL PROYECTO**

El Ecuador es un país con un rango amplio de amenazas de origen natural, vulnerabilidades humanas y de su infraestructura, a tal grado que el riesgo enfrentado es de dimensiones importantes. Se manifiesta un nivel de riesgo muy elevado, en plazos de tiempo prolongados, particularmente hoy en día, cuando un incremento en la ocupación de terrenos y en la densidad poblacional, expone a más personas e infraestructura al peligro, más que nunca en la historia.

### **2.5.1. Criterios de seguridad**

El Sistema Nacional de Reducción de Desastres, que debe constituir una estructura y procesos que permitan a nuestro país, reducir, frenar y controlar el desarrollo de los riesgos de un desastre. Además, se debe ofrecer una opción para enfrentar de forma articulada y coordinada los aspectos o componentes de la Prevención, la Preparación, Mitigación y Respuesta de desastre, la Rehabilitación y Reconstrucción así como de la Alerta Temprana el conocido Círculo o Ciclo de Gestión de Desastres.

### **2.5.2. La Prevención**

El componente de la prevención constituye un conjunto de acciones cuyo objeto es impedir, reducir o evitar que sucesos naturales o generados por la actividad, provoquen o generen desastres.

La prevención es la única medida que permite a una comunidad, mitigar los efectos de la naturaleza: sus costos son considerablemente inferiores a los de la atención y rehabilitación. Así, la prevención es responsabilidad de todos.

Los gobernantes deben considerar el factor prevención en todos los programas de planificación nacional, regional y local. Por lo tanto, las obras de ingeniería, como puentes, carreteras, entre otras obras deberán estar diseñadas y construidas con capacidad para tolerar los embates de la naturaleza.

Las zonas susceptibles a las inundaciones, deben contar con las obras de drenaje necesarias y en buen estado.

El tema de tesis está enfocado a la importancia de la prevención, la cual está orientada y enfocada a intervenir la amenaza para impedir o evitar su ocurrencia o evitar sus consecuencias eliminando la exposición de los elementos vulnerables.

En este contexto es necesario e importante identificar el tipo peligro a la que se expone la zona de estudio, evaluar la misma y definir las zonas de amenaza alta, media o baja, al igual que las zonas de riesgo, información que sirvan de base para el ordenamientos territorial de la zona en desarrollo.

### **CAPÍTULO III**

### 3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

#### 3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo de este trabajo se contó con la recolección bibliográfica de información correspondiente a la zona del proyecto; se contó con el empleo y análisis de fotografías aéreas escala 1:60 000, cartas topográficas escala 1:25 000, imágenes de satélite LANDSAT TM, modelos de elevación del terreno y datos de estaciones meteorológicas.

Las imágenes satelitales se procesaron mediante el paquete Global Mapper versión 11 y ARCGIS versión 10.3; se generaron los mapas temáticos con mayor detalle soportados por los recorridos de verificación de campo.

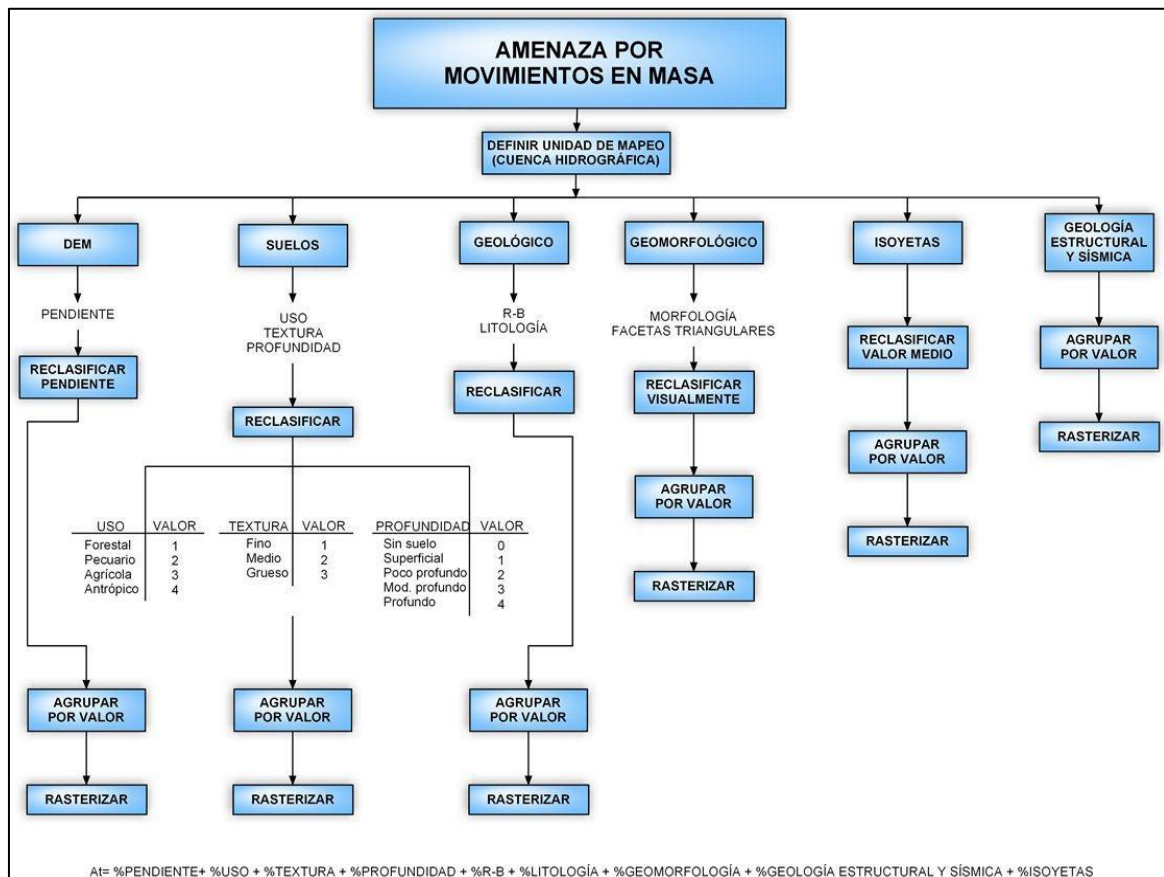
Finalmente el trabajo de gabinete el cual se basó en la aplicación del método de Mora y Vahrson el cual permitió la evaluación de la amenaza considerando todos los factores condicionantes y desencadenantes para llevar a cabo el mapa de zonificación de amenazas de la zona de estudio.

Este método considera cinco factores que son: el relieve relativo, la litología, la humedad del suelo, la sismicidad y la intensidad de lluvias. La combinación de los tres primeros (elementos pasivos) se realiza considerando que los fenómenos de remoción en masa ocurren cuando una ladera adquiere un grado de susceptibilidad, debido a la interacción entre la pendiente, la litología y la humedad del suelo.

Bajo estas condiciones, los factores externos y dinámicos, como la sismicidad y las lluvias intensas (elementos activos) actúan como elementos de disparo que destruyen los equilibrios, la mayoría de las veces precarios, que mantienen las laderas.



En la figura siguiente se muestra un diagrama de flujo con la metodología utilizada por SEMPLADES para la elaboración del mapa de amenaza del área de estudio.



**Figura 1-3: Metodología para valoración de amenaza por FRM, aplicando SIG y factores de análisis combinados y ponderados. Fuente: UNL, SENPLADES, CLIRSEN, IGM, MAGAP, UPGR y SNGR-octubre 2010**

