

# INFORME TÉCNICO

CONSORCIO



GEOMEKCA®  
INGENIERÍA



Licitación Abreviada 2022LA-000037-0002400001

## **EVALUACIÓN DE RIESGOS, DISEÑO Y SUPERVISIÓN DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN SITIO CALLE LA CRUZADA**

MUNICIPALIDAD DE SANTA ANA

*Elaborado para:*

MUNICIPALIDAD  
**SantaAna**





# **GEOMEKCA<sup>®</sup>**

## **INGENIERÍA**

INFORME TÉCNICO  
DN-GMK-002-17

Municipalidad de Santa Ana

# **GESTIÓN DEL RIESGO Y BLINDAJE CAMBIO CLIMÁTICO**

ESTABILIZACIÓN DE TALUD CALLE LA CRUZADA

CÓDIGO DOCUMENTO:	1086.INF.23.RIE.TA
CÓDIGO DE PROYECTO:	281.23.TA.MSANA02
CÓDIGO DE CLIENTE:	125OTCR
FECHA DE ELABORACIÓN:	19/04/2023

*Este documento se ha formateado para ser impreso por  
ambas caras de la hoja. Por tal razón, algunas páginas se  
han dejado intencionalmente en blanco.*



# GEOMEKCA®

## INGENIERÍA





### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DOCUMENTO

CÓDIGO DOCUMENTO: 1086.INF.23.RIE.TA  
TÍTULO: GESTIÓN DEL RIESGO Y BLINDAJE CAMBIO CLIMÁTICO

CÓDIGO PROYECTO: 281.23.TA.MSANA02  
PROYECTO: ESTABILIZACIÓN DE TALUD CALLE LA CRUZADA

CÓDIGO CLIENTE: 125OTCR  
CLIENTE: Municipalidad de Santa Ana

### CONTROL DE APROBACIONES

ELABORADO POR:	Ing. Isaac Hernández C.	FIRMA	
CÓDIGO PROFESIONAL:	IC-22556		
FECHA:	19/04/2023		
ELABORADO POR:	Ing. Isaac Núñez M.	FIRMA	
CÓDIGO PROFESIONAL:	IC-34385		
FECHA:	19/04/2023		
REVISADO POR:	Ing. Marlon Jiménez J.	FIRMA	
CÓDIGO PROFESIONAL:	IC-9247		
FECHA:	19/04/2023		
ELABORADO Y APROBADO POR:	Ing. Marco Tapia B.	FIRMA	
CÓDIGO PROFESIONAL:	IC-5915		
FECHA:	19/04/2023		

### CONTROL DE REVISIONES

REVISIÓN 1 POR:		FIRMA	
CÓDIGO PROFESIONAL:			
FECHA:			
REVISIÓN 2 POR:		FIRMA	
CÓDIGO PROFESIONAL:			
FECHA:			

### CONTROL DE COPIAS

COPIA 1	Cliente	FECHA:	19/04/2023
COPIA 2	Archivo digital	FECHA:	19/04/2023
COPIA 3		FECHA:	
COPIA 4		FECHA:	

*Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente*

# CALIDAD



## Política de calidad

Geomekca Ingeniería se compromete a realizar los servicios profesionales que ofrece a sus clientes, según sus requerimientos y necesidades, aplicando las mejores prácticas aceptadas internacionalmente en el ámbito de la ingeniería y poniendo el máximo esfuerzo y el mejor criterio profesional. Así mismo, se compromete a realizar ajustes o modificaciones en caso de existir aspectos por corregir en los productos entregados, en tanto eso no implique trabajo nuevo o adicional, más allá de lo señalado en el alcance establecido para realizar dichos productos. Para ello, se compromete además a mantener los procesos de mejora continua del Sistema de Gestión de la Calidad.

## Objetivos de calidad

Operamos bajo los lineamientos de un Sistema de Gestión de la Calidad según la norma ISO 9001-2018, el cual está en proceso de perfeccionamiento para ser certificado. Nuestros objetivos de calidad son los siguientes:

- Lograr la plena satisfacción del cliente.
- Mantener la comunicación con el cliente a lo largo del proceso de elaboración del producto o servicio.
- Completar los productos en el tiempo establecido.
- Disponer de personal capacitado y consciente del estado del arte.
- Mantener el hardware y herramientas tecnológicas actualizadas y con la capacidad necesaria para todos los procesos.
- Disponer de software licenciado y herramientas de análisis de última generación.
- Disponer de bibliografía completa y actualizada sobre los temas relevantes de ingeniería y diseño.
- Aplicar los métodos de análisis más modernos y actualizados de la ingeniería a nivel internacional.



**Marco Tapia**  
Gerente General  
Setiembre 2020

*Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente*



---

# Contenido

---

1	Introducción.....	19
2	Objetivo y alcance .....	21
3	Ubicación del proyecto.....	23
4	Evaluación del riesgo.....	25
4.1	Metodología para la evaluación del riesgo .....	25
4.1.1	Definición del riesgo .....	25
4.1.2	Escalas del nivel de amenaza y de la vulnerabilidad.....	29
4.1.3	Matriz de riesgo .....	30
4.2	Análisis de amenazas .....	32
4.2.1	Amenaza de deslizamiento .....	32
4.2.1.1	Deslizamientos en proceso o antecedentes de deslizamientos .....	32
4.2.1.2	Humedad del suelo .....	33
4.2.1.3	Pendiente promedio de la ladera .....	34
4.2.1.4	Zonas sísmicas.....	35
4.2.1.5	Precipitación máxima en 24 horas .....	35
4.2.1.6	Ubicación del sitio o posición del proyecto respecto a la ladera .....	35
4.2.1.7	Estimación de la amenaza por deslizamiento.....	35
4.2.2	Amenaza de inundación.....	38
4.2.2.1	Localización de zonas de amenaza con potencial de inundación.....	38
4.2.2.2	Combinación entre la pendiente y la precipitación .....	38
4.2.2.3	Humedad del suelo .....	38
4.2.2.4	Vegetación predominante.....	38
4.2.2.5	Distancia a cuerpos de agua y altura sobre el tirante .....	39
4.2.2.6	Estimación de la amenaza por inundación .....	39

4.2.3	Amenaza de alud torrencial .....	40
4.2.3.1	Existencia de eventos previos de alud torrencial .....	40
4.2.3.2	Ubicación del sitio a evaluar .....	41
4.2.3.3	Precipitación máxima .....	41
4.2.3.4	Zona sísmica.....	41
4.2.3.5	Estimación de la amenaza por alud torrencial.....	41
4.2.4	Amenaza sísmica .....	42
4.2.4.1	Combinación entre zona sísmica y tipo de sitio.....	42
4.2.4.2	Distancia respecto al trazo de una falla.....	43
4.2.4.3	Combinación entre pendiente promedio y zona sísmica.....	43
4.2.4.4	Estimación de la amenaza sísmica .....	43
4.2.5	Amenaza volcánica y por tsunamis.....	43
4.2.6	Amenazas de origen antrópico .....	44
4.2.6.1	Erosión por escorrentía y socavación hidráulica.....	45
4.2.6.2	Deterioro por falta de mantenimiento .....	45
4.2.6.3	Daños por inseguridad social .....	46
4.2.6.4	Deterioro por el proceso constructivo de las obras de protección.....	46
4.2.7	Listado de amenazas y nivel de amenaza .....	46
4.3	Vulnerabilidad de la infraestructura .....	48
4.3.1	Grado de exposición .....	48
4.3.2	Valores económicos expuestos a daños.....	49
4.3.3	Fragilidad.....	49
4.3.4	Impactos sobre la vida humana .....	51
4.3.5	Impactos sobre el ambiente .....	52
4.3.6	Clasificación de la vulnerabilidad .....	53
4.3.7	Listado de amenazas e índice de vulnerabilidad .....	55
4.4	Evaluación del riesgo inicial.....	57
4.4.1	Riesgo inicial por amenazas naturales.....	57
4.4.2	Listado de amenazas con mayor riesgo inicial .....	60
4.5	Análisis de escenarios de cambio climático.....	62
4.6	Información socio económica y biofísica básica disponible.....	63

4.6.1	Datos generales.....	63
4.6.2	Relieve.....	63
4.6.3	Uso del suelo .....	63
4.6.4	Geología y geomorfología.....	65
4.6.5	Hidrografía.....	65
4.6.6	Clima .....	66
4.6.7	Flora y fauna.....	66
4.6.8	Economía.....	66
4.6.9	Desarrollo humano .....	67
4.7	Análisis de la infraestructura pública por blindar .....	68
4.7.1	Blindaje de infraestructura con criterio correctivo .....	68
4.7.1.1	Evaluación del estado de la infraestructura.....	68
4.7.1.2	Análisis del sitio y situación de la infraestructura.....	68
4.7.1.3	Análisis de amenazas y eventos ocurridos .....	72
4.7.1.4	Aplicación (o diseño) de instrumentos de evaluación de infraestructura	72
4.7.1.5	Estudios de ingeniería .....	72
4.7.2	Blindaje de infraestructura con criterio prospectivo.....	72
4.7.2.1	Selección del terreno y evaluación del emplazamiento .....	72
4.7.2.2	Aplicación de la normativa .....	72
4.7.2.3	Estudios técnicos de ingeniería para el blindaje.....	73
4.7.2.4	Identificación de opciones de diseño de infraestructura resiliente.....	73
4.7.2.5	Obras de contención y protección de la estructura.....	73
4.7.2.6	Materiales recomendados.....	73
4.8	Opciones de blindaje y medidas para la reducción y manejo del riesgo .....	73
4.8.1	Identificación y selección de opciones estructurales .....	73
4.8.1.1	Diseño de las opciones de blindaje de las obras.....	73
4.8.1.2	Análisis de costo-beneficio de las opciones.....	74
4.8.2	Blindaje a través de procesos técnicos no estructurales .....	74
4.8.2.1	Diagnóstico del proceso de gestión por blindar .....	74
4.8.2.2	Identificación y selección de opciones no estructurales.....	75
4.8.2.3	Propuesta de medidas u opciones.....	76

4.8.3	Impacto de la implementación.....	77
4.8.4	Costo de la no implementación .....	77
4.9	Evaluación del riesgo residual .....	78
4.10	Apoyo a la gobernabilidad y el diálogo social local .....	81
4.10.1	Actores clave .....	81
4.10.2	Procesos de la gestión social .....	81
5	Investigación del sitio.....	83
5.1	Visita de campo .....	83
5.2	Investigación geotécnica realizada .....	83
5.2.1	Perforaciones SPT .....	83
5.2.2	Prospección geofísica, MASW.....	85
5.2.3	Resultados del laboratorio .....	86
5.3	Levantamiento topográfico .....	87
5.4	Modelo geotécnico.....	88
5.4.1	Unidades geotécnicas identificadas .....	88
5.4.2	Valores de las propiedades geomecánicas.....	88
5.4.3	Expresión gráfica del modelo geotécnico.....	89
6	Diseño de las obras de blindaje .....	91
6.1	Aspectos de seguridad y diseño .....	91
6.1.1	Definición del nivel de seguridad.....	91
6.1.2	Análisis estático.....	91
6.1.3	Análisis pseudoestático .....	92
6.1.4	Factores de seguridad admisibles .....	92
6.1.5	Programa utilizado en los análisis de estabilidad de taludes .....	93
6.2	Evaluación geotécnica de la estabilidad .....	94
6.2.1	Análisis de estabilidad del talud sin obras de blindaje .....	94
6.2.2	Análisis de estabilidad del talud con obras de blindaje .....	97
7	Presupuesto de las obras .....	103
7.1	Presupuesto de las obras para el blindaje estructural.....	103
8	Conclusiones y recomendaciones.....	105
9	Referencias .....	107

10	Apéndice A: Topografía actualizada .....	109
11	Apéndice B: Registro de Riesgos .....	113
12	Apéndice C: Investigación geotécnica .....	123

*Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco*

---

# Lista de Tablas

---

Tabla 1. Escala del nivel de amenaza.....	29
Tabla 2. Escala del Índice de vulnerabilidad.....	30
Tabla 3. Matriz de Riesgo en función de la amenaza y de la vulnerabilidad.....	30
Tabla 4. Matriz del riesgo por deslizamiento, en términos numéricos.....	31
Tabla 5. Estimación de la humedad del suelo, estación 84119 Santa Ana.....	33
Tabla 6. Lista de amenazas relevantes.....	47
Tabla 7. Clasificación del nivel de exposición.....	49
Tabla 8. Clasificación del valor económico expuesto a daños.....	50
Tabla 9. Clasificación de la fragilidad.....	50
Tabla 10. Clasificación de impactos sobre la vida humana.....	51
Tabla 11. Clasificación de impactos sobre el ambiente.....	52
Tabla 12. Clasificación del Índice de vulnerabilidad.....	53
Tabla 13. Listado de amenazas e índice de vulnerabilidad.....	56
Tabla 14. Riesgo inicial de amenazas relevantes.....	60
Tabla 15. Índices de desarrollo humano del cantón de Santa Ana.....	67
Tabla 16. Riesgo actual y riesgo residual, considerando acciones de respuesta.....	79
Tabla 17. Profundidad alcanzada en las perforaciones SPT.....	84
Tabla 18. Perfil estratigráfico preliminar del terreno según sondeos SPT.....	84
Tabla 19. Valores de $N_{SPT}$ y su variación con la profundidad.....	85
Tabla 20. Capas geofísicas, espesores y velocidades de onda.....	85
Tabla 21. Ensayos geotécnicos realizados.....	86
Tabla 22. Resultado de los ensayos geotécnicos.....	86
Tabla 23. Descripción de las unidades geotécnicas.....	88
Tabla 24. Valores de las propiedades geomecánicas usadas para análisis y diseño.....	89
Tabla 25. Coeficiente pseudoestático horizontal con un periodo de retorno de 475 años. ..	92
Tabla 26. Factores de seguridad para taludes permanentes y análisis de laderas.....	93
Tabla 27. Resultado del análisis de estabilidad del Perfil, sin obras.....	95
Tabla 28. Resultado del análisis de estabilidad del perfil, con obras de blindaje.....	98
Tabla 29. Presupuesto de las obras de blindaje estructural.....	104

*Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente*



---

# Lista de Figuras

---

Figura 1. Ubicación del sitio.....	23
Figura 2. Proceso de gestión del riesgo .....	26
Figura 3. Componentes del análisis del riesgo .....	28
Figura 4. Mapa de pendientes.....	34
Figura 5. Ubicación del deslizamiento junto a la calle.....	36
Figura 6. Mapa de amenaza por deslizamiento .....	37
Figura 7. Índice de Fragilidad Ambiental por amenaza a deslizamiento .....	37
Figura 8. Mapa de cobertura vegetal .....	39
Figura 9. Mapa de amenaza por inundación.....	40
Figura 10. Mapa de índice amenaza por alud torrencial.....	42
Figura 11. Mapa de amenaza sísmica.....	44
Figura 12. Variables para la determinación de la vulnerabilidad del sitio .....	48
Figura 13. Mapa del índice de vulnerabilidad ante deslizamiento .....	54
Figura 14. Mapa del índice de vulnerabilidad ante inundación y alud torrencial .....	54
Figura 15. Mapa del índice de vulnerabilidad ante la amenaza sísmica.....	55
Figura 16. Mapa de riesgo de deslizamiento .....	58
Figura 17. Mapa de riesgo de inundación .....	58
Figura 18. Mapa de riesgo de alud torrencial.....	59
Figura 19. Mapa de riesgo de afectación por sismo .....	59
Figura 20. Mapa oficial del cantón de Santa Ana.....	64
Figura 21. Imágenes satelitales tomadas de Google Earth© .....	69
Figura 22. Imágenes del sitio desde la carretera.....	70
Figura 23. Condición del talud .....	71
Figura 24. Perfil sísmico SR-1. ....	86
Figura 25. Levantamiento topográfico en planta.....	87
Figura 26. Modelo geotécnico en perfil de análisis.....	89
Figura 27. Análisis de estabilidad en condición estática, no saturado. ....	95
Figura 28. Análisis de estabilidad en condición pseudoestática, no saturado. ....	96
Figura 29. Análisis de estabilidad en condición estática, saturado. ....	97
Figura 30. Vista parcial de la planta de las obras de blindaje .....	99
Figura 31. Sección D-D a lo largo del canal de drenaje de la alcantarilla pluvial. ....	100
Figura 32. Sección B-B de estabilización longitudinal del talud con suelo cosido.....	100

Figura 33. Perfil 1. Análisis de estabilidad en condición estática con obras, saturado. ....	101
Figura 34. Perfil 1. Análisis en condición pseudoestática con obras, saturado. ....	102

---

# 1 Introducción

---

La Municipalidad de Santa Ana ha realizado la contratación de servicios de ingeniería, bajo la modalidad de precio global o suma alzada para el diseño, anteproyecto, planos constructivos, presupuesto detallado, modelaciones e implementos a nivel de Sistema de Información Geográfica, mano de obra y materiales para la estabilidad de talud con enfoque de gestión del riesgo en calle La Cruzada, distrito Salitral.

El sitio en cuestión, afectado por un proceso de inestabilidad de una ladera ha mantenido por un tiempo prolongado condiciones riesgosas que lo condicionan para sufrir mayor inestabilidad a causa de los procesos erosivos que se producen cuando ocurren grandes concentraciones de escorrentía. La situación ha evolucionado al punto de que el ancho del camino se ha visto comprometido por la pérdida de terreno y la aparición de una grieta en la ruta que amenaza la estabilidad.

Debido a lo anterior la Municipalidad ha contratado los estudios señalados, de los cuales se entrega en este documento los resultados, que incluyen la evaluación del riesgo y el diseño conceptual de las soluciones estructurales y no estructurales requeridas para la gestión de ese riesgo en el sitio de calle La Cruzada.

*Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco*

---

## 2 Objetivo y alcance

---

El objetivo general del presente estudio es realizar el diseño integral y completo, presupuesto, planos constructivos, modelaciones e implementos a nivel de Sistema de Información Geográfica, estudio hidrológico e hidráulico de obras, mano de obra y materiales que contemplen el Enfoque de Gestión del Riesgo y reduzcan la vulnerabilidad de los pobladores del cantón ante amenazas naturales como: inestabilidad de laderas, inundaciones y sismicidad u otras, en varios sectores del cantón de Santa Ana, para el caso de un talud inestable en la ruta cantonal calle 5, cercano a la ruta No. 311, conocida como calle La Cruzada.

Para conseguir el objetivo indicado, se ha solicitado ejecutar un estudio integral, diseño estructural, planos constructivos, presupuesto detallado, mano de obra y materiales para la ejecución de la estructura de retención (muro de suelo cosido) con el fin de estabilizar el talud y disminuir la vulnerabilidad en el sector (incluye vía pública).

Por lo tanto, se han incluido dentro del alcance de este estudio, las siguientes actividades, que se denotan aquí con la misma numeración utilizada en los términos de referencia del documento de contratación:

### *Actividad 2.5 Estudios preliminares*

2.5.1 Hidrología e hidráulica. Revisión de toda la información hidrológica de la zona y la zona de influencia o aporte hacia el talud o las cunetas o sistemas de drenaje existentes en los alrededores del sitio a intervenir, características morfológicas, tipologías de suelo y cobertura actual e información climática y meteorológica.

2.5.2 Levantamiento topográfico. Levantamiento topográfico como mínimo de 1500 m<sup>2</sup>, sin embargo, si las obras propuestas o el análisis geotécnico requiere de un área mayor podrá aumentarse, en los alrededores se la zona afectada.

2.5.3 Análisis geológico. Requerido para determinar la columna estratigráfica.

2.5.4 Análisis geotécnico. Debe cumplir con las normas establecidas de acuerdo con el Código de Cimentaciones de Costa Rica y a las normas de SETENA. Incluye investigación geotécnica con perforaciones tipo SPT y análisis de estabilidad de taludes mediante equilibrio límite.

- 2.5.5 Análisis geofísico. El análisis contempla la ejecución de un perfil sísmico de 115 metros de longitud, que se efectuará con la técnica de MASW.
- 2.5.6 Análisis estructural. Incluye tanto el diseño de la estabilización del talud, que dependería del resultado de los estudios previos como el diseño estructural del cabezal de desfogue que actualmente se encuentra y la recuperación de la ruta municipal.
- 2.5.7 Elaboración de planos. Elaboración de planos de las soluciones establecidas.
- 2.5.8 Gestión de riesgo y blindaje cambio climático. Incluye análisis integral de gestión de riesgo y cambio climático donde la propuesta del proyecto de mejora del sistema pluvial, desfogues y análisis hidrológico e hidráulico de la estabilidad de taludes. Esta actividad incluye un trabajo social comunitario con las fuerzas vivas de la comunidad.

#### *Actividad 2.6 Etapa de construcción*

- 2.6.1 Limpieza y desmonte
- 2.6.2 Limpieza y desmonte adicional
- 2.6.3 Eliminación de estructuras, servicios, existentes y obstáculos
- 2.6.4 Refuerzo de taludes y muros de retención

### 3 Ubicación del proyecto

La calle La Cruzada, ubicada en el distrito de Salitral, es gestionada por la Municipalidad de Santa Ana. Se trata de una calle vecinal, parcialmente con una superficie de lastre que requiere mantenimiento continuo.

Cerca de su intersección con la calle 311 se ha presentado una situación de inestabilidad de un talud de aproximadamente 20 m de longitud y más de 20 m de altura, al costado noreste. El terreno se encuentra erosionado a causa de una alta concentración de escorrentía superficial, la cual se favorece por el manejo insuficiente de las aguas pluviales y por el rompimiento de una alcantarilla. Se ha observado la existencia de una grieta importante en el terreno. En la Figura 1 se indica la ubicación del sitio, muy cerca del cruce con la ruta 311 en dirección hacia la comunidad de Matinilla. Se trata de la calle 5, que comparte límite con el río Uruca, zona en donde se encañona el cauce y donde el terreno presenta altas pendientes.

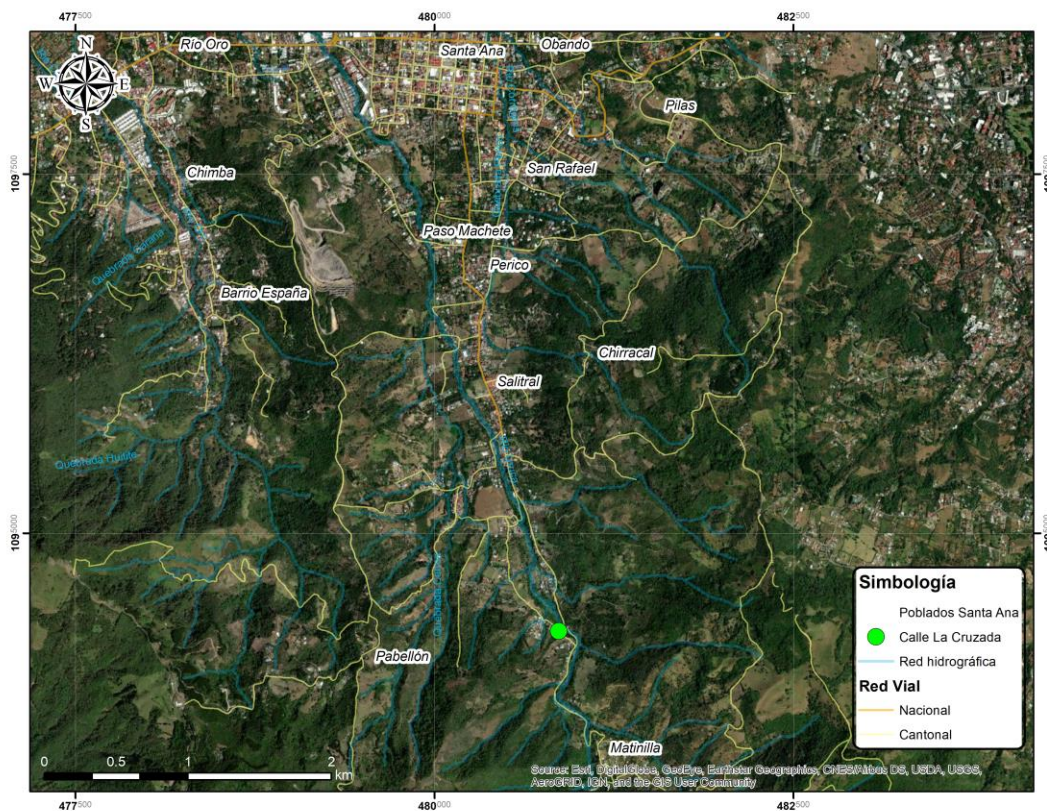


Figura 1. Ubicación del sitio

*Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco*



---

## 4 Evaluación del riesgo

---

Para la identificación y evaluación de las amenazas naturales y las consideraciones del cambio climático, se ha utilizado la metodología establecida por el MIDEPLAN (2014). Se omite de este informe la explicación de esta metodología y se remite, al lector interesado, a la fuente original, que puede ser descargada directamente del sitio web del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica.

Este estudio se concentra en la evaluación del riesgo asociado a un sector de la calle La Cruzada, en el cantón de Santa Ana, según el proceso de contratación 2022LA-000037-0002400001. El objetivo principal es, a partir de un enfoque de gestión del riesgo, realizar una evaluación completa, incluyendo la conceptualización de acciones de blindaje estructurales y no estructurales para reducir la vulnerabilidad de los pobladores del cantón, en relación, en este caso, con un sector de la calle La Cruzada donde un talud ha presentado problemas de inestabilidad.

Para conseguir lo anterior, es necesario realizar una evaluación del riesgo, la cual se presenta con detalle en este capítulo.

### 4.1 Metodología para la evaluación del riesgo

Es importante establecer una serie de definiciones de conceptos relacionados con el análisis y evaluación del riesgo, para facilitar la lectura y comprensión del presente informe.

#### 4.1.1 Definición del riesgo

El proceso de la evaluación del riesgo, que forma parte del proceso de gestión, se ilustra de manera conceptual en la Figura 2, según lo define la norma ISO 31000-2018 (Inteco, 2018).

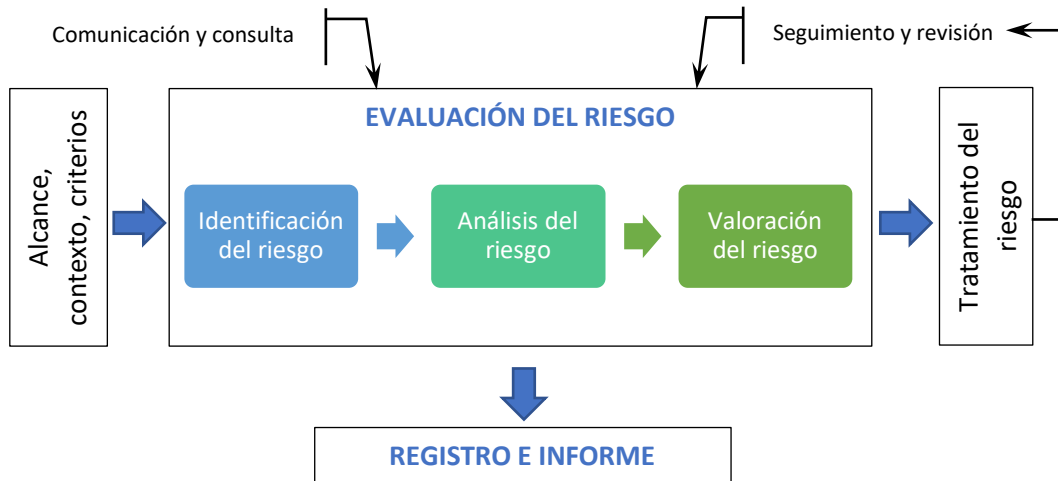


Figura 2. Proceso de gestión del riesgo

Aunque el proceso de la gestión del riesgo – y su evaluación – se presentan frecuentemente como secuenciales, en la práctica se trata de procesos iterativos.

Ahora bien, existen diversas formas de definir el riesgo. Por ejemplo, Aven (2018) o SRA (2018) definen el riesgo como “el concepto mental que existe cuando se considera una actividad en el futuro (aun si este riesgo no es medido o caracterizado). Comprende dos elementos principales: (i) valores expuestos, consecuencias con respecto a algo que los humanos valoren y (ii) las incertidumbres.”. Frantzova (2021) lo define como “la probabilidad de consecuencias dañinas o pérdidas esperadas (muertes, heridas, daños a la propiedad, disrupción de actividades económicas, ambientales y de modo de vida) resultante de las interacciones entre amenazas naturales o inducidas por los humanos y condiciones oportunas”. La norma ISO 31000-2018, por su parte, define el riesgo como el “efecto de la incertidumbre sobre los objetivos.” (Inteco, 2018). De manera que hay un amplio margen para definir cómo evaluar el riesgo.

