

Estudio geológico, geotécnico e hidrológico, en el tramo de referencia coordenadas X: 561834 Y: 9944756, a la altura de la comunidad “Briceño” de la parroquia Canoa del cantón San Vicente

---



Elaborado para:



Elaborado por:



M.Sc. CAROLINA FREIRE  
**GEOLOGÍA Y RIESGOS GEOLÓGICOS**  
M.Sc. DAMIÁN LARA SALAZAR  
**GESTIÓN Y CONSULTORÍA AMBIENTAL**

Manabí

Septiembre 2018

---

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	2
ÍNDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ESTUDIO GEOLÓGICO, GEOTÉCNICO .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
EN EL KM 11 DE LA VÍA SAN VICENTE – JAMA .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
COMUNIDAD BRICEÑO .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FICHA TÉCNICA....	4
ANTECEDENTES.....	5
ALCANCE DEL ESTUDIO INTEGRAL.....	5
OBJETIVO GENERAL .....	6
METODOLOGÍA LEVANTAMIENTO DE INFORMACION .....	7
UBICACIÓN.....	7
INFORMACIÓN PRELIMINAR .....	8
LEVANTAMIENTO DE INFORMACION DE CAMPO .....	14
A) CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	14
B) MOVIMIENTOS EN MASA .....	20
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA. ....	24
A) ESTACIONES GEOMECAÑICAS.....	24
B) CLASIFICACION GEOMECAÑICA .....	29
C) TIPOLOGIAS DE INESTABILIDADES .....	31
D) ESTABILIDAD DEL TALUD .....	33
ANÁLISIS DE LA SISMICIDAD .....	34
ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	38
MEDIDAS DE MITIGACIÓN .....	40
CONCLUSIONES.....	42
RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Puntos de Control de campo.....	15
<b>Tabla 2</b>	Puntos Estación Geomecánica No. 1.....	24
<b>Tabla 3</b>	Puntos Estación Geomecánica No. 2.....	25
<b>Tabla 4</b>	Puntos Estación Geomecánica No. 3.....	26
<b>Tabla 5</b>	Puntos Estación Geomecánica No. 4.....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ubicación geográfica del área de Estudio.....	8
<b>Figura 2.</b>	Mapa de Isoyetas (Precipitación media anual-periodo 10 años).....	9
<b>Figura 3.</b>	Mapa de Cuencas hidrográficas.....	10
<b>Figura 4.</b>	Cuerpos de agua en el área de influencia del proyecto.....	11
<b>Figura 5.</b>	Esquema de la geodinámica actúa en el Noroeste de Sudamericana.....	12
<b>Figura 6.</b>	Mapa geológico de la costa ecuatoriana Reyes P. & Michaud F; 2012.....	14
<b>Figura 7.</b>	Ubicación de puntos de control levantados en campo.....	14
<b>Figura 8.</b>	Suelo Vegetal y Grieta de tracción Coordenadas UTMwgs84 X: 561794 Y: 9944375.....	16
<b>Figura 9.</b>	<b>A)</b> Coordenadas UTMwgs84 X: 561733 Y: 9944125 Caída de bloques. <b>B)-C)</b> Coordenadas UTMwgs84 X: 561583 Y: 9944728, Deposito coluvial antiguo-reciente/Deslizamiento traslacional de detritos y caída de bloques-Muro voladizo afectado.....	17
<b>Figura 10.</b>	Coordenadas UTMwgs84 X: 561800 Y: 9943850, talud natural, pendiente 70°, 13 m de altura.....	18
<b>Figura 11.</b>	Mapa Geológico del área de estudio. Escala 1:5000.....	19
<b>Figura 12.</b>	Coordenadas UTMwgs84 X: 561658 Y: 9944367, Deslizamiento Traslacional de detritos y caída de rocas.....	21
<b>Figura 13.</b>	Coordenadas UTMwgs84 X: 561583 Y: 9944728, Caída de rocas y traslacional de detritos (Bloques y detritos de arenisca de con presencia de fósiles en una matriz limo arenosa) <b>Deposito coluvial reciente caída de bloques-Muro voladizo afectado.</b> ....	22
<b>Figura 14.</b>	Inventario de Movimientos en masa. Escala 1:5000.....	23
<b>Figura 15.</b>	Estación Geo mecánica 1. Coordenadas UTMwgs84 X: 561688 Y: 9944367, en líneas entre cortadas discontinuidades presentes en el talud.....	25
<b>Figura 16.</b>	Estación Geomecánica 2. Coordenadas UTMwgs84 X: 561583 Y: 9944728, en líneas entre cortadas discontinuidades presentes en el talud.....	26
<b>Figura 17.</b>	Estación Geomecánica 3. Coordenadas UTMwgs84 X: 561535 Y: 9944864, en líneas entre cortadas discontinuidades presentes en el talud.....	27
<b>Figura 18.</b>	Estación Geomecánica 4. Coordenadas UTMwgs84 X: 561915Y: 9943867, en líneas entre cortadas discontinuidades presentes en el talud. Parte alta del talud, ubicado al sur del recorrido no presenta inestabilidad.....	28
<b>Figura 19.</b>	Estereograma Compilado estaciones geomecánicas.....	28
<b>Figura 20.</b>	Estereograma Rotura de talud de muro.....	31
<b>Figura 21.</b>	Falla de talud por vuelco.....	32
<b>Figura 22.</b>	Formación de cuñas.....	32
<b>Figura 23.</b>	Talud en estado natural seco (situación actual): FS<1.....	33
<b>Figura 24.</b>	<b>Talud con suelo saturado (época invernal-máxima precipitación):</b> .....	33
<b>Figura 25.</b>	Sismicidad Histórica en la costa ecuatoriana período 1900-2017. <i>Elaborado por Equipo Consultor.</i> ....	35
<b>Figura 26.</b>	Mapas con la sismicidad registrada en los años 2016, 2017 y 2018 (hasta la fecha).....	36
<b>Figura 27.</b>	Acumulación de energía en la zona costera. ISC Interseismic Coupling (Acoplamiento Inter Sísmico). ....	37
<b>Figura 28.</b>	Esquema de una construcción de terrazas.....	40
<b>Figura 29.</b>	Esquema de remoción y reemplazo.....	41

## Estudio geológico, geotécnico e hidrológico, en el tramo de referencia coordenadas X: 561834 Y: 9944756, a la altura de la comunidad "Briceño" de la parroquia Canoa del cantón San Vicente

### FICHA TÉCNICA

<b>Tipo de Estudio</b>	Estudio geológico, geotécnico e hidrológico, en el tramo de referencia coordenadas X: 561834 Y: 9944756, a la altura de la comunidad "Briceño" de la parroquia Canoa del cantón San Vicente
<b>Fecha de Elaboración:</b>	Septiembre 2018
<b>Ubicación Geográfica</b>	
<b>Provincia:</b>	Manabí
<b>Cantón:</b>	San Vicente
<b>Comunidad:</b>	Briceño
<b>Extensión de la Línea de Transmisión objeto de estudio en el área Km 11</b>	9 Km
<b>Nombre de la Entidad Contratante:</b>	<b>EMPRESA ELÉCTRICA PÚBLICA ESTRATÉGICA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL EP</b>
<b>RUC</b>	0968599020001
<b>Dirección:</b>	Km. 6 1/2 Vía a la Costa, Edificio Grace Ceibos, piso 2
<b>Teléfonos:</b>	593 4 3727310 / ext. 422
<b>E-mail de Contacto:</b>	<a href="mailto:fausto.vinueza@cnel.gob.ec">fausto.vinueza@cnel.gob.ec</a>
<b>Nombre del Consultor:</b>	<b>Ing. Damián Lara Salazar, M.Sc.</b>
<b>Registro de Consultoría MAE:</b>	MAE-SUIA-0344-CI
<b>RUC:</b>	1713139598001

Dirección:	Quito: Eloy Alfaro y Alemania. Edificio Fortune Plaza. Oficina 10-12A.	
Teléfono - Celular:	Quito: (593 2) 380 1624 – (593 9) 97173603	
E-mail de Contacto:	<a href="mailto:dlara@taiao.com.ec">dlara@taiao.com.ec</a>	
<b>Equipo Técnico</b>		
<b>Componente de Participación en el Proyecto</b>	<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Formación Profesional</b>
Director Estudio	Ing. Carolina Freire, M.Sc	Ing. Geóloga – M.Sc. Ciencias de la Tierra y Gestión del Riesgo
Coordinación Técnica	Ing. Damián Lara S, M.Sc.	Ing. Recursos Naturales Renovables – M.Sc. Gestión Desarrollo Local
Técnico Especialista campo	Ing. Ángel Fernando Bonilla, M.Sc.	Ing. Geólogo – M.Sc. Ingeniería geológica

## ANTECEDENTES

En la recomendación del "Análisis de susceptibilidad, de las alternativas de ubicación del proyecto "Reubicación de 9 km de la Línea de Subtransmisión San Vicente", la SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS – DIRECCIÓN ZONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS N° 4, en el informe Nro. SGR-IASR-04-0240, indica textualmente:

"Se recomienda a CNEL E.P Manabí, realizar estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos, del tramo correspondiente a la Alternativa 2.- Cambio de la ruta original hacia la margen derecha de la vía San Vicente-Canoa (ruta que se relaciona del lado del talud), tomando en consideración los resultados toda vez que sean favorables y de esta manera se puedan determinar los tipos de obras de protección que se debería construir previo a realizar los trabajos "Reubicación de 9 km de la Línea de Subtransmisión San Vicente".

Con el fin de atender a la solicitud de la Secretaría de Gestión del Riesgo se realizó el presente trabajo que consiste en el Estudio geológico, geotécnico e hidrológico, en el tramo de referencia coordenadas X: 561834 Y: 9944756, a la altura de la comunidad "Briceño" de la parroquia Canoa del cantón San Vicente

El alcance del presente estudio comprende dos fases detalladas a continuación.

## ALCANCE DEL ESTUDIO INTEGRAL

**FASE 1** Reconocimiento de campo, levantamiento de información geológica, hidrológica y geotécnica, estructural e inventario de movimientos en masa, que abarca lo siguiente:

- 1) Recolección de datos geológicos-geotécnicos en cada estación de campo que corresponde a información de tipo litológico, sedimentológico, petrográfico, estructural, estratigráfico, que describan un afloramiento o las unidades y estructuras geológicas observadas. La información colectada debe quedar descrita en las libretas de campo, localizada en el mapa y evidenciada en fotografía.
- 2) Informe preliminar de geología, incluirá una descripción de las investigaciones realizadas, resultados de datos validados en campo.
- 3) Se realizará una zonificación geotécnica preliminar en la zona de estudio, se identificarán los principales fallos del terreno, datos estructurales y toma de muestras para obtener las propiedades mecánicas de suelos y rocas.

**FASE 2.** Estudio de diseños geotécnicos, ensayos de laboratorio mecánica de suelos-rocas y propuestas de medidas de mitigación.

1. En esta etapa se realizará la caracterización geotécnica de las unidades identificadas, en base a ensayos de laboratorio tales como: cortes directo en suelos, compresión simple, clasificación de suelos SUCS.
2. Las clasificaciones SUCS se realizará para el suelo residual identificado en las grietas de tracción de la corona del deslizamiento y el material granular identificado en los taludes expuestos en la zona del proyecto, se estima un promedio de tres muestras con la finalidad de establecer las propiedades índices y descartar la presencia de suelos que presenten problemas geotécnicos.
3. Determinar las causas preparatorias y desencadenantes para la ocurrencia de los movimientos en masa, analizar los métodos y resultados de la investigación geológica y la estabilidad para los principales deslizamientos, identificar las medidas correctivas posibles para las zonas inestables.
4. El informe contendrá la siguiente descripción: investigaciones realizadas, formaciones geológicas existentes, localización de zonas inestables y su posible solución, identificación de áreas saturadas o niveles freáticos altos, además tendrá como anexos toda la documentación preparada durante el desarrollo de los estudios y un mapa geológico con los componentes del proyecto.
5. Se definirá la viabilidad desde un punto de vista geológico-geotécnica de las alternativas propuestas y se calificará las mismas para sugerir la alternativa con menor riesgo.

## OBJETIVO GENERAL

- Realizar el reconocimiento de campo y levantamiento de información geológica-geotécnica a lo largo de la línea de transmisión eléctrica en el Km 11 Vía San Vicente-Jama de aproximadamente 1 Km de longitud.

## 5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a las unidades litológicas presentes en la zona de estudio a escala 1: 5000.
- Caracterización geotécnica de las unidades identificadas, en base a ensayos de laboratorio.
- Elaborar un inventario de deslizamientos a escala 1:5 000.
- Identificar los principales tipos de fallo del talud.
- Establecer el factor de seguridad al deslizamiento en las condiciones geomecánicas actuales del talud.

## METODOLOGÍA LEVANTAMIENTO DE INFORMACION

- a) Elaborar un diagnóstico bibliográfico, basado en información secundaria disponible que consta de la revisión y recopilación de información geológica – estructural y movimientos en masa de la zona de estudio.
- b) Levantamiento geológico y comprobación de campo, los elementos principales de un mapa geológico son las unidades litológicas y la deformación que éstas presentan, lo cual define su posición espacial en la porción de la corteza terrestre considerada y su exposición en superficie. La elaboración del mapa requiere de la aplicación de técnicas geométricas que deben considerarse particularmente en la interpretación en zonas cubiertas por suelos o vegetación, tomando en cuenta los tipos de rocas y sus clasificaciones preferentemente genéticas.
- c) Para el levantamiento geológico de campo se deben establecer unidades con dimensiones suficientes para que a escala gráfica representen magnitudes no menores al 20% de la escala del mapa (ej.: 1cm equivalentes a 50 metros en escala 1:5.000).
- d) Realizar el inventario de fenómenos de remoción en masa comprobados en campo, para ubicar los movimientos en masa, su tipología, actividad, dirección del movimiento etc...
- e) Determinar las causas preparatorias y desencadenantes para la ocurrencia de los movimientos en masa, analizar los métodos y resultados de la investigación geológica y la estabilidad para los principales deslizamientos, identificar las medidas correctivas posibles para las zonas inestables.
- f) Análisis de sismicidad con el uso de información secundaria.
- g) Caracterizar unidades geotécnicas, establecer las principales causas de inestabilidades y determinar el factor de seguridad actual del talud.
- h) Esta información será procesada a través de un Sistema de Información Geográfica y consecutivamente se hará una correlación con las características litológicas, estructurales, morfológicas y mecánicas para realizar el análisis y discusión de resultados.