### 3.2. TRABAJO DE CAMPO

**Tabla 1-3** Datos estructurales del levantamiento geológico de campo

DATO ESTRUCTURAL	COORDENADA X	COORDENADA Y	OBSERVACIONES	CARACTERÍSTICA
N15W/8SW	809119	9666052	formacion santiago	estratos delgados
N14W/11SW	809133	9666087	formacion santiago	estratos delgados
N10E/4NW	809163	9666111	suelo residual	arcillas
N50E/3NW	809001	9666052	formacion santiago	arenisca brechoides
N10E/21NW	809069	9665957	formacion santiago	arenisca brechoides
N50W/14SW	809017	9665796	miembro calcareo	arenisca calcareas
N15W/5NE	809078	9665774	miembro calcareo	roca masiva
N35W/12SW	809153	9665630	miembro calcareo	brechas calcáreas
N45E/25NW	809116	9665510	miembro calcareo	brechas calcáreas
N65W/26NE	809112	9665479	miembro calcareo	arenisca calcareas
N50W/6NE	809006	9665245	suelo residual	arcillas
N25E/5NW	808945	9665228	contacto for sant/ suel residual	contacto
N8E/9SE	808942	9665185	contacto for sant/ suel residual	contacto
N60E/9SE	809047	9665159	formacion santiago	estratos delgados
N22E/6SE	809143	9665136	contacto for sant/ suel residual	contacto
N10E/16SE	809438	9664470	formacion mera	marerial semiconsolidado
N85E/10SE	809335	9664415	formacion santiago	contacto
N35W/4NE	809431	9664357	dep talud	fragmentos angulosos
N50W/7SW	809366	9664315	dep talud	fragmentos angulosos
N65W/20NE	809930	9664588	contacto for sant/ suel residual	fracturamiento
N5W/8NE	809784	9664697	contacto for sant/ suel residual	contacto
N2E/4NW	809802	9664746	contacto for sant/ suel residual	fracturamiento
N70W/4NE	809743	9664830	contacto for sant/miembro calcareo	fracturamiento
N12E/16NW	809776	9664870	miembro calcareo	brechas calcáreas
N2E/4SW	809745	9664917	contacto for sant/miembro calcareo	fracturamiento
N42W/12NE	809741	9664958	contacto for sant/ suel residual	contacto
N31E/10NW	809930	9665074	miembro calcareo	areniscas calcareas
N70W/11SW	809835	9665104	miembro calcareo	brechas calcáreas
N25W/2NE	809734	9665191	suelo residual	arcillas
N24W/8SW	809635	9665374	miembro calcareo	areniscas calcareas
N12E/7SE	809499	9665796	contacto for sant/dep talud	fracturamiento
N81W/2NE	809463	9665819	contacto for sant/dep talud	fracturamiento
N24W/11SW	809236	9665789	contacto for sant/dep talud	fracturamiento
N7W/4SW	809231	9665763	contacto for sant/dep talud	fracturamiento
N27E/22NW	809271	9666098	contacto for sant/for mera	fracturamiento

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

Los estudios de exploración geológica que se realizaron en el área de estudio, se basaron en levantamientos geológicos a escala 1: 2000 y toma de datos estructurales. El levantamiento geológico de detalle se realizó a escala 1: 100 en los socavones excavados como se puede observar en el ANEXO A, uno en cada margen, para un total de 303,0 m. De esta forma se pudo conocer las características geológicas, el comportamiento estructural y la determinación de la calidad de la roca.

### **3.3.GEOLOGÍA LOCAL**

#### **3.3.1. Formación Santiago (Js)**

Constituido principalmente por un paquete vulcano sedimentario, se puede considerar como una secuencia rítmica pues tienden a repetirse más o menos de forma cíclica, en algunos casos bien definida, pues en general en cada paquete se observa una gradación normal con las granulometrías más gruesas en la base y gradualmente va pasando a las finas hacia la cima; en otras ocasiones se observa interrumpido el ciclo al no tenerse completa la transición, esta formación se constituye por miembros que serán descritos a continuación:



**Fotografía 1-3: Formación Santiago, afloramiento**  
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

### 3.3.2. Miembro vulcano sedimentario (J-s (vs))

A este miembro lo constituye una alternancia de paquetes de rocas de estratos delgados con paquetes masivos, dentro del primero se encuentran areniscas, limolitas y areniscas tobáceas, mientras que en el segundo, están las areniscas brechoides y brechas vulcano sedimentarias, ambos paquetes presentan espesores variables y cambios texturales. En la zona de construcción de la presa todo el conjunto de horizontes presenta ligeras ondulaciones, aunque su tendencia siempre es hacia la horizontalidad.



**Fotografía 2-3: Alternancia de paquetes de estratos delgados y estratos gruesos.**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)



**Fotografía 3-3 : Paquetes de estratos delgados.**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

### 3.3.3. Miembro calcáreo (J-s (cz))

Este miembro corresponde a una alternancia de areniscas calcáreas de grano fino, que gradúan texturalmente hasta brechas calcáreas, repitiéndose esta secuencia de forma rítmica; son de color gris claro a oscuro, en conjunto corresponden a una roca muy compacta, muy resistente al impacto con el martillo y en ocasiones silicificadas lo que le da una dureza mayor. Las brechas contienen clastos de 3mm a 2cm en promedio, aunque también llega a contener fragmentos de hasta 0,1 m, todos ellos empacados en una matriz calcárea, son angulosos a sub redondeados principalmente de origen sedimentario y en menor proporción volcánicos.



**Fotografía 4-3: Alternancia de areniscas calcáreas y brechas calcáreas.**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

### 3.3.4. Rocas intrusivas (T-dab)

En el sitio de estudio se han encontrado en superficie y también en subsuelo mediante la perforación, rocas ígneas intrusivas, representadas principalmente por diques y por un pequeño afloramiento ubicado en la margen izquierda, variando su composición de intermedio a básico. El cuerpo intrusivo corresponde a una diorita masiva, compacta y muy resistente.



En superficie presenta una importante meteorización, con espesores de hasta 5,0 m de material limo arcilloso y además con intemperismo esferoidal. Se encuentra intruyendo a la Fm. Santiago a la altura donde aparece el paquete de estratos delgados, a los cuales en su contacto ligeramente altera.

Respecto a los diques son dioríticos, se comportan como diquestratos, concordantes con la estratificación y con dimensiones que varían de 1,0 a 11,0 m, debido al tamaño no se pudieron identificar en superficie por encontrarse cubiertos.

### **3.3.5. *Materiales no consolidados de la Formación Mera (TO-m)***

Esta formación litológica a nivel regional está constituida por una secuencia sedimentaria cubierta por materiales producto de avalanchas de escombros o lahares provenientes del volcán Sangay; sin embargo, en la zona de estudio solo se tiene la presencia de los materiales de origen volcánico tipo lahar, de edad pleistocénica, los cuales están formados por fragmentos de composición andesítica de forma angulosa a subangulosa y en ocasiones. Asimismo, está afectada por fallas y fracturas.

En la zona de estudio estos materiales se encuentran en las partes bajas de ambas márgenes cubriendo a las rocas de la Fm. Santiago, desde el cauce del río hasta aproximadamente la cota 380 m, corresponde a una unidad rocosa semi consolidada, por lo que en varios tramos a nivel del cauce exhibe escarpes verticales; asimismo, en algunas quebradas se le observa formando paredes de hasta 20,0 m de altura.



**Fotografía 5-3: Materiales de origen volcánico tipo lahar**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

**3.3.6. Materiales no consolidados recientes**

**Depósitos de talud (Qdt):** Los depósitos de talud se encuentran distribuidos en gran parte de la zona de estudio, encontrándose principalmente acumulados en las porciones medias y bajas de las laderas, cubren a las rocas de la Fm. Santiago y a los materiales de la Fm. Mera. Están compuestos por fragmentos de roca angulosos a subangulosos de las formaciones mencionadas con tamaños de entre 0,1 a 2,5 m o más, empacados en una matriz arenolimsa, alcanzando espesores de 2,0 a 5,0 m.



**Fotografía 6-3: Depositos de talud.**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

### **3.3.7. Suelos residuales (Os):**

La cubierta de suelo residual es la más extendida en la zona, principalmente en las partes altas de ambas márgenes, en donde cubre amplias áreas planas a partir de la cota 500,0 msnm. Presenta características arcillosas producto de la disgregación y desintegración in situ de las rocas de la Fm. Santiago, es de color rojizo y muestra espesores promedio de 3,0 a 6,0 m. De acuerdo a las perforaciones que se realizaron en la zona del proyecto, se encontraron espesores hasta 20,0 m.



**Fotografía 7-3: Suelo residual**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

### **3.3.8. Geología estructural**

Desde el punto de vista estructural la región resulta compleja como consecuencia de los procesos orogénicos y tectónicos que se han originado a partir de la subducción de la Placa de Nazca bajo la placa Sudamericana.

Sin embargo, aunque la región de estudio se considere alejada de la subducción de esta placa oceánica, la influencia de este proceso tectónico ha marcado rasgos estructurales regionales y aspectos morfo estructurales.



En general las fallas y litologías expuestas en la zona de estudio se extienden como franjas alargadas en dirección NNE-SSW, similar a la trayectoria que guarda la Cordillera Andina y las principales estructuras que la afectan.

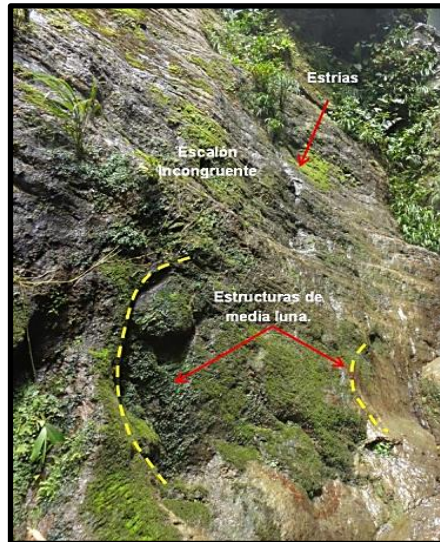
Las rocas expuestas en la zona de construcción de la presa, se encuentran afectadas por estructuras geológicas con rumbo principal NE, N-S y E-W. El arreglo de estos sistemas de discontinuidades da lugar a la formación de tres grandes bloques que segmentan al macizo rocoso. A continuación se definen las siguientes estructuras:

### **3.3.9. Fallas**

Con base al trabajo de campo, se determinó tres familias de fallas como se puede observar en el anexo A, de las cuales el primer sistema (F1), tiene una orientación N57°E/83°SE, que corresponde a fallas con movimientos de tipo transcurrente, en ocasiones con componente normal, siendo este el más persistente en la zona de construcción de la presa.