Por otra parte, existen expresiones numéricas, algunas más complejas y otras más sencillas para cuantificar el riesgo. Mora (2022) opina que el riesgo es complicado de calcular y lo define como “la probabilidad, condicionada, del daño que podría generarse por la relación de convolución entre una amenaza y los elementos vulnerables y expuestos”. Utilizando esta definición, se expresa el riesgo a partir del Teorema de la Probabilidad Total, por medio de la ecuación siguiente:

$$R = EDP = v(p) = \sum_{i=1}^n Pr(P > p | evento i) \times fA(evento i)$$

donde

$R = EDP = v(p)$  es la tasa de excedencia de daños y pérdidas  $p$   
 $fA(\text{evento } i)$  es la frecuencia anual del evento  $i$   
 $Pr(P > p | \text{evento } i)$  es la probabilidad de que la pérdida  $P$  sea mayor que  $p$  en el  $i$ -ésimo evento

Resulta entonces que  $v(p)$  equivale a la sumatoria de las pérdidas en todos los elementos expuestos bajo todos los escenarios de la amenaza considerada.

Por lo tanto, el cálculo del riesgo requiere un conjunto importante de datos obtenidos de fuentes confiables. A pesar de lo anterior, es ampliamente aceptado el cálculo numérico del riesgo como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad o, usando términos equivalentes, de la probabilidad de ocurrencia de una amenaza por las consecuencias (o impactos) derivadas de su ocurrencia (se pueden citar, por ejemplo, NSW (2014), NCHRP (2018)). Esta forma de cálculo es equivalente a la que se presenta en la ecuación de arriba. Así, para este estudio particular, se ha optado por este método de evaluación más simple del riesgo.

La valoración del riesgo se realiza para cada una de las amenazas identificadas, a partir de la combinación de la probabilidad de ocurrencia de dicha amenaza (nivel de amenaza,  $A$ ) y la vulnerabilidad ( $V$ ). Se puede entonces expresar numéricamente el riesgo con la siguiente relación:

$$R = A \times V$$

donde

$R$  = riesgo  
 $A$  = Nivel de amenaza  
 $V$  = Índice de vulnerabilidad

En este caso se expresan las variables  $A$  y  $V$  en un formato geográfico y numérico, de manera que la distribución del riesgo se pueda asociar a la posición de una determinada estructura (en este caso, el tramo evaluado en la calle La Cruzada), específicamente para las amenazas naturales consideradas, y sólo de manera numérica para las amenazas de origen antrópico. La generación de los insumos para la estimación del nivel de amenaza y el índice de vulnerabilidad es realizada mediante el sistema de información geográfica y su resultado final es una clasificación del sitio evaluado según la escala de riesgo.

La evaluación del riesgo se ilustra gráficamente en la Figura 3. Se ha representado, como ejemplo, el caso del riesgo por deslizamiento. Sin embargo, la estructura lógica del cálculo es la misma para las otras amenazas identificadas.

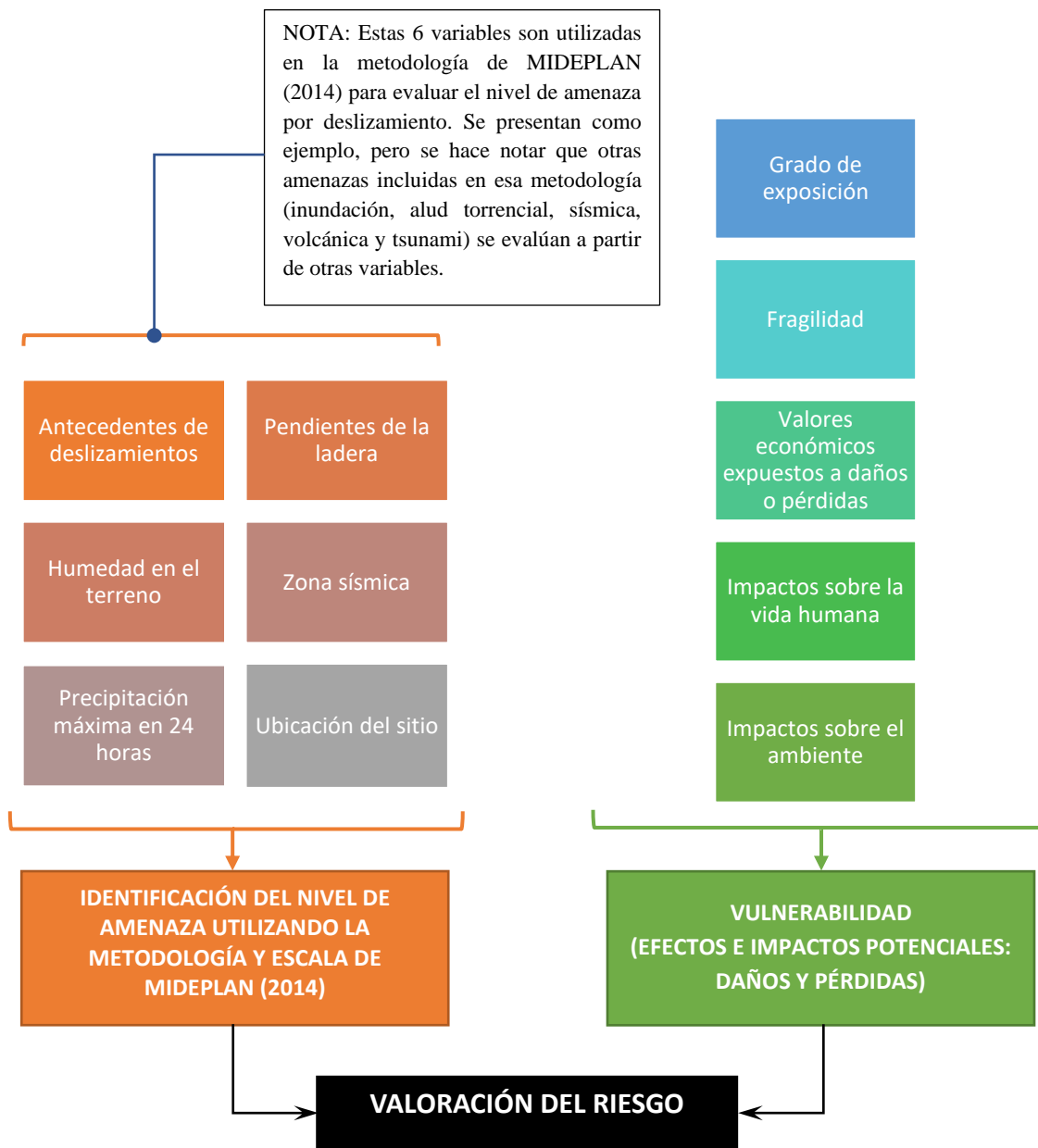


Figura 3. Componentes del análisis del riesgo

#### 4.1.2 Escalas del nivel de amenaza y de la vulnerabilidad

El nivel de amenaza, según el método de MIDEPLAN (2014) se valora en una escala que va de 1 a 5. Se ha utilizado la misma escala para las amenazas naturales y las de origen antrópico, descritas en la sección 4.2.6. Un valor de 1 representa un nivel de amenaza muy bajo, mientras que uno de 5 representa un nivel de amenaza muy alto. En la Tabla 1 se describe la escala del nivel de amenaza que se ha utilizado. La descripción de cada nivel ha sido modificada a partir del modelo de MIDEPLAN (2014).

*Tabla 1. Escala del nivel de amenaza*

<b>Descripción del nivel de amenaza</b>	<b>Calificación del nivel de amenaza</b>	<b>Nivel de amenaza</b>
El desarrollo de la obra no tiene necesidad de inversiones adicionales para la reducción del riesgo.	Nula a muy baja	1
Se podría requerir un monto mínimo de inversiones adicionales para la reducción del riesgo.	Baja	1,01 a 2,00
La amenaza no es una limitante para la obra, pero requiere considerar distintas alternativas y la inversión para la reducción del riesgo es indispensable.	Media	2,01 a 3,00
La inversión requerida para la reducción de riesgo es considerable.	Alta	3,01 a 4,00
La amenaza es inminente o ya afecta a las estructuras. Podría implicar buscar otro emplazamiento para la obra, a menos que se considere estratégica su localización.	Muy alta	4,01 a 5,00

El índice de vulnerabilidad, por otra parte, representa los posibles impactos que producen daños y pérdidas. La escala del índice de vulnerabilidad utilizada (ver sección 4.3), va desde un valor de 1 para una vulnerabilidad muy baja o nula hasta un máximo de 4, para una vulnerabilidad elevada. En la Tabla 2 se presenta la descripción de la escala utilizada para esta variable.

Es importante tener en mente que el concepto de vulnerabilidad está relacionado con las condiciones de la infraestructura que se evalúa y los impactos asociados. Este valor varía para cada amenaza que se considere (puesto que cada una genera distintos tipos de impacto).

Tabla 2. Escala del Índice de vulnerabilidad

NIVEL DE DAÑO ASOCIADO	CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (V)
Daño leve o nulo	Muy baja a nula	1
Daño moderado	Baja	2
Daño grave	Media	3
Daños muy graves o irreparables	Elevada	4

La evaluación del nivel de amenaza y del índice de vulnerabilidad se realiza para cada una de las amenazas identificadas. Así, a cada amenaza le está asociado un determinado nivel de riesgo.

#### 4.1.3 Matriz de riesgo

Se deriva, de las discusiones anteriores, que la escala de riesgo es producto de la combinación del nivel de amenaza y la vulnerabilidad (A y V). En este caso, el riesgo se ha clasificado con el criterio que se explica en la matriz que se presenta a continuación, en la Tabla 3.

Tabla 3. Matriz de Riesgo en función de la amenaza y de la vulnerabilidad

		NIVEL DE AMENAZA				
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
VULNERABILIDAD	MUY BAJA O NULA	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo medio
	BAJA	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo medio
	MEDIA	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo elevado	Riesgo elevado
	ELEVADA	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo elevado	Riesgo elevado	Riesgo elevado

En formato numérico, la matriz del riesgo se expresa en los términos de la Tabla 4, generada a partir de la aplicación de la ecuación  $R=A \times V$  y del criterio de la Tabla 3.

Tabla 4. Matriz del riesgo por deslizamiento, en términos numéricos

		NIVEL DE AMENAZA					
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO	
		1	2	3	4	5	
VULNERABILIDAD	MUY BAJA O NULA	1	1	2	3	4	5
	BAJA	2	2	4	6	8	10
	MEDIA	3	3	6	9	12	15
	ELEVADA	4	4	8	12	16	20

En resumen, valores del riesgo, R, iguales o menores a 4 se consideran bajos. Más de 4, hasta 10, corresponde a riesgo medio y, finalmente, valores de R por encima de 10, equivale a riesgos altos.

Debe notarse el uso de un código de colores de tipo “semafórico”, según el cual, el riesgo bajo (color verde) representa un nivel aceptable, el riesgo medio (color amarillo) representa un nivel “gestionable” y el riesgo alto (color rojo) representa un riesgo inaceptable.

De acuerdo con lo anterior, se deriva también que un riesgo bajo no requiere, por lo general, acciones de respuesta, el riesgo medio, por lo general, podría requerir acciones de respuesta (según lo determine la conveniencia de la Administración) y el riesgo alto necesariamente requiere acciones de respuesta que consigan llevar el nivel de riesgo al menos a un nivel medio.

El procedimiento requiere, como primer paso, la identificación de las amenazas, y luego la evaluación del riesgo según se ha descrito. Cabe señalar que algunas amenazas (y su correspondiente vulnerabilidad) pueden ser expresadas en términos cartográficos utilizando mapas (sobre todo las amenazas naturales, pues su origen se puede ubicar geográficamente), pero otras, en particular las de origen antrópico, no son susceptibles de ese tratamiento.

## 4.2 Análisis de amenazas

La metodología planteada por el MIDEPLAN (2014) busca determinar el tipo de amenazas naturales que podrían afectar un sitio, al evaluar seis posibles eventos de origen natural que podrían afectar el sitio en estudio. Así, se realiza la evaluación de la amenaza por deslizamiento, por inundación, por alud torrencial, por amenaza sísmica, por actividad volcánica y por tsunami. Evidentemente, para cada sitio en particular, algunas de estas amenazas son plausibles y otras no.

A continuación, se presentan los resultados de la estimación de cada una de las amenazas naturales para cada uno de los escenarios evaluados, en el sitio denominado “calle La Cruzada”. Al final de esta sección, en el apartado 4.2.6, se discute la estimación de las amenazas de origen antrópico.

### 4.2.1 Amenaza de deslizamiento

Para la evaluación de la amenaza por deslizamiento, el MIDEPLAN (2014) propone la utilización de la matriz de ocurrencia a deslizamientos definida como la interacción entre distintas variables, como lo son: la pendiente de la ladera, la humedad del terreno, la intensidad de las lluvias y la ocurrencia de sismos que disparen el evento de inestabilidad, así como también condicionantes que aumentan la susceptibilidad del entorno, como lo son: la presencia o antecedentes de deslizamientos y la ubicación del sitio respecto a la ladera. A continuación, se hace una descripción de cada una de las variables y se muestra el resultado final de la interacción de la matriz de amenaza a deslizamiento.

#### 4.2.1.1 Deslizamientos en proceso o antecedentes de deslizamientos

Para la estimación de esta variable fue necesaria la revisión de eventos previos ocurridos en el sector de interés, en un radio de 1500 m alrededor del sitio del proyecto. Es importante indicar que el sitio como tal presenta un deslizamiento de suelo que ha sido influenciado por las pérdidas de agua desde una tubería. Adicionalmente, se revisaron los mapas de amenaza de la Comisión Nacional de Emergencias (Mapa de Amenazas y Peligros Naturales del Cantón de Santa Ana (CNE, 2022)) y otras fuentes.

A partir de la revisión, se encontró que la Municipalidad de Santa tiene identificados dos procesos de deslizamientos a menos de 1500 m. El de mayor tamaño, nombrado “Deslizamiento Tapezco”, se encuentra clasificado como “activo” y ha sido reportado desde



abril de 2019 (03/04/2019) (Municipalidad de Santa Ana, 2022). El segundo deslizamiento, nombrado “Deslizamiento Cerro Chitaria”, es un desprendimiento de la ladera con poca actividad y fue reportado en abril de 2019 (03/04/2019) (Municipalidad de Santa Ana, 2022). Ambos se encontraban descritos en un archivo tipo “shapefile” del geoportal de archivos de información geográfica de la Municipalidad de Santa Ana (2023).

De esta manera, se ha definido que el sector evaluado **sí** ha presentado procesos de deslizamiento, lo que le asigna un nivel de incidencia muy alto y una calificación de 5 para este aspecto de la determinación de la amenaza en la metodología de MIDEPLAN (2014).

#### 4.2.1.2 Humedad del suelo

La humedad del suelo se ha estimado a partir de los promedios mensuales de precipitación. Se considera que, donde se hayan superado los 125 mm/mes (que representan el umbral de evapotranspiración potencial), se genera un aumento considerable de la humedad del terreno.

A partir de la información solicitada al Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2022) para tres estaciones cercanas (84119 Santa Ana, Guachipelín, 84111 Lornessa, Santa Ana y 84199 Belén) se ha determinado una humedad del suelo baja. En la Tabla 5 se presenta, como ejemplo, la estimación para la estación 84119 Santa Ana, Guachipelín.

Tabla 5. Estimación de la humedad del suelo, estación 84119 Santa Ana

Mes	Precipitación (mm)	Días con lluvia	Valor asignado
Enero	4.9	1	0
Febrero	8.3	1	0
Marzo	15.8	2	0
Abril	71.2	7	0
Mayo	224.1	17	1
Junio	213.5	19	1
Julio	162.3	17	1
Agosto	222	20	1
Septiembre	317.8	24	2
Octubre	307.9	25	2
Noviembre	135.1	14	1
Diciembre	29.8	6	0
Total	1712.7	153.0	9.0

En las otras estaciones el resultado ha sido el mismo, indicando una humedad del suelo con un parámetro de 9 que representa un nivel de **incidencia bajo**, con una calificación de 2.

### 4.2.1.3 Pendiente promedio de la ladera

La pendiente promedio del sector evaluado se calculó a partir del modelo de elevación digital, el cual fue estimado con las curvas de nivel en escala 1:1000, tomadas del Geoportal de la Municipalidad de Santa Ana para todo el cantón. El sitio del estudio se cataloga con pendientes moderadamente escarpadas o acolinadas, al cual se le asignó un nivel de incidencia medio, con un puntaje de 3. En la Figura 4 se presenta la variación de las pendientes en el sector de estudio.

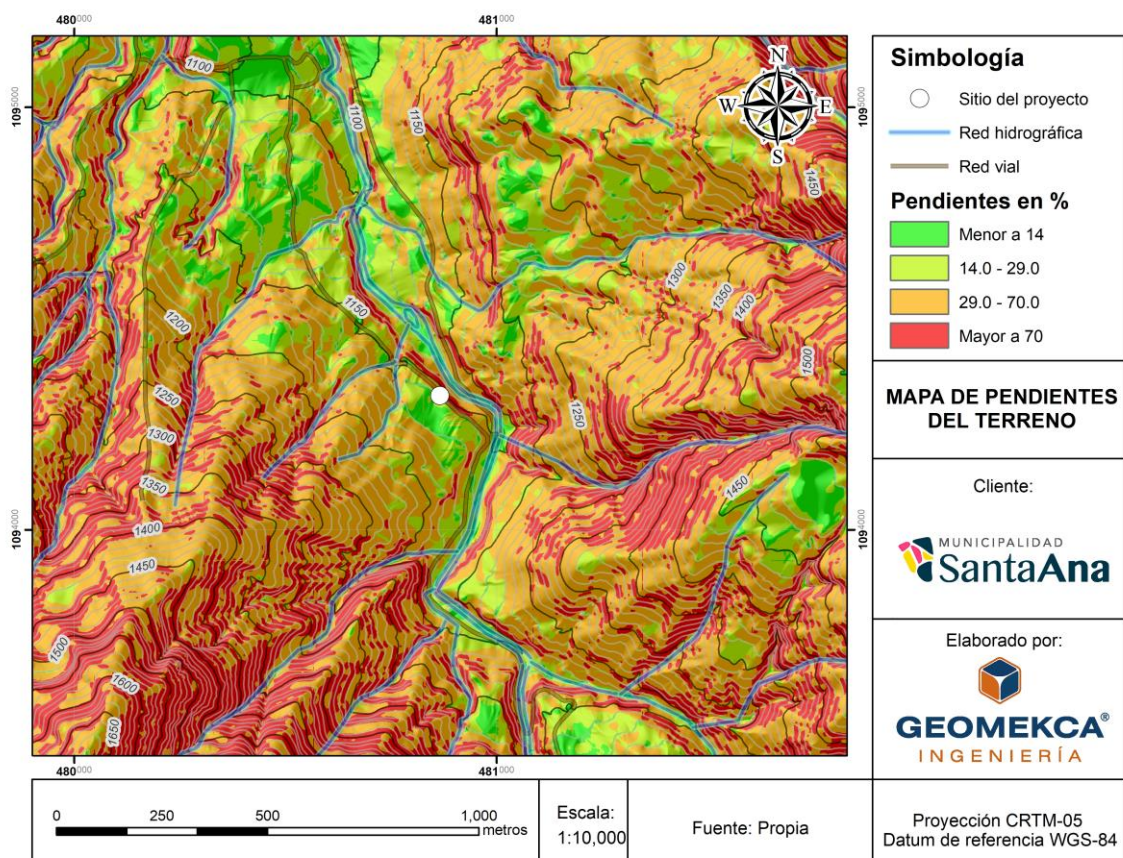


Figura 4. Mapa de pendientes

#### *4.2.1.4 Zonas sísmicas*

Según el Código Sísmico de Costa Rica (2010), el cantón de Santa Ana y todos sus distritos se catalogan como una zona sísmica III. Este nivel se representa como un nivel de **incidencia alto**, con una clasificación de 4.

Todo el sector analizado se cataloga con este valor.

#### *4.2.1.5 Precipitación máxima en 24 horas*

Debido a que no se disponía de los valores de precipitación para ser analizados estadísticamente, como lo propone la metodología, se estimó la precipitación máxima a partir de resultados de otros estudios. Se utilizaron las curvas de intensidad, duración y frecuencia del IMN (IMN, 2011) para estaciones cercanas, ubicadas en el Gran Área Metropolitana y, a partir de su revisión se determinó que, dependiendo de la estación hidrometeorológica que se considere, los valores extremos se pueden encontrar entre los 100 mm y 200 mm para toda el área considerada, lo cual se catalogaría con un nivel de incidencia bajo.

La categorización por precipitación es uniforme para todo el sector evaluado.

#### *4.2.1.6 Ubicación del sitio o posición del proyecto respecto a la ladera*

Como se puede apreciar en la imagen de la Figura 5, el sitio evaluado (el tramo de la carretera) se encuentra ubicado directamente sobre la corona del talud y es afectado directamente por la condición de inestabilidad de la ladera, desde el nivel de la carretera hacia abajo. Por lo tanto, se define con un **nivel de incidencia muy alto** para el aspecto de posición del proyecto respecto de la ladera, con una puntuación de 5.

#### *4.2.1.7 Estimación de la amenaza por deslizamiento*

Finalmente, a partir de la interacción de cada uno de los seis parámetros analizados, con su nivel de incidencia y considerando su factor de ponderación, se ha estimado la amenaza por deslizamiento para el sitio en estudio.



*Figura 5. Ubicación del deslizamiento junto a la calle*

El álgebra de mapas da como resultado un valor que varía entre 3,2 y 3,8, generando que el sitio en estudio se clasifique con un **índice de amenaza por deslizamiento MUY ALTO**, el cual se representa en el mapa de la Figura 6. Este resultado es congruente con la estimación del Índice de Fragilidad Ambiental para Amenaza por Deslizamientos (ver Figura 7), realizado por PRUGAM en el 2007, el cual determinó que buena parte del territorio de Santa Ana ostenta un factor de amenaza I Muy alto ante los deslizamientos.

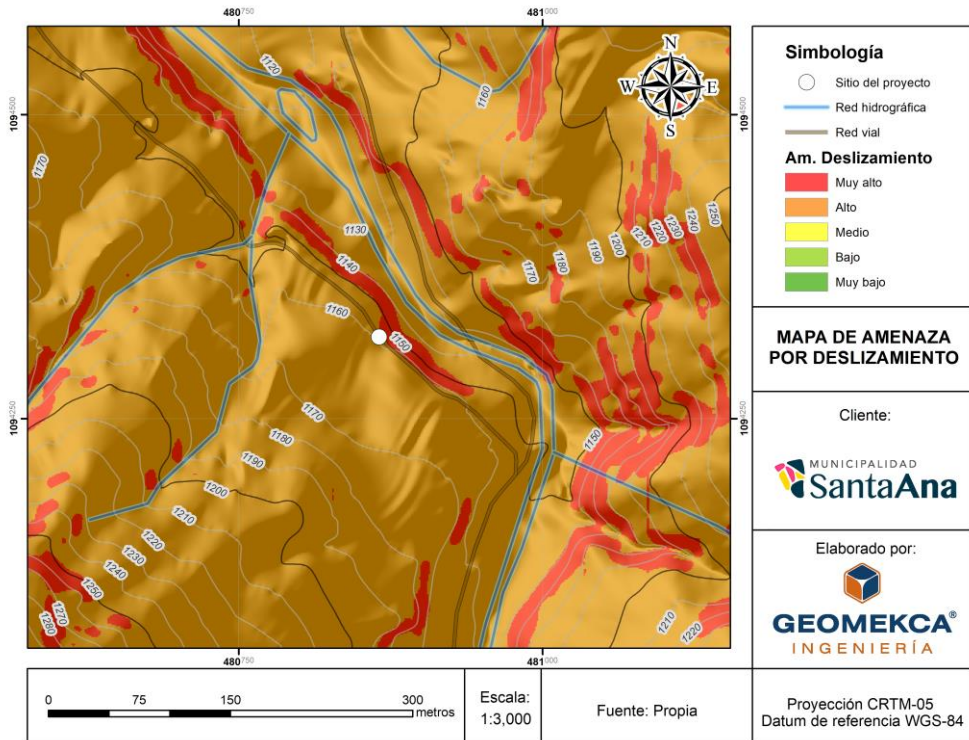


Figura 6. Mapa de amenaza por deslizamiento

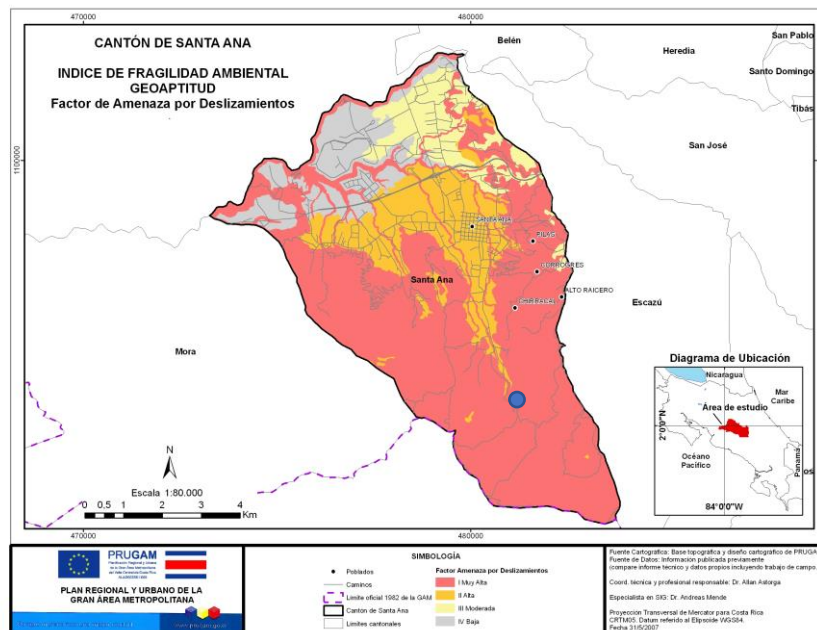


Figura 7. Índice de Fragilidad Ambiental por amenaza a deslizamiento  
Fuente: (PRUGAM, 2007)

## 4.2.2 Amenaza de inundación

La estimación del nivel de amenaza de inundación sigue una lógica similar a la de la amenaza de deslizamiento, aplicando la combinación de puntajes asignados a varios parámetros.

### 4.2.2.1 Localización de zonas de amenaza con potencial de inundación

Según mapas de amenaza local (Municipalidad de Santa Ana, 2023), existen zonas con potencial de inundación, y algunos se han categorizado con cercanía al sitio en estudio. Por esta razón, se determinó un **nivel de incidencia muy alto**, con un puntaje de 5.

### 4.2.2.2 Combinación entre la pendiente y la precipitación

Para la combinación entre la pendiente y la precipitación se clasificaron cinco zonas catalogadas como: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto (en referencia al nivel de incidencia por la precipitación y la pendiente). El sitio de estudio se determinó con un **nivel de incidencia bajo**.

### 4.2.2.3 Humedad del suelo

La determinación de la humedad del terreno se presentó en la sección 4.2.1.2 Humedad del suelo. Este dato se utiliza también para la estimación de la amenaza por inundación.

### 4.2.2.4 Vegetación predominante

La vegetación predominante del sitio en estudio es variable, desde suelo desnudo por la presencia de construcciones hasta presencia de un bosque no denso. El mapa con la capa de cobertura vegetal se elaboró con el apoyo de imágenes satelitales. En la Figura 8 se presenta el mapa de cobertura vegetal en la zona cercana al sitio de estudio.