## UBICACIÓN

El presente estudio se localiza en la provincia de Manabí, en el cantón San Vicente en el Km 11 en la vía a Jama -Pedernales, ubicado en la margen costanera hacia el norte del Ecuador continental.

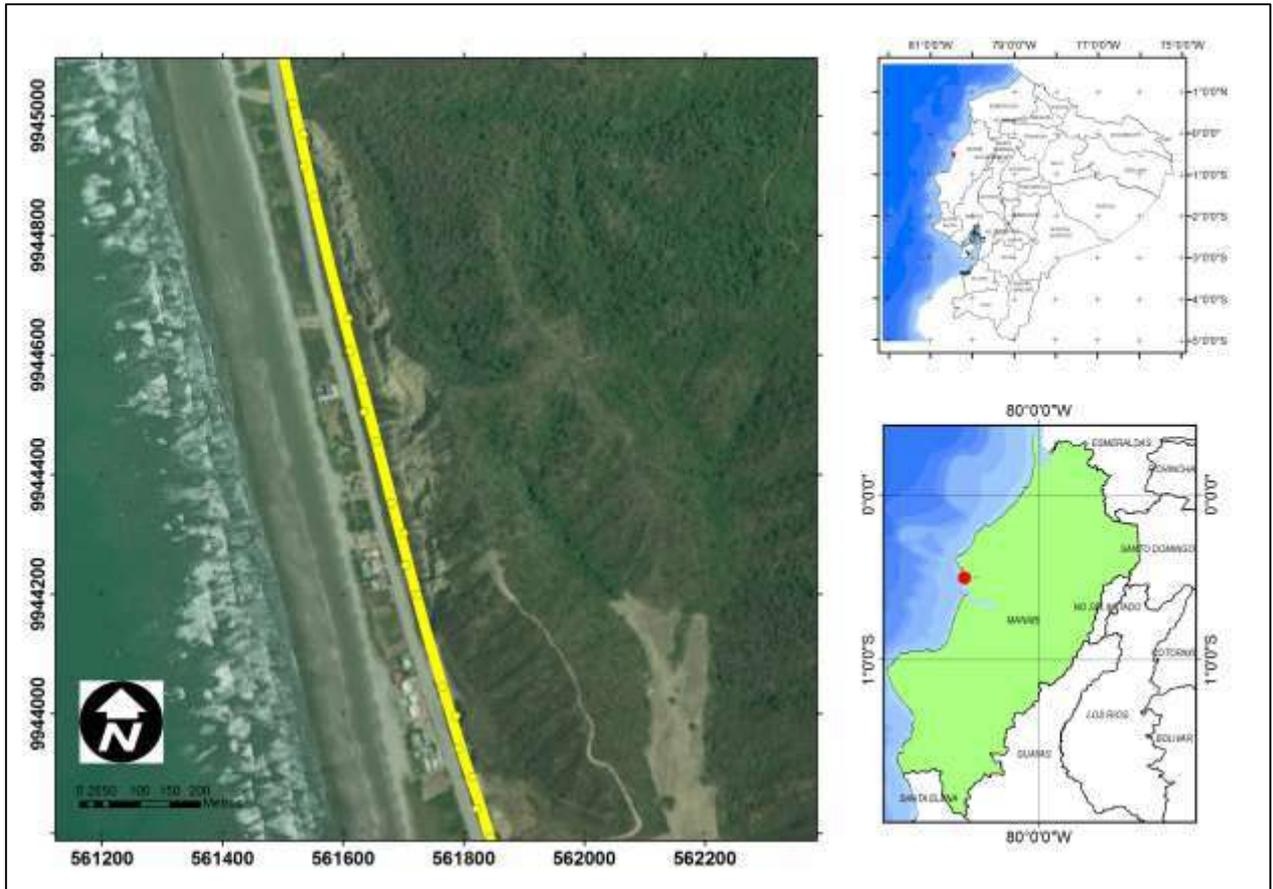


Figura 1. Ubicación geográfica del área de Estudio.

## INFORMACIÓN PRELIMINAR

### A) Características Climáticas

El clima de la provincia de Manabí está influenciado por la orografía de la zona, las temperaturas medias no experimentan mayor cambio, manteniéndose más o menos constante durante el año con un valor medio de 25°C. Sin embargo, la variación diaria de la temperatura puede variar entre 17 a 38 °C.

En la región de la costa, las precipitaciones varían desde la franja costera con valores medios anuales de aproximadamente 250 mm. por año, en las zonas montañosas de las principales divisorias de aguas, las precipitaciones aumentan hasta aproximadamente 1.600 mm por año, desde el punto de vista hidrogeológico, es muy importante la distribución de la precipitación puesto que, generalmente en un 70%, cae dentro de los meses de enero a mayo. En el tiempo restante, la precipitación no es apreciable.

En el Mapa de Isoyetas los valores más altos de precipitación se encuentran en las zonas más alejadas de la costa, teniendo una precipitación de 750-1250 mm en la Cordillera de Chongón y Colonche con una altitud entre 400 a 800 m.s.n.m. ubicada al Suroeste de la Provincia y en las Cordilleras de Jama y Coaque ubicadas al Noroeste de Chone y tienen una altitud media de 700 m.s.n.m. con un rango de precipitación de 500 – 1000 mm; de manera general la precipitación aumenta de Oeste a Este cumpliendo con las leyes de precipitación media.

La presencia de la corriente cálida del Niño, tiene una marcada influencia en las precipitaciones de la zona, presentándose dos períodos diferenciados por la intensidad de las lluvias, un período que va de diciembre a mayo con fuertes precipitaciones que alcanzan su máxima intensidad en el mes de marzo y un período seco de junio a diciembre con ausencia de precipitaciones en los que se presentan ligeras lloviznas de poca duración.

Las variaciones de los totales pluviométricos anuales es amplia, existen zonas con precipitaciones inferiores a los 200 a 500mm (Canoa-San Vicente-Jama) y zonas donde las precipitaciones registran un total anual que sobrepasa los 3000 mm sector noreste en los límites de la Provincia de Esmeraldas.

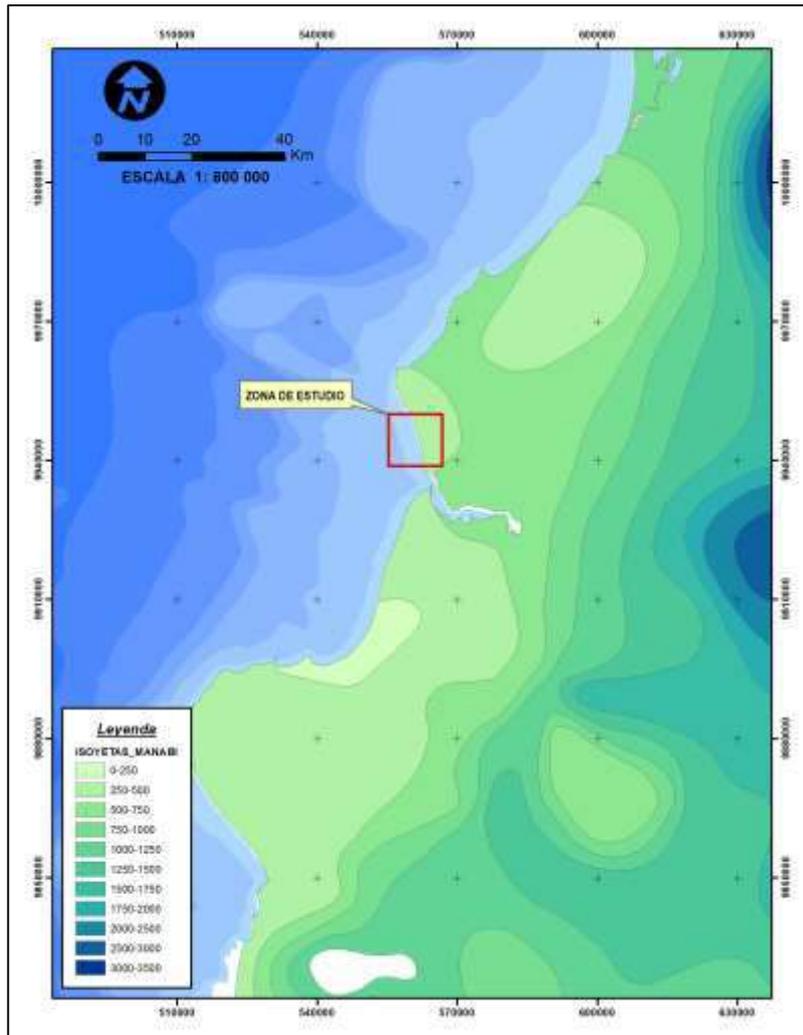
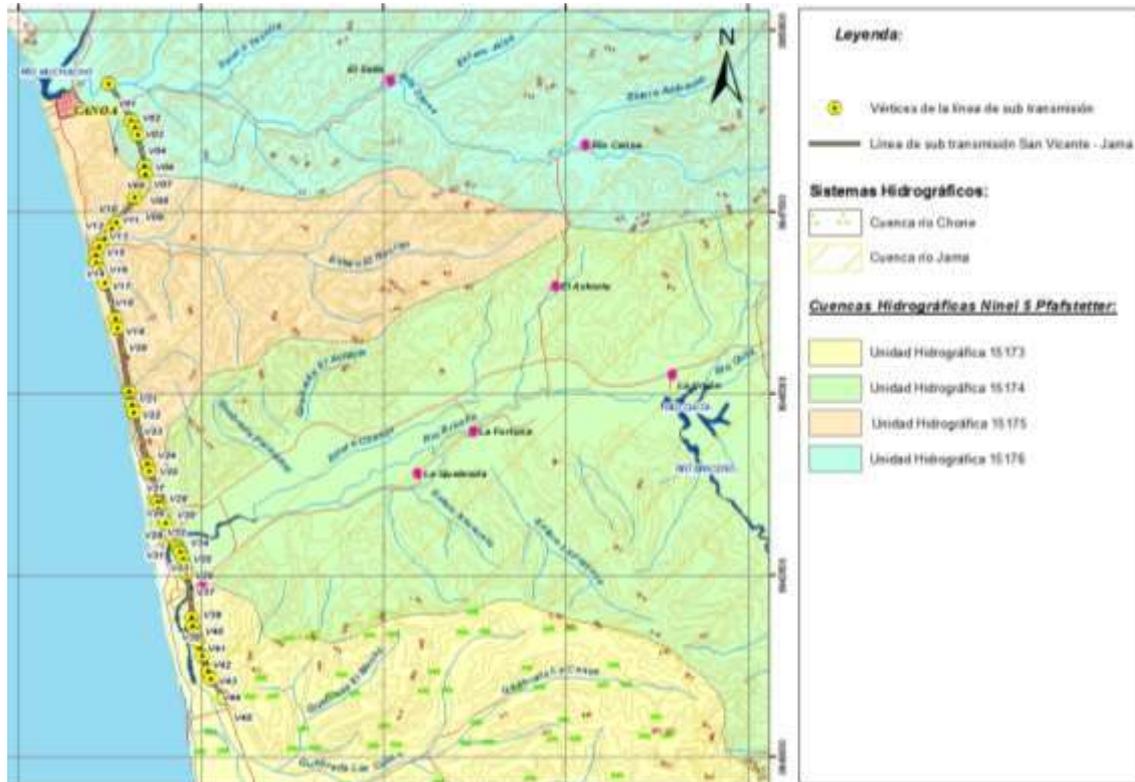


Figura 2. Mapa de Isoyetas (Precipitación media anual-periodo 10 años)

## B) Hidrología general

El área de estudio e incluso el proyecto de la línea de sub transmisión de CNEL se ubica en la cuenca del río Chone y cuenca del río Jama, según la cartografía levantada con base al SIG el proyecto atraviesa tres cuerpos de agua principales, los cuales son el río Briceño, estero Recreo y río Canoa de los cuales se desprenden otros cuerpos de agua, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.** Mapa de Cuencas hidrográficas

Fuente: Cartografía, 2018

Sin embargo, durante el recorrido de campo se pudo evidenciar que el estero Recreo se encontraba seco, que el río Canoa tiene un caudal muy bajo de agua y el único cuerpo de agua representativo del área del proyecto es el río Briceño.

Cuerpo de Agua	Registro Fotográfico	
Río Briceño		

Cuerpo de Agua	Registro Fotográfico
Río Canoa	

Fuente: Trabajo de campo, 2018

**Figura 4.** Cuerpos de agua en el área de influencia del proyecto

### C) Sismicidad - costa centro del Ecuador.

La sismicidad es diferente de acuerdo a las características geológicas y tectónicas de cada región, las mismas que dependen de varios factores, como la estructura y composición del subsuelo, las fallas tectónicas activas del lugar, entre otras. Como resultado de las diferentes condiciones sísmicas de cada región también la amenaza sísmica difiere en cada región.

El país está consecutivamente expuesto a sismos y terremotos de gran magnitud, en los últimos 80 años grandes terremotos han ocurrido en la zona de subducción de Ecuador, esto se refleja en la acumulación de esfuerzos entre las placas de Nazca y Sudamericana por distintos mecanismos de ruptura ya sea en la zona de contacto y en la parte interna de las placas continental y oceánica, una parte de la interface entre la placa Nazca y el margen queda bloqueado por lo que en esta zona se acumula esfuerzos cizallantes que aumenta con el tiempo, este es el régimen inter sísmico.