El segundo (F2) es el que aparentemente rige el cauce del río Santiago y corresponde a las estructuras más antiguas en la región, tienen una orientación N20°W/79°SW, y también presentan desplazamientos de tipo transcurrente que al igual que el sistema (F1), tiene una componente normal. Se midieron planos de falla con estrías que evidencian movimientos laterales puros y con componente normal entre los bloques de roca, con inclinaciones en su pitch de 02° a 21° para la familia F1 y de 20° a 87° para la familia F2.

El último sistema (F3) de rumbo general N80°W/79°SW también corresponde a fallas normales puras en ocasiones con movimiento lateral; este sistema es poco persistente y poco continuo, concierne aparentemente a la familia de fallas contemporáneas al sistema F1.



Fotografía 8-3: Falla con

de media luna.

estrías laterales, estructuras

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

### 3.3.10. Fracturas

Mediante el levantamiento geológico en el sitio de construcción de la presa, se pudo determinar que la roca expuesta se encuentra afectada por sistemas de fracturas que disminuyen la calidad del macizo rocoso; muchas son importantes por su frecuencia y otras por su persistencia, sin embargo, perturban de una u otra forma la litología expuesta en la zona.

Generalmente el grado de intensidad con el que afectan al macizo rocoso varía de medio a moderado, existiendo algunas zonas con presencia de fallas que originan un aumento en la intensidad de estas.



Fotografía 9-3: Falla con aumento en la intensidad de fracturas

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

Como resultado, se observa que en ambos márgenes del río Santiago, el fracturamiento tiene un comportamiento similar, el cual coinciden en rumbo con los sistemas de fallas cartografiadas en la zona de obra.

Las fracturas con orientación NE, la segunda familia (f2) tiene una orientación que se ubica en el rango de N07° a 21°W, asociado a las fallas con movimientos laterales y componente normal.

La tercera en importancia es la familia de fracturas con orientación casi EW, está se asocia con el sistema de fallas con movimiento normal a pesar de tener una ligera variante en su orientación y echado.

### **3.3.11. Estratificación**

El aspecto estructural más representativo de la estratificación es la disposición monoclinal de los bloques, representada localmente por ligeras ondulaciones y deformaciones de los estratos, pero guardando una tendencia horizontal en ambas márgenes del área de estudio.

El buzamiento persistente en la zona de construcción de la presa es de 02° a 12° con una variación de rumbo NNE y NNW lo que evidencia aparentemente un patrón estructural compresivo (pliegue), inclinando ligeramente las capas de la Fm. Santiago.



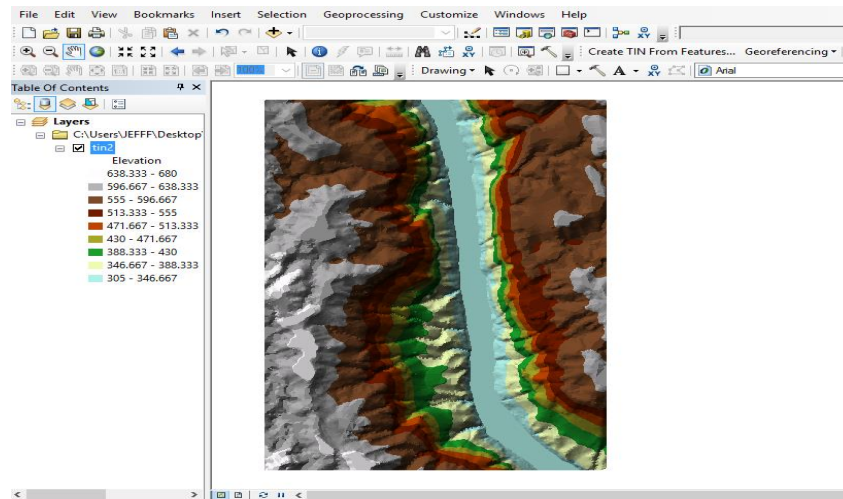
**Fotografía 10-3: Estratificación con tendencia horizontal.**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

### 3.4. MODELAMIENTO CON EL MÉTODO MORA-VAHRSON

#### 3.4.1. Elaboración del mapa de pendientes

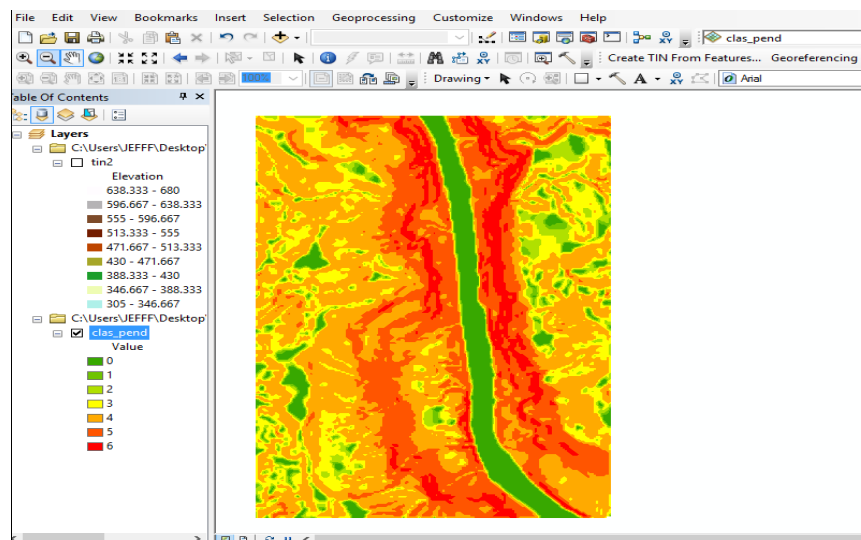
Para la elaboración del mapa de pendientes, se importa las curvas de nivel del área. Con la herramienta *CREAR NUEVO TIN* se realiza el modelado en 3D del terreno



**Figura 2-3: Modelamiento en 3D del área de estudio**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), sobre la base topográfica 1.25000 I.G.M.

Usando la herramienta *TIN TO RASTER*, se creó un nuevo mapa con información de rangos de pendiente, y usando la herramienta *SLOPE*, creamos nuestro mapa de pendientes. Para finalmente clasificarlo de acuerdo al parámetro de pendientes de Mora Vahrson usando la herramienta *RECLASSIFY*.



**Figura 3-3: Modelamiento del mapa de pendientes**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), Valoraciones.

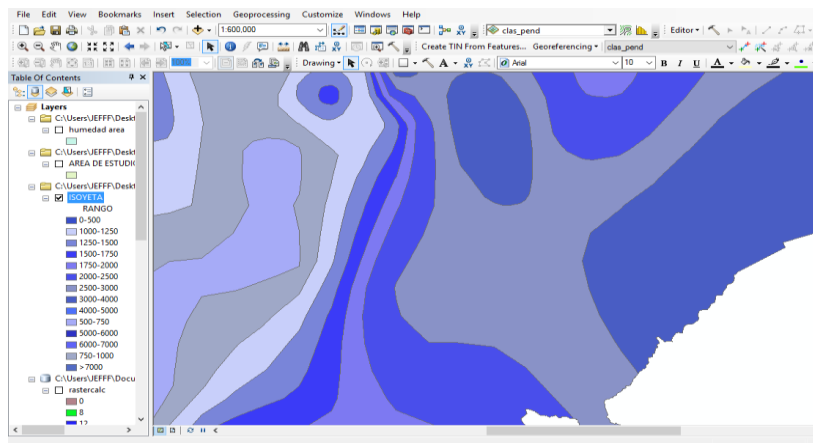
### 3.4.2. Elaboración del mapa de humedad del suelo

A partir de una tabla en Excel con la información de precipitación media mensual debidamente geo-referenciada (de las estaciones meteorológicas M497, M501) se importa al software ArcGis. Y utilizando la herramienta de análisis espacial *IDW* (interpolación inversa a la distancia) nos genera las diferentes bandas de humedad del suelo.