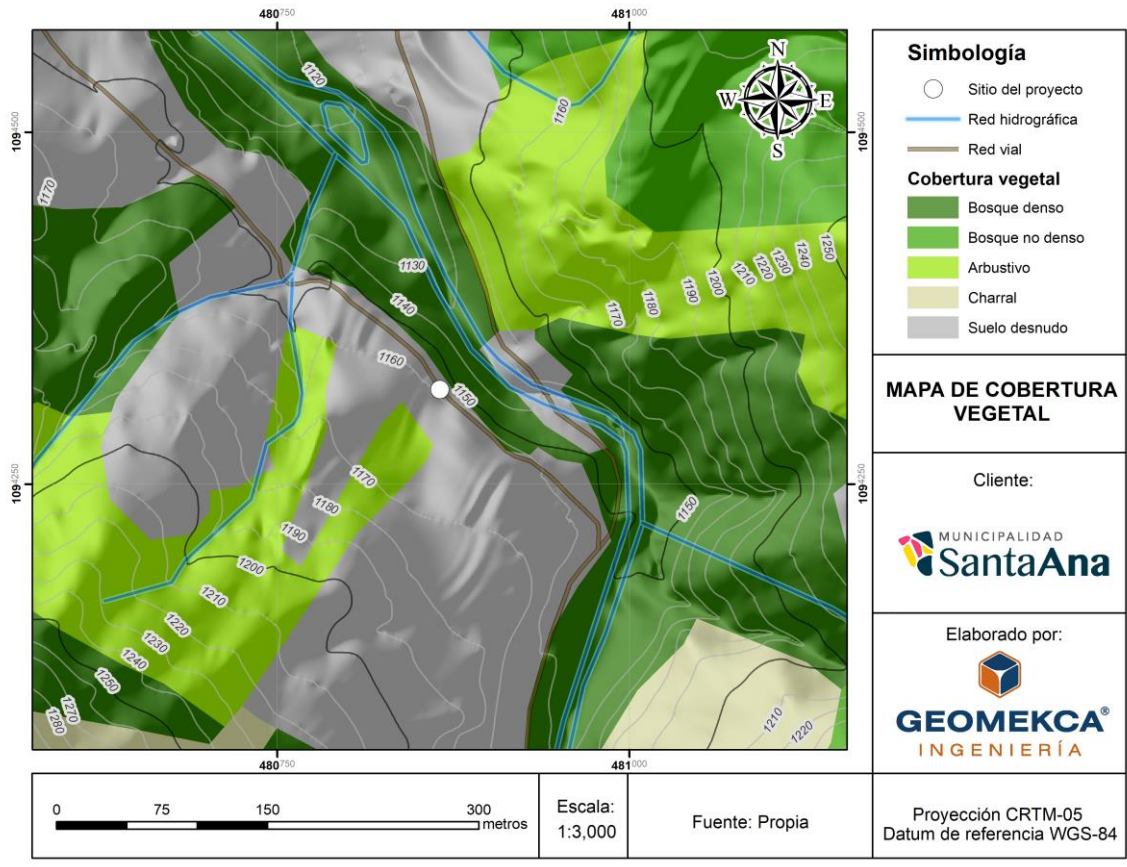


Figura 8. Mapa de cobertura vegetal

4.2.2.5 Distancia a cuerpos de agua y altura sobre el tirante

Se determinó que la combinación entre la distancia a cuerpos de agua y altura sobre el tirante de agua tiene un valor **Bajo**, con un puntaje de 2. Esto debido a que se consideró que el sitio en estudio se encuentra en una ubicación elevada con respecto a la posición del río Uruca.

4.2.2.6 Estimación de la amenaza por inundación

A partir de la interacción de cada uno de los parámetros con su nivel de incidencia y considerando su factor de ponderación, se ha estimado la amenaza por inundación para el sitio en estudio. El álgebra de mapas generó que el sitio en estudio se clasifique en un **índice de amenaza BAJA por inundación**, el cual se muestra en la Figura 9.

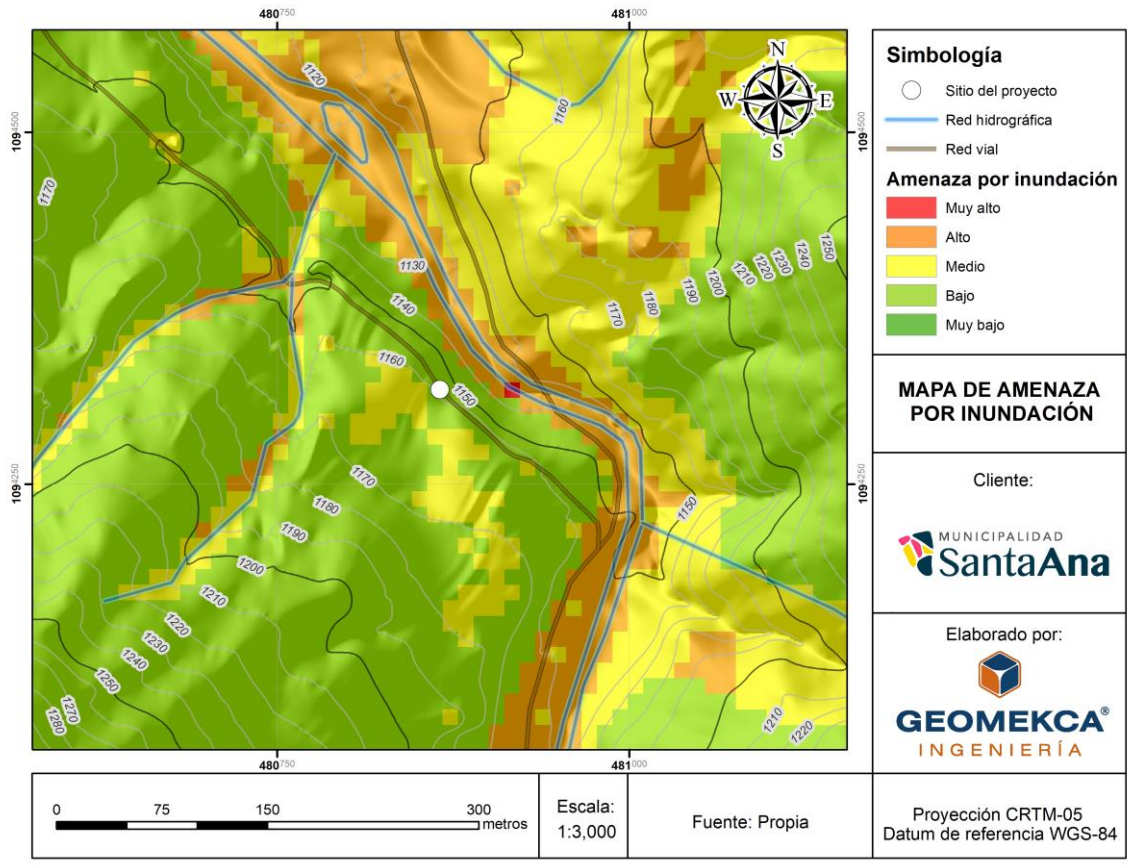


Figura 9. Mapa de amenaza por inundación

## 4.2.3 Amenaza de alud torrencial

### 4.2.3.1 Existencia de eventos previos de alud torrencial

Se han realizado estudios para determinar la amenaza por alud torrencial en el cantón de Santa Ana, incluyendo mapas de la CNE (2022) y de la Municipalidad de Santa Ana (2022). Este último hace énfasis de la posibilidad de repentinos flujos de lodo que podrían afectar al río Uruca, cercano al sitio del proyecto. Por lo tanto, se catalogó el sitio con un **nivel de incidencia Muy Alto** con un puntaje de 5.



#### *4.2.3.2 Ubicación del sitio a evaluar*

Debido a la ubicación del sitio en estudio, en la parte alta de una ladera, se ha considerado que este se encuentra fuera del valle aluvial que se forma por la cuenca por lo que se ha clasificado con un **nivel de incidencia Muy Bajo**, con un puntaje de 1.

#### *4.2.3.3 Precipitación máxima*

La determinación de la precipitación se presentó en la sección 4.2.1.5 Precipitación máxima en 24 horas.

#### *4.2.3.4 Zona sísmica*

La determinación de las zonas sísmicas ya fue presentada en la sección 4.2.1.4 Zonas sísmicas.

#### *4.2.3.5 Estimación de la amenaza por alud torrencial*

A partir de la interacción de cada uno de los parámetros con su nivel de incidencia y, considerando su factor de ponderación, se ha estimado la amenaza por alud para el sitio en estudio. El álgebra de mapas estima que el sitio en estudio se clasifica en un **índice de amenaza BAJO**, el cual se presenta en el mapa de la Figura 10.

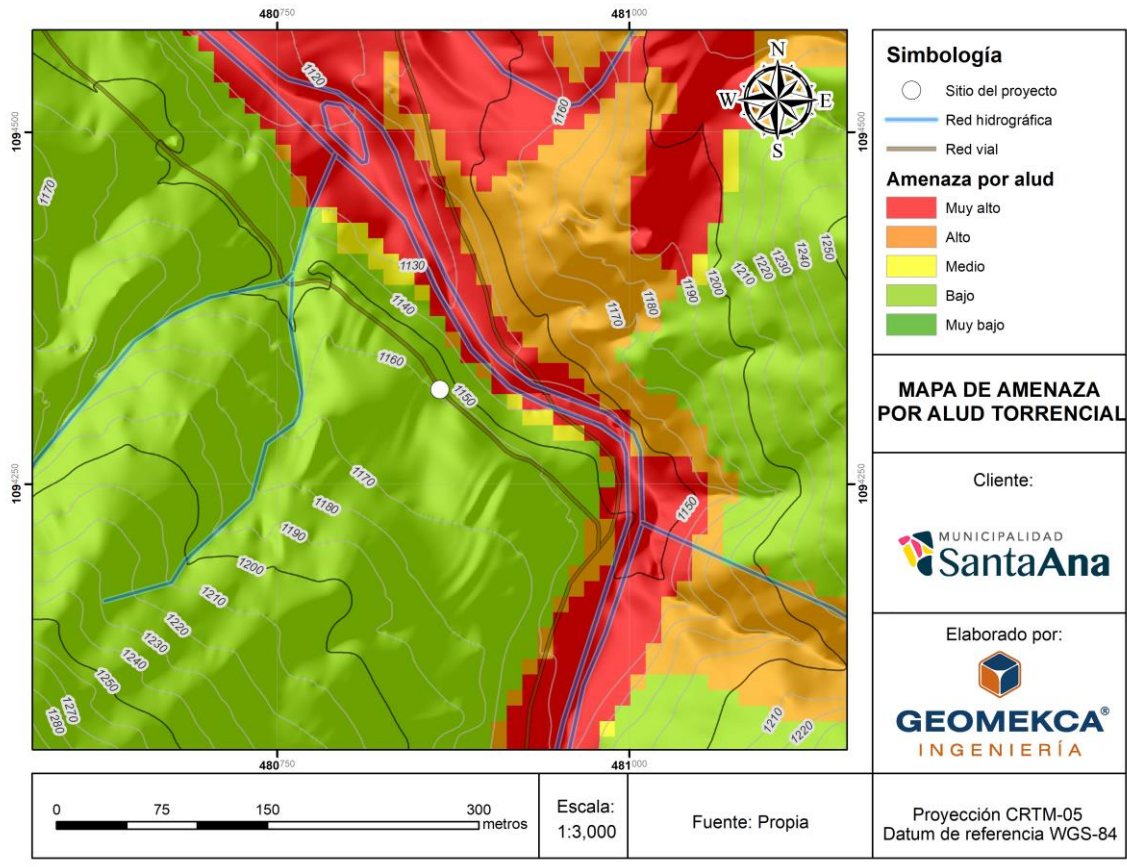


Figura 10. Mapa de índice amenaza por alud torrencial

#### 4.2.4 Amenaza sísmica

La amenaza sísmica se estima, según la metodología de MIDEPLAN (2014), a partir de la interacción entre cuatro variables: la zona sísmica, el tipo de sitio de cimentación, la distancia respecto al trazo de una falla local y la pendiente promedio en un radio de 1,5 km.

##### 4.2.4.1 Combinación entre zona sísmica y tipo de sitio

El mapa de zona sísmica indica que el nivel de amenaza de esta variable es constante para todo el cantón de Santa Ana, que está catalogado como zona III. Por otra parte, a partir de la investigación geotécnica, el tipo de sitio puede ser definido como S2 (en cualquier caso, la clasificación como S3 y S4 aportan el mismo puntaje para este sitio). De esta manera, la combinación de los parámetros determina un nivel de **incidencia Alto** con un puntaje de 4.

#### 4.2.4.2 *Distancia respecto al trazo de una falla*

Cerca del sitio de estudio se detectaron múltiples fallas geológicas, estando tres en el entorno inmediato, llamadas “falla Uruca”, “falla Matinilla 1” y “falla Piedades” (Municipalidad de Santa Ana, 2022). Según su descripción las tres fallas se consideran activas o sugerentes de ser activas, por lo que se ha definido el **nivel de incidencia como muy alto** con un puntaje de 5.

#### 4.2.4.3 *Combinación entre pendiente promedio y zona sísmica*

La combinación entre la pendiente y la zona sísmica se clasifica con un índice muy alto, asignando un puntaje máximo de 5.

#### 4.2.4.4 *Estimación de la amenaza sísmica*

A partir de la interacción de cada uno de los parámetros con su nivel de incidencia y, considerando su factor de ponderación, se ha estimado la amenaza sísmica para el sitio en estudio. El álgebra de mapas estima que el sitio en estudio se clasifica en un **índice de amenaza MUY ALTO**, el cual se muestra en el mapa de la Figura 11.

### 4.2.5 **Amenaza volcánica y por tsunami**

Evaluar la amenaza volcánica solamente es necesario cuando el sitio está dentro de un radio de 20 km alrededor de alguno de los cráteres volcánicos identificados por la CNE (MIDEPLAN, 2014). En este caso se descarta la amenaza en la valoración del sitio de estudio. De forma similar, debido a que el sitio de estudio no se encuentra localizado en una zona costera, se descarta evaluar la amenaza por tsunami.

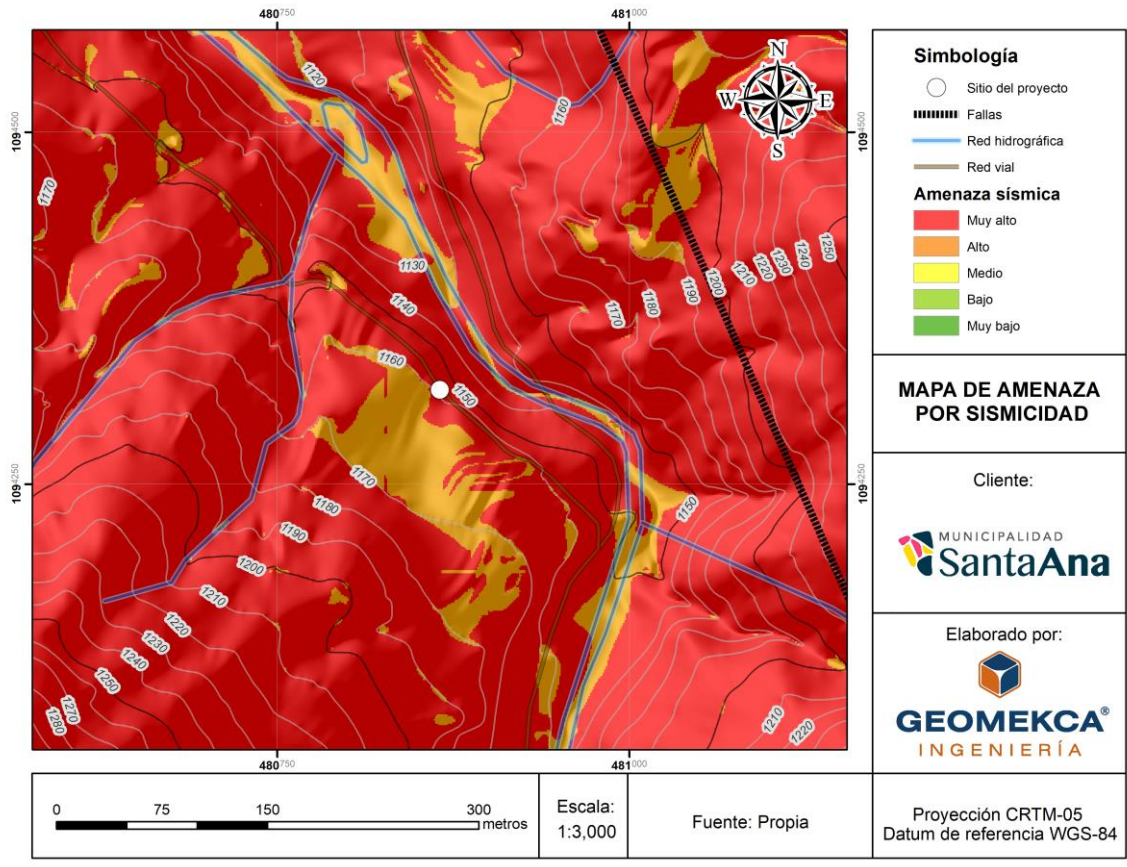


Figura 11. Mapa de amenaza sísmica

#### 4.2.6 Amenazas de origen antrópico

Las amenazas analizadas en las secciones anteriores pueden clasificarse como “naturales” y se han evaluado de acuerdo con la metodología establecida por el MIDEPLAN (2014). Tales amenazas, aun siendo de gran importancia no son, sin embargo, las únicas.

Se consideraron otras amenazas naturales cuya probabilidad de ocurrencia en el sitio se ha considerado sumamente baja y de muy escaso impacto, por ejemplo: daños por caída de rayos, daños por caída de bloques durante una erupción, daños por caída de cenizas volcánicas, etc. Este grupo de amenazas naturales que, al igual que la amenaza de tsunamis o la amenaza volcánica se han valorado como prácticamente despreciables para este sitio particular, no se han incluido en el texto del informe, por razones de espacio y relevancia.

Además de la metodología de MIDEPLAN (2014), se han evaluado estas amenazas naturales también por medio de otra metodología, considerando el conjunto total de amenazas sobre el sitio evaluado, generando así un Registro de Riesgos.

Por otra parte, además de las amenazas naturales, se perciben otras cuyas causas son más bien de origen antrópico, pero que resultan de importancia para la operación de la infraestructura y la gestión del riesgo. En el Apéndice B (capítulo 11) se incluye la lista completa de las amenazas evaluadas, naturales y antrópicas, en el Registro de riesgos. Se podrá notar que muchas no se aplican a las condiciones particulares del sitio. Sin embargo, son consideradas y evaluadas de manera congruente con la matriz de riesgo.

Las amenazas que se incluyen a continuación han sido clasificadas como de origen antrópico. Para su evaluación se ha aplicado el criterio experto, como producto de la discusión y análisis interdisciplinario. La escala utilizada para establecer su nivel de amenaza, sin embargo, es la misma que la usada para las amenazas naturales. Esto es, se cataloga con un valor de 1 si el nivel de amenaza es muy bajo y de 5 si es muy alto.

Valga aclarar que la mayoría de estas amenazas de origen antrópico no son susceptibles de expresión cartográfica, porque en muchos casos no puede determinarse la ubicación geográfica de la amenaza. Por lo tanto, estas amenazas no se representan en mapas.

#### *4.2.6.1 Erosión por escorrentía y socavación hidráulica*

El proceso de inestabilidad del sitio evaluado está muy ligado a procesos erosivos generados por la concentración de escorrentía. En el sitio evaluado el agua es concentrada en las cunetas laterales de la carretera, conducida y vertida precisamente hacia el sitio donde se ha producido la inestabilidad de la ladera. Es, precisamente, el vertido descontrolado del agua de escorrentía el causante del proceso erosivo que provoca la inestabilidad del sitio. Este proceso ocurre actualmente y se encuentra muy activo, de manera que el nivel de amenaza asociado es muy alto. Por lo tanto, el nivel de amenaza es igual a 4 en este caso ( $A = 4$ ), pues ocurre con certeza en la época lluviosa y no en la época seca.

La socavación hidráulica se produciría al pie de la ladera en la medida que la escorrentía superficial no sea controlada. Sin embargo, la condición del terreno hace prever que su nivel de amenaza sea algo inferior ( $A = 3$ ).

#### *4.2.6.2 Deterioro por falta de mantenimiento*

La falta de mantenimiento es una de las condiciones que contribuyen al proceso erosivo, pues el adecuado funcionamiento de la infraestructura depende de la correcta operación de todos los elementos del sistema, a partir de una adecuada supervisión e identificación temprana de procesos de deterioro. Se le ha asignado un nivel de amenaza medio ( $A = 3$ ).

#### 4.2.6.3 *Daños por inseguridad social*

La pérdida de materiales de las obras de infraestructura, incluyendo materiales estructurales, elementos separadores, protectores o señales, entre otros, podría considerarse posible. Estos serían los principales daños esperables asociados a la “inseguridad social”, es decir, a aquellas acciones que provienen de condiciones inseguras en relación con las actividades humanas. En este caso, se considera en esta categoría el vandalismo, principalmente, y no otras causas de inseguridad como podrían ser los conflictos armados, disturbios o terrorismo.

Puede incluirse aquí también la posibilidad de ocurrencia de daños a causa de colisión de vehículos que, según se ha referido por los vecinos, circulan a veces a alta velocidad y, en ocasiones, también después de consumir alcohol.

Dadas las experiencias anteriores en el sitio, referidas también por los vecinos, se considera que su nivel de amenaza es medio, esto es  $A=3$ .

#### 4.2.6.4 *Deterioro por el proceso constructivo de las obras de protección*

Se incluye en este caso la afectación provocada por el manejo inapropiado del agua de escorrentía acumulada en la carretera, así como daños que podría generar la inestabilidad del terreno o la falla en la aplicación correcta de obras de protección y estabilización en las propiedades de terceros. Se incluye también las afectaciones personales o afectación a los servicios públicos. Es decir, todos los efectos negativos asociados a un manejo deficiente del proceso constructivo.

En este caso, se considera que el nivel de amenaza es también medio ( $A=3$ ).

### **4.2.7 Listado de amenazas y nivel de amenaza**

Todas las amenazas mencionadas en los apartados anteriores han sido evaluadas en el análisis de los riesgos. Sin embargo, se presenta a continuación, en la Tabla 6, una lista de aquellas consideradas con un nivel de amenaza medio o mayor, es decir, las que se consideran relevantes o significativas para este caso. La codificación utilizada en esta tabla proviene del Registro de Riesgos (ver Apéndice B, capítulo 11).

Tabla 6. Lista de amenazas relevantes

<b>Código</b>	<b>Amenaza</b>	<b>Nivel de amenaza</b>
A.3	Desplazamientos o daños por la inestabilidad del terreno por la sacudida sísmica (*)	3
A.5	Daños o salidas de operación provocadas por la influencia de un deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa del terreno causado por sismo. (*)	3
A.9	Daños o salidas de operación provocadas por deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa causado por tormentas o eventos hidrológicos extremos. (*)	4
A.10	Daños o salidas de operación provocadas por avenidas o inundaciones por eventos hidrológicos extremos. (*)	4
B.1	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de deslizamientos o inestabilidad del terreno, en zonas de fuerte pendiente. (*)	5
B.4	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de zonas de debilidad (grietas, capas meteorizadas, rellenos de falla, zonas de cortante)	4
B.5	Desplazamientos o inestabilidad por deslizamientos o inestabilidad del terreno a causa de orientación desfavorable de las capas litológicas	4
B.7	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de procesos erosivos.	4
C.7	Desplazamientos o inestabilidad por erosión superficial por el agua de escorrentía no controlada	4
C.8	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de socavación hidráulica.	3
D.6	Desplazamientos de la estructura a causa de la formación de grietas de descompresión asociadas a zonas inestables	3
E.2	Desplazamientos de la estructura a causa del descalce de las obras de protección por procesos erosivos	3
E.3	Desplazamientos a causa de erosión provocada por corta de arbustos / deforestación, actividad agrícola	3
F.5	Costos no previstos debido a la necesidad de diseñar obras adicionales o rediseñar obras ya existentes a causa de un pobre mantenimiento.	3
F.6	Daños a la infraestructura provocados por la colisión de vehículos de cualquier tipo	3
F.7	Daños a la infraestructura provocados por inseguridad social: vandalismo, conflictos armados, disturbios, terrorismo	3
G.2	Afectación a propiedades de terceros causadas por el manejo inapropiado de agua	3
G.3	Afectación al terreno de terceros a causa de inestabilidad generada por la estructura o por las obras de protección a la misma	3
G.4	Daños a la infraestructura, caminos públicos o privados por causa de los procesos constructivos de las obras de protección	3
G.5	Interrupción de servicios públicos por causa de los procesos constructivos de las obras de protección	3
G.7	Afectación a propiedades de terceros causadas por el manejo inapropiado del material de desecho y los sitios de escombrera	3

(\*) Nota: Esta amenaza se ha evaluado también con la metodología de MIDEPLAN, en términos cartográficos.

## 4.3 Vulnerabilidad de la infraestructura

El poder destructivo de las amenazas se materializa, principalmente, en la población expuesta y frágil y en sus elementos económicos y sociales, sobre los que se generan daños y pérdidas (e.g. muertos, heridos, acervos, capital, desequilibrios fiscales, etc.). El análisis de la vulnerabilidad comienza con la determinación del grado de exposición ante la amenaza considerada. Luego, otras variables son consideradas, a saber: la fragilidad, la estimación de los valores económicos expuestos a daños o pérdidas y los impactos sobre la vida humana y sobre el ambiente. En la Figura 12 se representan las componentes del análisis de vulnerabilidad.



*Figura 12. Variables para la determinación de la vulnerabilidad del sitio*

### 4.3.1 Grado de exposición

El grado de exposición se evalúa según la posición de la sección de calle La Cruzada que se evalúa con respecto a la amenaza considerada y su dinámica (velocidad de expansión del proceso amenazante). El criterio que se ha utilizado para establecer el grado de exposición se detalla en la Tabla 7 y se ha variado según el grado de exposición a cada una de las amenazas.

La vulnerabilidad se ha zonificado en secciones de 10 m y cada una ha sido clasificada según su grado de exposición.



Tabla 7. Clasificación del nivel de exposición

<b>Distancia-influencia a la amenaza</b>	<b>Calificación del nivel de exposición</b>	<b>Grado relativo de exposición</b>
Fuera de la influencia en el largo plazo (> 10 años)	Nula a muy baja	0
Fuera de la influencia en el mediano plazo (5 a 10 años)	Baja	1
La influencia es posible en el corto plazo (< 5 años)	Media	2
La amenaza es inminente o ya afecta a las estructuras	Elevada	3

#### 4.3.2 Valores económicos expuestos a daños

A falta de estudios específicos para el cantón, se considera una clasificación general de costo, de acuerdo con la importancia relativa que la infraestructura evaluada presente. En la Tabla 8 se muestra la clasificación por el valor económico expuesto.

Nuevamente, se ha zonificado en secciones de 10 m de longitud y, en este caso, se ha clasificado como constante para todo el tramo de calle, con una asignación de valor medio, al considerar directamente los valores económicos de la infraestructura. Para las zonas colindantes a la calle, que se componen por potreros y zonas de cultivo se ha clasificado el valor económico expuesto a daños con un valor bajo.

#### 4.3.3 Fragilidad

La fragilidad está directamente relacionada con la capacidad intrínseca de la infraestructura para soportar sus cargas de diseño y solicitaciones extraordinarias. Representa la susceptibilidad a la ruptura o colapso de la infraestructura de acuerdo con las normas de diseño. En este caso, se utiliza una valoración general de la condición de la infraestructura para evaluar el grado de fragilidad asociada. En la Tabla 9 se muestra la clasificación de la fragilidad.

Se ha catalogado como constante para todo el tramo de calle, con una asignación de fragilidad media. Las zonas cercanas a la calle se han considerado de fragilidad baja.

*Tabla 8. Clasificación del valor económico expuesto a daños*

<b>Importancia relativa de la infraestructura evaluada</b>	<b>Calificación del nivel de valor económico</b>	<b>Grado relativo de valor</b>
La pérdida de la infraestructura se puede compensar dentro del alcance presupuestario anual de operación y mantenimiento.	Muy bajo	0
La pérdida de la infraestructura se puede compensar dentro del alcance presupuestario equivalente a dos años consecutivos de operación y mantenimiento.	Bajo	1
La pérdida de la infraestructura se puede compensar dentro del alcance presupuestario equivalente a cinco años consecutivos de operación y mantenimiento.	Medio	2
La infraestructura perdida no se puede reponer con recursos propios, por su magnitud.	Elevado	3

*Tabla 9. Clasificación de la fragilidad*

<b>Condición actual relativa de la infraestructura evaluada</b>	<b>Calificación del nivel de fragilidad</b>	<b>Grado relativo de fragilidad</b>
La infraestructura evaluada ha sido diseñada y construida con altos estándares y normativa de ingeniería. Los materiales de construcción son de máxima calidad. No presenta daños evidentes por su operación.	Muy baja	0
La infraestructura evaluada ha sido diseñada y construida con altos estándares y normativa de ingeniería. Sin embargo, los materiales de construcción no son de máxima calidad. No presenta daños evidentes por su operación.	Baja	1
La infraestructura evaluada ha sido diseñada y construida sin controles ni verificación de la normativa de ingeniería. Los materiales de construcción son de regular calidad. Presenta daños evidentes por su operación.	Media	2
La infraestructura evaluada ha sido diseñada y construida sin controles ni verificación de la normativa de ingeniería. Los materiales de construcción son de baja calidad. Presenta daños evidentes, que ameritan intervención en el corto plazo.	Elevada	3

#### 4.3.4 Impactos sobre la vida humana

Para este análisis simplificado se consideran las posibles pérdidas para la comunidad en el entorno de la infraestructura evaluada, en relación con afectaciones al comercio, industria y servicios (lucro cesante, incomodidad, etc.) causada por la suspensión del servicio prestado por dicha infraestructura.