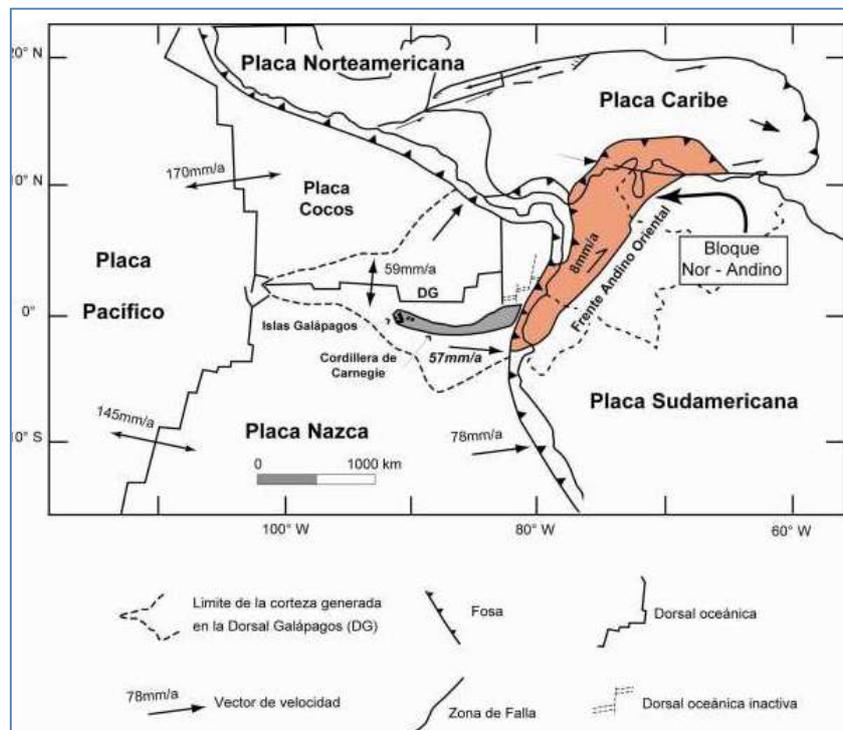
La presencia de anomalías topográficas como un pleteu oceánico en la placa que subduce puede generar un mayor acoplamiento entre las placas y mayor acumulación de esfuerzos, este es el caso de cordillera asísmica de Carnegie, que influencia la sismicidad y la dinámica del margen ; debido al movimiento convergente de la placa sudamericana con la placa Nazca (5.5-5.8 cm/ año), esta última se dobla y es subducida bajo la placa Sudamericana a lo largo de la fosa que corre paralelo a las costas de Chile, Perú y Ecuador a una distancia de 30-80 km de la costa. La subducción ha dado origen a la cordillera de los Andes y continuamente produce movimientos sísmicos y volcanismo.

Esta convergencia de placas da como resultado:

- La acumulación de esfuerzos y liberación a lo largo de la interfase de las dos placas, el cual es responsable de la generación de los grandes terremotos de la costa centro norte del Ecuador, dichos sismos generalmente son superficiales en la plataforma submarina y en la costa continental y tienen profundidades mayores, conforme se adentran en el continente, de acuerdo al ángulo de la subducción, estas variaciones en los contacto interplacas son coherente con las diferencias del acoplamiento mecánico entre ellas, un acoplamiento débil indicando un potencial sismogénico bajo y una baja probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos de importancia.

- La expulsión de una microplaca, el Bloque Norandino (NAB) que se mueve hacia en NE con respecto a la placa estable de Sudamérica a una velocidad de 8 mm /año, este bloque norandino está asociado con un principal sistemas de fallas geológicas a nivel regional que atraviesa el territorio, desde el nororiente hasta el golfo de Guayaquil se destacan el Sistema principal Dextral Guayaquil-Dolores.

El frente de subducción de la Cordillera Carnegie abarca gran parte del litoral ecuatoriano desde Punta Galera al norte hasta la Península de Santa Elena al sur. Carnegie ha estado subduciendo desde hace ~4.5 m.a. La zona de subducción se caracteriza por fallas inversas, doblamientos y levantamientos (tablazos) de la costa ecuatoriana y norte del Perú de hasta 360m de altura sobre el nivel del mar, que habría generado en la Península de Manta una migración de la línea de costa de 40-50 km al oeste . La subducción de la cordillera Carnegie en la fosa produce fuertes terremotos en los flancos norte y sur de la cordillera que entra en subducción.



**Figura 5.** Esquema de la geodinámica actual en el Noroeste de Sudamericana. Modificado de Pennigton (1981). La cordillera de Carnegie se subduce con un ángulo de 100° a una velocidad de 57 mm/a bajo la margen ecuatoriana, mientras que el Bloque Nor-Andino con un movimiento de 8 mm/a hacia el NNE acomoda los movimientos de las placas Nazca, Caribe y Sudamericana (Trenkamp et al., 2002).

## D) Geomorfología

La Cordillera Costera del Ecuador es una estructura heterogénea formada por relieves medios que fluctúan entre los 300 a 600 metros de altitud y está constituida por litologías muy variadas que abarcan rocas del Cretácico hasta el Cuaternario. El levantamiento generalizado de la cordillera costera empezó después de la depositación de la Formación Borbón que corresponde a la última formación marina de extensión regional, el territorio es muy accidentado, la zona costera del cantón se halla ubicada frente al límite de convergencia de la placa nazca y la sudamericana, por lo que está sometida a un régimen tectónico compresivo. La geomorfología de la zona de estudio está dominada por taludes naturales y antrópicos asociados a las vertientes de mesa de la Formación Borbón que bordean la vía a Jama-

Pedernales, los taludes naturales son producidos por fallas recientes o levantamientos rápidos del continente, las paredes verticales sufren los efectos de la socavación por la erosión hídrica / eólica; tiene una pendiente de 50 a 80° y un desnivel relativo de 25 hasta 40 m; mientras que los taludes antropizados son producto de la apertura de vías y construcciones de obras civiles.

## E) Geología Regional

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Litoral Ecuatoriano, delimitado al Este por la Cordillera de los Andes, al Sur por el Arco Volcánico Macuchi Cordillerano, hacia el Oeste por el basamento ultrabásico de Fondo Marino que también puede ser considerado de la Formación Macuchi y que sólo aflora en ciertos sitios de la costa ecuatoriana y hacia el Norte por la falla geológica activa Jama-Quinindé.

La cordillera costera que atraviesa esta región, está constituida por terrenos cuyas elevaciones fluctúan entre los 200 y 600 m de altura, constituidas en más de un noventa por ciento por rocas sedimentarias terciarias y cuaternarias, poco consolidadas y con una estratificación indefinida. Los principales tipos de roca que se encuentran son: lutitas arcillosas, lutitas y limolitas tobáceas, areniscas pobremente cementadas y en ocasiones, en pocos sectores, extrusivos de rocas ígneas-basálticas.

## F) Geología Estructural

El sistema de fallas de Jama, es uno de los más importantes de la Cordillera Costera del Ecuador, tiene una dirección NE-SW y su extensión hacia el S parecería prolongarse en la plataforma continental (off-shore) afectando la cuenca de Manta (Deniaud, 2000). Collot et al., (2004), estudiaron la localización de las zonas de ruptura, asociadas a mega sismos de subducción al norte de Ecuador. Fallas transversales a nivel crustal, se encuentran segmentando el margen y potencialmente podrían corresponder a los límites de las zonas de ruptura de grandes sismos. La falla Jama (F9) constituye el trazo principal del sistema Jama, un cinturón elongado en dirección NE-SW estructurado por una serie de fallas subparalelas dispuestas en forma de flor positiva. El movimiento de la falla de Jama levanta basamento Cretácico y modifica gran parte del drenaje de la zona. En sus fases iniciales de actividad, esta falla desarrolló una componente normal que controló una gran parte del límite estructural de una de las cuencas Neógenas de la Costa del Ecuador. El sistema de fallas de Jama, ha controlado el levantamiento más reciente de la cordillera costera.

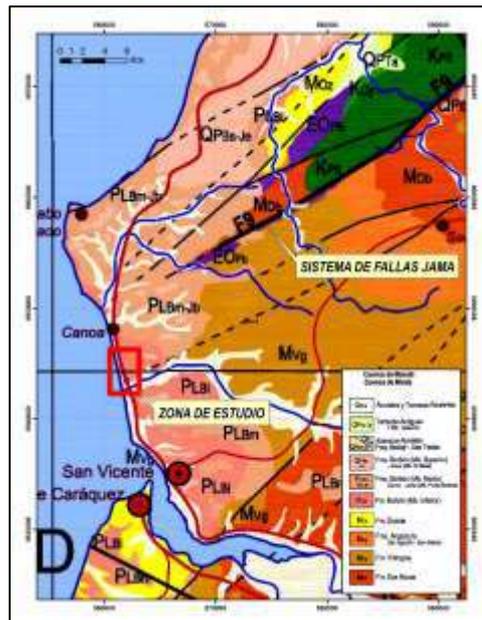


Figura 6. Mapa geológico de la costa ecuatoriana Reyes P. & Michaud F; 2012.

## LEVANTAMIENTO DE INFORMACION DE CAMPO

### A) Caracterización geológica

El levantamiento geológico se realizó tomando un total de 14 puntos de control (Tabla 1), a partir de los cuales se identificaron las unidades geológicas presentes en la zona de estudio.

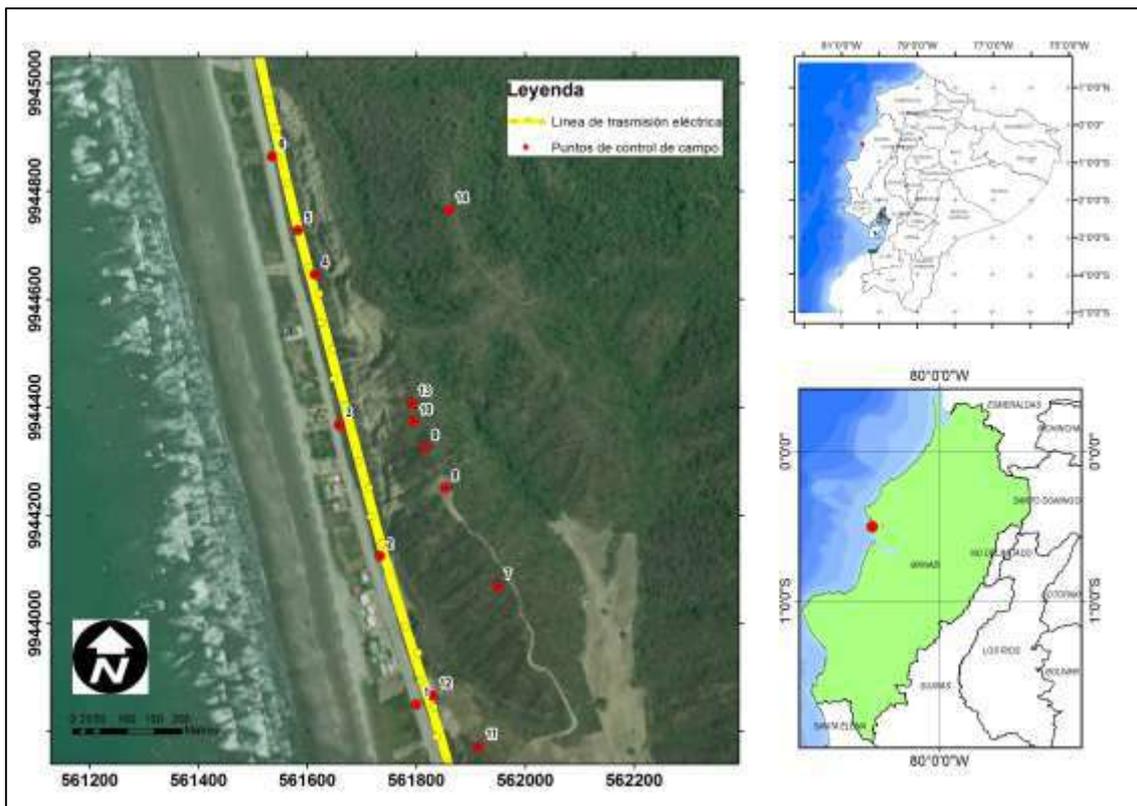


Figura 7. Ubicación de puntos de control levantados en campo.

PUNTOS	X	Y	Tipo de Material	Movimiento en masa/Agrietamiento	Unidades Geotécnicas
1	561800	9943850	Arenisca tobácea masiva color crema de grano medio a grueso	S/E	UG3
2	561733	9944125	Coluvión reciente	Caída de rocas y traslacional de detritos	UG1
3	561658	9944367	Coluvión reciente	Deslizamiento traslacional de detritos y caída de rocas	UG1
4	561614	9944646	Coluvión Antiguo	Deslizamiento Traslacional de detritos y Caída de rocas	UG1
5	561583	9944728	Coluvión antiguo/reciente	Caída de rocas y traslacional de detritos (Bloques y detritos de arenisca de con presencia de fósiles en una matriz limo arenosa)	UG1
6	561535	9944864	Coluvión Antiguo	S/E	UG1
7	561950	9944068	Suelo vegetal color café a marrón claro ricos en materia orgánica, textura franco areno limosa	S/E	UG2
8	561853	9944251			
9	561816	9944326	Arenisca de grano grueso	Deslizamiento traslacional de detritos y caída de rocas	UG3
10	561794	9944375	Suelo orgánico con presencia de gravas y limos	Grietas de tracción en el escarpe principal.	UG2
11	561915	9943772	Arenisca tobácea grano fino a medio con vetillas de carbonatos y óxidos.	S/E	UG3
12	561830	9943867	Arenisca tobácea grano fino	Deslizamiento traslacional de detritos	UG3
13	561792	9944408	Suelo orgánico con presencia de gravas y limos	Grietas de tracción en el escarpe principal	UG2
14	561860	9944765	Suelo orgánico con presencia de gravas y limos	S/E	

**Tabla .** Puntos de Control de campo

### a) Suelo vegetal

Suelo derivado de la meteorización y descomposición de la roca in situ. Suelo color café a marrón claro ricos en materia orgánica, textura franco areno limosa. Alcanza desde 0,2 hasta 0,5 m de potencia. Se la observa sobreyaciendo a todas las unidades en la zona de estudio.