**Tabla 2-3:** Datos estaciones M497, M501; promedio de un periodo de 12 años

ESTACIÓN	COORDENADA X	COORDENADA Y	PRECIPITACIÓN
M0497	808635	9666195	2240
M0501	809935	9664223	2990

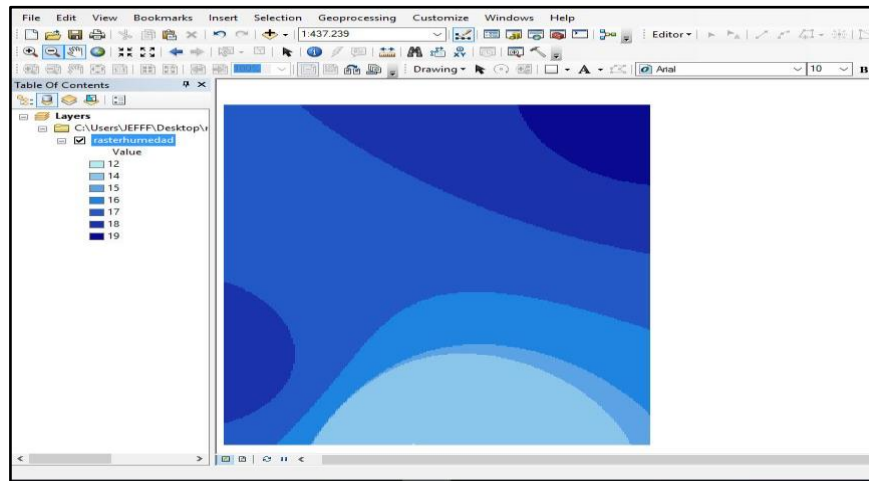
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), Valoraciones.



**Figura 4-3:** Modelamiento del mapa mensual de humedades

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

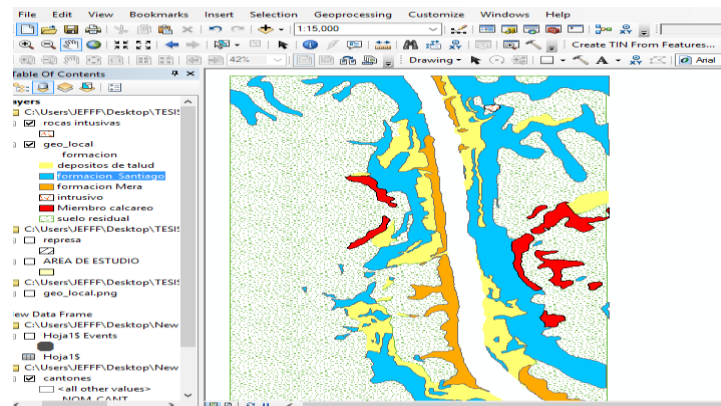
Una vez obtenido los doce mapas correspondientes a los meses del año se clasifica y se suma según los parámetros de método Mora Vahrson obteniendo el mapa de humedad del suelo.



**Figura 5-3 Modelamiento final de la sumatoria de humedades mensuales**  
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), Valoraciones.

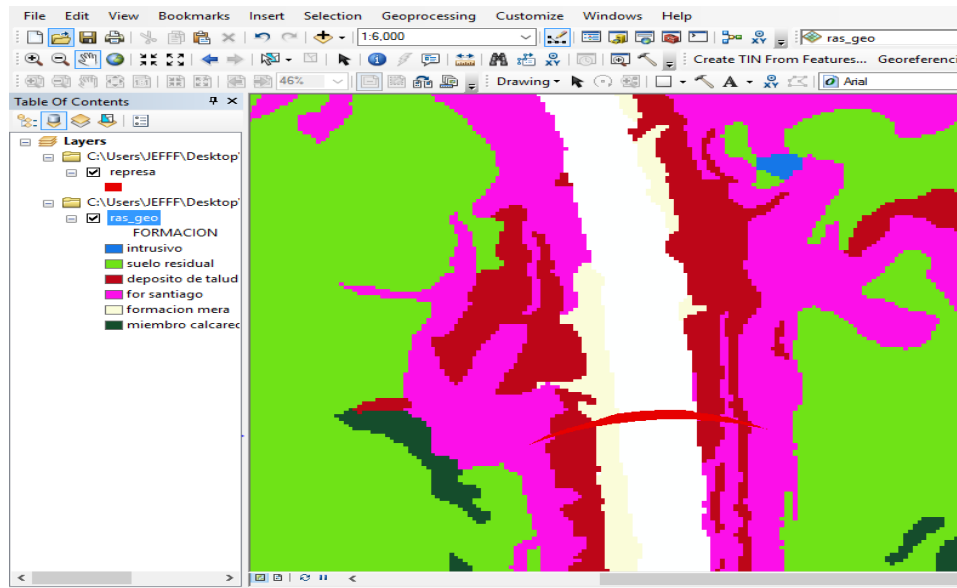
### 3.4.3. Elaboración del mapa litológico

De acuerdo a la información obtenida en campo de las estructuras litológicas y georreferenciadas todos los contactos se proceden a proyectar los rumbos de las estructuras para así generar el mapa litológico.



**Figura 6-3: Modelamiento del mapa litológico**  
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), Valoraciones.

Una vez proyectado los diferentes contactos litológicos se procede a realizar la clasificación según el parámetro litológico de Mora Vahrson, usando la herramienta **RECLASSIFY**.



**Figura 7-3: Modelamiento y clasificación del mapa litológico de acuerdo al método Mora-Vahrson**  
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

### **3.4.3.1. Determinación de la Calidad de roca (ROD)**

Para la determinación de la calidad de roca, se aplicó el criterio de Don W. Deere (1964) y Don U. Deere (1989), conocido como Rock Quality Designation (RQD) o índice de calidad de roca de Deere y cuya definición involucra el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas enteras iguales o mayores a 100 mm, quien además, clasifica a los macizos rocosos en cinco categorías, las cuales se indican a continuación:

**Tabla 3-3** Criterio de Don W. Deere (1964) y Don U. Deere (1989) para RQD.

<b>% RQD</b>	<b>Clasificación</b>
0 – 25	Muy mala
> 25 – 50	Mala
> 50 – 75	Regular
> 75 – 90	Buena
> 90 – 100	Excelente

Con la finalidad de tener un mayor detalle, se separó en cada margen la información de los barrenos ubicados solo en la zona del cauce y los que están dentro de la margen.

La calidad de roca determinada mediante los barrenos ejecutados en la zona del cauce del río, dieron como resultado que la parte baja de la ladera izquierda alcanza un porcentaje de RQD de 83,27 %, lo que clasifica a la roca en esa zona como de buena calidad; mientras que la calidad de la roca en la porción baja de la margen derecha resultó con un 69,93 %, correspondiente a un macizo rocoso de regular calidad;

**Tabla 4-3** Valores de recuperación y RQD

<b>CAUCE</b>						
<b>Ubicación</b>	<b>Roca Perforada (m)</b>	<b>Roca recuperada (m)</b>	<b>Roca recuperada &gt;10 cm (m)</b>	<b>Recuperación promedio (%)</b>	<b>RQD promedio (%)</b>	<b>Calidad de roca</b>
Margen izquierda	526,8	511,91	438,65	97,17	83,27	Buena
Margen derecha	279,1	261,71	195,17	93,77	69,93	Regular

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), tomado del informe de factibilidad CFE.

La siguiente diferenciación corresponde a los barrenos realizados en las partes medias y altas de ambas márgenes, de los cuales cinco están en la margen izquierda y ocho en la derecha, los primeros suman 1052,8 m en roca y los segundos 1478,4 m.

Los resultados obtenidos en cada margen fueron los siguientes, en la izquierda se obtuvo un RQD del 78,29% lo que da una clasificación de roca de buena calidad, en tanto que en la



margen contraria se obtuvo un porcentaje de 80,96 %, lo cual es equivalente a una roca de buena calidad; al promediarse ambas márgenes consecuentemente resultó ser un macizo rocoso de buena calidad con un 79,85 %; en la tabla 3-3 se indican los porcentajes del RQD obtenidos en cada margen.