Se considera también la afectación personal, es decir, la posibilidad de que la falla de la infraestructura provoque daños físicos o la muerte a una o más personas usuarias.

En la Tabla 10 se presenta la clasificación de los impactos sobre la vida humana.

Para esta variable, se ha clasificado el nivel de impacto sobre la vida humana como constante para todo el tramo, con una calificación de baja en la calle y bajo o nula para las zonas de cultivo y potreros.

*Tabla 10. Clasificación de impactos sobre la vida humana*

<b>Impactos sobre la vida humana o sobre las condiciones socio económicas de las personas</b>	<b>Calificación del nivel de impacto sobre las personas</b>	<b>Grado relativo de impacto sobre personas</b>
La pérdida de la infraestructura evaluada no altera de manera significativa la dinámica socio económica de los usuarios ni afecta físicamente a ninguna persona.	Muy bajo o nulo	0
La pérdida de la infraestructura evaluada afecta negativamente, aunque de forma moderada, la dinámica socio económica de los usuarios. No afecta físicamente a ninguna persona.	Bajo	1
La pérdida de la infraestructura evaluada afecta negativa y significativamente la dinámica socio económica de los usuarios. Además, podría provocar daños físicos parciales a alguna persona usuaria si falla.	Medio	2
La pérdida de la infraestructura evaluada afecta negativa y gravemente la dinámica socio económica de los usuarios. Además, podría provocar daños físicos parciales o la muerte a alguna persona usuaria si falla.	Elevado	3

### 4.3.5 Impactos sobre el ambiente

El impacto sobre el ambiente se asocia con la magnitud de los daños sobre el entorno, tanto desde la perspectiva física como biológica. Considera también la reversibilidad de los daños provocados.

Para este análisis, se realiza una evaluación simplificada. En la Tabla 11 se presenta la clasificación por impactos sobre el ambiente.

Los impactos sobre el ambiente para la calle La Cruzada se han clasificado con una asignación de impacto sobre el ambiente muy baja o nula.

*Tabla 11. Clasificación de impactos sobre el ambiente*

<b>Impactos sobre el ambiente</b>	<b>Calificación del nivel de impacto sobre el ambiente</b>	<b>Grado relativo de impacto sobre el ambiente</b>
La pérdida de la infraestructura evaluada no altera de manera significativa su entorno físico ni afecta de manera irreversible la flora o fauna local.	Muy bajo o nulo	0
La pérdida de la infraestructura evaluada afecta negativamente el entorno solamente de manera muy localizada (menos de 50 m alrededor). No afecta de manera irreversible la flora o fauna local.	Bajo	1
La pérdida de la infraestructura evaluada afecta negativamente el entorno en un área extensa (más de 50 m alrededor). Se produce contaminación leve. La afectación a la flora o fauna local tomaría varios años para ser revertida.	Medio	2
La pérdida de la infraestructura evaluada afecta negativamente el entorno en un área extensa (más de 50 m alrededor). Se produce contaminación severa. La afectación a la flora o fauna local tomaría décadas para ser revertida o es irreversible.	Elevado	3

#### 4.3.6 Clasificación de la vulnerabilidad

Para reclasificar la vulnerabilidad total de la infraestructura evaluada se calcula la sumatoria de los puntajes asignados en cada criterio descrito en los apartados anteriores. Esto permite la definición de un índice relativo de vulnerabilidad (V) de la infraestructura evaluada, considerando todos los aspectos que la definen.

Se establece a partir de la sumatoria de las valoraciones por lo que, implícitamente, se asigna el mismo peso o valor relativo a cada una de las variables.

Para ello, se utiliza la matriz que se presenta a continuación, en la Tabla 12, donde se muestran los rangos de la clasificación del índice de vulnerabilidad.

*Tabla 12. Clasificación del Índice de vulnerabilidad*

<b>Sumatoria de puntajes</b>	<b>Clasificación de vulnerabilidad</b>	<b>Nivel de daño asociado</b>	<b>Índice de vulnerabilidad (V)</b>
0 a 3	Muy baja a nula	Daño leve	<b>1</b>
4 a 7	Baja	Daño moderado	<b>2</b>
8 a 11	Media	Daño grave	<b>3</b>
12 a 15	Elevada	Daños muy graves o irreparables	<b>4</b>

Se han elaborado tres mapas para presentar los datos del índice de vulnerabilidad asociado a cuatro de las amenazas descritas en la sección 4.2.

En la Figura 13 se presenta el resultado del índice de vulnerabilidad para la amenaza de deslizamiento. En la Figura 14 se presenta la clasificación del índice de vulnerabilidad (V) para las amenazas de inundación y de alud torrencial (considerado equivalente en este caso). Finalmente, en la Figura 15 se presenta el mapa del índice de vulnerabilidad asociado a la amenaza sísmica.

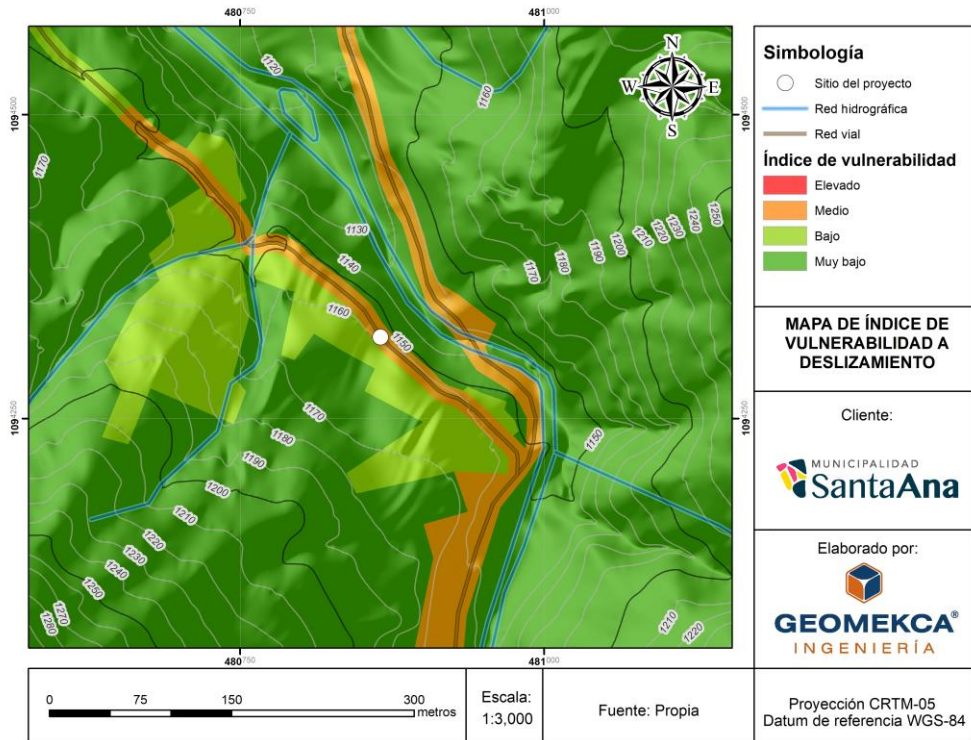


Figura 13. Mapa del índice de vulnerabilidad ante deslizamiento

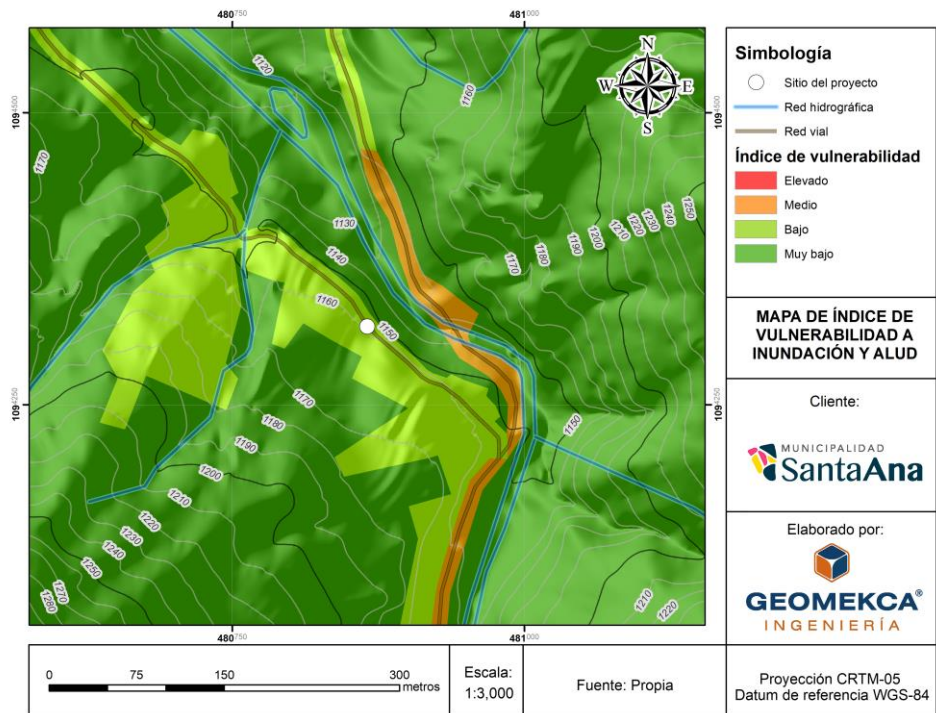


Figura 14. Mapa del índice de vulnerabilidad ante inundación y alud torrencial

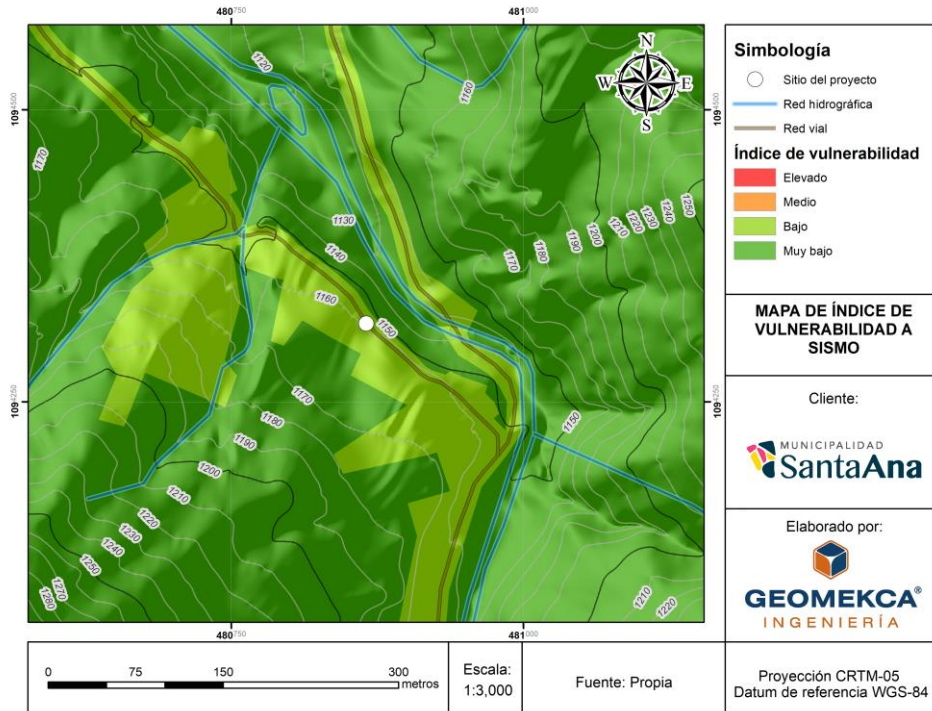


Figura 15. Mapa del índice de vulnerabilidad ante la amenaza sísmica

#### 4.3.7 Listado de amenazas e índice de vulnerabilidad

El resultado de la reclasificación, que se realiza considerando los distintos aspectos de la vulnerabilidad, se resume en el índice de vulnerabilidad, que puede tomar valores entre 1 y 4, como se indicó arriba. En términos generales, la vulnerabilidad del tramo de la calle La Cruzada que se ha evaluado alcanza un índice de 3, en el peor de los casos. Sin embargo, para la gran mayoría de amenazas consideradas, la vulnerabilidad se ha establecido en baja (2) o muy baja (1).

En la siguiente Tabla 13 se presentan sólo las amenazas a los cuales se asocia un índice de vulnerabilidad de media ( $V = 3$ ), pues no hay ninguna valorada con la máxima categoría.

Tabla 13. Listado de amenazas e índice de vulnerabilidad

<b>Código</b>	<b>Amenaza</b>	<b>Índice de vulnerabilidad</b>
A.1	Daños o salidas de operación provocadas por amplificación de la onda sísmica (*)	3
A.2	Daños o salidas de operación provocadas por licuefacción	3
A.3	Desplazamientos o daños por la inestabilidad del terreno por la sacudida sísmica (*)	3
A.4	Daños estructurales por la sacudida sísmica (*)	3
A.5	Daños o salidas de operación provocadas por la influencia de un deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa del terreno causado por sismo. (*)	3
A.9	Daños o salidas de operación provocadas por deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa causado por tormentas o eventos hidrológicos extremos (*)	3
B.1	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de deslizamientos o inestabilidad del terreno, en zonas de fuerte pendiente (*)	3
B.3	Desplazamientos o inestabilidad por deslizamientos o inestabilidad del terreno en superficie, en zonas de terreno incompetente	3
B.4	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de zonas de debilidad (grietas, capas meteorizadas, rellenos de falla, zonas de cortante)	3
B.5	Desplazamientos o inestabilidad por deslizamientos o inestabilidad del terreno a causa de orientación desfavorable de las capas litológicas	3
B.6	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de deslizamientos o inestabilidad del terreno por estratos débiles no identificados	3
B.7	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de procesos erosivos	3
B.8	Asentamientos provocados por la erosión del material de relleno de dolinas (sinkholes) presentes en el terreno	3
C.7	Desplazamientos o inestabilidad por erosión superficial por el agua de escorrentía no controlada (*)	3
E.2	Desplazamientos de la estructura a causa del descalce de las obras de protección por procesos erosivos	3
E.5	Imposibilidad técnica de estabilizar el terreno	3
F.8	Daños a la infraestructura provocados por la acumulación de desechos, contaminación, derrames tóxicos	3

(\*) Nota: Esta amenaza se ha evaluado también en términos geográficos, definiendo la vulnerabilidad en el sector evaluado de la calle La Cruzada.



## 4.4 Evaluación del riesgo inicial

Una vez que se ha determinado el nivel de amenaza y la vulnerabilidad para cada una de las amenazas identificadas, en el momento actual, es posible determinar numéricamente el riesgo, utilizando la metodología que se explicó en la sección 4.1.

Esta evaluación corresponde a la determinación del riesgo inicial (o riesgo actual). Esto es, el nivel de riesgo que actualmente se asigna al sitio, antes de plantear acciones de respuesta o blindaje ante ese riesgo. Como se ha explicado, las amenazas naturales se han representado de manera cartográfica y las de origen antrópico en forma tabular.

Una vez que se determinen las acciones de respuesta que se aplicarán para la reducción del riesgo, puede estimarse el “riesgo residual”, que resultará de la realización de esas acciones de respuesta. Las acciones de respuesta se discuten en las siguientes secciones, mientras que el riesgo residual se discute en la sección 4.9.

### 4.4.1 Riesgo inicial por amenazas naturales

En esta sección se muestran los mapas de riesgo asociado a amenazas naturales. Entre la Figura 16 y la Figura 19, se presentan las evaluaciones del riesgo de las amenazas naturales incluidas en la metodología de MIDEPLAN (2014). Otras amenazas naturales se han incluido en el Registro de Riesgos (Apéndice B, capítulo 11).

En resumen, con respecto a las amenazas naturales, se puede destacar que la amenaza de deslizamiento presenta un **riesgo alto**, la amenaza por sismo un **riesgo medio**, en tanto que la amenaza por alud torrencial e inundación presentan un **riesgo bajo**, en el sitio evaluado. Este resultado es consistente con estudios anteriores, según se ha mencionado en secciones precedentes. Las figuras se presentan secuencialmente, sin comentarios específicos, pues se explican por sí mismas.

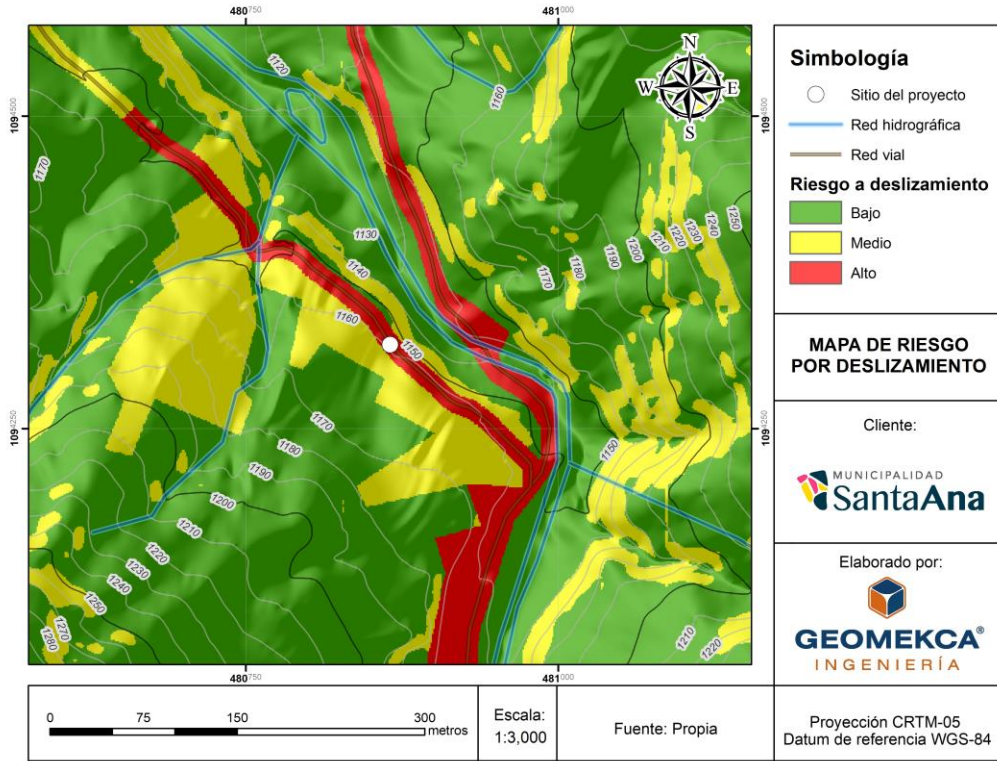


Figura 16. Mapa de riesgo de deslizamiento

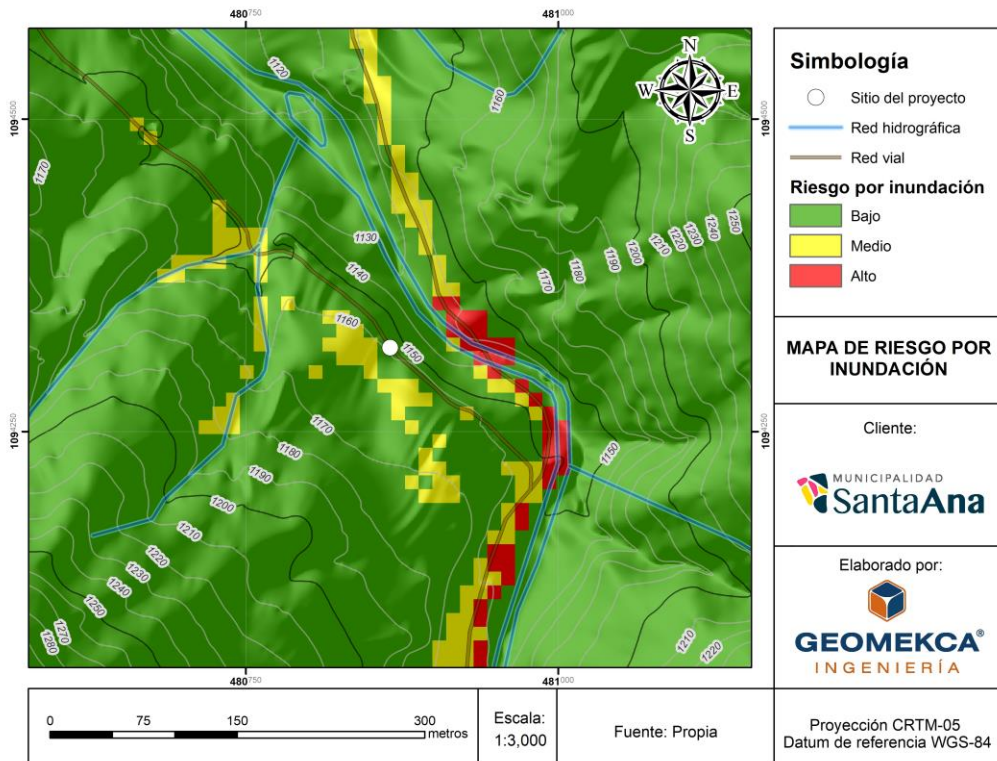


Figura 17. Mapa de riesgo de inundación

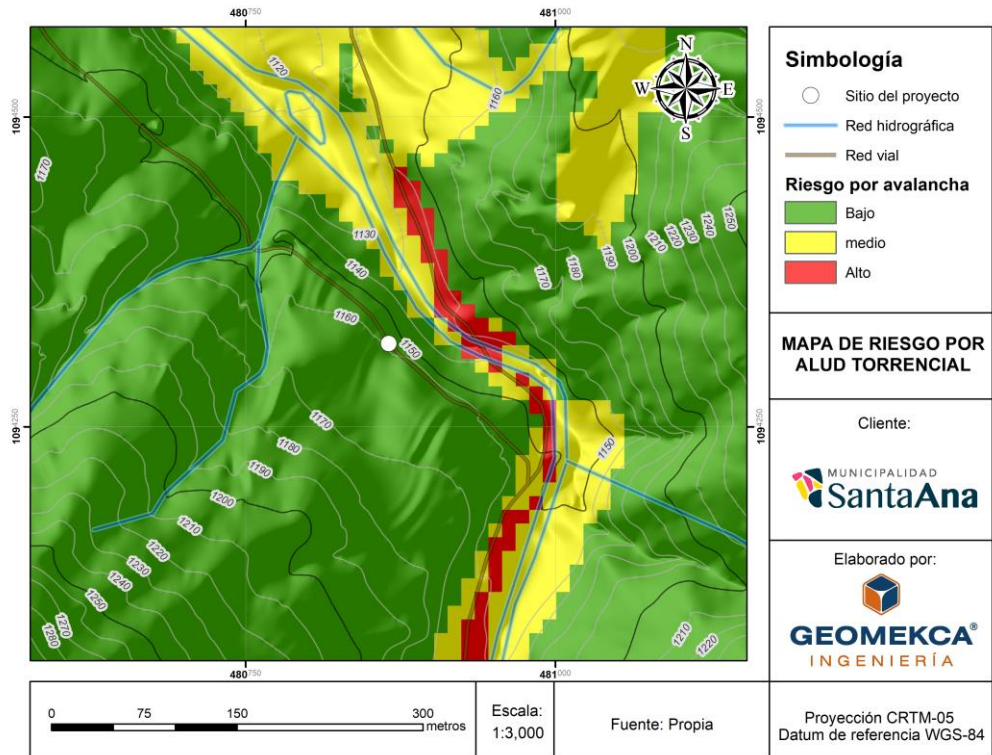


Figura 18. Mapa de riesgo de alud torrencial

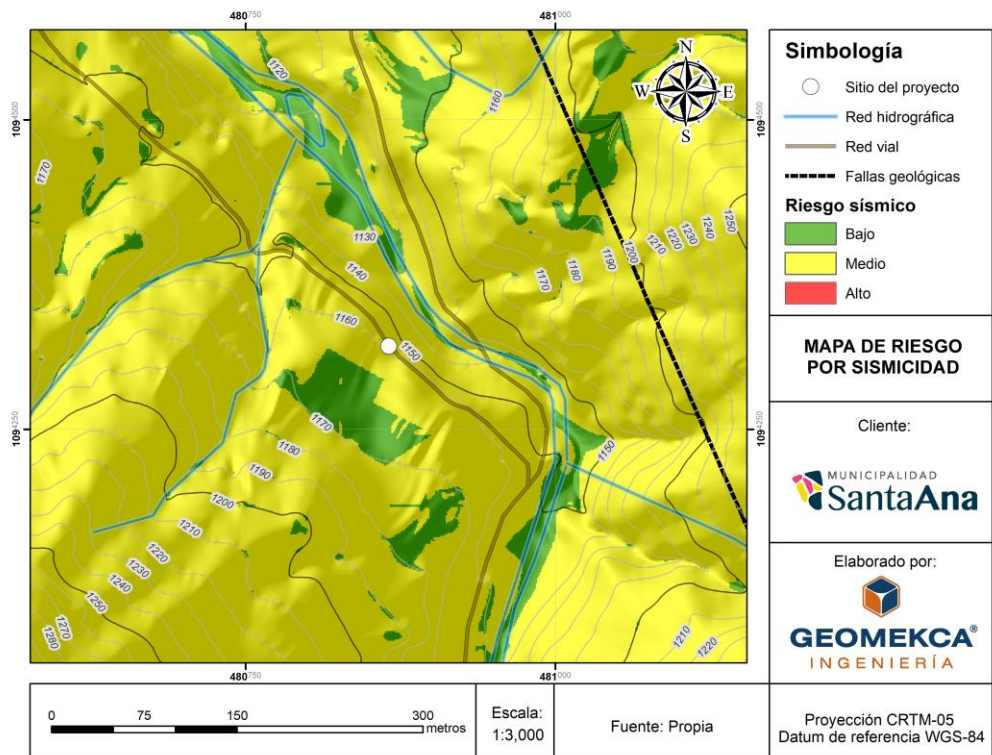


Figura 19. Mapa de riesgo de afectación por sismo

#### 4.4.2 Listado de amenazas con mayor riesgo inicial

En la Tabla 14 se indican los riesgos iniciales asociados a cada amenaza de origen antrópico, así como algunas amenazas naturales -consideradas o no- en la sección anterior. En esta tabla solamente se incluyen las principales, que provocan niveles de riesgo medio o altos ( $R > 4$ ). Las amenazas codificadas con letra A y B son amenazas naturales, algunas ya evaluadas también con la metodología de MIDEPLAN (2014).

La evaluación de la lista completa de amenazas evaluadas se muestra en el Apéndice B, del Registro de Riesgos (capítulo 11).

De acuerdo con el resultado que se presenta en la tabla de marras, resulta evidente que el principal riesgo para el sitio de calle La Cruzada está relacionado con deslizamientos del terreno y el manejo inapropiado de la escorrentía, pues el factor de inestabilidad principal corresponde al proceso erosivo que provoca la escorrentía superficial que se acumula durante los eventos extremos de precipitación, la cual es vertida directamente sobre la ladera.