En el punto 10 en la corona del deslizamiento a 1.20 m del escarpe principal existe una grieta de aproximadamente 6.10 m de longitud, el material del suelo se encuentra erosionado por cárcavas.



**Figura 8.** Suelo Vegetal y Grieta de tracción Coordenadas UTMwgs84 X: 561794 Y: 9944375.

## b) Depósitos coluviales

Constituidos por material de las laderas superiores adyacentes al lugar de depositación y transportado por acción de la gravedad. Se lo ha dividido en dos grupos:

### b.1 Depósitos coluviales antiguos

Estos depósitos no son susceptibles de erosión eólica pues se encuentran cubiertos por suelo residual y vegetación herbácea, son susceptibles en grado medio a la erosión hídrica pues son depósitos heterogéneos poco compactos. En el punto 4 y punto 6 el depósito es de bloques de arenisca subangulares poco consolidadas de grano fino a medio, matriz soportado, distribuido 60% matriz-limo arena y 40% de bloques-arenisca masiva, existen minerales como cuarzo, plagioclasa, biotita, los feldespatos se encuentran alterados; el tamaño de los bloques varía de 0.4cm a 1 m. Se los observa al pie de los taludes antropizados.

### b.2 Depósitos coluviales recientes

Son altamente susceptibles a erosión hídrica y eólica debido a que no tienen compactación. Dentro de este grupo se encuentran los deslizamientos inventariados en la Tabla 1, asociados a caídas de bloques y deslizamientos traslacionales de detritos. Se los observa principalmente en zonas donde la pendiente del talud natural es mayor a 50°. Existe en menor proporción material coluvionado de bloques de areniscas con presencia de fósiles con tamaño de hasta 0.5m. En el punto 5 se evidenció un coluvión reciente compuesto de 80% gravas, 20% limo-arena, clastos angulosos de arenisca color crema, tiene un diaclasamiento moderado en el talud natural, este movimiento en masa mide 17 m de ancho y 25 m de alto aproximadamente, la cobertura de suelo es de 0.5cm y el material sobrepasa el muro voladizo lo que implicaría un grado de afectación a la estructura.



**Figura 9.** A) Coordenadas UTMwgs84 X: 561733 Y: 9944125 Caída de bloques. B)-C) Coordenadas UTMwgs84 X: 561583 Y: 9944728, Deposito coluvial antiguo-reciente/Deslizamiento traslacional de detritos y caída de bloques-Muro voladizo afectado.

### c) Formación Borbón

Consiste en una arenisca masiva color crema de grano medio a grueso en matriz limo arenosa, permeabilidad intermedia, presenta diaclasamiento moderado vertical a subvertical el relleno de las diaclasas es calcáreo; tiene poca cementación. Corresponde a todos los taludes antropizados a lo largo del Km 11, la pendiente oscila entre 60 a 80°, la altura del talud varía de 19 a 25m aproximadamente, la cobertura de suelo vegetal es de 0.20 a 0.60cm. Por su composición litológica esta formación tiene una permeabilidad calificada como de baja a media, sin embargo por la topografía irregular donde aflora no parece constituir zonas acuíferas. Su importancia hidrogeológica está relacionada con la recarga posible de acuíferos.



**Figura 10.** Coordenadas UTMwgs84 X: 561800 Y: 9943850, talud natural, pendiente 70°, 13 m de altura.

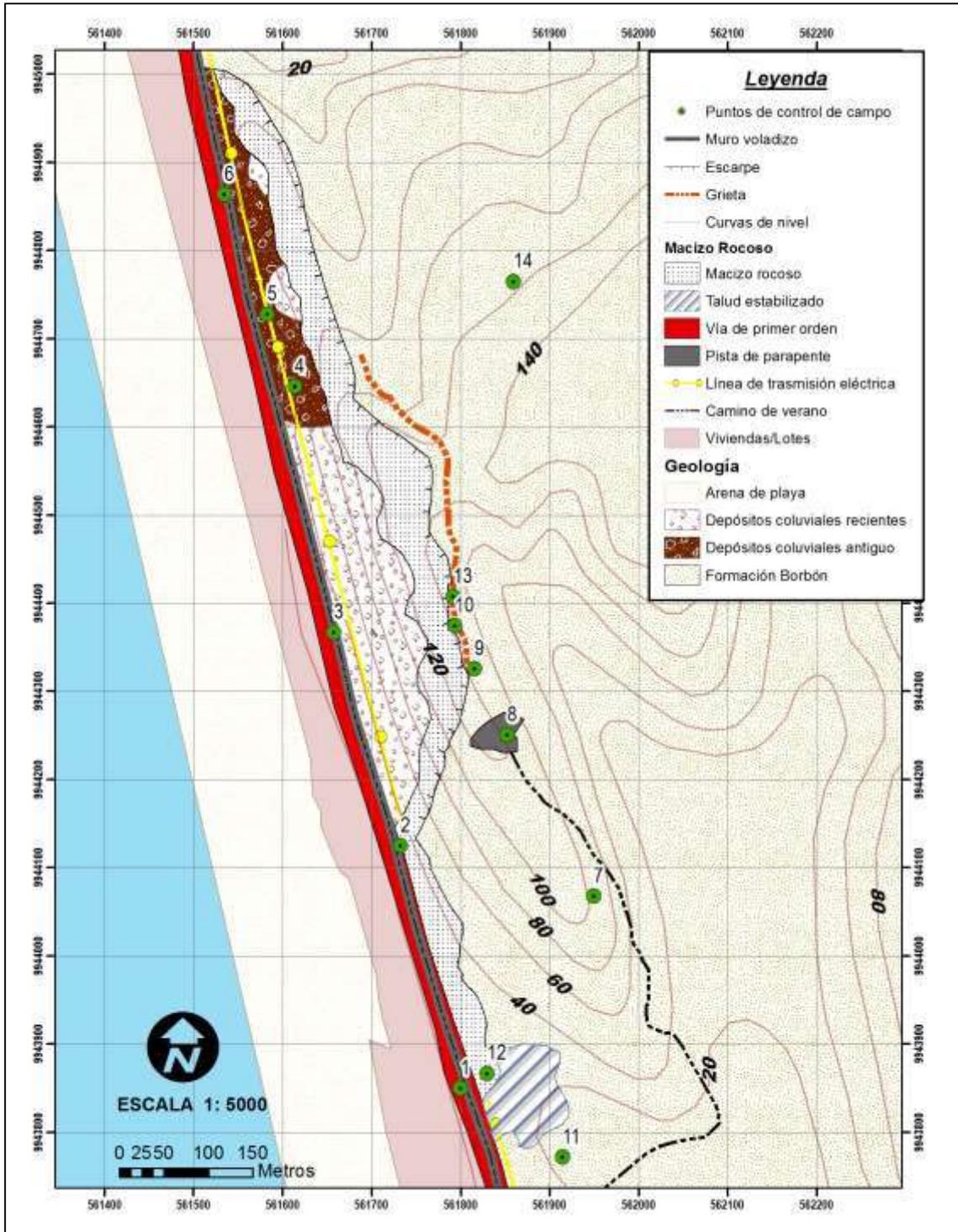


Figura 11. Mapa Geológico del área de estudio. Escala 1:5000

## B) Movimientos en Masa

En base al levantamiento de información en campo se ha corroborado que los movimientos en masa característicos en la zona de estudio están asociados a, deslizamientos traslacional de detritos y caídas de rocas. Ver Figura 11.

### Deslizamiento traslacional de detritos.

En la zona de estudio se caracterizó 4 puntos donde se evidencia que la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, tal desplazamiento ocurre a lo largo de discontinuidades (diaclasas, planos de estratificación). En los taludes antropizados asociados al macizo rocoso este mecanismo de falla ocurre cuando una discontinuidad geológica tiene una dirección aproximadamente paralela a la de la cara del talud y buza hacia esta con un ángulo mayor que el ángulo de fricción, el factor pendiente es de gran influencia en este tipo de deslizamiento, la pendiente de la zona de arranque oscila entre 60° a 80°; puede desarrollar altas velocidades y pueden alcanzar grandes distancias de viaje.

#### a) Descripción y detalle geomorfológico:

La geometría del área de falla es caracterizada por la relación profundidad – longitud (D/L frecuentemente menor a 0.05) y las altas relaciones largo – ancho (L/B típicamente entre 5 – 10 o mayores). El material involucrado es principalmente coluvial.

#### b) Causas

Estos procesos son detonados por intensas lluvias o terremotos, la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento de detritos se incrementa por la destrucción de la cobertura vegetal, las fallas se deben al incremento en la presión de poros luego de la ocurrencia de fuertes lluvias, que reducen la resistencia al corte de las formaciones superficiales.

#### c) Origen y naturaleza de los materiales

La naturaleza del material es no consolidado y/o de baja cohesión. El material involucrado es principalmente depósitos coluviales y porciones de roca meteorizada y densamente fracturada.



**Figura 12.** Coordenadas UTMwgs84 X: 561658 Y: 9944367, Deslizamiento Traslacional de detritos y caída de rocas

## Caída de rocas

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 rodamiento. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido, es decir con velocidades mayores a 50 mm/s.

### d) Descripción y detalle geomorfológico

Proviene de un desplome de una ladera desde la cual uno o más fragmentos son súbitamente desprendidos, la forma de la superficie inicial de falla es vertical, este movimiento es rápido sobre toda la trayectoria de caída, el material después se inmoviliza en la parte baja de las laderas.

### e) Causas

- Las caídas ocurren cuando las pendientes naturales exceden el equilibrio límite de los materiales que la componen. La caída puede tener varias causas directas:
- El crecimiento o ampliación de las fisuras debido a fenómenos de gelifración y termo clásticos, además del crecimiento de raíces. Los factores climáticos juegan una parte vital en la actividad de fallas y fisuras.
- El incremento de la fricción estática de uno o más bloques en equilibrio límite debido a sismos, explosiones, hidratación de arcillas en juntas o incrementos de presión hidrostática.

### f) Origen y naturaleza de los materiales

Se presenta en el material fino sobre taludes escarpados, está asociado a las areniscas masivas de la Formación Borbón que corresponden a guijarros o bloques desprendidos del escarpe rocoso, ocurre en el corte de la vía; la forma de las discontinuidades proporciona planos que se cruzan para formar superficies escalonadas o fisuras verticales. Las caídas están gobernadas por la orientación y el ángulo de la ladera, el tamaño y la forma del bloque, el rumbo del talud.

### g) Características diagnósticas potenciales

- La pendiente fuerte que forma escarpes verticales.
- Presencia de grietas abiertas cerca a la cara de la ladera.
- El diaclasamiento está buzando hacia la cara del talud, evidente en la información de estaciones geomecánicas levantadas en campo.
- Se evidenció en el macizo rocoso diaclasamiento con rellenos blandos de carbonatos y óxidos.



**Figura 13.** Coordenadas UTMwgs84 X: 561583 Y: 9944728, Caída de rocas y traslación de detritos (Bloques y detritos de arenisca de con presencia de fósiles en una matriz limo arenosa) **Deposito** coluvial reciente caída de bloques-Muro voladizo afectado.

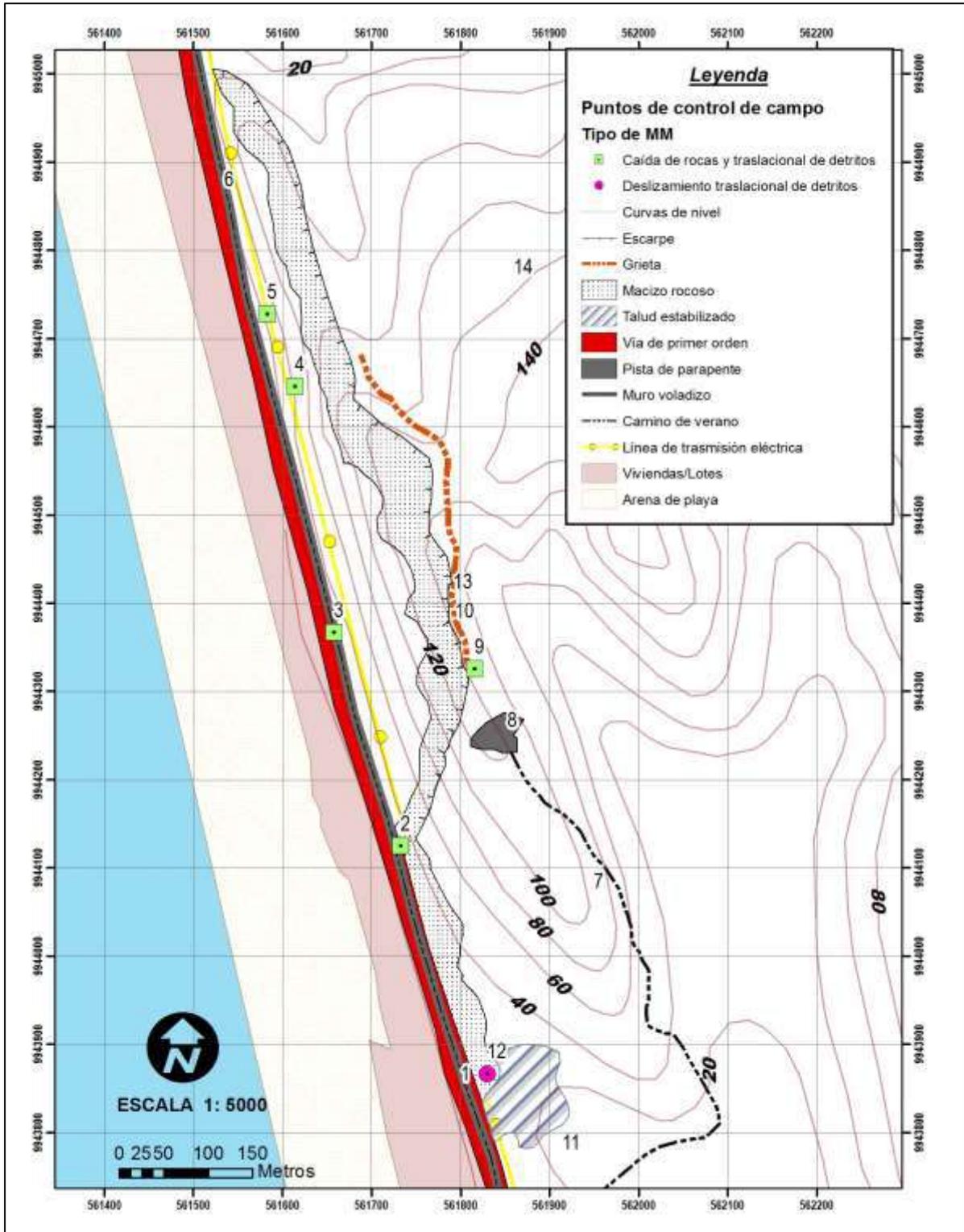


Figura 14. Inventario de Movimientos en masa. Escala 1:5000.