**Tabla 5-3** Valores de recuperación y RQD en las zonas medias y altas de ambas márgenes

Ubicación	Roca perforada (m)	Roca recuperada (m)	Roca recuperada >10 cm (m)	Recuperación promedio (%)	RQD promedio (%)	Calidad de roca
Margen izquierda	1052,8	996,04	824,23	94,61	78,29	Buena
Margen derecha	1478,4	1434	1196,95	97,00	80,96	Buena
Total	2531,2	2430,04	2021,18	96,00	79,85	Buena

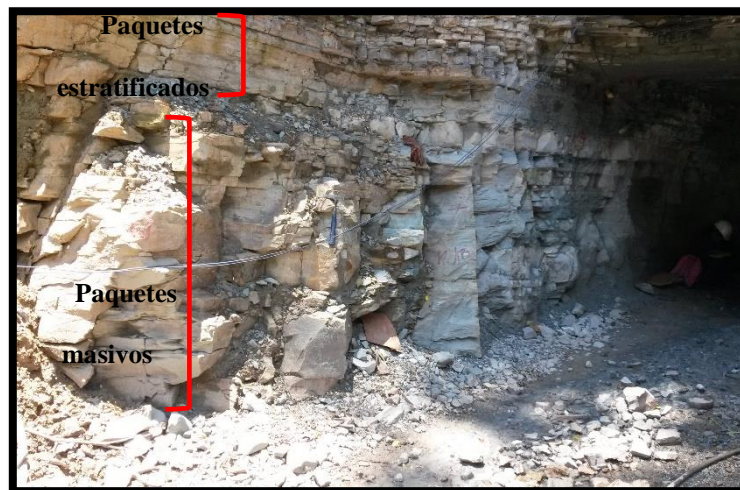
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), tomado del informe de factibilidad CFE.

#### **3.4.3.2. Caracterización del macizo rocoso en socavones**

La exploración geológica directa para obtener las características geológicas al interior del macizo rocoso en el sitio de construcción de la presa, consistió en la excavación de dos socavones, con longitud de 149,7 m para el de la margen izquierda y de 152,0 m para el socavón de la margen derecha como se puede apreciar en el ANEXO A. Estas obras subterráneas permiten observar la condición real de la roca, sus variaciones litológicas, zonificar el grado de fracturamiento, detectar la presencia de agua y la existencia de estructuras geológicas mayores para correlacionarlas con las encontradas en superficie, así como establecer el espesor de roca descomprimida.

Para determinar las condiciones geológicas que prevalecen en los socavones, se llevó a cabo el levantamiento geológico a detalle de las paredes y bóveda del socavón. Un elemento indispensable es la identificación y registro de las características de las discontinuidades geológicas que determinan la calidad del macizo rocoso tales como: espaciamiento, continuidad, material de relleno, rugosidad de las paredes, abertura de las discontinuidades y filtraciones; así como el tamaño y forma de los bloques que forman los sistemas de discontinuidad.

Con el factor  $J_v$ , a partir de la corrección empírica de Palmstron, 1975 en ISRM, 1981 que considera la estimación del RQD mediante las expresiones:  $RQD=115 - 3,3J_v$  para  $J_v > 4,5$  y  $RQD=100$  para  $J_v \leq 4,5$ ; se determinó que para las rocas masivas (brechas vulcano sedimentarias y areniscas brechoides) los valores de RQD obtenidos son altos, del orden del 98 %, mientras que para los paquetes estratificados (alternancias de limolitas, areniscas y areniscas tobáceas) se obtuvieron valores menores al 80%.



**Fotografía 12.3 Socavón de la margen Izquierda**  
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

#### **3.4.4. Condiciones Litológicas**

**Litología:** El sitio de estudio en donde se pretende desarrollar el proyecto está constituido litológicamente por rocas vulcano sedimentarias, depósitos de lahar y depósitos recientes no consolidados. Todas las obras civiles quedarán emplazadas en la secuencia vulcano sedimentaria de la Fm. Santiago presente a lo largo del río Santiago.

**Roca descomprimida:** Para el sitio del eje de cortina, se consideró en las zonas acantiladas un espesor de roca descomprimida de 8,0 a 18,0 m, mientras que para la parte superior de las laderas un espesor de 32,0 a 45,0 m. En las excavaciones que se deban realizar hay que considerar la remoción de este material o bien tratamientos de soporte adecuado.

Por otra parte, en el cauce del río a la elevación 275,0 msnm se encuentra material de relleno aluvial y de la Fm. Mera; para cimentar la presa en roca in situ, será necesario considerar la elevación 260,0 m y proceder con el retiro de todo este material, cuyo espesor determinado en los barrenos varía entre 20,0 y 30,0 m.

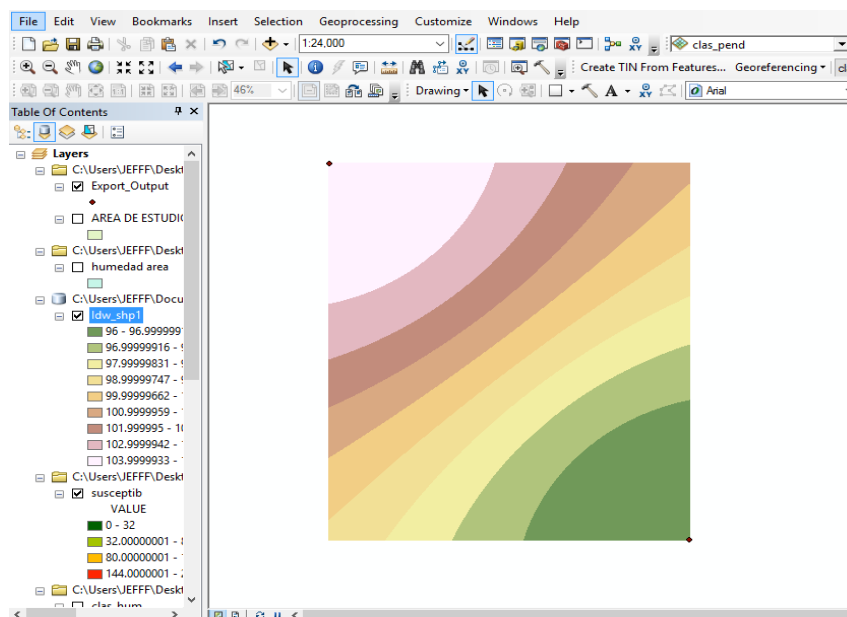
#### **3.4.5. Elaboración del mapa de precipitación**

Con una tabla en Excel de la información de precipitación máxima en 24 horas debidamente geo-referenciada se importa al software ArcGis, utilizando la herramienta de análisis espacial *IDW* (interpolación inversa a la distancia) Nos generara las diferentes bandas con la máxima precipitación, una vez obtenido el mapa correspondiente se clasifica y según los parámetros de método Mora Vahrson obteniendo el mapa de precipitación.

**Tabla 6-3:** Datos de máxima precipitación en 24 horas de un periodo de 12 años.

ESTACIÓN	COORDENADA X	COORDENADA Y	PRECIPITACIÓN
M0497	808635	9666195	105
M0501	809935	9664223	95

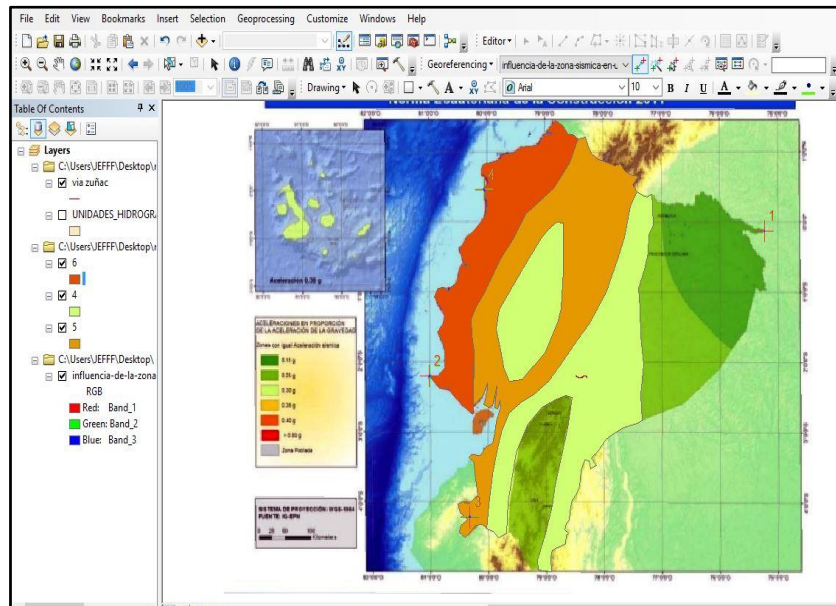
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), Valoración.

**Figura 8-3: Modelamiento del mapa de precipitación**

Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), Valoración.

### **3.4.6. Elaboración del mapa de actividad sísmica.**

Con la información obtenida del Mapa para Diseño Sísmico, Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, se procedió a geo-referenciarlo y a clasificarlo en base a la aceleración sísmica de acuerdo al método Mora, Vahrson, 1993, para modelar las diferentes bandas de actividad sísmica, obteniendo nuestro valor de susceptibilidad por actividad sísmica.



**Figura 9-3: Modelamiento del mapa de actividad sísmica**  
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016), Tomado de NEC 2015.

### **3.4.7. Elaboración del mapa de susceptibilidad.**

Una vez modelado todos los mapas con sus respectivos parámetros, se procede a realizar la combinación de los mismos.