*Tabla 14. Riesgo inicial de amenazas relevantes*

<b>Código</b>	<b>Amenaza</b>	<b>Nivel de amenaza</b>	<b>Índice de vulnerab.</b>	<b>Riesgo inicial</b>
A.3	Desplazamientos o daños por la inestabilidad del terreno por la sacudida sísmica	3	3	9
A.5	Daños o salidas de operación provocadas por la influencia de un deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa del terreno causado por sismo.	3	3	9
A.9	Daños o salidas de operación provocadas por deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa causado por tormentas o eventos hidrológicos extremos	4	3	12
A.10	Daños o salidas de operación provocadas por avenidas o inundaciones por eventos hidrológicos extremos	4	2	8
B.1	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de deslizamientos o inestabilidad del terreno, en zonas de fuerte pendiente	5	3	15
B.4	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de zonas de debilidad (grietas, capas meteorizadas, rellenos de falla, zonas de cortante)	4	3	12
B.5	Desplazamientos o inestabilidad por deslizamientos o inestabilidad del terreno a causa de orientación desfavorable de las capas litológicas	4	3	12

<b>Código</b>	<b>Amenaza</b>	<b>Nivel de amenaza</b>	<b>Índice de vulnerab.</b>	<b>Riesgo inicial</b>
B.6	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de deslizamientos o inestabilidad del terreno por estratos débiles no identificados	2	3	6
B.7	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de procesos erosivos.	4	3	12
C.7	Desplazamientos o inestabilidad por erosión superficial por el agua de escorrentía no controlada	4	3	12
C.8	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de socavación hidráulica.	3	2	6
D.6	Desplazamientos de la estructura a causa de la formación de grietas de descompresión asociadas a zonas inestables	3	2	6
E.2	Desplazamientos de la estructura a causa del descalce de las obras de protección por procesos erosivos	3	3	9
E.3	Desplazamientos a causa de erosión provocada por corta de arbustos / deforestación, actividad agrícola	3	2	6
F.5	Costos no previstos debido a la necesidad de diseñar obras adicionales o rediseñar obras ya existentes a causa de un pobre mantenimiento.	3	2	6
F.6	Daños a la infraestructura provocados por la colisión de vehículos de cualquier tipo	3	2	6
F.7	Daños a la infraestructura provocados por inseguridad social: vandalismo, conflictos armados, disturbios, terrorismo	3	2	6
G.2	Afectación a propiedades de terceros causadas por el manejo inapropiado de agua	3	2	6
G.3	Afectación al terreno de terceros a causa de inestabilidad generada por la estructura o por las obras de protección a la misma	3	2	6
G.4	Daños a la infraestructura, caminos públicos o privados por causa de los procesos constructivos de las obras de protección	3	2	6
G.5	Interrupción de servicios públicos por causa de los procesos constructivos de las obras de protección	3	2	6
G.7	Afectación a propiedades de terceros causadas por el manejo inapropiado del material de desecho y los sitios de escombrera	3	2	6

Otras amenazas de consideración tienen que ver con la ocurrencia de deslizamientos provocados por sismo o saturación del terreno durante eventos extremos de precipitación y,

adicionalmente, las amenazas de origen antrópico, asociadas con vandalismo o con la gestión del proceso constructivo.

Se resalta también la importancia de atender el riesgo asociado a posibles daños que el talud podría provocar sobre propiedades de terceros, lo cual implicaría procesos de tipo legal en perjuicio de la gestión municipal. La condición de estabilidad del terreno se ha evaluado de manera detallada, según se muestra en el capítulo 6.

## **4.5 Análisis de escenarios de cambio climático**

No se dispone de estudios específicos sobre los procesos del cambio climático relacionados directamente con este sitio o con el cantón de Santa Ana. Evidentemente, la realidad del cambio climático afectará también esta zona, por consiguiente, se ha buscado plantear alternativas viables de obras estructurales resilientes y adaptables para los escenarios de cambio que, probablemente, se darán en el futuro. Se considera que el principal escenario de cambio climático corresponde a la generación de caudales extraordinarios de escorrentía superficial, provocados por episodios de tormentas tropicales de gran intensidad y duración.

En principio, en virtud de que la escorrentía superficial es posiblemente la principal variable de la estabilidad en este caso, se han considerado las siguientes premisas para el diseño de las obras de escorrentía superficial:

- a. El sistema de manejo de la escorrentía superficial debe ser completamente revestido en concreto.
- b. Los caudales extraordinarios, considerando al menos un 20% de exceso sobre los valores extremos, deberán ser canalizados adecuadamente por el sistema de manejo de la escorrentía superficial.
- c. Todos los vertidos del agua de la escorrentía superficial deben disponer de sistemas de reducción de la energía hidráulica, con el fin de que no se generen nuevos problemas de erosión.
- d. La estabilidad de la ladera debe garantizarse para el escenario crítico establecido por el Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica.
- e. Todos los elementos metálicos deben ser resistentes a la corrosión.

Las medidas de adaptación al cambio climático, estructurales, se conceptualizan para considerar las siguientes premisas:

- a. Adecuado dimensionamiento de las obras de conducción, que permitan el manejo de eventos hidrometeorológicos extraordinarios de manera segura hasta el cauce del río localizado en la base de la ladera

- b. Estabilización del terreno mediante la inserción de anclajes y cobertura del terreno por medio de concreto lanzado, capaces de soportar variaciones en los procesos erosivos y magnitudes de sismos importantes.

## **4.6 Información socio económica y biofísica básica disponible**

### **4.6.1 Datos generales**

El cantón de Santa Ana es el número 9 de la provincia de San José. Colinda al norte con la provincia de Alajuela y el cantón de Belén, al este con Escazú y al oeste y al sur con el cantón de Mora. Su territorio abarca 61,42 km<sup>2</sup>, de acuerdo con la descripción del sitio web municipal ([www.santaana.go.cr/el-canton](http://www.santaana.go.cr/el-canton)). Es predominantemente urbano. El sitio estudiado (calle La Cruzada) se localiza en el distrito de Salitral (ver Figura 20).

### **4.6.2 Relieve**

Según datos del mapa topográfico de Costa Rica (topographic-map.com, 2022), el cantón de Santa Ana cuenta con relieves planos y otros más montañosos. El cantón tiene una elevación media de 904 metros sobre el nivel de mar (m.s.n.m.). La elevación del centro urbano de Santa Ana es 904 m.s.n.m. y la de Salitral, 1 022 m.s.n.m. El punto más alto del cantón se ubica en el extremo sur del cantón, en el distrito de Salitral (donde está el sitio de La Cruzada) y cerca de la cima del cerro Cedral, y se encuentra a aproximadamente 2 358 m.s.n.m.

### **4.6.3 Uso del suelo**

Del total de hectáreas que se conforman dentro del territorio del cantón de Santa Ana, un 42,38% se utiliza para uso urbano y otros usos, un 35,86% está cubierto por áreas silvestres protegidas, y un 8,71% está dedicado a áreas de cultivo, especialmente de café. Estos datos han sido dados por Esquivel (2012).

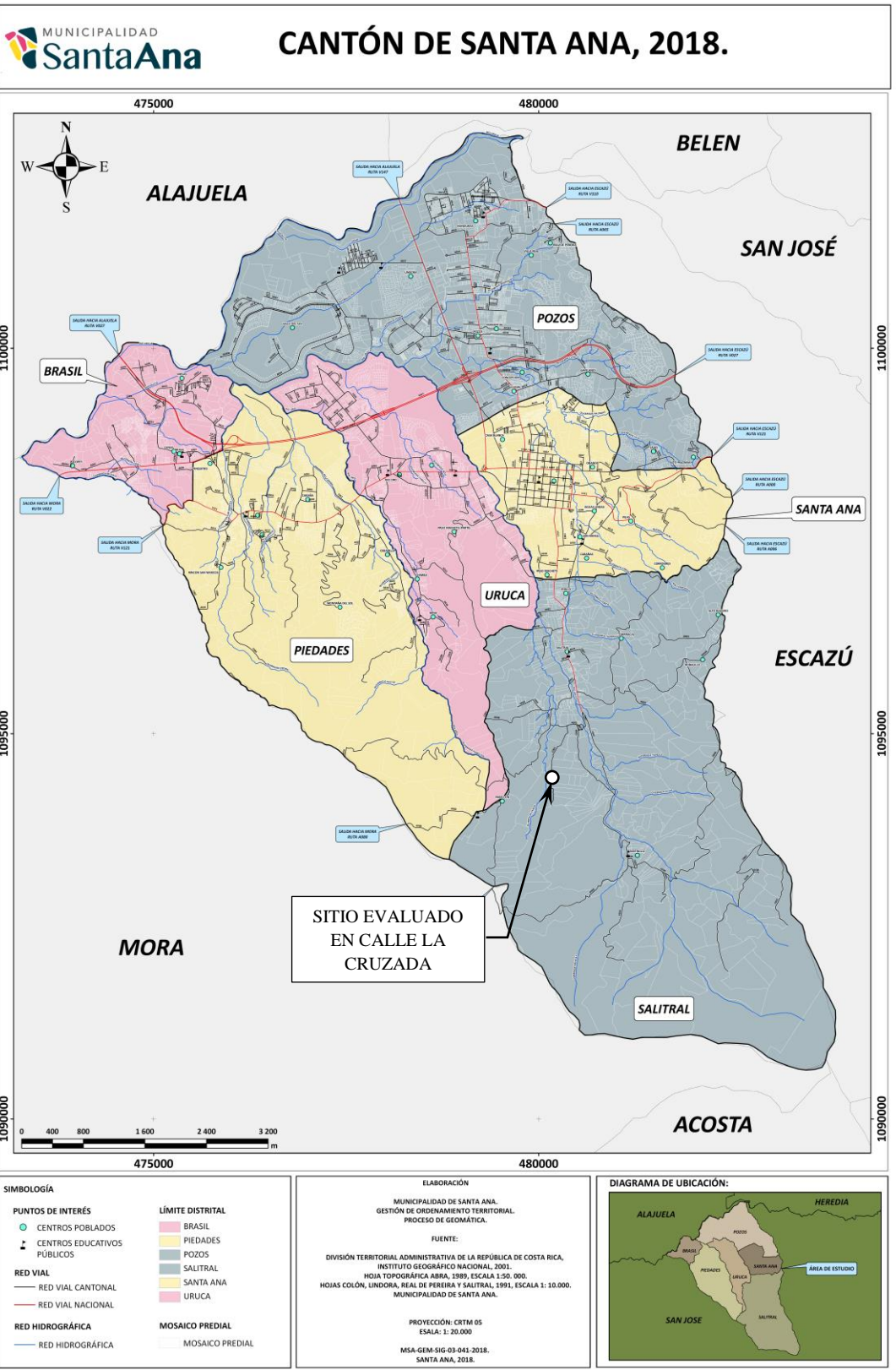


Figura 20. Mapa oficial del cantón de Santa Ana  
Fuente: Municipalidad de Santa Ana (2022)



#### **4.6.4 Geología y geomorfología**

La siguiente información sobre geología y geomorfología ha sido publicada por el Instituto de Fomento y Asesoría Municipal, IFAM (2022).

El cantón de Santa Ana está compuesto geológicamente por materiales volcánicos de los periodos terciario y cuaternario, y son las rocas de la época terciaria las que predominan en la región. Del periodo terciario, se localizan al sur del cantón y cerca de los Cerros de Escazú, rocas sedimentarias e intrusivas, características de la época geológica del Mioceno. Se pueden ubicar también, cerca de los cerros, otros materiales tobáceos y propios de este periodo como conglomerados brechosos y areniscas, limolitas y lutitas.

Por otra parte, del periodo cuaternario, se localizan en los distritos de Pozos, Uruca y Piedades, materiales y rocas propias de este periodo como lavas, tobas y piroclastos, todos materiales volcánicos, así como se localizan en el distrito de Santa Ana otros materiales como rocas depósitos fluviales y coluviales.

El cantón de Santa Ana forma parte de tres unidades geomorfológicas; la de origen volcánico, la de acción intrusiva, y la de remoción en masa. Las tres unidades pertenecen a formación Pacacua. La primera unidad, de origen volcánico, se encuentra en los distritos de Santa Ana, Pozos y Piedades, y presenta superficies planas onduladas. Está compuesta por rocas volcánicas, como lavas, tobas e ignimbritas, cubiertas por ceniza en un espesor variable.

La segunda unidad, de acción intrusiva, se divide en dos subunidades, denominadas Macizo de Escazú y loma del Alto de las Palomas. La subunidad Macizo de Escazú se encuentra en el sur del cantón y presenta laderas de fuerte pendientes. Es la unidad predominante en el distrito de Salitral, donde se ubica el sitio evaluado. Esta unidad está compuesta por rocas ígneas intrusivas y volcánicas con escamas o intercalaciones de sedimentos. Por otra parte, la subunidad loma del Alto de las Palomas se encuentra entre los poblados de Honduras y de Alto Palomas Oeste y presenta lomas alargadas y laderas de pendiente suave, redondeadas y convexas. Está compuesta por ignimbritas como areniscas tobáceas muy meteorizadas y algo afectadas por la acción hidrotermal.

La tercera unidad, de remoción en masa, se encuentra en el norte del cantón, y presenta grietas longitudinales e irregularidades abundantes. Está compuesta por areniscas, conglomerados y lutitas, todas muy meteorizadas. No se presenta en el sector evaluado en este caso.

#### **4.6.5 Hidrografía**

El sistema fluvial del cantón de Santa Ana pertenece a la vertiente del Pacífico, así como a la cuenca del río Grande de Tárcoles. El sistema fluvial es drenado por los ríos Uruca y Oro,

al cual se les unen los ríos Corrogres, Navajas, Pilas, Canca, La Cruz, San Marcos y Muerte. La mayoría de estos ríos nacen en el cantón, en los Cerros de Escazú. Además, los ríos Virilla y la quebrada Muerte funcionan también como límites cantonales (IFAM, 2022). El caso analizado, en Salitral, precisamente se ubica sobre la margen izquierda del río Uruca.

#### **4.6.6 Clima**

La información del Instituto Meteorológico Nacional (IMN, 2022b) señala que el clima del cantón de Santa Ana es tropical de sabana (tipo Aw), cuya época seca va desde diciembre hasta marzo, y la lluviosa desde mayo a octubre, típico del clima del Valle Central. Cuenta con una temperatura que oscila entre los 15 y 26°C, y precipitaciones que promedian los 2016 mm al año. El cantón además es parte de la subregión climática del Valle Central Oriental (VC2), que a su vez forma parte de la región climática del Valle Central.

#### **4.6.7 Flora y fauna**

El mapa ecológico de Costa Rica (Tosi Jr., 1969), aunque es una referencia antigua, se utiliza con frecuencia para describir la clasificación de zonas de vida del país. Según este mapa y la información del IMN (2022b), el cantón de Santa Ana cuenta, según el sistema de clasificación de zonas de vida de Costa Rica, con las formaciones forestales de bosque húmedo premontano, bosque muy húmedo premontano, y bosque muy húmedo montano. Es por ello que en el cantón se pueden encontrar fauna como mariposas, ranas, conejos, pizotes, serpientes, dantas, jilgueros, coyotes, ardillas, venados y colibríes, así como flora como robles sabana passifloras, bromelias, orquídeas, iridáceas, montanoas, copey, cipresillos, nísperos, entre otros.

El sur del cantón (donde se ubica el sitio evaluado en Salitral) se encuentra cubierto por la Zona Protectora Cerros de Escazú, la cual abarca una gran diversidad de hábitats y de biodiversidad. Una pequeña parte del este del cantón también se encuentra cubierta por el Centro de Conservación de Santa Ana, que alberga diferentes especies de flora y fauna para su protección.

#### **4.6.8 Economía**

El sitio web de la Municipalidad de Santa Ana (2022) refiere que la economía del cantón de Santa Ana es diversificada, siendo la más importante la que respecta al comercio, el sector inmobiliario, los servicios y financiero. Los distritos de Pozos y Brasil poseen una alta

concentración de áreas comerciales y financieras, albergando varios parques empresariales y centros comerciales modernos, mientras que los distritos de Uruca y Santa Ana albergan diferentes áreas residenciales. Un 53,95% de la población es económicamente activa. La agricultura se desarrolla principalmente en el distrito de Salitral, donde se produce café, principalmente. Esta información proviene de los resultados del IX Censo Nacional de Población (INEC, 2002) y fue verificada con conversaciones con habitantes del distrito.

En el cantón se pueden encontrar a instituciones gubernamentales como la Bolsa Nacional de Valores, la Superintendencia General de Entidades Financieras (SUGEF), o el Patronato Nacional de Rehabilitación. También se ubican las sedes en Costa Rica de organismos y empresas internacionales como Mondelez, Chiquita, Procter & Gamble, Daewoo, o Akamai. Asimismo, en el cantón se encuentran diversos centros comerciales como Terrazas Lindora o Momentum, y hoteles como Holiday Inn o Aloft. Sin embargo, ninguna de estas instituciones o empresas se ubican en el distrito de Salitral, cuya vocación es más agrícola.

Por otra parte, de acuerdo con el Índice de Competitividad Cantonal, el cantón de Santa Ana se ubica en el puesto 7.º a nivel nacional, destacándose en las áreas de porcentaje de matrícula terciaria en ciencias y tecnología, egresos municipales per cápita, tasa de mortalidad por infecciones, m<sup>2</sup> de construcción por km<sup>2</sup>, y porcentaje de escuelas y colegios con Internet.

#### 4.6.9 Desarrollo humano

De acuerdo con el Atlas de Desarrollo Humano Cantonal del año 2021 (UCR & PNUD, 2021), el cantón de Santa Ana tiene el mayor índice de desarrollo humano (IDH) de todo el país, con un valor de 0,935. Como referencia, el valor promedio de todo el país es 0,805.

Algunos datos que reflejan este alto valor del IDH, son los siguientes:

*Tabla 15. Índices de desarrollo humano del cantón de Santa Ana*

Esperanza de vida al nacer	83,5 años
Años esperados de escolaridad	12,8 años
Años promedio de escolaridad	10,8 años
Consumo eléctrico per cápita	1530 kWh
Índice de conocimiento	0,855
Índice de bienestar material	1,0
Índice de desarrollo de género	1,023
Índice de desigualdad de género	0,114

## **4.7 Análisis de la infraestructura pública por blindar**

### **4.7.1 Blindaje de infraestructura con criterio correctivo**

#### *4.7.1.1 Evaluación del estado de la infraestructura*

La infraestructura evaluada se encuentra en un estado de vulnerabilidad media ante deslizamientos y baja ante otras amenazas (ver sección 4.3). Los procesos de la geodinámica externa, así como las acciones antrópicas, provocan el avance del deterioro de la calle La Cruzada. Se requieren intervenciones para restablecer las condiciones seguras de operación de esta importante calle vecinal.

En términos generales, el tramo evaluado de la calle La Cruzada se encuentra lastreado, con una superficie de rodamiento sumamente deteriorada. Cuenta con cunetas laterales, en general, no revestidas con concreto ni otros materiales.

Propiamente en el sitio evaluado, se tiene una disposición del agua de escorrentía, por medio de una tubería cuyo cabezal se ha desprendido, hacia la ladera. Esta situación genera un deterioro de la ladera, conducente a su inestabilidad. A su vez, el ancho de rodamiento de la calle en este sector se ha reducido a causa de la pérdida de terreno en la ladera. Por otra parte, el desarrollo habitacional es importante, con edificaciones en ambos lados de la ruta, muchas de ellas con una calidad dudosa desde el punto de vista de su comportamiento estructural, e incluso algunas estructuras precarias.

#### *4.7.1.2 Análisis del sitio y situación de la infraestructura*

En el sitio evaluado y, basado en las imágenes satelitales (del sistema gratuito Google Earth) de la Figura 21, se observa cómo, con el paso de los años, el sitio inició con una pérdida de su cobertura boscosa para dar paso a una condición de mayor vulnerabilidad que generó una inestabilidad en la ladera, la cual se observa que inició a finales del 2017, se formó en el 2018 y se mantiene hasta la actualidad.

El talud inestable se ubica dentro del derecho de vía y ha provocado un angostamiento de la ruta, generando una situación de riesgo para las personas que transitan la calle. Se puede apreciar su condición actual en la Figura 22, donde se pueden ver imágenes de la carretera y el inicio de la zona del talud inestable y en la Figura 23, donde se muestra la pérdida importante de cobertura vegetal del talud que ha provocado el avance de los procesos erosivos aunado a la gran pendiente de talud.



Figura 21. Imágenes satelitales tomadas de Google Earth©



*Figura 22. Imágenes del sitio desde la carretera*



*Figura 23. Condición del talud*

#### *4.7.1.3 Análisis de amenazas y eventos ocurridos*

El análisis de amenazas y eventos ocurridos se ha presentado en la sección 4.2.

#### *4.7.1.4 Aplicación (o diseño) de instrumentos de evaluación de infraestructura*

No se han aplicado instrumentos de evaluación de la infraestructura para el análisis con criterio correctivo. Se ha utilizado el criterio experto como medio de evaluación.

#### *4.7.1.5 Estudios de ingeniería*

Los estudios de ingeniería que se describen en el capítulo 5 se han realizado bajo el criterio correctivo y prospectivo.

### **4.7.2 Blindaje de infraestructura con criterio prospectivo.**

#### *4.7.2.1 Selección del terreno y evaluación del emplazamiento*

Se han considerado dos alternativas para el blindaje de la infraestructura con criterio prospectivo, a saber: la estabilización del sitio por medio de reforzamiento del terreno (ver apartado 4.8.1) y la reubicación del camino, mediante su alejamiento de la ladera, tomando parte de una propiedad privada para realinear el trazado de la ruta en una zona segura.

#### *4.7.2.2 Aplicación de la normativa*

La evaluación, identificación, diseño conceptual y diseño detallado de las obras de blindaje se ha realizado cumpliendo la normativa nacional aplicable, la cual incluye, entre las más importantes para este caso, las siguientes:

- Código Sísmico de Costa Rica (2010)
- Código de cimentaciones de Costa Rica (2009)
- Código geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica (2015)



#### *4.7.2.3 Estudios técnicos de ingeniería para el blindaje*

Los estudios de ingeniería que se describen en el capítulo 5 se han realizado bajo el criterio correctivo y prospectivo. Por lo tanto, los resultados son útiles para realizar la ingeniería para el blindaje.

#### *4.7.2.4 Identificación de opciones de diseño de infraestructura resiliente.*

Se han identificado opciones de obras resilientes, con bajos requerimientos de mantenimiento. Estas se describen en la sección 4.8.1.

#### *4.7.2.5 Obras de contención y protección de la estructura.*

La estabilidad del terreno requiere la construcción de obras de estabilización, que consisten en la instalación de anclajes en el terreno. Por las dimensiones del sitio y de las zonas erosionadas, se considera que el uso de obras de contención conduciría a muros de gran volumen y costo. En la sección 4.8.1 se describen las obras de estabilización requeridas.

#### *4.7.2.6 Materiales recomendados*

El uso de anclajes metálicos inyectados, concreto lanzado y cunetas coladas en sitio con concreto convencional son los materiales recomendados para las obras.

## **4.8 Opciones de blindaje y medidas para la reducción y manejo del riesgo**

### **4.8.1 Identificación y selección de opciones estructurales**

#### *4.8.1.1 Diseño de las opciones de blindaje de las obras.*

A nivel preliminar se plantearon dos soluciones posibles para el blindaje estructural, a saber: la estabilización del sitio por medio de reforzamiento del terreno y la reubicación del camino,

mediante su alejamiento de la ladera, tomando parte de una propiedad privada para realinear el trazado de la ruta en una zona segura. Mediante una evaluación interdisciplinaria y a partir de conversaciones con los funcionarios municipales, se descartó rápidamente la alternativa de reubicación del camino, debido a la existencia de edificaciones de uso habitacional en la zona donde el desvío podría realizarse. Por tal motivo, se optó por la solución de estabilización con anclajes y concreto lanzado, que es la que se desarrolló subsecuentemente.

Esta opción de blindaje estructural se debe combinar con la instalación de una valla de protección al lado de la carretera, para evitar caída de personas o vehículos hacia la ladera.

#### *4.8.1.2 Análisis de costo-beneficio de las opciones.*

El beneficio de las obras planteadas está estrechamente relacionado con las actividades de los usuarios de la ruta. Por lo tanto, se refiere a beneficio económico o social. No se ha establecido ningún mecanismo para la obtención de ingresos financieros por el uso de la infraestructura.

Dado que la determinación de los beneficios económicos está fuera del alcance de esta contratación, no es posible realizar un análisis detallado de las relaciones costo-beneficio o de otros índices del análisis económico. Sin embargo, resulta evidente que la ruta tiene una alta relación beneficio social/costo, dado que es la ruta utilizada por la comunidad para la extracción de la producción agrícola.

## **4.8.2 Blindaje a través de procesos técnicos no estructurales**

### *4.8.2.1 Diagnóstico del proceso de gestión por blindar*

Según se ha derivado del análisis realizado hasta ahora, dos condiciones importantes son factores que amenazan el sitio de calle La Cruzada. El primero está relacionado con las amenazas naturales, específicamente, el riesgo por deslizamiento. Para ello, las medidas del blindaje estructural descritas en la sección 4.8.1 son adecuadas y suficientes. El segundo comprende las amenazas de origen antrópico. Respecto de estas últimas, la erosión por escorrentía superficial (sección 4.2.6.1) y la posibilidad de daños a propiedades de terceros pueden ser resueltas con las mismas medidas de blindaje estructural. Sin embargo, los daños por inseguridad social (sección 4.2.6.2) son sumamente difíciles de resolver por medio de un blindaje estructural. Para estas amenazas, se proponen en la siguiente sección algunas medidas de tipo no estructural.

#### 4.8.2.2 *Identificación y selección de opciones no estructurales.*

Existen varias opciones no estructurales para evitar o reducir los niveles de amenaza en el sitio de calle La Cruzada. Se pueden mencionar los siguientes:

- a. **Sensibilización y comunicación.** Implica procesos de interacción social para comunicar sobre el riesgo evaluado. Se trata de una actividad permanente de la gestión social a cargo de la Municipalidad. Se requiere identificar los actores clave y trabajar con ellos para trasladar un mensaje eficaz a la ciudadanía respecto a la protección de la infraestructura.
- b. **Rotulación.** Es posible preparar información gráfica y rotulación normativa que se instale en las inmediaciones del talud que se protegerá, de manera que los ciudadanos entiendan la importancia del cuidado de la infraestructura, así como de las consecuencias de producir daños en las obras.
- c. **Limitación del acceso.** Establecer vallados y cercas alrededor de la infraestructura protegida para evitar la entrada de personas que puedan dañarla, así como para evitar accidentes por caída hacia la ladera.
- d. **Vigilancia y aplicación de multas.** Instalación de cámaras de vigilancia remota y persecución de infractores, con el propósito de aplicar la normativa vigente.
- e. **Monitoreo mediante instrumentos.** Instalación de instrumentos y equipos que permitan conocer la evolución de las deformaciones del terreno, formación de grietas, asentamientos y otras variables (por ejemplo, podría valorarse la instalación de un pluviómetro en una ubicación cercana, que permita vincular la cantidad de las precipitaciones con umbrales de atención y alarma).
- f. **Sistemas de alerta.** Sistema de vigilancia equipado con los instrumentos de monitoreo señalados en el punto e., de manera que se generen alertas y alarma para la ejecución de medidas o acciones de respuesta inmediata. Para ello, debe establecerse un completo Plan de Gestión del Riesgo.
- g. **Plan de Gestión del Riesgo.** Se requiere la elaboración de un plan completo que establezca los cursos de acción como respuesta ante los riesgos. Este Plan vincula los instrumentos de monitoreo con los sistemas de alerta y, además, establece los canales correctos de comunicación para la respuesta ante los riesgos, las responsabilidades y ámbitos de acción de las personas encargadas en la Municipalidad, las herramientas y equipos disponibles para la atención, entre otros aspectos. Implica, por otra parte, la instauración en todos los niveles de la organización de todos los componentes del

Sistema de Gestión de Riesgos. Una posibilidad, sería la implantación del estándar ISO 31000-2018, aunque existen otras metodologías apropiadas.

- h. Participación ciudadana. Involucrar a los ciudadanos que son usuarios de la infraestructura, están interesados en ella o se ven afectados por su mal funcionamiento, para que participen del proceso de vigilancia y cuidado de la infraestructura. Se requiere algún nivel de organización (por ejemplo, a través de un comité) apoyado por el área encargada de la gestión social dentro de la Municipalidad.

#### 4.8.2.3 *Propuesta de medidas u opciones.*

Con respecto al talud inestable en calle La Cruzada, específicamente, se propone la ejecución de las siguientes medidas, las cuales se podrían desarrollarse por etapas, de manera que puedan ser instauradas de manera progresiva, conforme se disponga de los recursos necesarios:

##### Etapa 1: Medidas inmediatas

- Rotulación
- Sensibilización y comunicación
- Participación ciudadana

##### Etapa 2: Medidas de mediano plazo

- Sistema de vigilancia remota
- Vigilancia y aplicación de multas
- Monitoreo
- Sistema de alerta

##### Etapa 3: Medidas de largo plazo

- Plan de gestión de riesgo

El detalle y dimensionamiento de estas medidas requiere un esfuerzo específico, que está fuera del alcance de esta evaluación.