## Caracterización Geotécnica.

Una correcta caracterización geotécnica permite establecer el comportamiento de los materiales del talud presentes en la zona de estudio, se plantean los fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelos o macizos rocosos. Los agentes externos involucrados en la inestabilidad del terreno son el peso del suelo, efectos de la infiltración de las precipitaciones y factores de las sobrecargas (estáticas/dinámicas).

La caracterización de campo permite obtener la información necesaria para evaluar el comportamiento geotécnico del talud, propiedades geomecánicas y tipologías de inestabilidades. Para ello se realizaron estaciones geomecánicas describiendo:

1. Descripción de la roca (Tipo de roca, resistencia de los labios, meteorización).
2. Descripción de la discontinuidad (Tipo, orientación, rugosidad, abertura).
3. Relleno (Tipo y espesor de relleno).
4. Descripción del macizo rocoso (Espaciado, continuidad, número de familias, tamaño de bloque).
5. Presencia de agua (Filtraciones).

Además se tomaron muestras de las unidades geotécnicas definidas para enviar a laboratorio y obtener sus parámetros resistentes. Los ensayos solicitados a laboratorio son los siguientes:

- Relaciones fundamentales (densidad natural, densidad seca, Peso Específico de la partícula Solida, humedad del suelo, índice de poros, porosidad).
- Clasificación de suelos (SUCS).
- Ensayos de compresión Simple
- Ensayo de Corte

## A) ESTACIONES GEOMECÁNICAS

Para el levantamiento de la información se tomaron cuatro estaciones geomecánicas, la información procesada se resume a continuación:

### Estación Geomecánica No. 1. Coord. E 561688, 9944367 N:

LITOLOGIA		Arenisca		Talud (DirDip/Dip)		265/80						
Tipo	FAMILIA	Dip Dir	Dip	Espaciado (mm)	Pers. Bz	Pers. Rb	Apertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Filtración	Meteo.	Resist.
Junta	J2	260	88	>6000 mm	10-20 m	3-5 m	2.5-10	O-L	Limo/Ox de Fe	Seca	II	R1
Junta	J3	90	70	2000-6000 mm	1-3 m	1-3 m	0.25-0.5	P-R	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1
Junta	J1	205	70	2000-6000 mm	3-10 m	1-3 m	0.5-2.5	O-R	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1
Junta	J3	90	44	2000-6000 mm	1-3 m	3-10 m	0.5-2.5	O-R	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1
Junta	J1	190	70	>6000 mm	3-10 m	1-3 m	0.5-2.5	O-R	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1

Tabla 2 . Puntos Estación Geomecánica No. 1



**Figura 15.** Estación Geo mecánica 1. Coordenadas UTMwgs84 X: 561688 Y: 9944367, en líneas entre cortadas discontinuidades presentes en el talud.

La familia de discontinuidades J2 tiene un rumbo paralelo al rumbo del plano del talud, su fallo se produce a través de esta discontinuidad. La familia de discontinuidad J3 presenta un rumbo paralelo al plano del talud y tiene buzamiento hacia el interior del mismo pudiendo llegar a ocasionar rotura por vuelco.

**Estación Geomecánica 2. Coord. 561583E, 9944728N**

LITOLOGIA		Arenisca		Talud (DirDip/Dip)		255/80							
Tipo	FAMILIA	Dip Dir	Dip	Espaciado (mm)	Pers. Bz	Pers. Rb	Apertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Filtración	Meteo.	Resist.	
Junta	J1	200	70	600-2000 mm	3-10 m	< 1 m	0.25-0.5	P-R	Limo/Ox de Fe	Seca	II	R1	
Junta	J2	250	84	2000-6000 mm	10-20 m	1-3 m	0.25-0.5	O-R	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1	
Junta	J1	200	58	>6000 mm	3-10 m	< 1 m	0.25-0.5	O-R	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1	
Junta	J4	10	70	2000-6000 mm	3-10 m	1-3 m	0.25-0.5	O-R	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1	

**Tabla 3 . Puntos Estación Geomecánica No. 2**



**Figura 16.** Estación Geomecánica 2. Coordenadas UTMwgs84 X: 561583 Y: 9944728, en líneas entre cortadas discontinuidades presentes en el talud.

Las familias de discontinuidades J1 y J4 forman cuñas, la familia de J2 se presenta un rumbo paralelo al plano del talud, es común el fallo por muro controlado por esta discontinuidad.

**Estación Geomecánica 3. Coord. 561535E, 9944864N**

LITOLOGIA	Arenisca	Talud (DirDip/Dip)		240/72									
Tipo	FAMILIA	Dip Dir	Dip	Espaciado (mm)	Pers. Bz	Pers. Rb	Apertura (mm)	Rugosidad	JRC	Relleno	Filtración	Meteo.	Resist.
Junta	J2	255	80	600-2000 mm	3-10 m	3-10 m	0.25-0.5	O-R	12-14	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R2
Junta	J1	205	68	>6000 mm	3-10 m	< 1 m	2.5-10	O-R	6-8	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R2
Junta	Aleatoria	322	40	600-2000 mm	1-3 m	1-3 m	0.1-0.25	O-R	6-8	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R2

**Tabla 4 .** Puntos Estación Geomecánica No. 3



**Figura 17.** Estación Geomecánica 3. Coordenadas UTMwgs84 X: 561535 Y: 9944864, en líneas entre cortadas discontinuidades presentes en el talud.

La familia de discontinuidades J2 presentan un rumbo paralelo a la cara del talud pudiendo generar rotura de talud de muro, la familia J1 y aleatoria forman cuñas.

**Estación Geomecánica 4. Coord. 561915E, 9943867N**

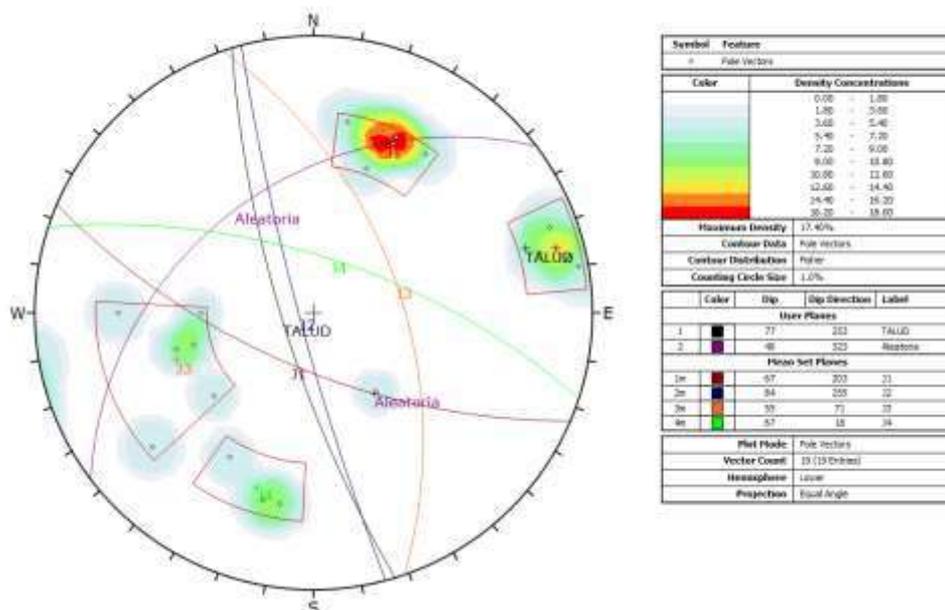
LITOLOGIA		Arenisca										
Tipo	FAMILIA	Dip Dir	Dip	Espaciado (mm)	Pers. Bz	Pers. Rb	Apertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Filtración	Meteo.	Resist.
Junta	J3	50	50	2000-6000 mm	1-3 m	1-3 m	0.5-2.5	O-R	Carbonatos/Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1
Junta	J1	215	70	600-2000 mm	< 1 m	3-10 m	0.5-2.5	O-R	Carbonatos/Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1
Junta	J3	50	74	600-2000 mm	3-10 m	<1 m	2.5-10	O-R	Carbonatos/Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1
Junta	J4	15	70	2000-6000 mm	3-10 m	< 1 m	0.25-5	O-R	Carbonatos/Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1
Junta	J4	30	62	600-2000 mm	3-10 m	<1 m	2.5-10	O-R	Carbonatos/Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1
Junta	J3	75	54	600-2000 mm	1-3 m	1-3 m	0.5-2.5 mm	O-R	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1
Junta	J3	75	48	600-2000 mm	1-3 m	1-3 m	0.5-2.5 mm	O-R	Limo/Ox de Fe	Seca	III	R1

**Tabla 5 .** Puntos Estación Geomecánica No. 4



**Figura 18.** Estación Geomecánica 4. Coordenadas UTMwgs84 X: 561915Y: 9943867, en líneas entre cortadas discontinuidades presentes en el talud. Parte alta del talud, ubicado al sur del recorrido no presenta inestabilidad.

En este punto no se evidencia inestabilidades, la altura del talud no supera los 3 metros y su ángulo está próximo a los 70 grados.



**Figura 19.** Estereograma Compilado estaciones geomecánicas.

## B) CLASIFICACION GEOMECÁNICA

Los métodos para la clasificación de macizos rocosos permiten de forma sencilla estimar la calidad del macizo rocoso mediante la cuantificación de parámetros medibles en campo con la finalidad de realizar una estimación de la estabilidad. Para el estudio se han considerado los parámetros de clasificación RMR de Bieniawski (1989):

1. Resistencia a la compresión simple
2. RQD
3. Espaciado de las juntas
4. Naturaleza de las Juntas (abertura, continuidad, rugosidad, resistencia, relleno y alteración).
5. Presencia de agua
6. Orientación de las juntas

PARÁMETROS	J1	J2	J3	J4
1. RCS	1	1	1	1
2. RQD	3	3	3	3
3. Espaciado	20	15	15	20
4.1 Persistencia	2	1	4	2
4.2 Abertura	4	4	4	0
4.3 Rugosidad	5	6	5	5
4.4 Relleno	2	2	2	2
4.5 Meteorización	3	3	3	3
5. Filtración	15	15	15	15
<b>RMR Básico</b>	55	50	52	51
<b>CORRECCIÓN</b>	-25	-50	-50	0
<b>RMR Corregido</b>	30	0	2	51
<b>RMR Básico media</b>	52			
<b>RMR corr media</b>	21			
<b>RMR corr_min</b>	0			
<b>RMR corr_máx</b>	51			

**Tabla 6** . Valoración del macizo rocoso en la zona de estudio, compilación de datos de las estaciones geomecánicas.

De la observación de campo se identifican tres unidades geotécnicas:

**UG1:** Es un depósito coluvial, son materiales depositados al pie talud, materiales heterogéneos, se observan bloques de arenisca en matriz arena limosa, producto de las inestabilidades presentes en el talud. Al ser materiales que se han expuestos a procesos geológicos presentaran propiedades residuales resistentes.

**UG2:** Cobertura vegetal, suelo orgánico, limo arenoso, con escasa potencia (< 1 metro), de baja resistencia se encuentra sobreyaciendo a la UG3 (Arenisca Tobácea). En esta unidad se identifican grietas de tracción a lo largo de la extensión del talud en las zonas inestables. La grieta de tracción llega a profundizarse afectando a la unidad geotécnica 2.

MUESTRA	RELACIONES FUNDAMENTALES								
	Gs	w(%)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	e	n %	Sr%	$\gamma_a$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
WP10	2.66	5.76	1.498	1.416	0.88	46.75	17.45	14.98	14.16

Resultados ensayos fundamentales. Norma D7263

MUESTRA	L. ATTERBERG				CLASIFICACIÓN SUCS			
	w(%)	LL	LP	IP	GRAVAS %	ARENA %	FINOS %	SUCS
WP10	6	34	25	9	0	24	76	ML-Limo con arena

**Tabla 7** . Valoración Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería SUCS. Norma ASTM D 2487.

Se trata de un limo con arena (ML), de baja compresibilidad, ligeramente húmedo, presenta una porosidad media y puede llegar a tener permeabilidades medias a bajas. Presenta baja resistencia, es fácilmente compresible y se reduce a polvo solo con la presión de los dedos en seco.

**UG3:** Macizo rocoso su litología corresponde a una arenisca tobácea de grano fino a medio, presenta óxidos de hierro y limo como relleno de sus discontinuidades también dentro de su matriz rocosa. En los estratos superiores las discontinuidades presentan rellenos de carbonatos y óxidos de hierro. No se evidencian filtración de agua por las discontinuidades. La matriz rocosa y las discontinuidades presentan una meteorización media y resistencia media a baja.