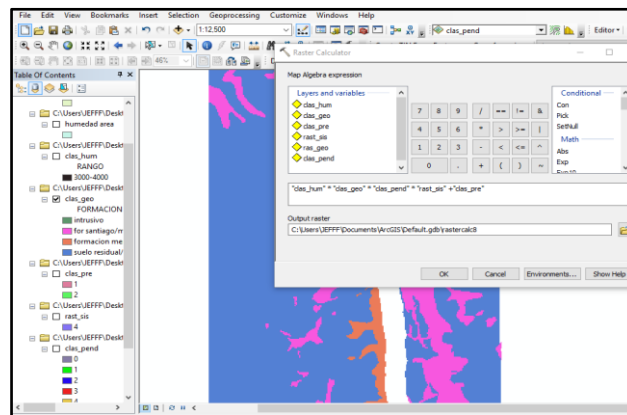
Utilizando la herramienta *RASTER CALCULATOR* en donde multiplicamos cada parámetro de los elementos pasivos (pendiente \* humedad \* litología) y a su vez multiplicamos estos valores por los elementos de disparo (precipitación + actividad sísmica).

Obteniendo los diferentes rangos de susceptibilidad los cuales se los reclasifica con los valores de potencial de susceptibilidad de acuerdo a la siguiente tabla, para obtener el mapa de susceptibilidad de los deslizamientos del área de estudio.

**Tabla 7-3:** Grado de amenaza de acuerdo al potencial de susceptibilidad

$SUS = [ L * P * H ] * [ S + LI ]$		
Potencial	Clase	Grado de amenaza
0 – 6	I	Muy baja
7 – 32	II	Baja
33 – 512	III	Moderado
513 – 1251	IV	Alto
> 1251	V	Muy alta

Fuente: Mora Vahrson, 1991.

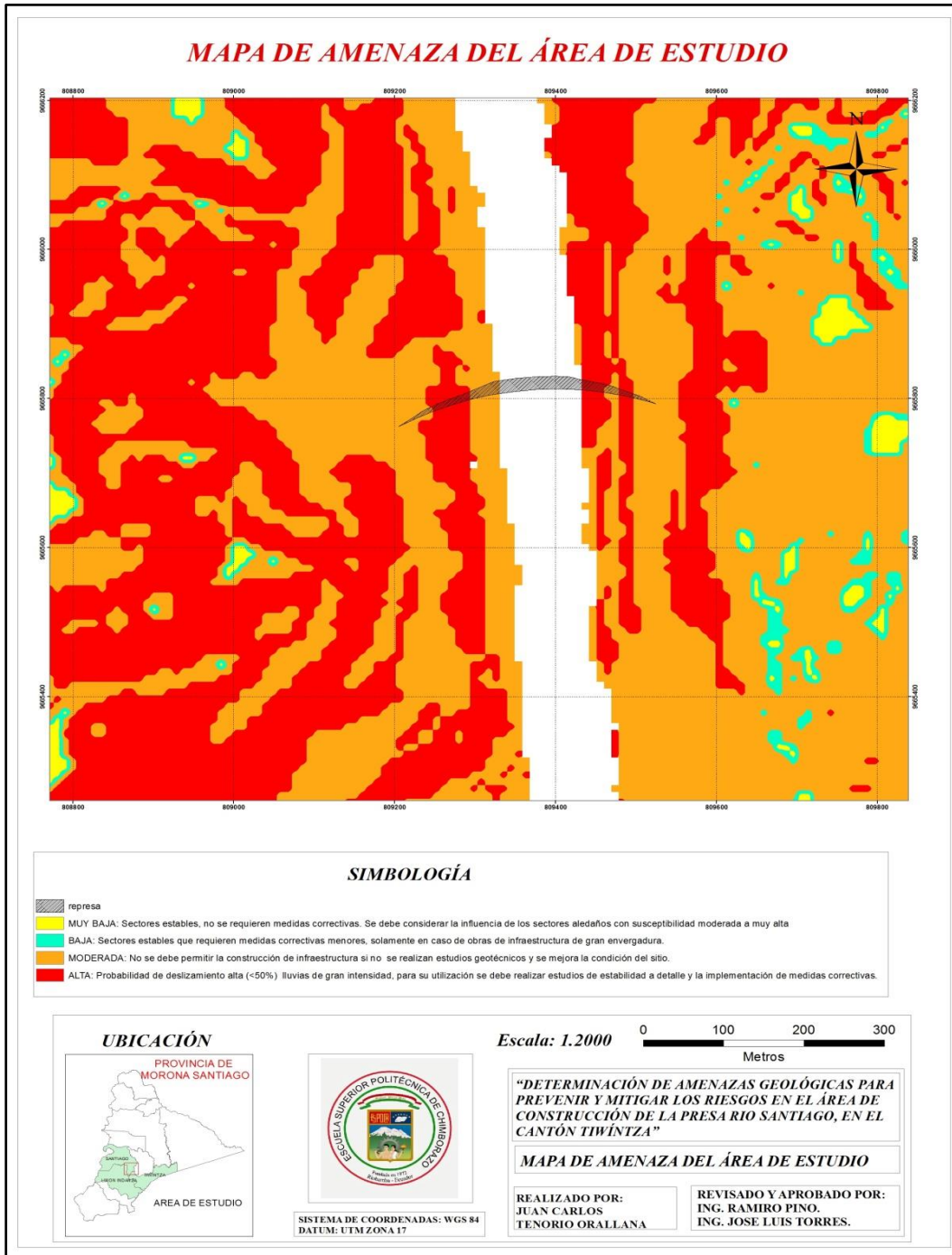


**Figura 10-3:** Modelamiento final del mapa de susceptibilidad.  
Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)

## **CAPÍTULO IV**

## 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 4.1. ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD O AMENAZA



**Figura 11-3: Mapa de amenaza del área de estudio.**  
 Elaborado por: Juan Carlos Tenorio. (2016)



Para la interpretación de la amenaza a fenómenos de remoción en masa fue necesario relacionar la susceptibilidad y el evento detonante (precipitaciones y sismos).

El mapa de Amenazas contempla zonas con probabilidad de ocurrencias de movimientos en masa, dividiéndose en 4 categorías que van desde muy baja a alta amenaza, dichas categorías se detallan a continuación, para mayor visualización ver ANEXO B:

**Amenaza muy baja:** Comprenden áreas pobladas por comunidades y zonas verdes, y que debido a sus condiciones de pendiente y de estabilidad son áreas relativamente estables y poco probables a que en ellas ocurran fenómenos de remoción en masa. Se caracterizan por presentar pendiente bajas, son terrenos de tipo residual sin evidencia de fenómenos de remoción en masa, no se evidencia procesos erosivos, estas áreas corresponden al 11.82% del total del área de estudio.

**Amenaza baja:** Comprenden zonas que se caracterizan por presentar pendientes no mayores al 10°, la mayor parte de estas áreas están constituidas por complejos de tipo pastizal – árbol que son utilizadas para el desarrollo de actividades como la agricultura, la caza, esta zona ocupa 3.18%. Que corresponden al menor porcentaje del área de estudio.

**Amenaza media:** corresponden a áreas que presentan un grado de amenaza media en las que existe la probabilidad de que en ellas ocurra o puedan ser afectadas por fenómenos de remoción en masa, con pendientes que varían entre 30° y 40°. Estas áreas corresponden al 56.27% del total del área de estudio.

**Amenaza alta:** Abarcan zonas donde las condiciones del terreno son favorables para que se produzcan fenómenos de remoción en masa, especialmente en temporadas de lluvia y ocurrencia de sismos, corresponden a zonas denudadas por la erosión , estas zonas presentan pendientes que van desde 40° a 50°. Estas zona ocupa el 28.73% del total del área de estudio.

## **CAPÍTULO V**

## 5.1 CONCLUSIONES

- El sitio de estudio en donde se pretende desarrollar el proyecto está constituido litológicamente por rocas vulcano sedimentarias, ígneas intrusivas, depósitos de lahar y depósitos recientes no consolidados.
- La estratificación del macizo rocoso es la discontinuidad más importante por su frecuencia y continuidad, presenta ligeras ondulaciones pero siempre con tendencia a la horizontal.
- Las fallas identificadas en la zona de estudio generalmente son de tipo lateral, con rumbo NE, N-S y E-W, segmentan al macizo rocoso en tres grandes bloques; el eje de cortina estudiado se emplaza en el bloque más sano y con menor influencia estructural.
- Según el mapa de amenazas se determinó que la represa se encuentra asentada sobre zonas de riesgo moderado y alta, por lo que se deben tomar medidas correctivas para mejorar la calidad del macizo rocoso evitando así que la represa sufra daños en su infraestructura.
- Según el mapa geológico la represa se encuentra asentada sobre materiales no consolidados por lo que se sugiere excavar hasta llegar a la matriz rocosa para que se quede asentada sobre roca sana.
- Según el mapa de actividad sísmica el riesgo de sufrir daños por movimientos geológicos es bajo, debido a que en el área de estudio no se ha registrado aceleraciones PGA mayores a  $3m/s^2$ .
- Según el levantamiento geológico de campo se encontró una zona de deslizamiento y después de realizar el respectivo estudio se concluyó que el factor más importante que produce este deslizamiento es por fallas, las cuales acompañadas por lluvias genera dicho deslizamiento.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda tener en cuenta este estudio técnico para la construcción de la represa del proyecto hidroeléctrico Santiago
- Se recomienda realizar un estudio de estabilidad a detalle para la zona de deslizamiento para determinar así si esta generara inconvenientes en la ejecución del proyecto hidroeléctrico.
- Se recomienda realizar trabajos de consolidación del macizo rocoso para evitar así que en la represa existan filtraciones de agua y no disminuya su vida útil.