### **4.8.3 Impacto de la implementación**

La implementación de las medidas señaladas redundará en un impacto positivo para la Municipalidad y los ciudadanos del cantón. Entre otros beneficios, se pueden señalar como más relevantes los siguientes:

- a. Conservación del valor de la infraestructura pública municipal
- b. Incremento de la seguridad ciudadana contra amenazas naturales y el cambio climático
- c. Mejora de la eficiencia en el uso de los recursos públicos
- d. Optimización de los recursos y los esfuerzos de trabajo requeridos para el mantenimiento de la infraestructura pública.
- e. Mantenimiento de las condiciones necesarias para el desarrollo socio económico del área de influencia inmediata
- f. Integración de todos los habitantes del distrito de Salitral con la dinámica socio económica del cantón.
- g. Mejora de la participación ciudadana y su involucramiento en las tareas de protección y cuidado de la infraestructura y del ambiente en el distrito de Salitral.

Entre los impactos negativos que se producen por la implantación de las obras, aunque son de carácter temporal, se pueden mencionar los siguientes:

- a. Interrupción del paso, de manera temporal, en algunos puntos de la calle La Cruzada durante la ejecución de las obras.
- b. Generación de ruido y polvo por el paso de vagonetas y maquinaria.

### **4.8.4 Costo de la no implementación**

El costo social por la no implementación es muy alto, en especial para quienes lo asumen directamente, en este caso, los usuarios de la calle La Cruzada. No existen estudios actuariales del costo de las actividades socio económicas vinculadas al uso de la infraestructura evaluada. Sin embargo, es claro que estos costos existen, vinculados a actividades y procesos como los que se indican a continuación (entre otros):

- a. Costo económico por producción que no se puede comercializar
- b. Costo económico por degradación de la infraestructura
- c. Costos ambientales asociados a la no atención de las condiciones que provocan mayor calentamiento global y perjudican el ambiente

- d. Costos a futuro de mayor cuantía por la necesidad de atender una condición crítica desfavorable si no se interviene ahora con obras de protección y estabilización
- e. Costo de procesos legales en contra de la Municipalidad por desatención o incumplimiento de deberes.

## **4.9 Evaluación del riesgo residual**

Las opciones disponibles para el blindaje por medio de acciones estructurales, descritas en la sección 4.8, implican la construcción de obras para el manejo de la escorrentía superficial y para la estabilización de la ladera mediante anclajes.

Para evaluar el impacto de la ejecución de las acciones estructurales y no estructurales se realiza una nueva evaluación del riesgo, la cual presume que tales acciones serán efectivamente realizadas. Bajo esa suposición, se realiza una nueva valoración del riesgo que, debido a la realización de las acciones de respuesta, implica una disminución del nivel de amenaza o, bien, una disminución de la vulnerabilidad (o ambas). Esto tiene como resultado que el nuevo valor del riesgo, así calculado, será menor. Este valor se denomina “riesgo residual”.

El procedimiento para determinar el riesgo residual es el mismo que el usado para el riesgo inicial. Por tal razón, se omiten de esta sección todos los cálculos y mapas intermedios y se presenta directamente la Tabla 16, que muestra el riesgo residual de las amenazas identificadas como principales (según la sección 4.2.7).

Podrá apreciarse ahora que, tras la aplicación de las acciones de respuesta recomendadas (acciones estructurales, pero también las no estructurales) se consigue llevar los niveles de riesgo a valores aceptables o gestionables, blindando así la infraestructura contra las amenazas actuales (enfoque correctivo) y contra las futuras derivadas del cambio climático (enfoque prospectivo).

Tabla 16. Riesgo actual y riesgo residual, considerando acciones de respuesta

CÓDIGO	AMENAZAS	RIESGO ACTUAL			ACCIONES DE RESPUESTA	RIESGO RESIDUAL		
		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo Actual		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo residual
<b>A</b>	<b>Riesgos asociados a factores externos (sismos, volcanes, fenómenos hidrometeorológicos)</b>							
A.3	Desplazamientos o daños por la inestabilidad del terreno por la sacudida sísmica	3	3	9	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	1	3	3
A.5	Daños o salidas de operación provocadas por la influencia de un deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa del terreno causado por sismo.	3	3	9	No se requieren	1	3	3
A.9	Daños o salidas de operación provocadas por deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa causado por tormentas o eventos hidrológicos extremos	4	3	12	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes. Manejo de la escorrentía superficial.	2	3	6
A.10	Daños o salidas de operación provocadas por avenidas o inundaciones por eventos hidrológicos extremos	4	2	8	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes. Manejo de la escorrentía superficial.	2	2	4
<b>B</b>	<b>Riesgos asociados a condición litológica, estructuras geológicas, morfología o procesos geológicos.</b>							
B.1	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de deslizamientos o inestabilidad del terreno, en zonas de fuerte pendiente	5	3	15	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	3	6
B.4	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de zonas de debilidad (grietas, capas meteorizadas, rellenos de falla, zonas de cortante)	4	3	12	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	3	6
B.5	Desplazamientos o inestabilidad por deslizamientos o inestabilidad del terreno a causa de orientación desfavorable de las capas litológicas	4	3	12	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	3	6
B.6	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de deslizamientos o inestabilidad del terreno por estratos débiles no identificados	2	3	6	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	1	3	3
B.7	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de procesos erosivos.	4	3	12	Obras de control de escorrentía superficial	1	3	3
<b>C</b>	<b>Riesgos asociados a condición hidrogeológica</b>							
C.7	Desplazamientos o inestabilidad por erosión superficial por el agua de escorrentía no controlada	4	3	12	Obras de control de escorrentía superficial	2	3	6
C.8	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de socavación hidráulica.	3	2	6	Obras de control de escorrentía superficial	2	2	4

CÓDIGO	AMENAZAS	RIESGO ACTUAL			ACCIONES DE RESPUESTA	RIESGO RESIDUAL		
		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo Actual		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo residual
<b>D</b>	<b>Riesgos asociados al comportamiento geotécnico del terreno (esfuerzos, deformaciones, estabilidad)</b>							
D.6	Desplazamientos de la estructura a causa de la formación de grietas de descompresión asociadas a zonas inestables	3	2	6	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	2	4
<b>E</b>	<b>Riesgos asociados al tipo de cimentación u obras asociadas</b>							
E.2	Desplazamientos de la estructura a causa del descalce de las obras de protección por procesos erosivos	3	3	9	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes. Manejo de la escorrentía superficial.	2	2	4
E.3	Desplazamientos a causa de erosión provocada por corta de arbustos / deforestación, actividad agrícola	3	2	6	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	2	4
<b>F</b>	<b>Riesgos de origen antrópico</b>							
F.5	Costos no previstos debido a la necesidad de diseñar obras adicionales o rediseñar obras ya existentes a causa de un pobre mantenimiento.	3	2	6	Aplicar planes de mantenimiento preventivo	2	2	4
F.6	Daños a la infraestructura provocados por la colisión de vehículos de cualquier tipo	3	2	6	Rotulación. Concientización ciudadana. Instalación de cámaras de seguridad.	2	2	4
F.7	Daños a la infraestructura provocados por inseguridad social: vandalismo, conflictos armados, disturbios, terrorismo	3	2	6	Rotulación. Concientización ciudadana. Instalación de cámaras de seguridad.	2	2	4
<b>G</b>	<b>Riesgos del proceso constructivo de obras de protección o el mantenimiento</b>							
G.2	Afectación a propiedades de terceros causadas por el manejo inapropiado de agua	3	2	6	Obras de control de escorrentía superficial	2	2	4
G.3	Afectación al terreno de terceros a causa de inestabilidad generada por la estructura o por las obras de protección a la misma	3	2	6	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	2	4
G.4	Daños a la infraestructura, caminos públicos o privados por causa de los procesos constructivos de las obras de protección	3	2	6	Plan de gestión y control de calidad durante la construcción.	2	2	4
G.5	Interrupción de servicios públicos por causa de los procesos constructivos de las obras de protección	3	2	6	Plan de gestión y control de calidad durante la construcción.	2	2	4
G.7	Afectación a propiedades de terceros causadas por el manejo inapropiado del material de desecho y los sitios de escombrera	3	2	6	Plan de gestión y control de calidad durante la construcción.	2	2	4



## **4.10 Apoyo a la gobernabilidad y el diálogo social local**

La gobernabilidad y el diálogo social son procesos que están a cargo de la Municipalidad de Santa Ana, como principal actor (no el único, lógicamente). Por lo tanto, le corresponde llevar la iniciativa de la gestión social, relacionada con la infraestructura que se intervendrá. Para ello, se mencionan a continuación algunos aspectos que deberán ser oportunamente considerados por el área responsable de la gestión social dentro de la Municipalidad.

### **4.10.1 Actores clave**

Los actores clave son aquellos involucrados de manera directa en las causas del problema y de sus posibles soluciones. Estos actores clave deben, necesariamente, ser partícipes del proceso de gestión social. Se han identificado, de manera preliminar, los siguientes:

- Alcalde y vicealcaldes
- Concejo municipal (los concejales)
- Concejo de distrito de Piedades (los concejales)
- Comité Municipal de Emergencias
- Proceso de Gestión de Desarrollo Humano
- Proceso de Gestión de Riesgo de Desastres
- Proceso de Seguridad y Vigilancia Comunal
- Comité de vecinos y usuarios en la zona de la calle La Cruzada

### **4.10.2 Procesos de la gestión social**

Los siguientes tres procesos son realizados por la Municipalidad y son fundamentales para el éxito de la gestión social:

- a. Proceso de información-sensibilización
- b. Proceso de carácter consultivo
- c. Rendición de cuentas

Estos procesos se realizan de manera posterior a la ejecución del presente estudio, por lo cual no se incluye una descripción detallada en este informe.

*Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco*

---

## **5 Investigación del sitio**

---

A continuación, en el presente capítulo se hace una descripción de los estudios realizados en el sitio del talud inestable de calle La Cruzada. Como parte de los análisis de la infraestructura pública por blindar (sección 4.7), se han realizado estos estudios de ingeniería, específicamente de investigación geotécnica, con carácter tanto predictivo como correctivo.

En el Apéndice C (capítulo 12) se ha incluido íntegramente el informe con los resultados de toda la investigación geotécnica, informe No. 2023-02-1082 del 10 de febrero del 2023, realizado por la empresa Castro y De la Torre S.A.

### **5.1 Visita de campo**

Se procedió a realizar una visita de campo por parte de dos profesionales especialistas en ingeniería geotécnica y evaluación de riesgos al sitio. El objetivo de la visita fue determinar los principales aspectos geotécnicos que puedan incidir en el análisis y evaluación de los riesgos.

### **5.2 Investigación geotécnica realizada**

La investigación geotécnica se basa en perforaciones tipo SPT, prospección geofísica y ensayos de laboratorio.

#### **5.2.1 Perforaciones SPT**

Las perforaciones mediante la técnica SPT (Ensayo de Penetración Estándar, siglas en inglés), se realizaron siguiendo la norma ASTM D-1586.

La profundidad alcanzada en cada perforación se muestra en la Tabla 17. En ambos sondeos a la profundidad indicada en la Tabla 17 se alcanzó el rebote del mazo, lo cual significa que se aplicaron 50 golpes o más y no fue posible seguir perforando debido a la alta consistencia del terreno.

*Tabla 17. Profundidad alcanzada en las perforaciones SPT.*

Sondeo	Metros perforados
P-1	1,80 (Rebote)
P-2	1,46 (Rebote)

Este resultado implica que, si se requiere profundizar más los sondeos, habría que cambiar a la técnica de perforación a rotación con broca diamantada y recuperación de testigos de roca meteorizada y roca sana. No obstante, en el alcance de la contratación no está previsto el uso de la técnica mencionada.

En cuanto al perfil estratigráfico, en forma preliminar se definieron tres geomateriales de composición similar, según se muestra en la Tabla 18.

*Tabla 18. Perfil estratigráfico preliminar del terreno según sondeos SPT.*

Capa	Sondeo	Profundidad (m)	Descripción
A	P-1	0,00 – 0,45	Relleno artificial heterogéneo de arcilla limo arenosa de color café con piedras, lastre y contaminado con orgánico.
	P-2	0,00 – 0,18	
B	P-1	0,45 – 0,90	Suelo orgánico de color café con piedras
	P-2	0,18 – 0,50	
C	P-1	0,90 – 1,80	Arcillas limo arenosa de color café a café claro con piedras de consistencia rígida.
	P-2	0,50 – 1,46	

En los sondeos SPT no se encontró el nivel freático. Los resultados del número de golpes  $N_{SPT}$  sin corregir por pérdidas de energía se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Valores de  $N_{SPT}$  y su variación con la profundidad.

Profundidad (m)		$N_{SPT}$	
Inicio	Fin	P-1	P-2
0,00	0,45	16	--
0,45	0,90	32	39
0,90	1,35	76	81
1,35	1,80	58	50
1,80	2,25	58	RM

RM: Rebote del mazo en estrato firme.

## 5.2.2 Prospección geofísica, MASW

En el caso de la investigación geofísica, se realizó un perfil sísmico de tipo MASW, de 115 m y se obtuvieron resultados preliminares que indican que se detectaron cinco capas sísmicas bien definidas, con espesores variables, según el contraste que se obtuvo entre los valores de la velocidad de onda secundaria ( $V_s$ ).

Los resultados por perfil sísmico MASW se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Capas geofísicas, espesores y velocidades de onda

Capa	$V_s$ (m/s)	Profundidad (m)		Correlación geológica
		mínima	máxima	
1	618-623	0,10	2,15	Relleno y suelos residuales cohesivos de duros a rígidos
2	304-356	0,10	6,50	Suelos residuales cohesivos con bloques
3	574-641	0,50	20,8	Roca meteorizada
4	708-843	5,80	26,6	Roca fracturada
4	977-1314	>19,0		Roca sana

La interpretación del perfil sísmico se muestra en la Figura 24. En el modelo geotécnico del terreno se integran los resultados de los sondeos SPT y de los sondeos de MASW.

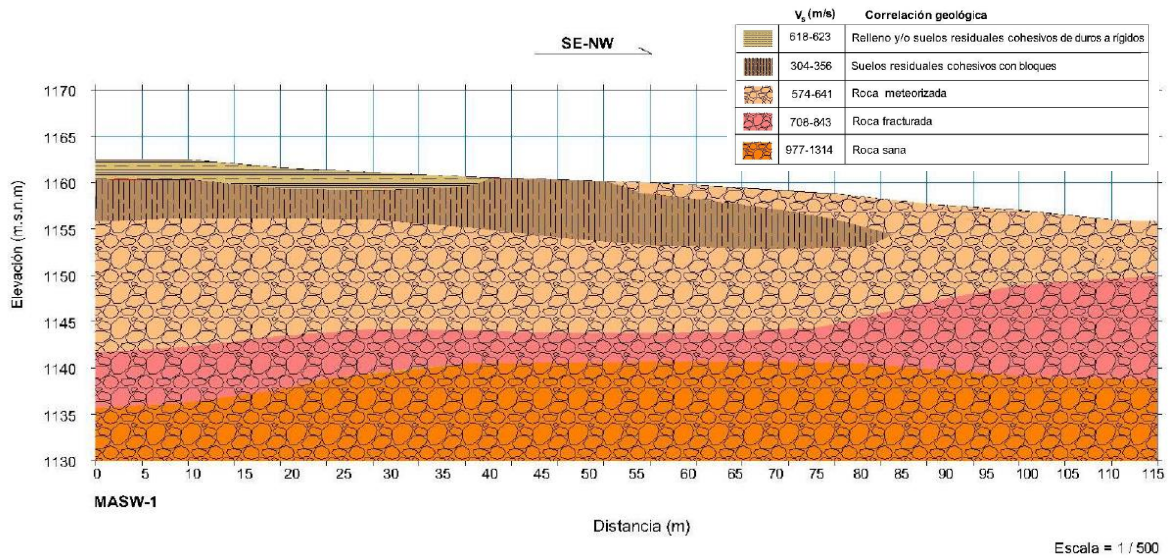


Figura 24. Perfil sísmico SR-1.

### 5.2.3 Resultados del laboratorio

El conjunto de ensayos de laboratorio fue realizado también por el laboratorio Castro & de la Torre, acreditado por ECA.

Los ensayos realizados incluyen los siguientes (Tabla 21):

Tabla 21. Ensayos geotécnicos realizados

Nombre del Ensayo	Normativa aplicada
Compresión inconfiada	(ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33*)
Densidad seca	(ASTM D-7263**)
Humedad natural	(AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)

Los resultados obtenidos se resumen a continuación, en la Tabla 22, la estimación de la cohesión se tomó en consideración para la definición del modelo geotécnico.

Tabla 22. Resultado de los ensayos geotécnicos

Parámetro	Resultado
Humedad natural P1 (%)	19.9
Humedad natural P2 (%)	9.9
Peso unitario seco P2 (g/cm <sup>3</sup> )	1.17

### 5.3 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó de acuerdo con lo indicado en los términos de referencia de la contratación. Sin embargo, en forma adicional se levantó una franja de terreno de la propiedad ubicada en el talud externo del camino, en dirección hacia el río.

En la Figura 25 se muestra el levantamiento topográfico en planta que incluye las curvas de nivel del terreno, el trazo del camino, el levantamiento del deslizamiento o zona de inestabilidad, las obras de drenaje y la ubicación de las perforaciones.

En el Apéndice A (capítulo 10) se incluye la lámina que contiene secciones transversales además de las curvas de nivel mostradas en la planta.

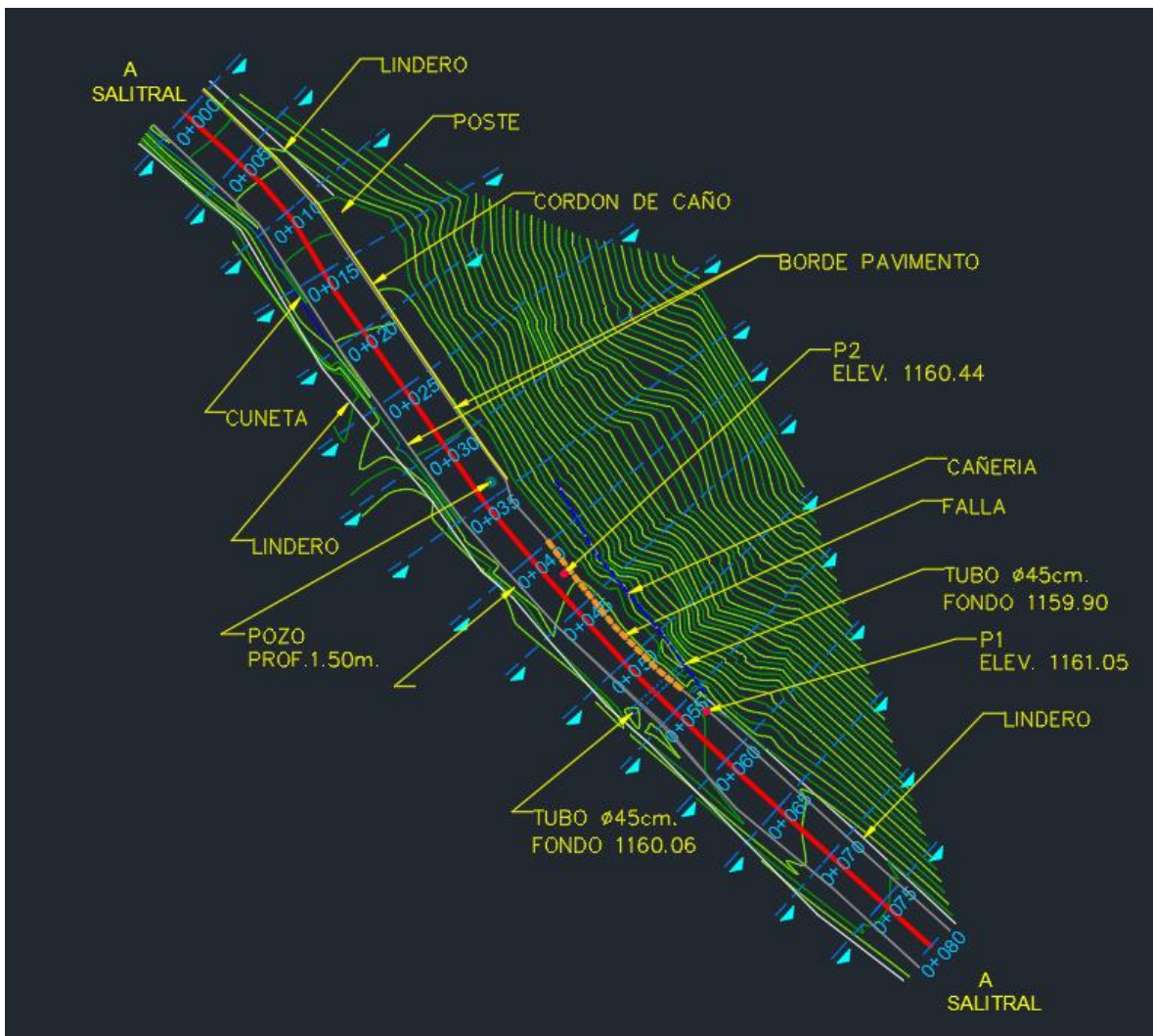


Figura 25. Levantamiento topográfico en planta.

## 5.4 Modelo geotécnico

A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos mediante el análisis geotécnico obtenida de la investigación de campo. Para la definición del modelo geotécnico, se utilizaron los resultados de las investigaciones de campo y de laboratorio, así como del levantamiento topográfico realizado.

### 5.4.1 Unidades geotécnicas identificadas

Para la definición del modelo geotécnico, se han utilizado los resultados de los valores de  $N_{SPT}$ , así como los resultados de los sondeos de refracción sísmica. Para una mejor estimación de los valores de los parámetros, en forma adicional se han utilizado correlaciones entre la velocidad de ondas ( $V_s$ ) y los parámetros de resistencia al corte. En la Tabla 23 se presenta la descripción de las unidades geotécnicas identificadas en el sitio.

*Tabla 23. Descripción de las unidades geotécnicas.*

<b>Unidad Geotécnica</b>	<b>Descripción</b>
UG 1: Suelos y rellenos	Suelos residuales cohesivos, con velocidad de ondas de 300 a 620 m/s.
UG 2: Roca descompuesta	Roca altamente meteorizada y fracturada, con velocidad de ondas de 570 a 640 m/s.
UG 3: Roca meteorizada	Roca medianamente meteorizada y fracturada, con velocidad de ondas de 700 a 850 m/s.
UG-4: Basamento rocoso	Roca dura pero fracturada que constituye el basamento local, con velocidad de ondas de 970 a 1320 m/s.

### 5.4.2 Valores de las propiedades geomecánicas

A continuación, en la Tabla 24 se presentan los valores de las propiedades de cada una de las unidades geotécnicas.



Tabla 24. Valores de las propiedades geomecánicas usadas para análisis y diseño.

Descripción de las UG	Peso unitario, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesión, c (kPa)	Ángulo de fricción, $\phi$ (grados)
UG 1: Suelos y rellenos	15.5	20	20
UG 2: Roca descompuesta	16.5	40	25
UG 3: Roca meteorizada	18.5	60	30
UG-4: Basamento rocoso	20	100	38

Nota: en las perforaciones SPT realizadas no se encontró un nivel freático.

### 5.4.3 Expresión gráfica del modelo geotécnico

En la Figura 26 se presenta la expresión gráfica del modelo geotécnico en el perfil de análisis.

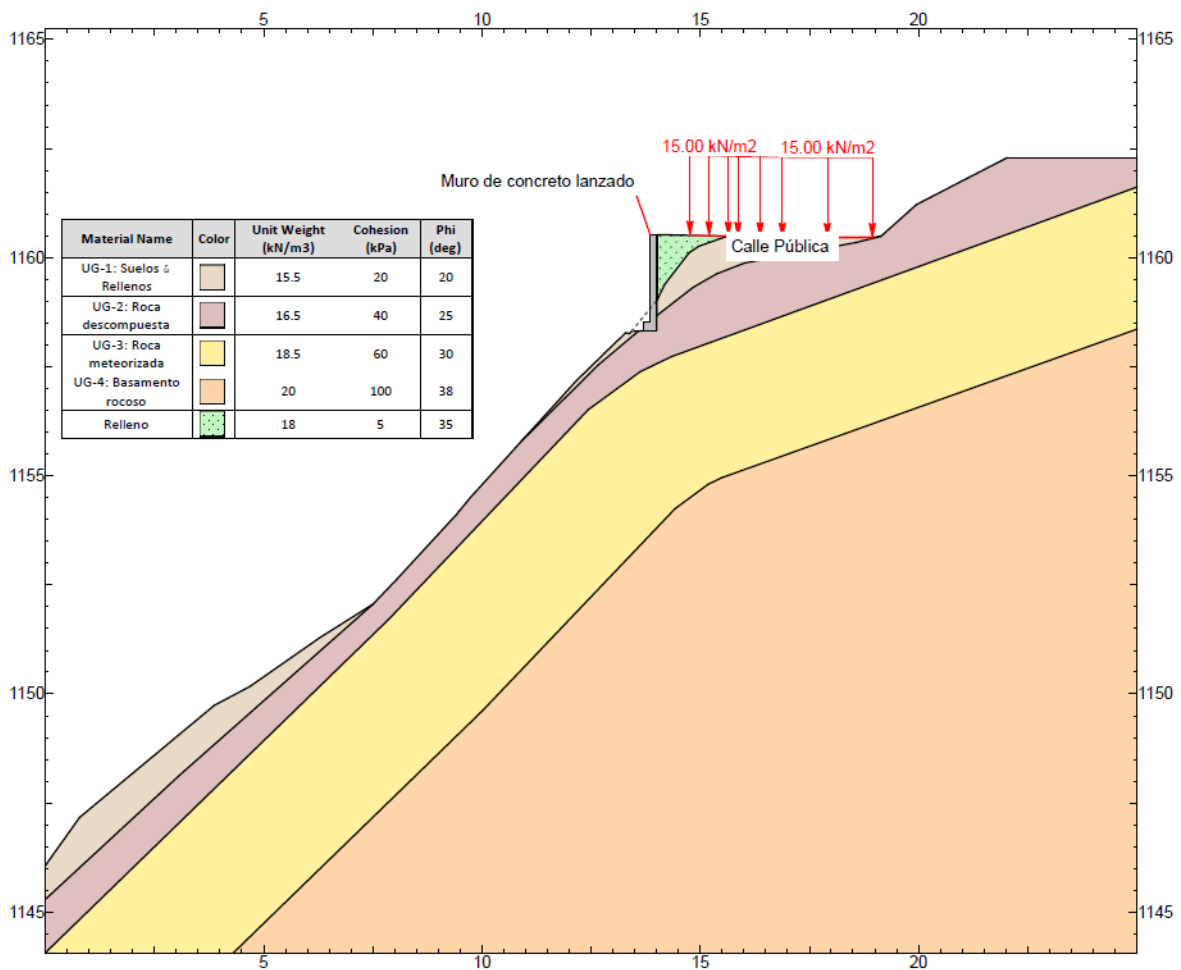


Figura 26. Modelo geotécnico en perfil de análisis.

*Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco*

---

## 6 Diseño de las obras de blindaje

---

El diseño final, incluyendo la elaboración de planos constructivos y especificaciones técnicas se ha realizado sobre la opción de blindaje estructural (sección 4.8) que la Municipalidad de Santa Ana ha seleccionado, que corresponde a la estabilización mediante anclajes y concreto lanzado. Tal selección se ha realizado a partir de la evaluación del riesgo y considerando las mejores condiciones para la gestión municipal.

En este informe se han incluido los resultados del análisis y el diseño de las obras. Sin embargo, los planos y las especificaciones técnicas se entregan de manera separada.

### 6.1 Aspectos de seguridad y diseño

A continuación, se describen las premisas de los análisis de estabilidad realizados para el sitio de estudio en el cantón de Santa Ana. Las definiciones aquí usadas son las del Código Geotécnico de Estabilidad de taludes y Laderas de Costa Rica (2015), en adelante denominado por medio de su acrónimo CGTLCR15.

#### 6.1.1 Definición del nivel de seguridad

De acuerdo con lo indicado en el Capítulo 2, apartado 2.1 *Definición del Nivel de Seguridad* y 2.2 *Factores de Seguridad Mínimos para Taludes en General*, del CGTLCR15, se ha clasificado el sitio como de riesgo MEDIO contra pérdida de vidas humanas y riesgo MEDIO contra daños económicos y ambientales.

#### 6.1.2 Análisis estático

Los análisis en condición estática se refieren a una modelación del sitio en la cual no se introduce una carga de sismo. Por lo tanto, se considera que en un caso actúan únicamente las cargas gravitacionales sobre el modelo y en otro caso, las cargas gravitacionales más las presiones hidrostáticas por saturación del suelo.