La unidad geotécnica UG 3 presenta una arenisca tobácea como litología, tiene poco grado de consolidación-litificación teniendo un comportamiento como suelo de grano fino, de acuerdo a la clasificación SUCS se trata de un limo con bajo contenido de arena, de baja compresibilidad, tiene una porosidad media, puede llegar a tener permeabilidad media a baja.

Los resultados de compresión simple presentan valores bajos (0.15 y 1.25 MPa), al considerar la UG3 como arenisca se la puede definir como una roca muy débil a extremadamente débil, y al ser considerado como suelo se trataría de un suelo duro, lo que nos sugiere que se encuentra en una transición roca-suelo. Para el ensayo de corte directo se ensayan dos muestras; una muestra remoldeada (parámetros residuales) y muestra tomada en el afloramiento.

De la valoración del macizo rocoso se tiene un valor de RMR corregido medio de 21, siendo un macizo de CLASE IV y calidad mala.

MUESTRA	RELACIONES FUNDAMENTALES								
	Gs	w(%)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	e	n %	Sr%	$\gamma_a$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
WP12	2.66	15.45	1.759	1.524	0.75	42.71	55.11	17.59	15.24
WP12-2	2.66	7.7	1.623	1.507	0.77	43.35	26.76	16.23	15.07
WP12-3	2.66	7.83	1.627	1.509	0.76	43.28	27.31	16.27	15.09
WPT11	2.66	6.32	1.645	1.547	0.72	41.84	23.37	16.45	15.47
media	2.66	9.325	1.6635	1.52175	0.75	42.795	33.1375	16.635	15.2175
máx	2.66	15.45	1.759	1.547	0.77	43.35	55.11	17.59	15.47
min	2.66	6.32	1.623	1.507	0.72	41.84	23.37	16.23	15.07

**Tabla 8** . Resultados ensayos fundamentales. Norma ASTM D7263

MUESTRA	w(%)	LL	LP	IP	GRAVAS %	ARENA %	FINOS %	SUCS
WP12	13	45	33	12	0	13	87	ML-Limo
WP12-2	7	40	32	8	0	15	85	ML-Limo

**Tabla 9** . Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería SUCS. Norma ASTM D 2487

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE					
MUESTRA	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$q_u$ (MPa)	$q_u$ (kPa)
WP12-3	1.686	1.535	1.56	0.156	156
WPT11	1.639	1.524	12.51	1.251	1251

**Tabla 10** . Valoración Resultados Ensayos de Compresión Simple. ASTM D 7012-14

ENSAYO DE CORTE DIRECTO			
MUESTRA	COHESIÓN kPa	PHI	OBSERVACIÓN
WP12-3	6.46	23.4	Muestra remoldeada
WPT11	27.42	35.37	Muestra bloque

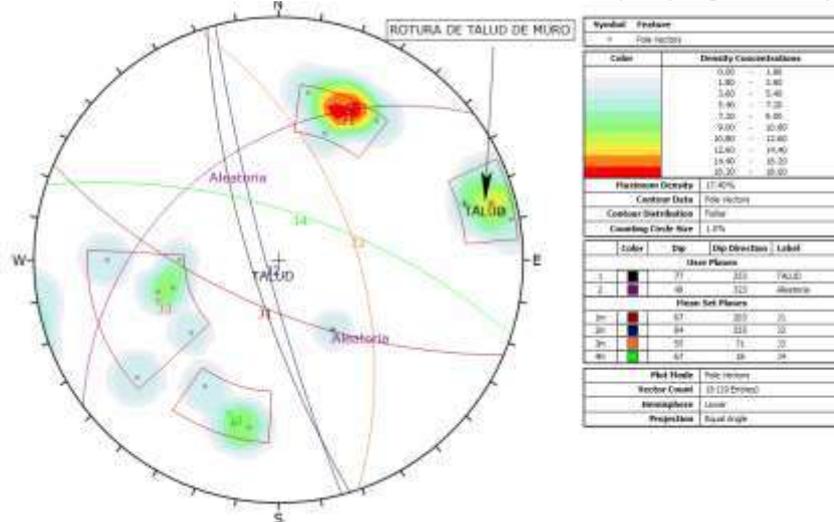
**Tabla 11** . Resultados ensayos de corte directo. Norma ASTM D3080-03.

## C) TIPOLOGIAS DE INESTABILIDADES

El talud expuesto presenta inestabilidades asociadas a la geometría del mismo y la geometría de las discontinuidades, por lo cual se han dividido las inestabilidades de acuerdo al tipo de fallo:

### 1. Rotura de talud de muro

A lo largo de todo el talud es común ver una fractura con rumbo paralelo al plano del talud y que tiene una persistencia en el orden de la altura del mismo. En la parte alta es identificable una grieta que tiene el mismo rumbo de la familia J2. Siendo esta rotura la más frecuente y la que genera mayor afectación.



**Figura 20.** Estereograma Rotura de talud de muro

### 2. Rotura de talud por vuelco

Es común ver la intersección de la familia J2 y la familia J3 generando bloques que se desprenden y ocasionan caída de los mismos cuesta abajo. El fallo por este mecanismo está condicionado por la geometría de las discontinuidades.

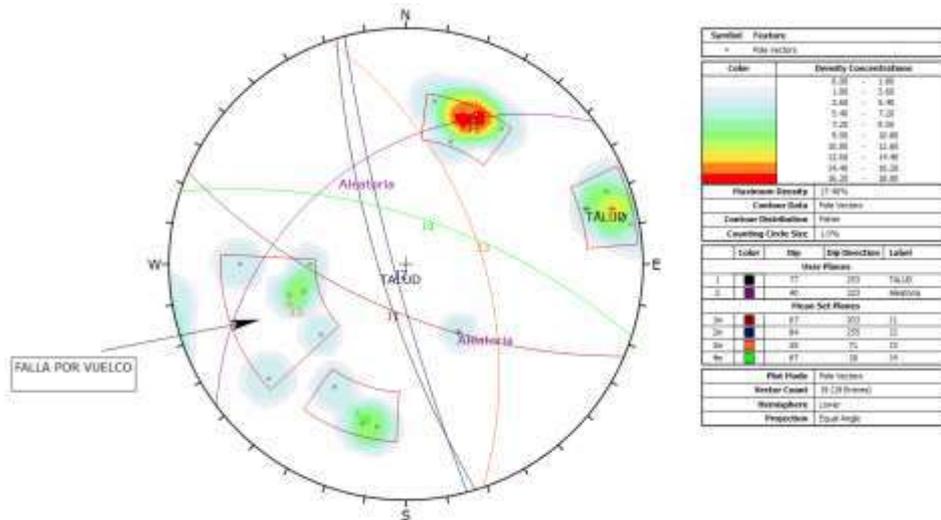


Figura 21. Falla de talud por vuelco

### 3. Rotura en Cuña

Se produce debido a la intersección de dos planos de discontinuidad que afloran en la cara del talud, es menos frecuente la formación de cuñas pero se evidencian en el talud.

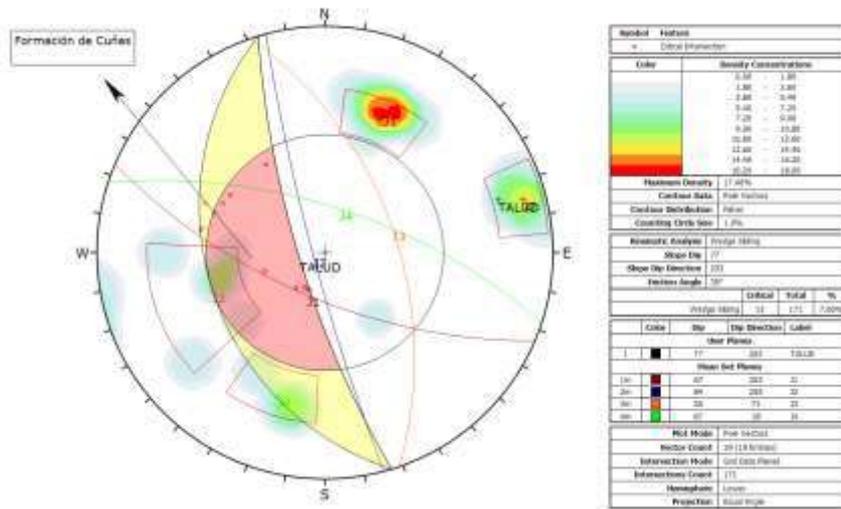


Figura 22. Formación de cuñas.

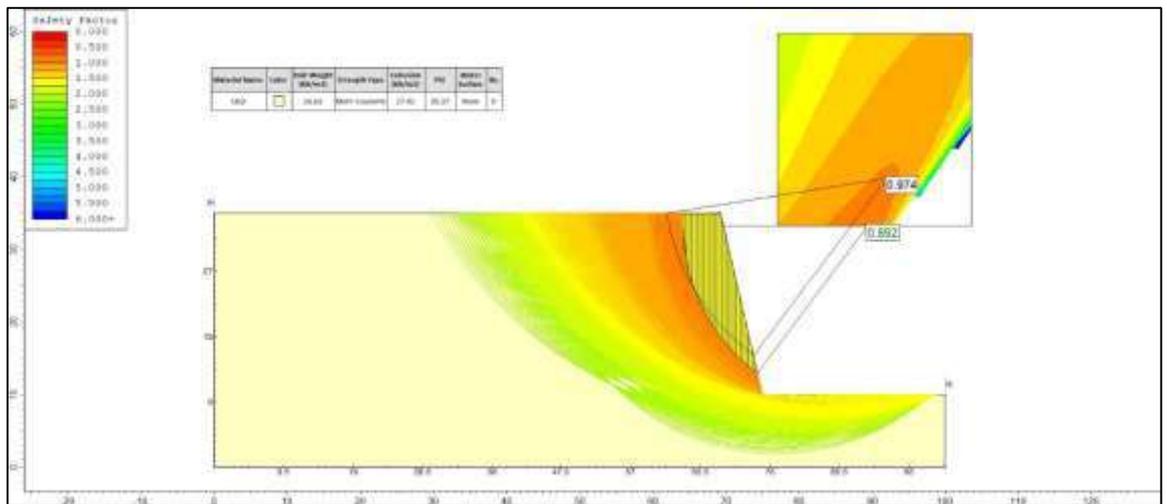
## D) ESTABILIDAD DEL TALUD

Para determinar la estabilidad de la masa de un suelo se debe determinar su coeficiente de seguridad al deslizamiento, relación que se establece  $FS = \text{fuerzas estabilizadoras} / \text{fuerzas desestabilizadoras}$ . En el caso de suelos y macizos rocosos de baja a muy baja calidad la falla se produce a través de la masa de terreno siguiendo la línea de menor resistencia.

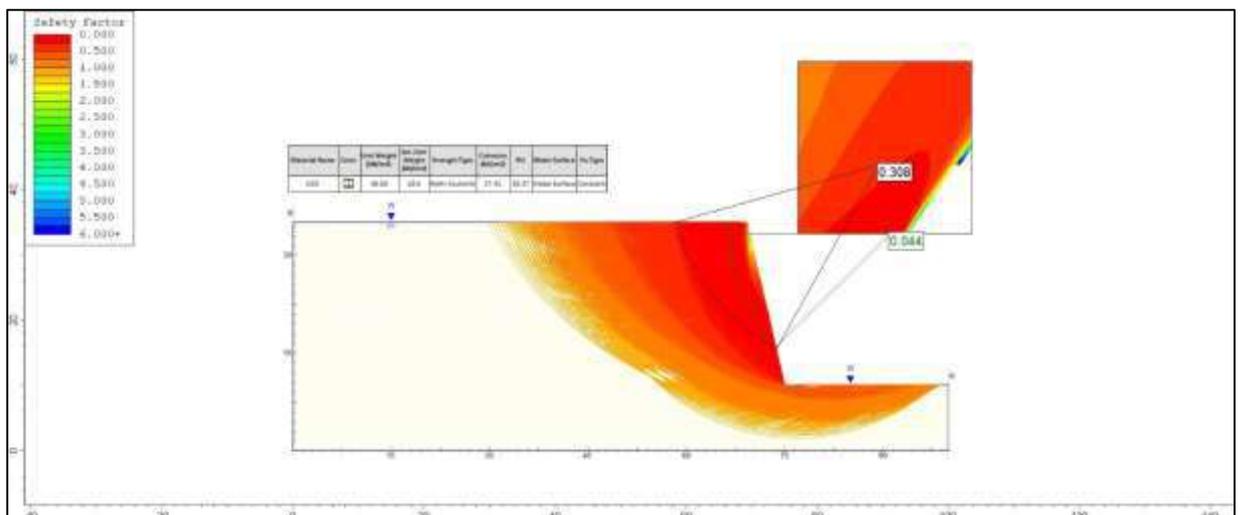
Para el cálculo se aplica la metodología denominada métodos de equilibrio límite, que se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. En este caso se usa el Software Slide versión 6.0, y el método utilizado es Bishop simplificado.

Se trabajan con dos hipótesis:

- a. **Figura 23.** Talud en estado natural seco (situación actual):  $FS < 1$ .



- b. **Figura 24.** Talud con suelo saturado (época invernal-máxima precipitación):



En las dos consideraciones del talud se tienen factores de seguridad menores a 1, la estabilidad de este talud está relacionado con la geometría del mismo.