**CAPITULO VI**

## RESUMEN

La presente investigación propone: realizar la determinación de amenazas por fenómenos de remoción en masa, en el área propuesta para construcción de la represa Río Santiago; donde se podrá definir las principales amenazas a deslizamientos en el área y tomar medidas correctivas que garanticen la vida útil del proyecto. La metodología se basó en la recopilación de información y elaboración de mapas temáticos según la metodología de Mora Vahrson que consta de tres parámetros intrínsecos o denominados de susceptibilidad (litología, pendientes, humedad del suelo) y dos externos o denominados de disparo (lluvias, sismicidad) con los cuales se interpretaron, obteniendo resultados como que el tipo de roca donde se asienta el proyecto pertenecen a las formaciones Santiago y depósitos recientes no consolidados del Cuaternario, que los niveles de amenazas para el sitio de la construcción de la represa es moderado por lo que se considera realizar trabajos de impermeabilización y consolidación del material, excavar los materiales sedimentarios para que la represa quede asentada sobre roca sana de la formación Santiago. Las fallas principales encontradas en el área son de origen tectónico por la zona de subducción que se encuentran en la costa del Ecuador, no presentan ninguna amenaza para el proyecto. Se recomienda realizar estudios de estabilización a detalle para los taludes de los bordes de la represa.

**Palabras claves:** fenómenos de remoción en masa- materiales sedimentarios – zona de subducción.

**Por: Juan Carlos Tenorio Orellana**



REVISADO  
07 de octubre  
*[Handwritten signature]*

## ABSTRACT

The present investigation aims to determine the threats by mass removal phenomena in the area proposed for dam Santiago River in order to define the main threats to landslides in the area and to make corrective measurements to guarantee the useful life of the project. The methodology is based in the information collecting and thematic map elaboration according to Mora Vahrson methodology. It has three essential parameters or called of susceptibility (lithology, slopes, soil humid) and two external ones or called of weapon (rains, seismicity) by means it was interpreted that the levels of threats for the place for dam is moderated. That is why, it is considered to carry out waterproofing works and consolidation of material, to excavate the sedimentary materials, so that dam can be deposited on the good rock of form Santiago by getting results that the kind of rock belongs to the forms Santiago and recent non-consolidated tanks of quaternary sector. The main defects found in the area are of tectonic origin due to subduction area which is located in Coast Region in Ecuador. These ones are not threats for this project. It is recommended to carry out detailed stabilization studies for scopes of the borders of the dam.

Key words: mass removal phenomena-sedimentary materials- subduction zone.





**BIBLIOGRAFÍA.**

*COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD – CELEC (2012), Informe preliminar de Pre factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Santiago, Ecuador.*

*COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD – CELEC (2015), Informe preliminar de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Santiago, Ecuador.*

*GUSTAVO ARVIZU LARA Y MOISES DAVILA SERRANO (2013), Geología Aplicada a la Construcción de infraestructura, México*

*MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MINISTERIO ECUATORIANO DE MNERIA.- Mapa Geológico de las provincias orientales.*

*THEOFILOS TOULKERIDIS (Ph.D), Amenazas de Origen Natural y Gestión de Riesgo en el Ecuador.*

*Ayala, F. J., Elizaga, E. & González de Vallejo, L. I. (1987). Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España. España. Serie Geológica Ambiental. p. 91. mapas.*

*Baldock, J. W. (1982). Geologia del Ecuador: boletín de explicación del mapa geológico de la república del Ecuador, Esc. 1:1,000,000. (D.G.G.M., Trad.). Quito - Ecuador: Ministerio de Recursos Naturales y Energeticos Direccion General de Geologia y Minas. pp. 25-39.*

*Fernández. (2001). Cartografía, análisis y modelado de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en macizos rocosos mediante SIG: aplicación a diversos sectores del sur de la provincia de Granada . (Tesis Doctoral) Universidad de Granada, Granada. p. 648.*

*Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (1990). Suggested nomenclature for landslides. bulletin of the association of ENGINEERING GEOLOGY and the Environment. Alberta - Canada. p. 41.*

*Juárez Badillo & Rico Rodríguez. (2005). Mecánica de suelos Tomo 1. Fundamentos de la mecánica de suelos. Mexico, D.F.: Limusa Noriega. p. 61.*

*Mora R, M. S. (1992). Macrozonificación de la amenaza de deslizamientos y resultados obtenidos en el área del valle central de Costa Rica.- Escala 1:286 000. San José - Costa Rica: CEPREDENAC.*

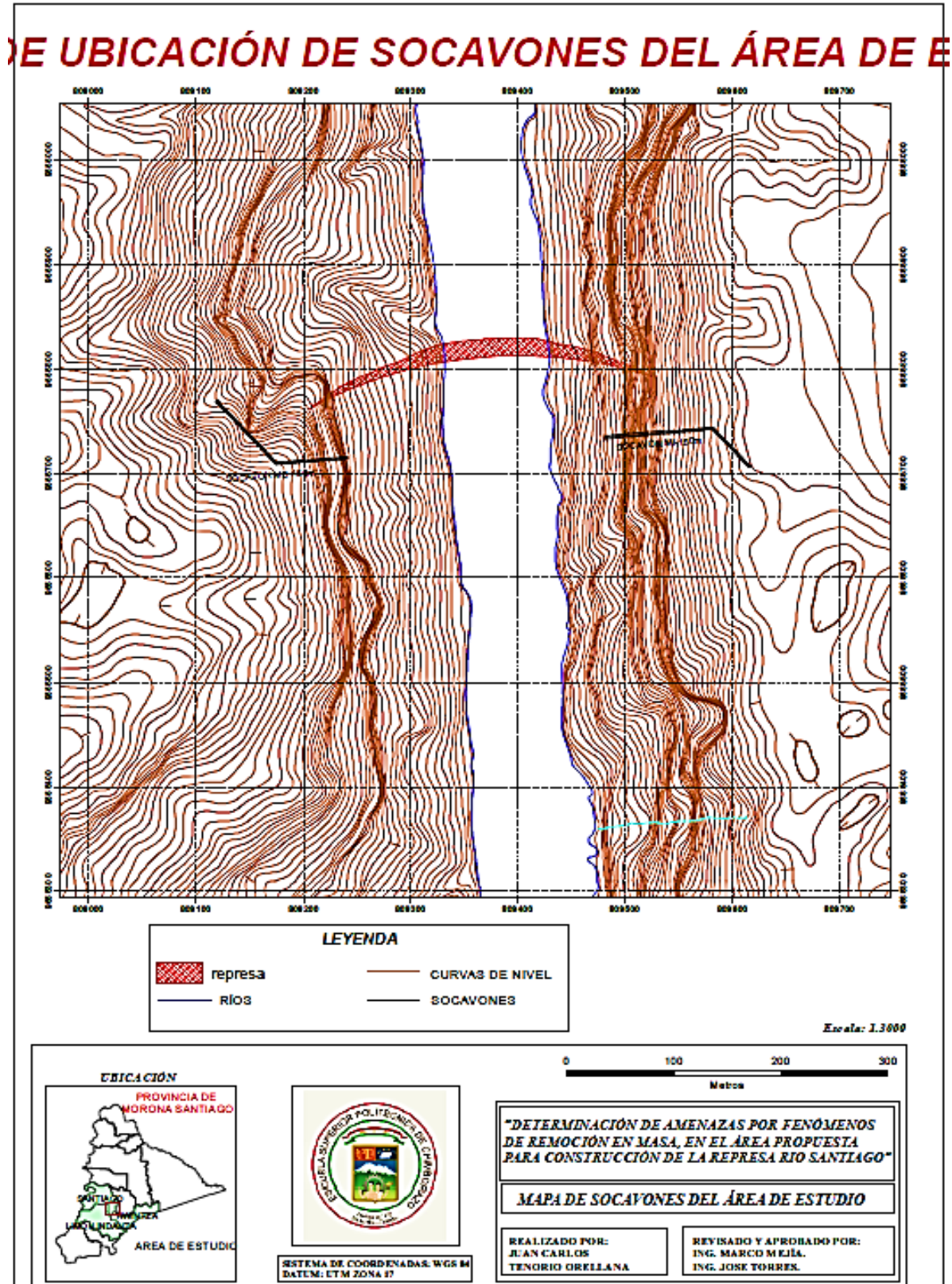
*Mora, R. (2004). Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José. provincia de San José. Costa Rica. San Jose - Costa Rica. p. 17.*