### 6.1.3 Análisis pseudoestático

Los análisis en condición pseudoestática se refieren a una modelación del sitio en la cual se introduce una carga horizontal desestabilizadora, para simular la sacudida sísmica. En el análisis pseudoestático se ha considerado la actuación de las cargas gravitacionales sobre el modelo.

En este tipo de análisis se utiliza la misma zonificación sísmica descrita en el Código Sísmico de Costa Rica, 2010 (en adelante CSCR-10) y el tipo de perfil estratigráfico que se encuentra en el sitio, para la determinación de un factor de aceleración sísmica que se utiliza en los análisis de estabilidad.

El sitio en estudio se ubica en la Zona III (Zona sísmica del cantón de Santa Ana, San José) y se clasifica como un tipo de sitio S2 (definido a partir del promedio ponderado de la velocidad de onda cortante  $V_s$  en los 30 m superficiales del depósito), por lo que el coeficiente pseudoestático horizontal corresponde a 0,20g para taludes permanentes. En la Tabla 25 se resalta el valor seleccionado.

Tabla 25. Coeficiente pseudoestático horizontal con un periodo de retorno de 475 años.

Tipo de sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
S1	0,15	0,15	0,20
<b>S2</b>	0,15	<b>0,20</b>	0,20
S3	0,15	0,20	0,25
S4	0,15	0,20	0,25

Fuente: Código geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica, 2015.

### 6.1.4 Factores de seguridad admisibles

A partir de la definición del nivel de seguridad del sitio, se obtienen los valores de los factores de seguridad mínimos que se muestran resaltados en la Tabla 26.

Como puede verse, se tomó como factor de seguridad admisible para taludes permanentes al lado del camino, un valor de 1,40 para la condición estática y de 1,05 para la condición pseudoestática.

Tabla 26. Factores de seguridad para taludes permanentes y análisis de laderas.

Condición de análisis	Riesgo de pérdida de vidas	Bajo	Medio	Alto
	Riesgo de daños económicos y ambientales			
Estática	Bajo	1,20	1,30	1,40
	Medio	1,30	<b>1,40</b>	1,50
	Alto	1,40	1,50	1,50
Pseudoestática	Bajo	>1,00	>1,00	>1,05
	Medio	>1,00	<b>1,05</b>	1,10
	Alto	1,05	1,10	1,10

Fuente: Código geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica, 2015.

### 6.1.5 Programa utilizado en los análisis de estabilidad de taludes

Los análisis de estabilidad se realizaron utilizando el software Slide2 de Rocscience®. El Slide2 Versión 9.024 2022 es un programa en el que se utiliza el método de equilibrio límite (E.L.). Mediante el programa, en el que se introduce el modelo geotécnico del terreno, se efectúan los análisis de estabilidad por equilibrio límite aplicando los métodos de Bishop, Spencer y Sarma.

El programa incluye varios modelos de resistencia. En este caso particular, se utilizó el criterio de falla Mohr-Coulomb. Mediante los análisis se determinaron más de 5000 posibles superficies de deslizamiento que se filtraron para obtener la superficie de deslizamiento que genera el factor de seguridad mínimo del talud.

Adicionalmente, de acuerdo con el criterio experto, se han analizado superficies de falla no circulares, que son las que generan los valores del factor de seguridad más bajo y que, en el caso en estudio, por la disposición de las UG, son las de mayor probabilidad de ocurrencia. Geomekca Ingeniería cuenta con la licencia actualizada y capacitación en el modelaje del terreno con el programa Slide2, ambos adquiridos al fabricante Rocscience®, con lo cual se garantiza su uso correcto y la confiabilidad de los resultados obtenidos, partiendo también de la base de una adecuada modelación geotécnica del terreno.

## **6.2 Evaluación geotécnica de la estabilidad**

En este capítulo se discuten las condiciones geotécnicas del sitio en su estado actual. En primera instancia se realiza un análisis de la estabilidad de los taludes, a fin de evaluar el tipo de obras geotécnicas de estabilización que mejor se ajuste a las condiciones actuales.

### **6.2.1 Análisis de estabilidad del talud sin obras de blindaje**

Según se observó en la primera visita de inspección realizada, el terreno ha continuado fallando, pero con pequeños desprendimientos de suelo, debido a la descompresión por la pendiente alta y por la tubería de alcantarillado pluvial fluyen aguas que promueven la erosión del talud, a pesar de que, por las lluvias intensas y la saturación del suelo, se ha generado una revegetación espontánea en algunos sectores del talud.

Se ha utilizado un perfil crítico de manera transversal a la inestabilidad para la evaluación de estabilidad de los taludes, la cual se realizó mediante el método de equilibrio límite y recoge la zona de mayor pendiente del talud.

Como se verá adelante, los resultados obtenidos confirman que, en la condición de saturación del terreno, el talud posee una estabilidad precaria. Así, de acuerdo con las superficies de falla obtenidas, la ocurrencia de otro deslizamiento que afectaría el ancho del camino y que representa un riesgo alto para los usuarios de la vía, es muy probable. Esto concuerda con la evaluación del riesgo inicial presentada en la sección 4.4.

Como puede verse en la Tabla 27, los valores del factor de seguridad (FS) obtenidos para una condición de carga estática y pseudoestática, con el terreno saturado a lo largo del perfil, no cumplen con los admisibles. El valor obtenido es  $FS = 0,79$ ; por lo tanto, no cumple con los valores requeridos en el CGTLCR 2015.

Los valores obtenidos del FS demuestran que, en el caso de saturación del talud, las condiciones de estabilidad actuales son precarias y que se requieren el blindaje con obras de estabilización y control de la erosión para evitar que más material siga deslizándose. Por otro lado, en la condición no saturada, los valores obtenidos del FS son mayores a los solicitados en la normativa nacional vigente.

Tabla 27. Resultado del análisis de estabilidad del Perfil, sin obras.

Condición de análisis	FS <sub>obtenido</sub>	FS <sub>requerido</sub>	Cumplimiento
Estática, no saturado.	2,70	1,40	Cumple
Estática, saturado.	0,79	1,40	No cumple (Estabilidad precaria)
Pseudoestática, no saturado.	2,05	1,05	Cumple

A continuación, en la Figura 27 y en la Figura 28, se presentan las superficies de falla y el valor del FS asociado, producto del análisis de estabilidad sin obras de blindaje en el talud, en condición estática, con el terreno no saturado.

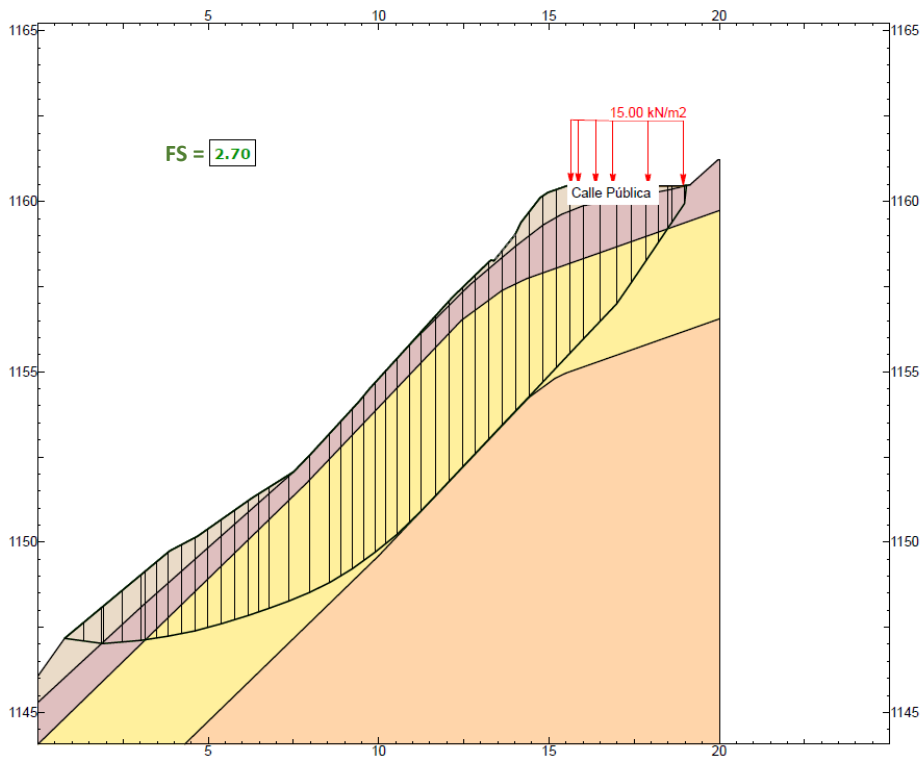


Figura 27. Análisis de estabilidad en condición estática, no saturado.

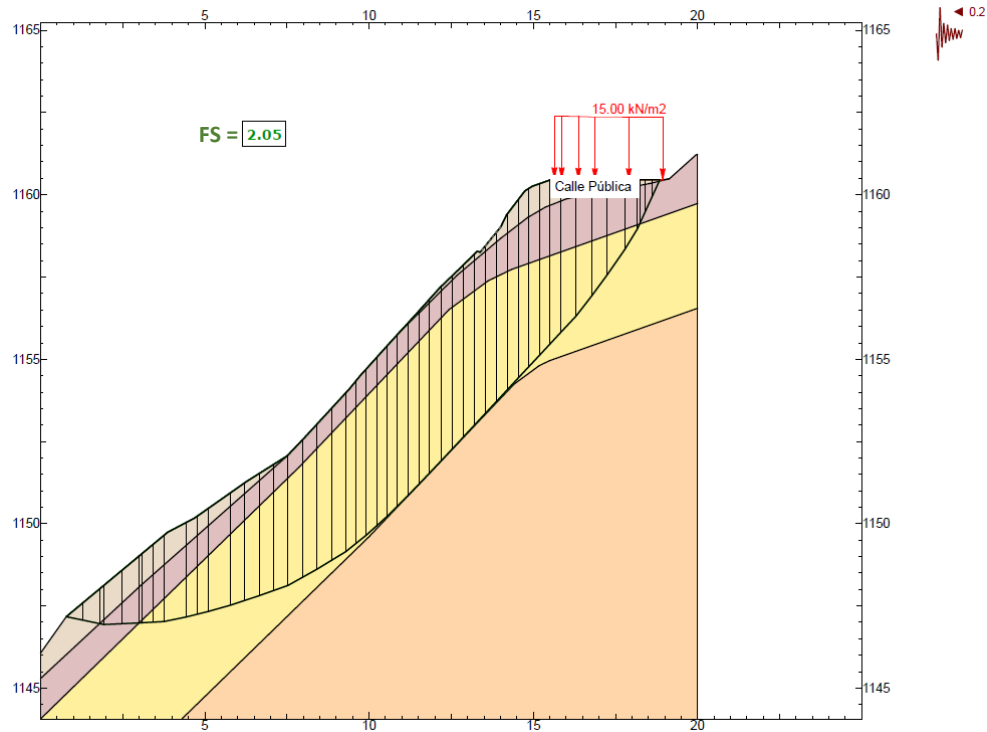


Figura 28. Análisis de estabilidad en condición pseudoestática, no saturado.

Seguidamente, en la Figura 29, se presenta la superficie de falla y el valor del FS asociado, producto del análisis de estabilidad sin obras de blindaje en el talud, en condición estática, con el terreno saturado a lo largo del perfil de análisis. Puede notarse la disminución drástica del valor del FS.

Como se muestra en los resultados obtenidos, se requiere el blindaje con obras de estabilización para la condición de terreno saturado, tanto en condición estática como pseudoestática, pues los valores del FS no cumplen con los requerimientos de la normativa nacional.



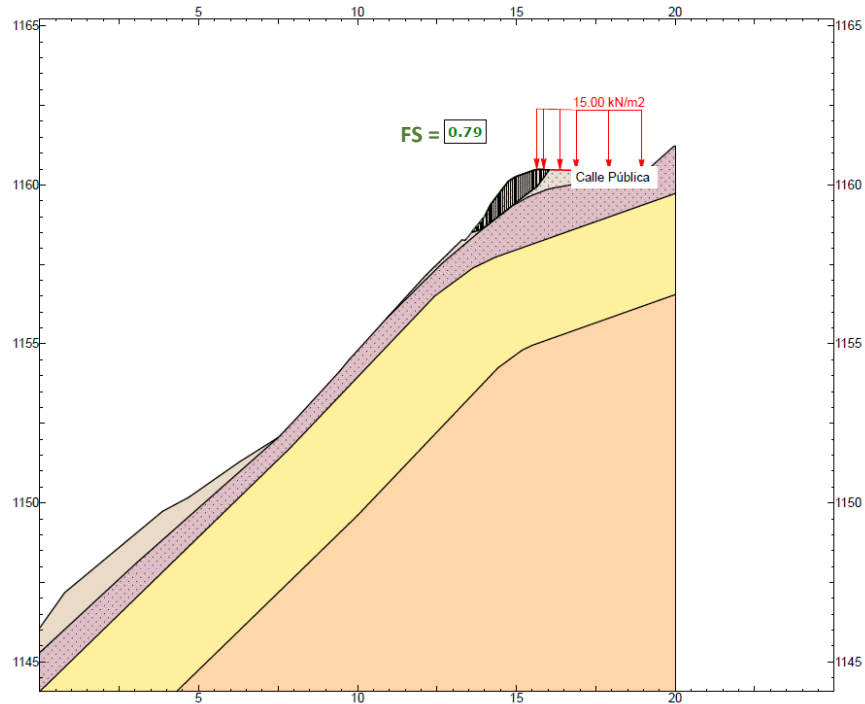


Figura 29. Análisis de estabilidad en condición estática, saturado.

## 6.2.2 Análisis de estabilidad del talud con obras de blindaje

Como se indicó en el apartado anterior, los resultados del análisis de estabilidad en la condición saturada del terreno para el perfil de análisis demuestran la necesidad de implementar obras de estabilización y protección de los taludes y, con ello, disminuir el nivel de riesgo inicial.

En consecuencia, se ha propuesto la implementación de un mejoramiento sustancial de las obras de drenaje pluvial y el refuerzo del terreno mediante anclajes pasivos y concreto lanzado en conjunto a un muro de concreto lanzado que permita recuperar terreno de la vía pública que se ha perdido. Esta opción corresponde a lo aprobado por las ingenieras de la Municipalidad de Santa Ana.

De acuerdo con los resultados de los análisis de estabilidad que se mostrarán adelante, con las obras de refuerzo y soporte se logra alcanzar los valores del factor de seguridad requeridos en el CGETLCR 2015.

Una vista parcial de la planta de las obras de estabilización, tomada de los planos de diseño, se muestra en la Figura 30, donde se presenta la pantalla de suelo cosido con anclajes en el terreno. Así mismo, en la Figura 31 se muestra una sección longitudinal por donde transcurre la alcantarilla existente, el pozo de descarga (que además funcionará como dissipador de la

energía) y el canal de desagüe que también contribuyen con el proceso de disipación de la energía del agua vertida durante las lluvias.

Finalmente, en la Figura 32 se muestra una sección longitudinal de estabilización del talud, donde se observan los anclajes del suelo cosido rígido con concreto lanzado y una sección transversal por el talud lateral de mayor pendiente, en la que se muestran los elementos de refuerzo (anclajes pasivos) y la de soporte (concreto lanzado).

La implantación de estas obras en el modelo geotécnico del terreno permitió obtener los resultados de los análisis de estabilidad en las siguientes condiciones de carga externa y de saturación, pues la condición de saturación es la crítica para los taludes. En los casos de análisis se modeló una carga por tránsito para el perfil de análisis (ver la Tabla 28). Los escenarios de diseño son los siguientes:

- Condición estática, terreno saturado
- Condición pseudoestática, terreno saturado

*Tabla 28. Resultado del análisis de estabilidad del perfil, con obras de blindaje*

<b>Condición de análisis</b>	<b>FS<sub>obtenido</sub></b>	<b>FS<sub>requerido</sub></b>	<b>Condición</b>
Estática, saturado.	2.18	1,40	Cumple
Pseudoestática, saturado.	1.90	1,05	Cumple

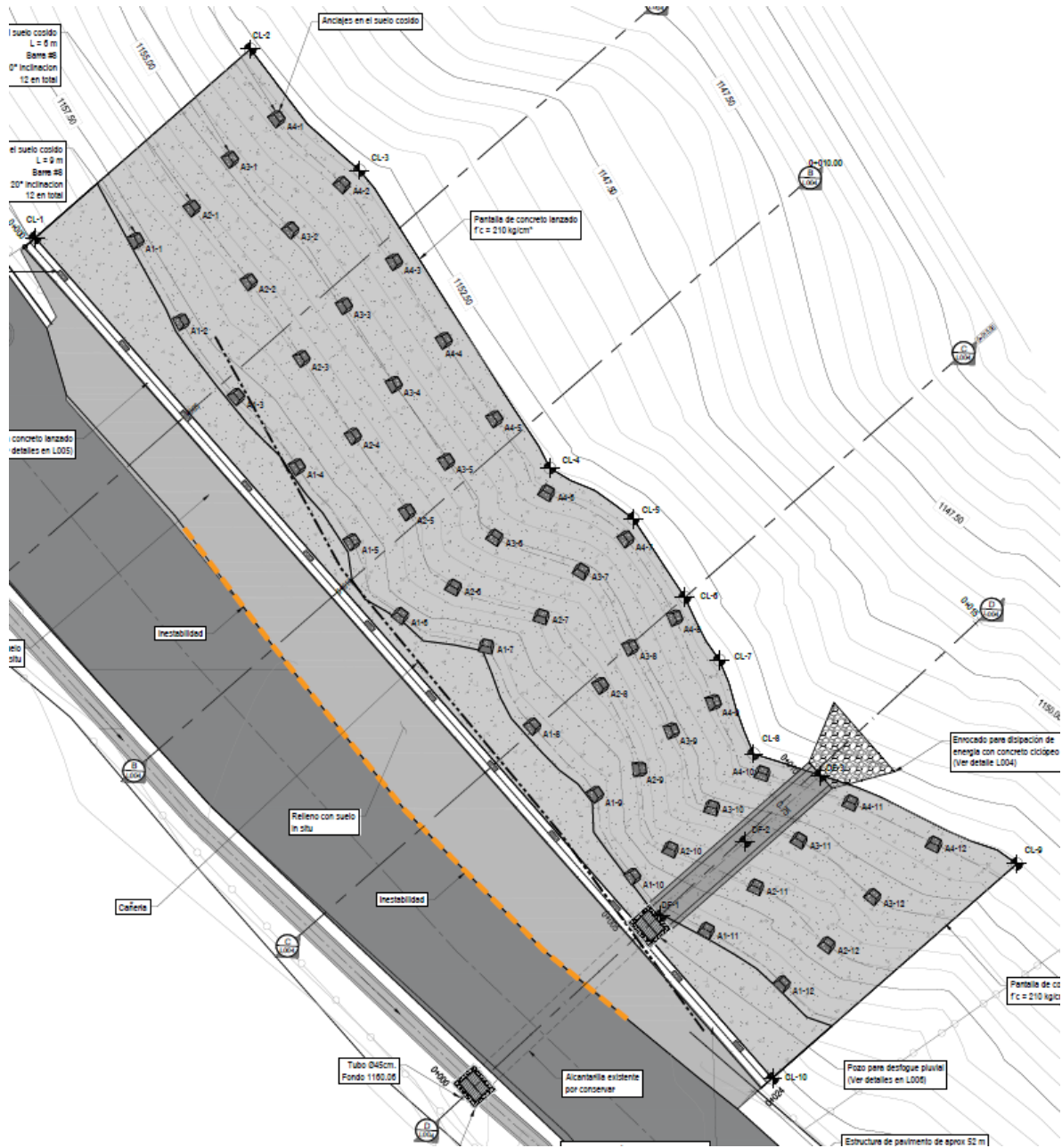


Figura 30. Vista parcial de la planta de las obras de blindaje

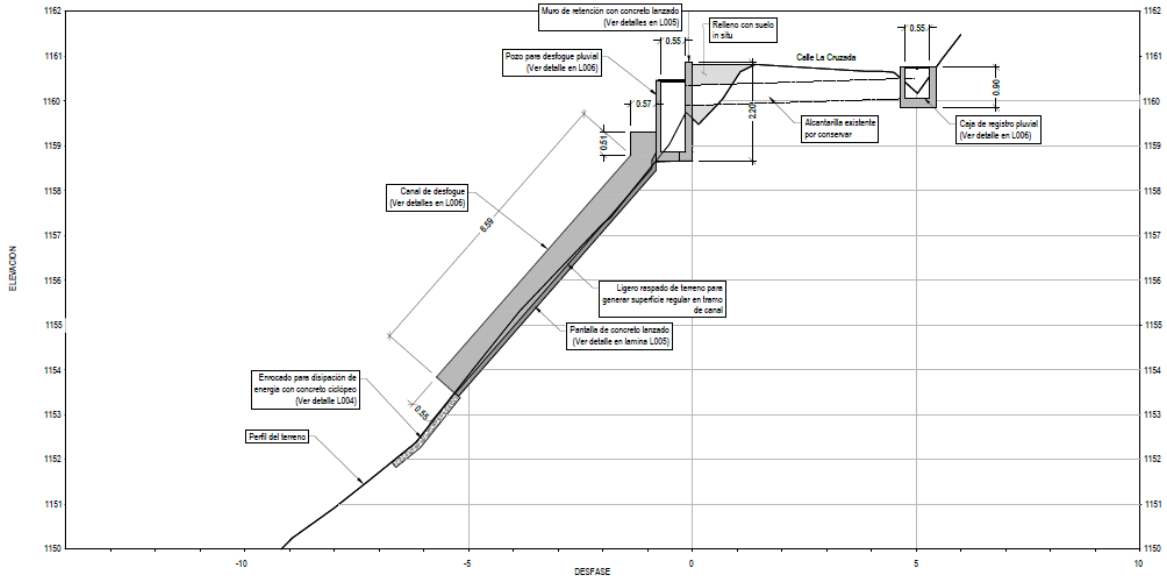


Figura 31. Sección D-D a lo largo del canal de drenaje de la alcantarilla pluvial.

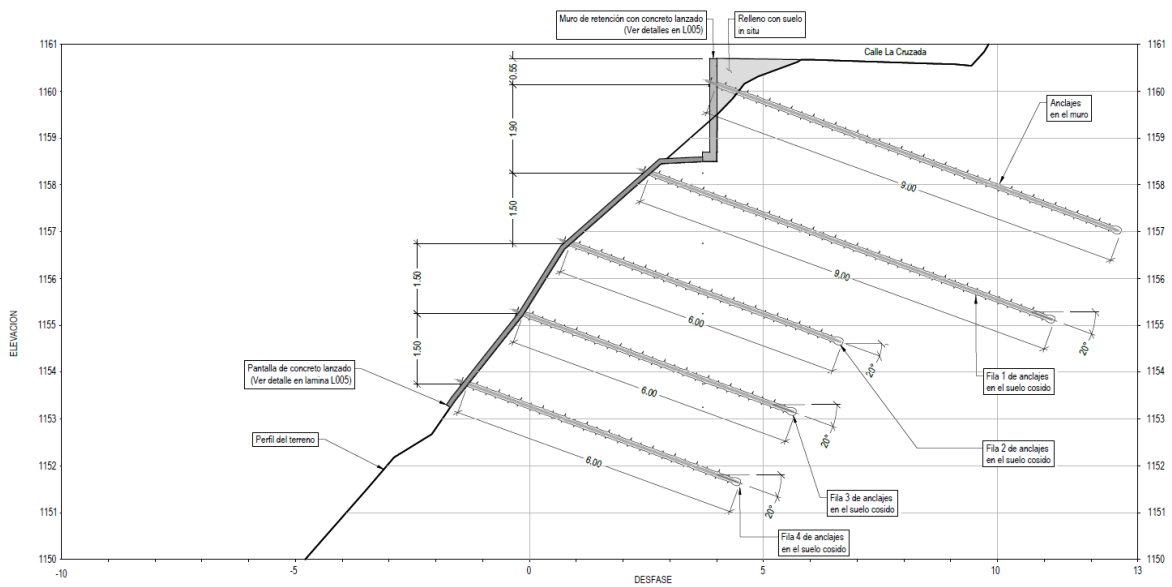


Figura 32. Sección B-B de estabilización longitudinal del talud con suelo cosido.

Como se muestra en los resultados, las obras de estabilización para el perfil de análisis muestran ser efectivas para alcanzar los valores de los factores de seguridad requeridos según el CGTLCR 2015. Puede verse que en los análisis se usaron superficies de falla no circulares que son las más críticas. Con las obras propuestas se mantendría el ancho del camino, pues la falla del talud desde el escarpe actual de la inestabilidad estaría controlada, así, el nivel de riesgo actual se reduce a un riesgo residual aceptable.

A continuación, en la Figura 33 y en la Figura 34, se presentan las salidas del análisis de estabilidad con equilibrio límite, donde se pueden observar los anclajes propuestos para estabilizar el talud, en condición estática y en condición pseudoestática, respectivamente.

Puede notarse que la solución se compone de un muro de concreto lanzado y relleno de material para la recuperación del terreno en conjunto con anclajes de 9 m en la parte superior del talud en sus primeras dos filas, y las filas inferiores están compuestas por unos anclajes más cortos (de 6 m), que además evitan que la superficie de falla se propague a lo largo del talud.

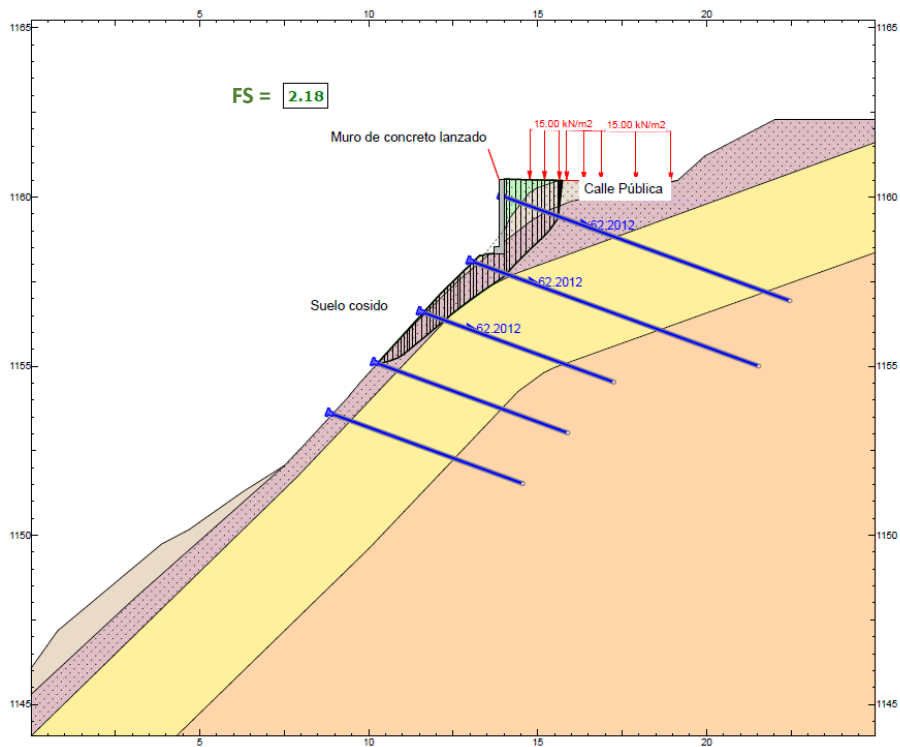


Figura 33. Perfil 1. Análisis de estabilidad en condición estática con obras, saturado.