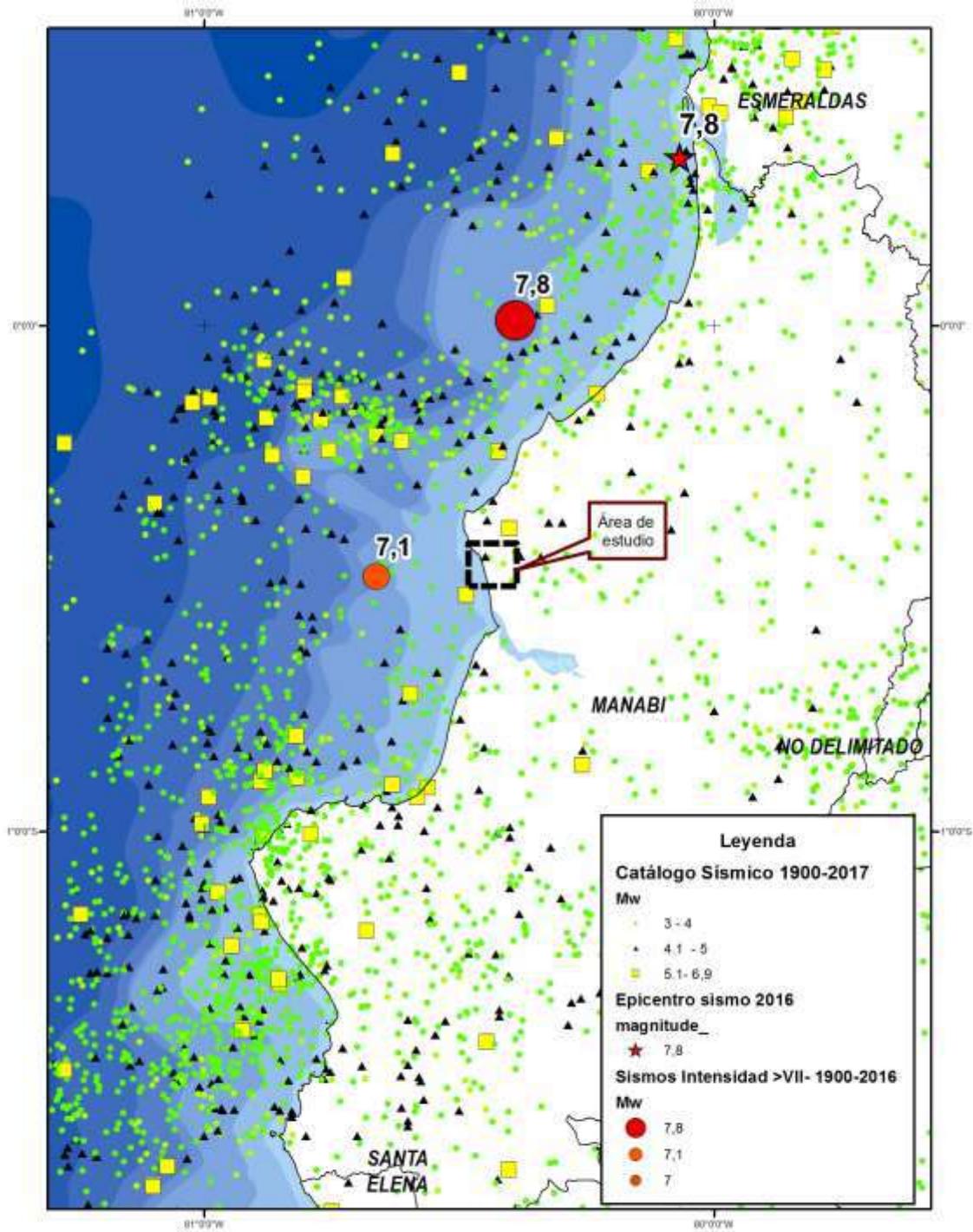
## ANÁLISIS DE LA SISMICIDAD

Entendiendo el fenómeno mediante el análisis del comportamiento del evento; se puede definir el tipo de sismo en relación a su fuente, posteriormente se puede determinar la recurrencia y el grado de afectación de un terremoto, el conocimiento de la dinámica histórica y reciente mediante sistemas de monitoreo de un evento sísmico es de suma importancia para identificar la naturaleza de la peligrosidad sísmica ya que permite establecer posibles escenarios sísmicos que contribuirán para el desarrollo de planes de mitigación de sus efectos, esta información puede ser complementada con información geológica y geofísica existente y con observaciones de campo. Este conocimiento es fundamental para elaboración modelos de normas de construcción.

Para el análisis principal de la sismicidad de la zona de estudio se ha trabajado con los datos del catálogo sísmico nacional proporcionado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, se han considerado datos relevantes históricos desde el año 1900 hasta 2017. Esta información de eventos sísmicos está constituida en una base de datos homogénea, en la cual se encuentra la historia sísmica del país, contiene dos tipos de información; uno relativo a los eventos ocurridos en periodos de cientos de años y otro relacionado a la información instrumental obtenida en un periodo de no más de cincuenta años. La particularidad importante del catálogo es que no son estáticos y se van completando conforme se presenten eventos sísmicos en el país.

En el Ecuador, estos documentos han sido elaborados en una primera etapa por el Observatorio Astronómico de Quito y posteriormente por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), los archivos que se usaran para el análisis puntual de la zona de estudio corresponden a la versión homogenizada año 2009, datos sísmicos IEGPN 2010-2011, catálogo sísmico IEGPN de 2012 hasta Mayo de 2017. La información que proviene del monitoreo indica que el promedio anual de sismicidad en el país es de 2.600 eventos, de éstos alrededor de 300 tienen magnitudes superiores a 4 grados y pudieron ser sentidos por la población.

En base a los datos del catálogo sísmico distribuido en el período de 1900-2017, se evidencia la distribución de las magnitudes de momento de los sismos en el Ecuador en la zona continental e intraplaca, la zona de estudio es zona de alta amenaza sísmica. El análisis de los eventos más destructivos con Intensidades >VII en el período de 120 años se ha obtenido un periodo de recurrencia de 18 años aprox. en la costa ecuatoriana.



**Figura 25.** Sismicidad Histórica en la costa ecuatoriana período 1900-2017. *Elaborado por Equipo Consultor.*

El proceso de subducción de la Placa Nazca bajo el Bloque Norandino ha generado los sismos más grandes en el Ecuador, tal es el caso del terremoto de 1906 considerado como el quinto en liberación de energía en el siglo pasado. Parte de la zona involucrada en esta ruptura (desde Manta hasta Buenaventura) fue nuevamente afectada por otros terremotos igualmente importantes en 1942, 1958, 1998 (Tabla 3).

Todos estos eventos tienen como origen rupturas en la zona de subducción y es por esta razón que la energía liberada es muy significativa se reportaron daños de consideración especialmente en las construcciones diseñadas ligeramente, construcciones totalmente destruidas, desplazamiento de cimientos, grietas apreciables en suelo, puentes destruidos, licuefacción de suelos, deslizamientos de taludes naturales y antrópicos.

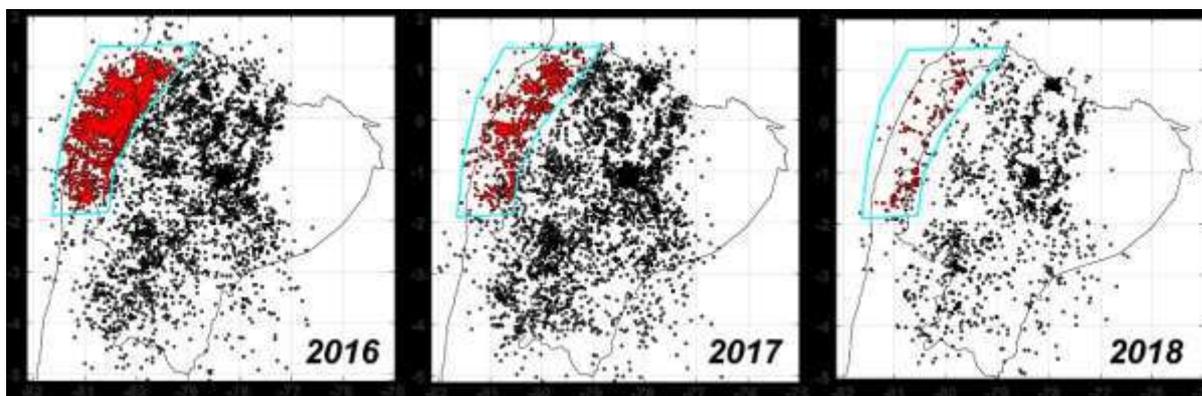
Fecha	Latitud	Longitud	Profundidad	Mw	Intensidad Mercalli	Zona de mayor afectación
16/04/2016	2,836806	-80,117798	17	7,8	IX	Pedernales
04/08/1998	-0,495	-80,663002	36	7,1	VIII	Manabí
19/01/1958	1,14	-79,589996	30	7,8	VIII	Esmeraldas, Nariño
14/05/1942	0,01	-80,389999	20	7,8	IX	Manabí-Guayas
31/01/1906	1	81,3	20	8,3	IX	Esmeraldas, Nariño
3/05/1896	0,50	80,45	-	7,0	IX	Manabí

**Tabla 2.** Sismos con intensidad >VII en la costa ecuatoriana.

En el sismo ocurrido en 2016 la ruptura se inició frente a Pedernales y se dirigió hacia el sur, en función de lo que mostraron las réplicas. El tipo de ruptura asociada a este evento específico corresponde a una falla inversa, es decir que el continente se desplazó algunos centímetros sobre la placa oceánica de Nazca, el posible plano de falla estaría inclinado suavemente hacia el Este-Sureste, lo que coincide con la disposición esperada de la zona de contacto de las placas Nazca y Sudamericana.

Este evento fue seguido por numerosas réplicas, hasta el 31 de diciembre de 2016 se contabilizaron 2879 réplicas con magnitudes de hasta 6.9 que se registraron a lo largo y ancho de la zona de fractura delimitada por Punta Galera al Norte y Cabo Pasado al sur, e incluso afectaron las zonas vecinas de Esmeraldas en el norte y Manta-Puerto López en el sur.

En el año 2016 se contabilizaron 2879 eventos a lo largo de estas tres zonas. En el año 2017, 847 eventos y en el año 2018, hasta la fecha, se han registrado 166 eventos (Figura 24).



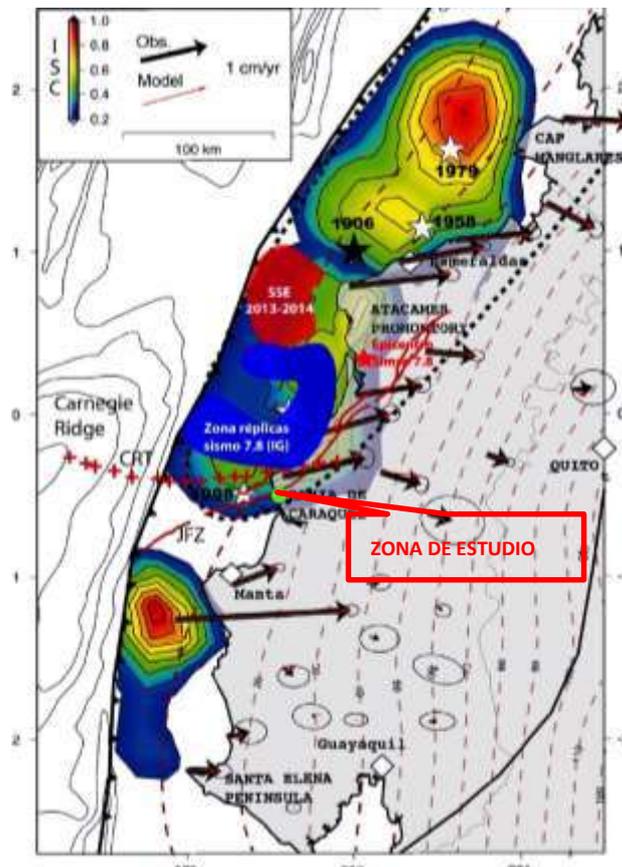
**Figura 26.** Mapas con la sismicidad registrada en los años 2016, 2017 y 2018 (hasta la fecha). Se resalta la zona que presentó una intensa actividad sísmica luego de ocurrido el Terremoto de Pedernales. Informe IGEPN.

Este evento es un sismo importante, no solo por los daños provocados, sino, porque constituye el sismo más grande desde 1979 en el país, con una magnitud similar a la de los sismos de 1942 y 1958.

Según información de trabajos de investigación con señales de GPS de alta precisión (Chlieh y otros, 2014, revista Nature Geoscience) mostraron que en la zona costera se encontraron altos niveles del denominado Acoplamiento Inter Sísmico que consiste en la relación entre la tasa de deslizamiento intersísmico (distancia/tiempo en que se mueven las placas entre dos grandes sismos), y la velocidad de convergencia de la placa (movimiento de placas en cm/año).

Cuando el acoplamiento es alto, las dos placas están pegadas y no se mueven entre ellas. Cuando el acoplamiento es débil la placa de Nazca se desliza lenta pero continuamente con respecto a Ecuador. Es decir que cuando las placas están completamente bloqueadas, el acoplamiento es 1,0. Por lo que mientras mayor acoplamiento exista el proceso de acumulación de energía será creciente y la probabilidad de ocurrencia de sismos en esta zona será alta.

En la costa frente a la zona del talud de estudio existe un bajo acoplamiento intersísmico que va de 0,2 a 0,4, es decir, las placas se friccionan lentamente por lo que la acumulación de energía es menor en relación al norte. Figura 25.



**Figura 27.** Acumulación de energía en la zona costera. ISC Interseismic Coupling (Acoplamiento Inter Sísmico). Los colores más rojizos muestran las zonas con mayor acumulación de deformaciones. Las estrellas marcan la ubicación de los sismos históricos en la zona, la estrella roja muestra el epicentro del evento del 16 de abril. Se muestra también la ubicación de las réplicas actuales. La mancha roja indica la zona en la que se presentó un "sismo lento" entre 2013-2014. Las flechas rojas muestran la velocidad

estimada por el modelo de cálculo y las flechas negras muestran las observaciones obtenidas por los GPS (Tomado de Chlieh et al, 2014).

## ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se aplicó técnicas de teledetección para identificar los cambios ocurridos en el paisaje con el fin de comprender las condiciones del terreno antes del evento sísmico del 16 de abril del 2016 y el grado de afectación postevento; de acuerdo a la disposición de imágenes satelitales Digital Globe en la plataforma de Google Earth, se analizó tres imágenes correspondientes a los años 2006, 2013 y 2016.