*Mora & Vahrson. (1993). Mapa de amenaza de deslizamientos, valle central, Costa Rica. Costa Rica: CEPREDENAC.*

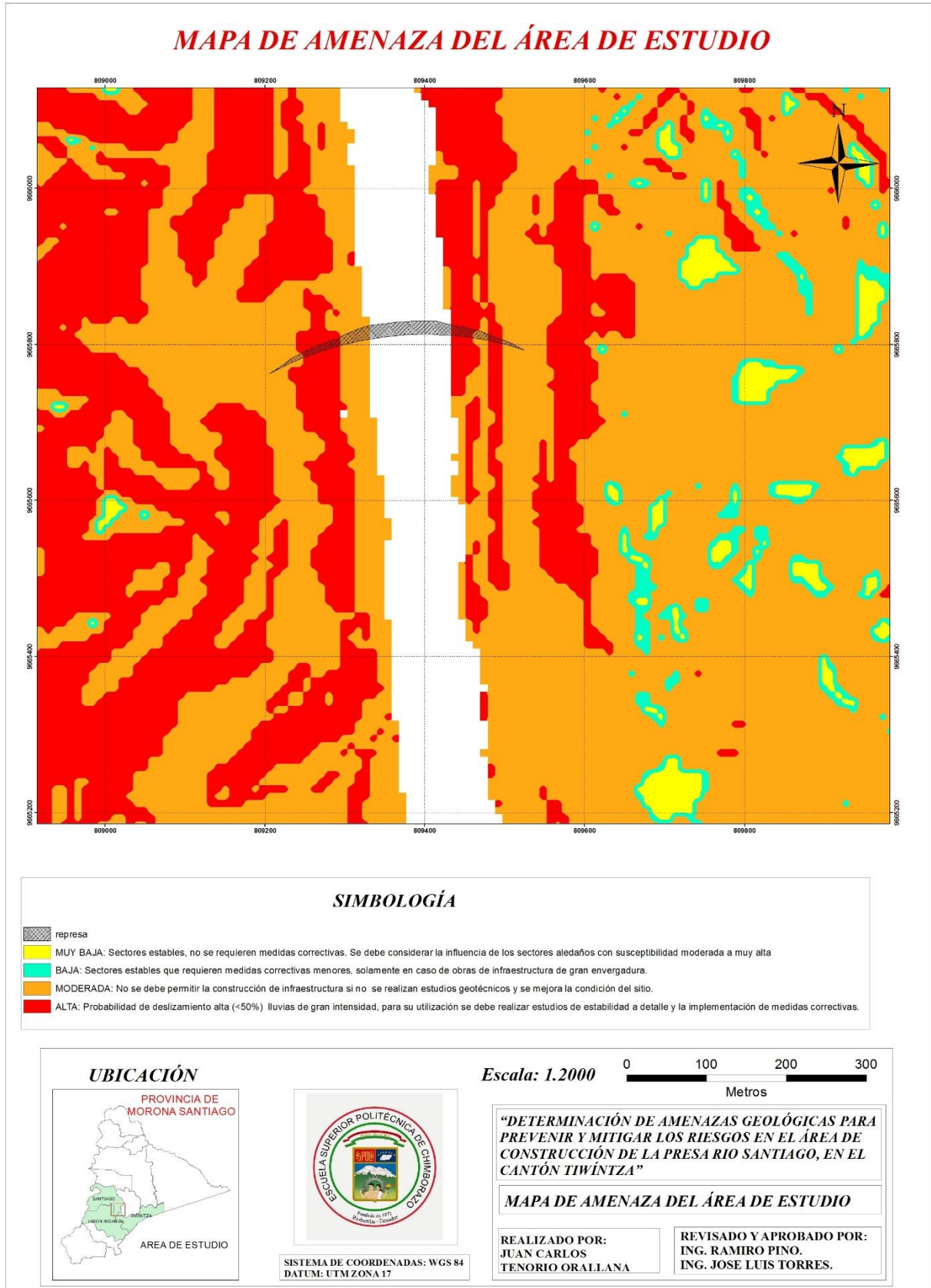
*Zuidman, V. (1986). Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. the Hague: Smits Publishers.*

ANEXOS

A. Mapa de ubicación de los socavones.

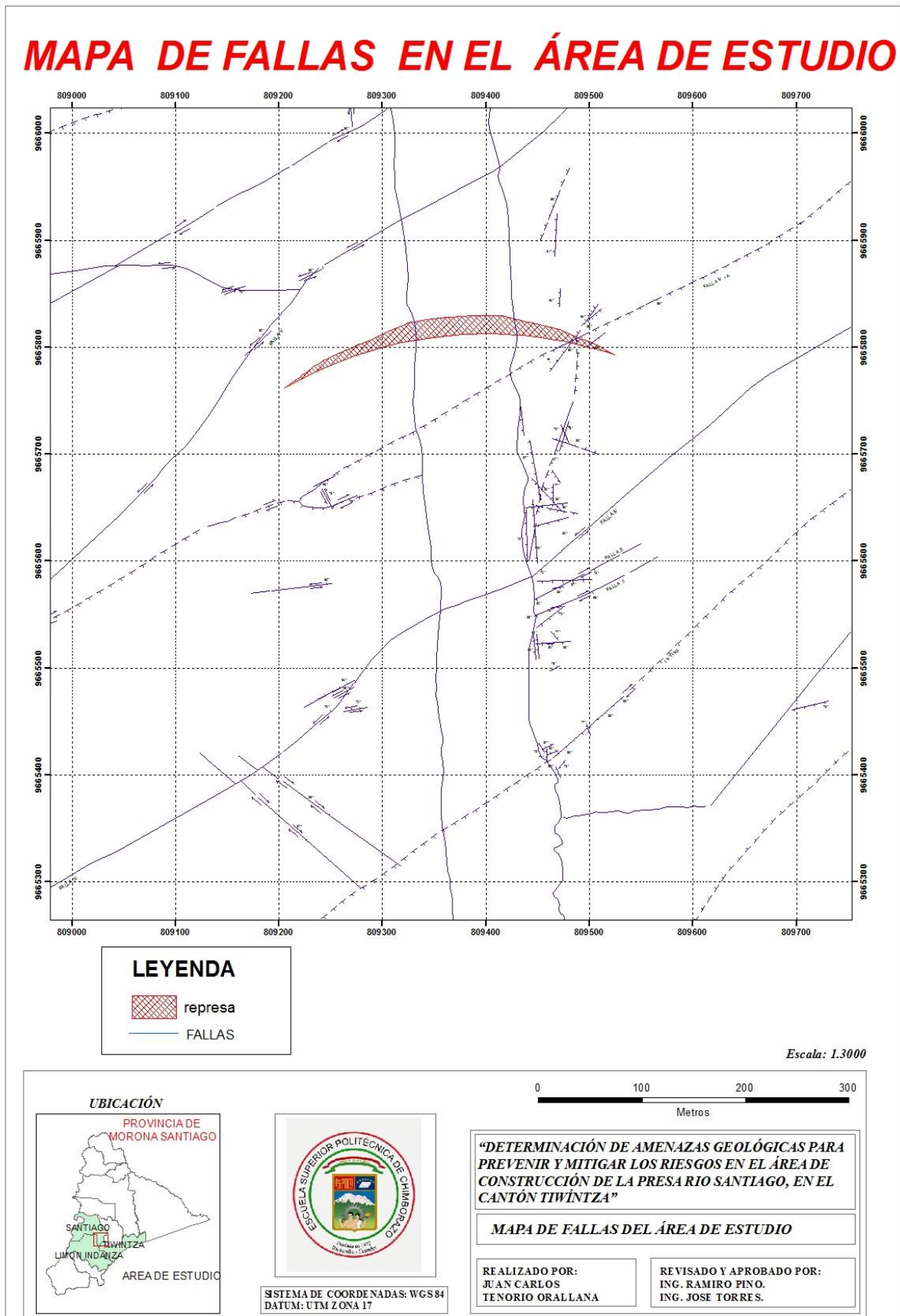


B. Mapa de amenaza del área de estudio.





C. Mapa de fallas del área de estudio.



D. Mapa litológico del área de estudio.



E. Mapa de riesgo volcánico del área de estudio.