### FECHA 4/07/2006

El talud se encuentra en condiciones semi-estables ya que existe constante erosión en el escarpe principal, la cobertura vegetal al pie del talud esta íntegra, los depósitos coluviales antiguos no se encuentran removidos de manera significativa. Hay evidencia de un deslizamiento de detritos a favor de la pendiente.



### FECHA 12/01/2013

Existe variación de la morfología del escarpe debido a los procesos erosivos eólicos naturales y a la presencia de agrietamientos en la corona del deslizamiento. Existe deslizamientos menores al pie del talud, el factor preparatorio es la naturaleza del material y la pendiente del talud que es mayor a  $80^\circ$ .



**18/04/2016**

Se evidencia retroceso del escarpe principal en la parte media del talud de aproximadamente 6m en relación a la imagen del 2013; al pie de talud existen acumulación de depósitos coluviales recientes, productos del movimiento de material a lo largo del plano de falla y las discontinuidades a favor de la pendiente. Esta remoción de material es producto de las vibraciones del terreno ocasionados por el sismo del 16 de abril del 2016. El volumen del material desplazado aproximadamente sería >700.000 m<sup>3</sup>.

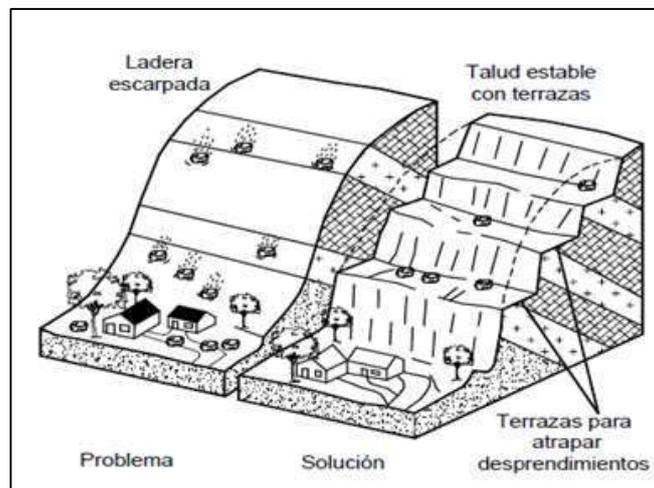


## MEDIDAS DE MITIGACIÓN

### A) CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS (terraceo)

El talud queda dividido en varios taludes de comportamiento independiente, dando lugar a una serie de taludes estables. Esta medida sirve para el control del agua de escorrentía. Uso apropiado para:

- Manejo de aguas de escorrentía y control de erosión
- Aumentar el factor de seguridad contra deslizamiento
- Facilitar el establecimiento de la vegetación.



Fuente: Ferrando J. y otros 2013

**Figura 28.** Esquema de una construcción de terrazas

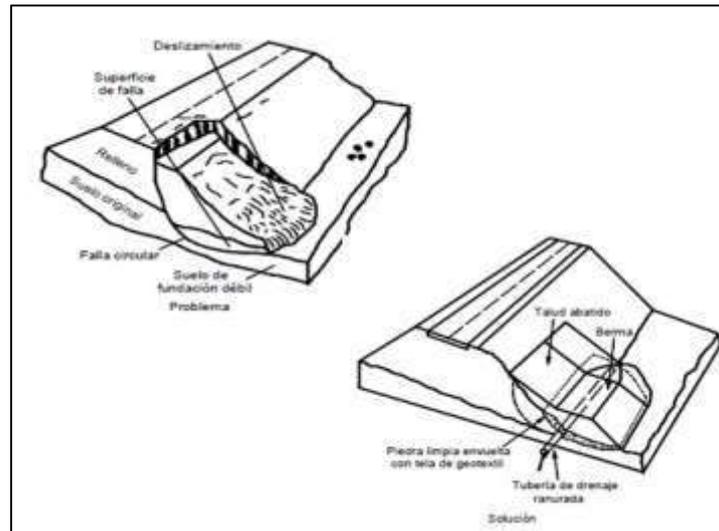
#### Consideraciones del diseño:

La construcción de terrazas en la parte alta de un deslizamiento tiende a reducir el momento actuante y controlar el movimiento. El efecto es disminuir las fuerzas actuantes en la zona más crítica para la generación de momentos desestabilizantes.

Generalmente la altura de las gradas está entre 5 y 7 metros, cada una debe tener una cuneta revestida para el control de agua superficial. Este sistema de cunetas debe conducir a la estructura de recolección y entrega, pasando antes por las estructuras de disipación de energía.

**B) REMOCIÓN Y REEMPLAZO**, conformación del talud, abatimiento de la pendiente, efectivo especialmente en suelos friccionales.

En los procesos de remoción y reemplazo del material se busca eliminar el riesgo en el talud por medio de la estabilización, conformando la ladera o haciendo un mejoramiento del suelo, respectivamente. Cuando se trata de remoción se entiende como una técnica de descargue para reducir las fuerzas actuantes dentro de la masa que se ha movido producto de un deslizamiento.



Fuente: Ferrando J. y otros 2013

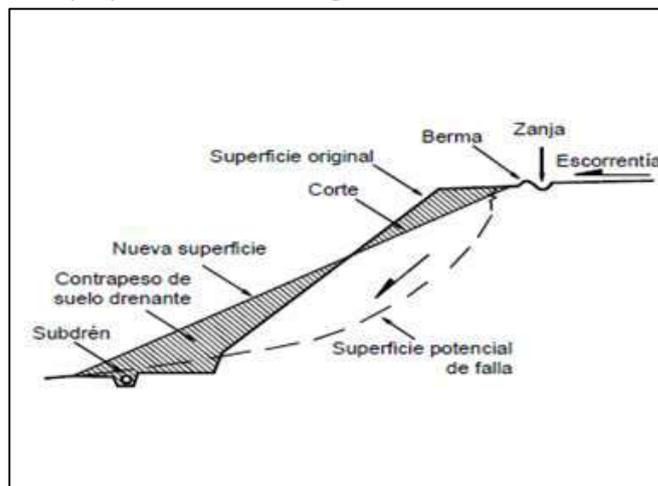
**Figura 29.** Esquema de remoción y reemplazo

#### Consideraciones del diseño:

La excavación debe realizarse en la parte superior (cabeza) del deslizamiento debido a que es en este lugar donde se genera una mayor fuerza actuante sobre la masa inestable. El uso de métodos que aumenten la resistencia del suelo. Incluyen procesos químicos y físicos para aumentar la cohesión y/o la fricción en el lugar. La remoción de material inestable incluye el desbanque, retiro de los materiales inestables en la cabeza del talud, remoción de bloques inestables.

#### B) PERFILADO DEL TALUD - ABATIMIENTO DE LA PENDIENTE

Consiste en uniformizar los taludes que presentan irregularidades superficiales, retirar taludes "negativos", cuñas sueltas, y material removido empleando equipo y herramientas manuales, de tal manera que permanezcan, en lo posible, estables y sin procesos erosivos severos. El objetivo es mantener el talud estable sin que se produzcan caídas de material o de piedras constantemente o evitar que se generen deslizamientos que puedan afectar la seguridad.



Fuente: Ferrando J. y otros 2013

**Figura 30.** Esquema perfilado de talud

### Consideraciones del diseño:

El perfilado de taludes se hace en forma manual, de arriba hacia abajo, buscando siempre remover las "cuñas" o sectores del talud que muestren inestabilidad o que deforman substancialmente el plano inclinado del mismo.

En caso de que se produzca deslizamiento o un proceso de inestabilidad en el talud de un terraplén, se deberá retirar y sustituir el material afectado. El contacto entre el material sustituido y el remanente en el talud, se deberá perfilar de manera que se impida el desarrollo de inestabilidades posteriores, el acabado de los taludes debe ser suave, uniforme y totalmente acorde con la superficie del terreno.

## CONCLUSIONES

- La geología está relacionado a sedimentos clásticos consolidados a no consolidados, constituidos principalmente de areniscas a areniscas tobáceas, las areniscas son masivas de grano medio a grueso presentan discontinuidades muy persistentes con rumbos paralelos a las caras de los taludes y buzamientos cerca 90 grados, el material está asociado a la Formación Borbón y comprende los taludes antropizados con pendientes mayor a 60°. Al pie de los taludes antrópicos se encuentra material coluvionado antiguo y reciente (bloques y detritos de arenisca poco consolidada en matriz areno limosa).
- Los deslizamientos más recurrentes en la zona de estudio están relacionados a, deslizamientos traslacionales de detritos que se mueven a lo largo de una superficie de falla, este tipo de fenómeno de remoción en masa es de carácter superficial y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades, se producen por una falla de material no consolidado de baja cohesión, que se rompe en partes cada vez más pequeñas a medida que avanza ladera abajo. Los factores preparatorios para estos movimientos son la pendiente > 60° y la naturaleza del material.
- El talud de estudio se encuentra a 190 km aprox del epicentro del sismo 2016, el acoplamiento intersísmico es menor en las costas frente a la zona de estudio por lo que según este análisis el detonante para la ocurrencia de los deslizamientos al sur de Canoa fue el sismo del 16 de abril de 2016 y sus réplicas > 4Mw. Cuando se presenta un sismo se generan fuerzas inerciales dentro de la ladera, las cuales aumentan los esfuerzos cortantes actuantes en la superficie de deslizamiento, provocando desprendimientos de bloques, deslizamientos.
- La mayor parte de las inestabilidades está condicionada por la geometría del talud y el macizo rocoso, las discontinuidades controlan la cinemática de los desprendimientos generando tres tipos de rotura principalmente, siendo la rotura de muro la más desfavorable.
- Las características geotécnicas de los materiales y la geometría del talud han permitido las actuales condiciones de inestabilidad, fuertes procesos erosivos generan inestabilidad de las partes altas, además se suma las orientaciones desfavorables de las juntas con respecto al talud. Se considera que uno de los factores que llegara afectar de mayor forma la estabilidad está asociada con la época de máxima precipitación, los suelos saturados pueden ser susceptibles a fallos por reducción de su esfuerzo cortante.
- La comprobación de campo busca entender la dinámica de los fenómenos de remoción en masa para proponer mecanismos que disminuyan los impactos que podrían ocasionar dichos fenómenos geológicos a la línea de transmisión eléctrica.

- Mediante el análisis de los diferentes tipos de deslizamiento y condiciones geológicas y geotécnicas se puede mencionar que los métodos más adecuados para la estabilización del talud son: perfilado de taludes, remoción - reemplazo o terraceo.

## RECOMENDACIONES

- Para el correcto diseño del talud se debe tomar muestras inalteradas, definir en profundidad la superficie de falla y analizar el comportamiento de los suelos a esfuerzos dinámicos. Se debe complementar el estudio con perforaciones para la toma de muestras inalteradas, ensayos in-situ, la correlación con información geofísica (prospección del subsuelo) y determinar el flujo de agua en el terreno.
- Las medidas de mitigación deben estar relacionadas con el cambio de la geometría del talud, y la protección del material fino a los procesos erosivos.
- Para el diseño de torres de transmisión, recurrir a normas donde se señale la necesidad de establecer acciones para la vida útil de la línea de transmisión; la viabilidad para el trazo de la línea de transmisión eléctrica de preferencia ubicarla en zonas estables donde no exista grado de afectación a deslizamientos o sismos. Y en caso contrario tomar las acciones correctivas necesarias para su instalación considerando las medidas de mitigación para la estabilidad del talud sugeridas en este estudio. Para el factor sismicidad tomar en cuenta los efectos producidos por una componente de un sismo mediante el análisis de las máximas aceleraciones, velocidades y desplazamientos del suelo (PGA, PGV y PGD) esperados en el sitio.
- Realizar un análisis de la precipitación en la costa ecuatoriana de un periodo aproximadamente 20 años.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A. (2012), Néotectonique et cinématique de la deformation continentale en Equateur, PhD Thèse, Université de Grenoble, 259p.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., & Ibsen, M.L. (1996). Landslide recognition: identification, movement and causes.
- Escuela Politécnica Nacional (EPN), Departamento de Geología, Departamento de Hidráulica y Recursos Hídricos, Departamento de Construcciones Civiles, Zonificación de peligros sismogeotécnicos, por deslizamientos y fenómenos hidrometeorológicos en la Ciudad de Bahía de Caráquez, informe final, Quito, 2000, p. 138.
- Escuela Politécnica Nacional (EPN), Departamento de Geología, Control litológico y físico-mecánico de los FRM de la zona de Bahía de Caráquez (Ecuador) generados por el sismo del 16 de abril 2016. Quito, 2016.
- Ferrando, funes, mccauld; "Manual de Obras de Mitigación Unidad de Medio Ambiente y Gestión de Riesgo del PNUD- Gerencia de Gestión del Riesgo para la Prevención", Honduras 2013.
- Gillon, Foster, Jennings, Graham; "Stability analysis applications: Cromwell Gorge Landslides, New Zealand". Proceeding: 6th International Symposium on landslides, p. 423-428, Christchurch 1992.
- Gutscher, M. A., Malavieille, J., Lallemand, S. y Collot, J. Y., 1999, Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision, Earth and Planetary Science Letters, 168, 255-270.
- Hutchinson, J.N, 1998. General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings of the 5th international symposium on landslides, Lausanne (Vol.1, pags.3-35).

- 
- Kramer S. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Editorial Prentice Hall, New Jersey.
  - Pennington W. D., Subduction of the Eastern Panama basin and seismotectonics of northwestern South America: Journal of Geophysical Research, (86), 1981, pp: 10753 – 10770.
  - Reyes P. & Michaud F., Mapa Geológico de la Margen Costera Ecuatoriana (1:500000), Quito: EP PetroEcuador - IRD (Eds), 2012.
  - Reynaud C., Jaillard, E., Lapierre H., Mamberti M. & Mascle G.H., Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America. Tectonophysics, (307), 1999, pp: 235–254.
  - Informe Sísmico Especial n. 13 – 2016, Informe técnico del Sismo de Pedernales, 17 de abril de 2016.
  - Informe sísmico para el año 2016, dos años después del terremoto de Pedernales, actualización sísmica, IEGPN 2018.