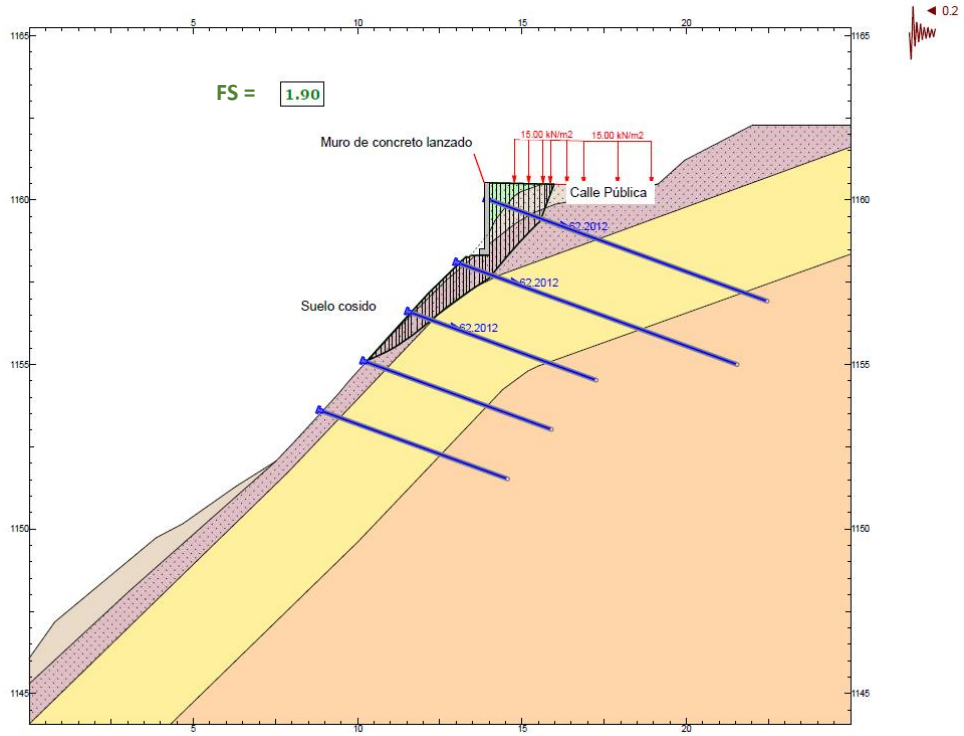


Figura 34. Perfil 1. Análisis en condición pseudoestática con obras, saturado.

---

## 7 Presupuesto de las obras

---

En este apartado se presenta el cálculo de los costos de las obras que serán construidas. La mayoría de los costos unitarios fueron definidos por la Municipalidad de Santa Ana.

### 7.1 Presupuesto de las obras para el blindaje estructural

Seguidamente, el presupuesto de las obras de estabilización se presenta en la Tabla 29. Se consideró la exoneración del IVA a que tienen derecho las municipalidades, por lo que ese ítem no se incluyó en el presupuesto.

El costo total de las obras asciende a: **₡75,492,433.60 (setenta y cinco millones cuatrocientos noventa y dos mil cuatrocientos treinta y tres colones con 60/100 céntimos).**

Adicionalmente, se debe contemplar un costo adicional por **control de calidad, verificación de carga de anclajes y supervisión de las obras**. Estos costos son del orden de **₡3 000 000.00 (tres millones de colones).**

Tabla 29. Presupuesto de las obras de blindaje estructural

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Muro de concreto lanzado (f'c=210kg/cm <sup>2</sup> ), espesor 0,15m, incluye concreto y suministro, transporte, preparación y colocación de DOBLE malla electrosoldada No.2. Anclajes pasivos, L =9.0m (Distribución 2.0mx2.0m)	m <sup>2</sup>	52	€294,568.54	€15,317,564.08
2	Muro de concreto lanzado (f'c=210kg/cm <sup>2</sup> ), espesor 0,10m, incluye concreto y suministro, transporte, preparación y colocación de UNA malla electrosoldada No.2. Anclajes pasivos, L =6.0m (Distribución 2.0mx2.0m)	m <sup>2</sup>	184	€191,726.26	€35,225,114.18
3	Excavación para estructuras	m <sup>3</sup>	20	€11,541.83	€230,836.60
4	Suministro y colocación de baranda tipo Flex Beam	m	25	€154,396.01	€3,859,900.13
5	Caja de registro	unidad	2	€757,789.71	€1,515,579.41
6	Canal gradeado	m	10	€278,115.72	€2,781,157.20
7	Cuneta media caña de 45,0cm de diámetro	m	50	€30,424.64	€1,521,232.00
8	Relleno de subbase granular para recuperación	m <sup>3</sup>	50	€32,500.00	€1,625,000.00
9	Conformación de subrasante	m <sup>2</sup>	250	€7,143.40	€1,785,850.00
10	Suministro y colocación de subbase granular 20cm	m <sup>2</sup>	250	€6,508.80	€1,627,200.00
11	Suministro y colocación de base estabilizada BE-25 20cm	m <sup>2</sup>	250	€12,204.00	€3,051,000.00
12	Suministro y colocación de imprimación (1,20 l/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	250	€2,712.00	€678,000.00
13	Suministro y colocación de carpeta asfáltica de 5 centímetros de espesor.	m <sup>2</sup>	250	€21,696.00	€5,424,000.00
14	Señalización horizontal (línea continua blanca y amarilla, captaluces), L = 25,0m	Global	1	€850,000.00	€850,000.00
<b>Total de costo de las obras:</b>					<b>€75,492,433.60</b>



---

## 8 Conclusiones y recomendaciones

---

El riesgo de deslizamiento es **alto** en el sitio de la calle La Cruzada que se ha evaluado (ver sección 4.4.1).

Las condiciones que provocan ese alto nivel de riesgo provienen principalmente de las amenazas naturales sobre el sitio, causadas por la geodinámica, especialmente la concentración del flujo de la escorrentía superficial durante eventos hidrometeorológicos extremos, capaz de producir severos procesos erosivos y la profundización de cárcavas en el terreno, así como la saturación y la ocurrencia de sismos, capaces de provocar nuevos desprendimientos (ver sección 4.2).

En vista de que el nivel de riesgo actual se ha catalogado como inaceptable, se requiere necesariamente la implantación de obras estructurales que blinden la infraestructura contra las amenazas naturales y sus variaciones derivadas del cambio climático.

Se realizaron estudios de ingeniería (ver capítulo 5), incluyendo topografía e investigación geotécnica. De los resultados de la investigación geotécnica se ha podido elaborar un modelo geotécnico utilizado para las evaluaciones preliminares de las soluciones de blindaje estructural propuestas. Estas indican que las propuestas de blindaje son realizables con montos razonables, como se indica arriba.

Además de las opciones de blindaje estructural, se han propuesto otras de índole no estructural (ver sección 4.8.2), con el propósito de reducir los niveles de riesgo de las amenazas de origen antrópico. Estas se pueden realizar por etapas, según la conveniencia de la Municipalidad, pero requieren necesariamente del concurso ciudadano para que sean exitosas.

Se recomienda proseguir con la construcción de las obras de blindaje estructural. El diseño detallado de tales obras (capítulo 6) se ha realizado para la alternativa establecida por las funcionarias de la Municipalidad de Santa Ana. Consisten en una estabilización y protección con anclajes y concreto lanzado. El costo se estima en aproximadamente 75,5 millones de colones. En el capítulo 7 se presentó el presupuesto detallado.

*Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente*

---

## 9 Referencias

---

- Aven, T. (2018) An emerging New Risk Analysis Science: Foundations and implications. En: Risk Analysis, Vol. 38, No.5, 2018. DOI: 10.1111/risa.12899.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2010) Código Sísmico de Costa Rica. Editorial Tecnológica, Cartago, Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2009) Código de cimentaciones de Costa Rica. Editorial Tecnológica, Cartago, Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2015) Código geotécnico de taludes y laderas de Costa Rica. Editorial Tecnológica, Cartago, Costa Rica.
- Comisión Nacional de Emergencias CNE (2022). Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias de Costa Rica. Obtenido de Comisión Nacional de Emergencias: [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/mapas\\_amenzas/san\\_jose.aspx](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenzas/san_jose.aspx)
- Esquivel Acosta, Alfredo (2012). Uso del suelo, actividades productivas agropecuarias a nivel cantonal. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica.
- Frantzova, A. (2021) Risk assessment of geological disaster in the region of Primorsko Municipality. Geologica Balcanica 50 (3), Sofia, Diciembre 2021, pp. 29-35.
- Instituto de Fomento y Asesoría Municipal, IFAM (2022) Santa Ana, Cantón 1-09. Consultado en: [https://www.ifam.go.cr/?page\\_id=389](https://www.ifam.go.cr/?page_id=389)
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (2022) Datos de precipitación, recibidos mediante correo electrónico. San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (2022b) Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. Descargado en: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica IMN. (2011). Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas. San José: Instituto Meteorológico Nacional.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC (2002) IX Censo Nacional de Población, Características Económicas. Censo 2000. Instituto Nacional de Estadística y Censos. San José, Noviembre 2002. Descargado en: [https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/inec\\_institucional/publicaciones/03\\_ix\\_censo\\_nacional\\_de\\_poblacion\\_caracteristicas\\_economicas.pdf](https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/inec_institucional/publicaciones/03_ix_censo_nacional_de_poblacion_caracteristicas_economicas.pdf)

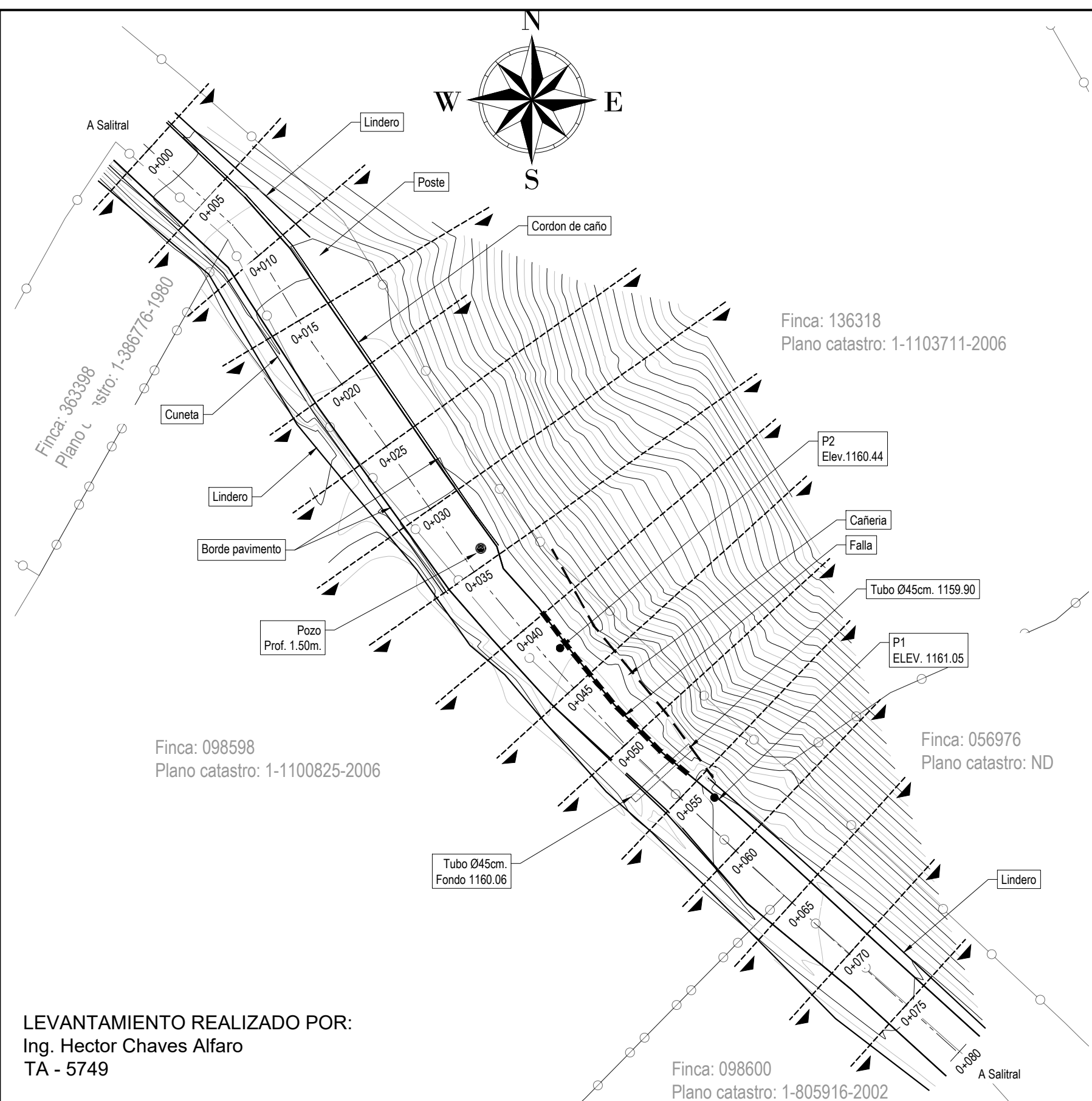
- INTECO (2018) INTE/ISO 31000:2018. Gestión del riesgo – Directrices. Norma internacional ISO 31000:2018 “Risk management – Guidelines”. Costa Rica.
- MIDEPLAN (2014) Metodología de análisis de amenazas naturales para proyectos de inversión pública en etapa de perfil. Convenio interministerial Ministerio de agricultura y ganadería y Ministerio de planificación nacional y política económica. San José, Costa Rica, octubre 2014. ISBN 978-9977-73-081-3.
- Mora, S. (2022) La geodinámica externa: aspectos geomecánicos, hidrogeológicos, climáticos y del riesgo. Editorial Asociació Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería ASAGAI, Buenos Aires, Argentina. ISBN:978-987-21766-7-9.
- Municipalidad de Santa Ana (2022) Geoportal de Datos Geográficos Infraestructura de Datos Espaciales | Estandarizando el modo de acceso a la información geográfica. En: <https://www.santaana.go.cr/>, consultado numerosas veces durante los meses de julio y agosto de 2022.
- NCHRP (2018) Guidelines for managing geotechnical risks in design-build projects. National Cooperative Highway Research Program, NCHRP Research Report 884. ISSN 2572-3774. Washington, USA.
- NSW (2014) Standard: Geotechnical Risk Assessment and Hazard Management. NSW Government, Transport for NSW. Documento T HR CI 12100 ST.
- PRUGAM (2007) Mapa de índice de fragilidad ambiental para el cantón de Santa Ana. Descargado de: [https://www.mivah.go.cr/PRUGAM\\_IFAS\\_CRTM05\\_Santa\\_Ana.shtml](https://www.mivah.go.cr/PRUGAM_IFAS_CRTM05_Santa_Ana.shtml). MIVAH : PRUGAM Productos : IFAS Sin Viabilidad : Santa Ana.
- SRA (2018) Society for Risk Analysis Glossary. Society for Risk Analysis. Descargado de: <https://www.sra.org/wp-content/uploads/2020/04/SRA-Glossary-FINAL.pdf> en agosto de 2022.
- Tecnológico de Costa Rica (2014) Atlas cartográfico. Recopilación de mapas. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2014.
- Topographic-map.com (2022) Mapa topográfico de Costa Rica. En: <https://es-cr.topographic-map.com/maps/jcrz/Cant%C3%B3n-Santa-Ana/> Consultado en agosto 2022.
- Tosi Jr., J. (1969) Mapa ecológico República de Costa Rica, según la clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica. Descargado de: <https://repositorios.cihac.fcs.ucr.ac.cr/cmelenendez/bitstream/123456789/149/1/mp%20ecologico.jpg>
- Universidad de Costa Rica y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2021) Atlas de desarrollo humano cantonal 2021, Costa Rica. Consultado en línea en: <https://www.undp.org/es/costa-rica/atlas-de-desarrollo-humano-cantonal-2021>

---

## **10 Apéndice A: Topografía actualizada**

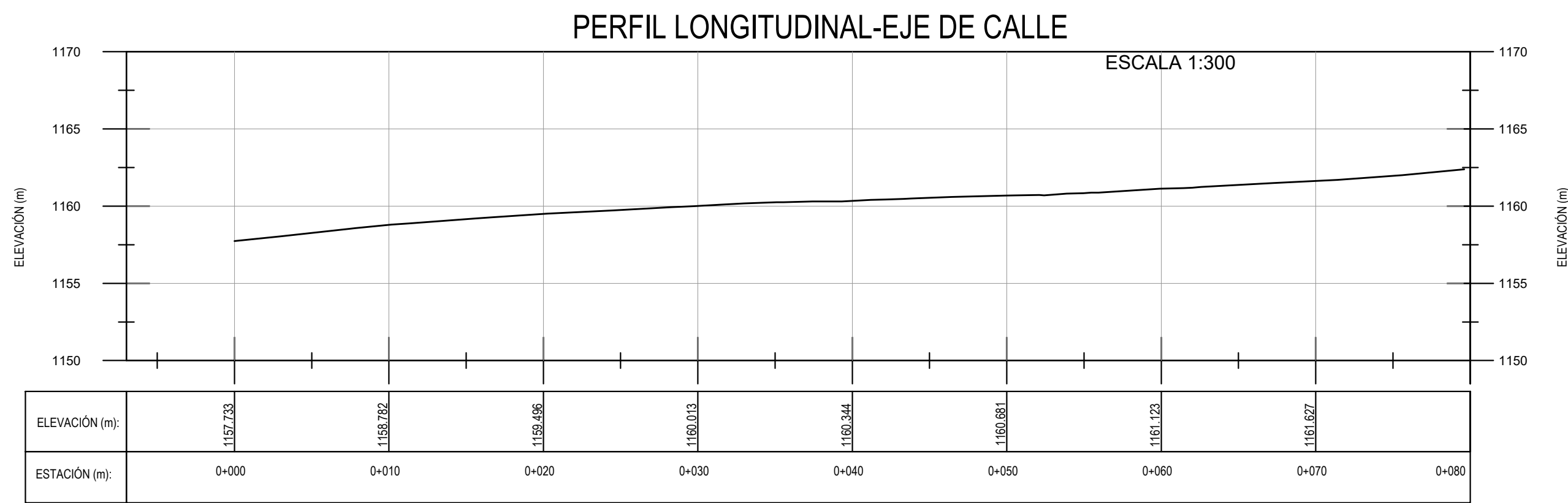
---

*Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco*



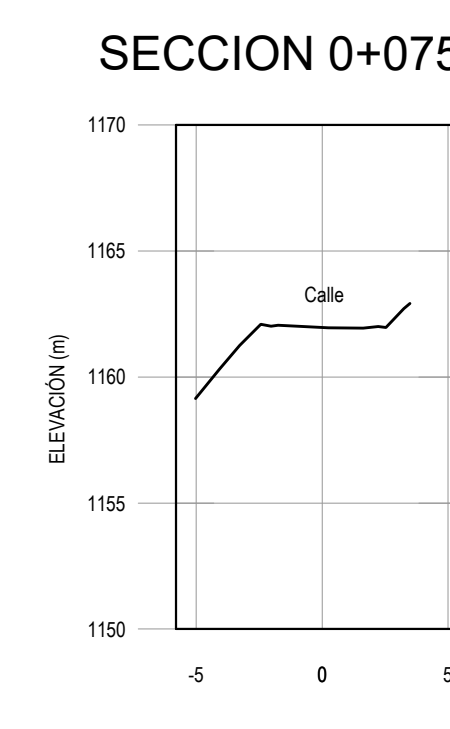
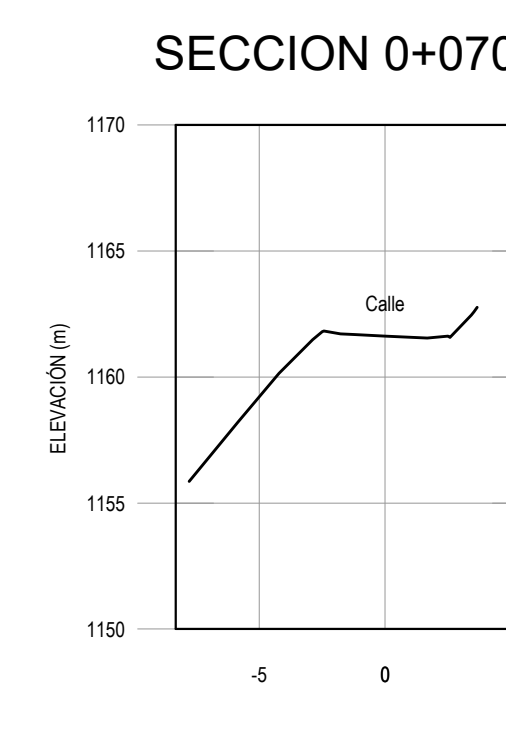
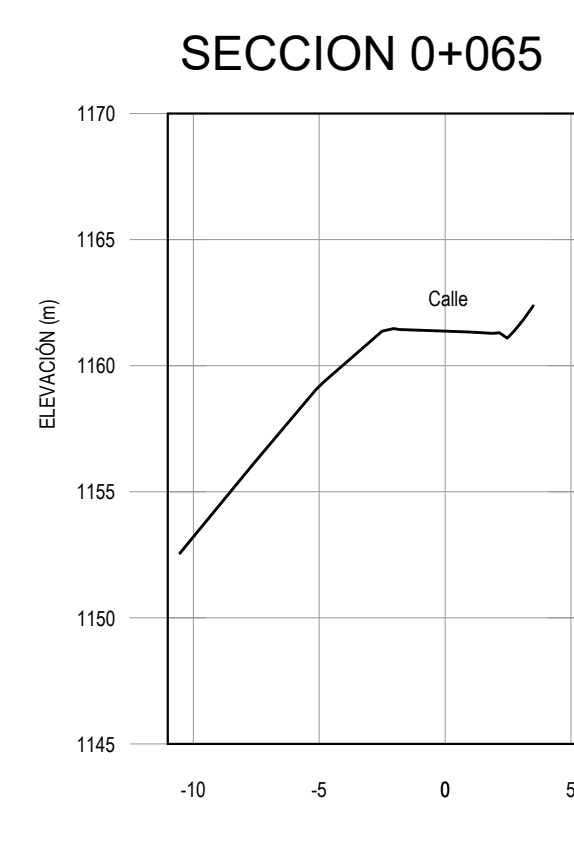
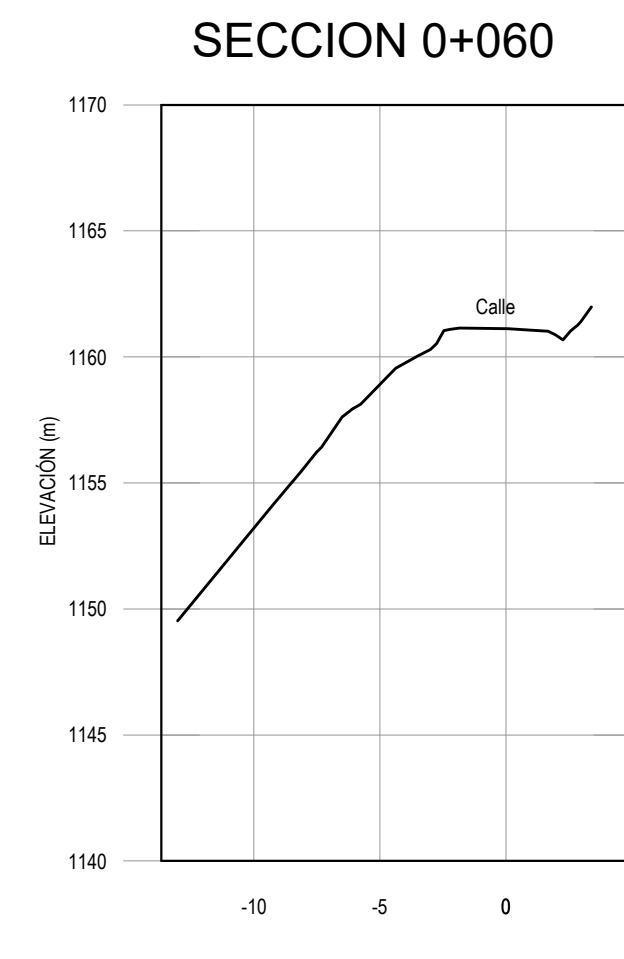
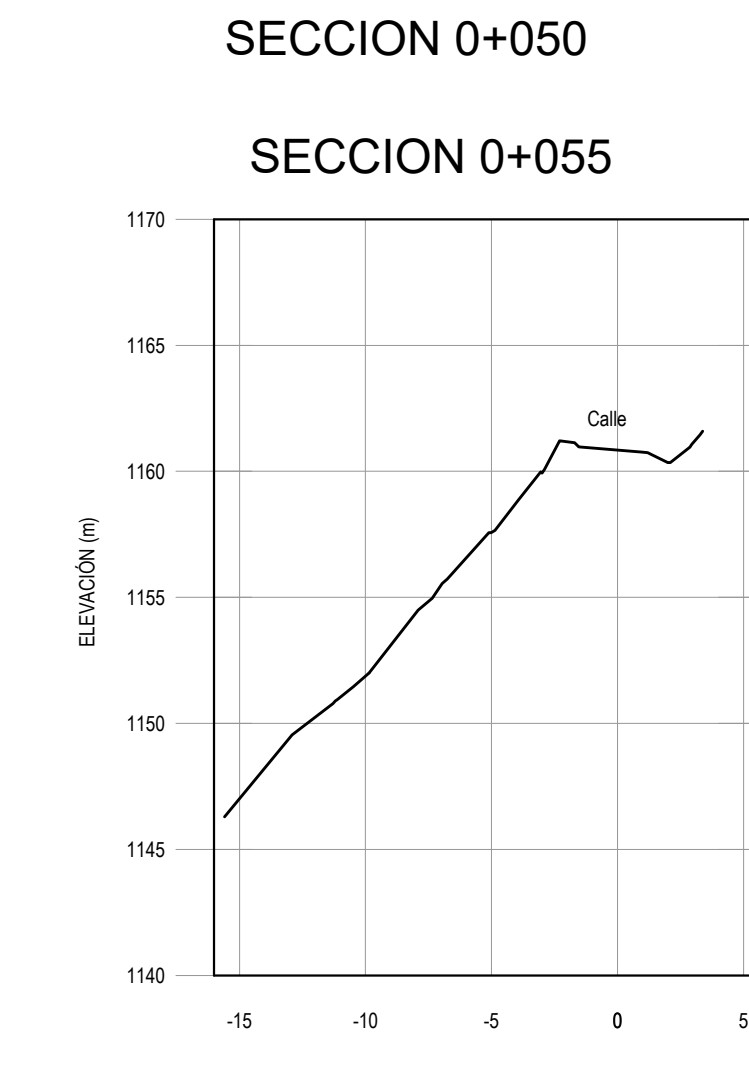
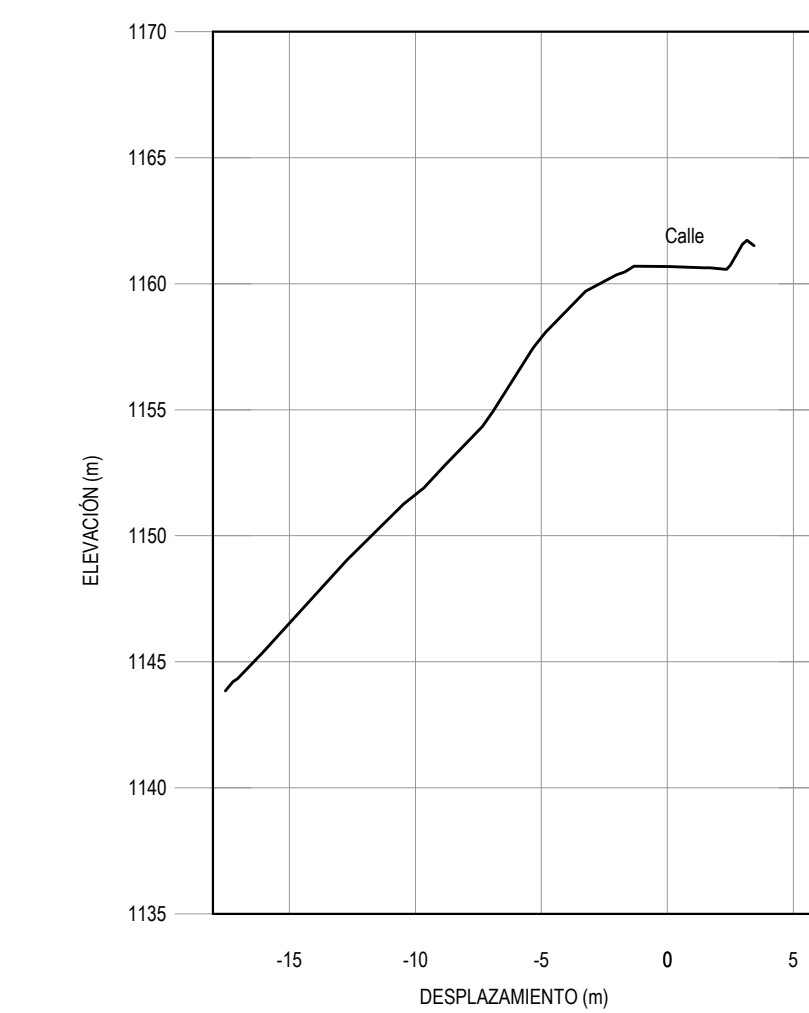
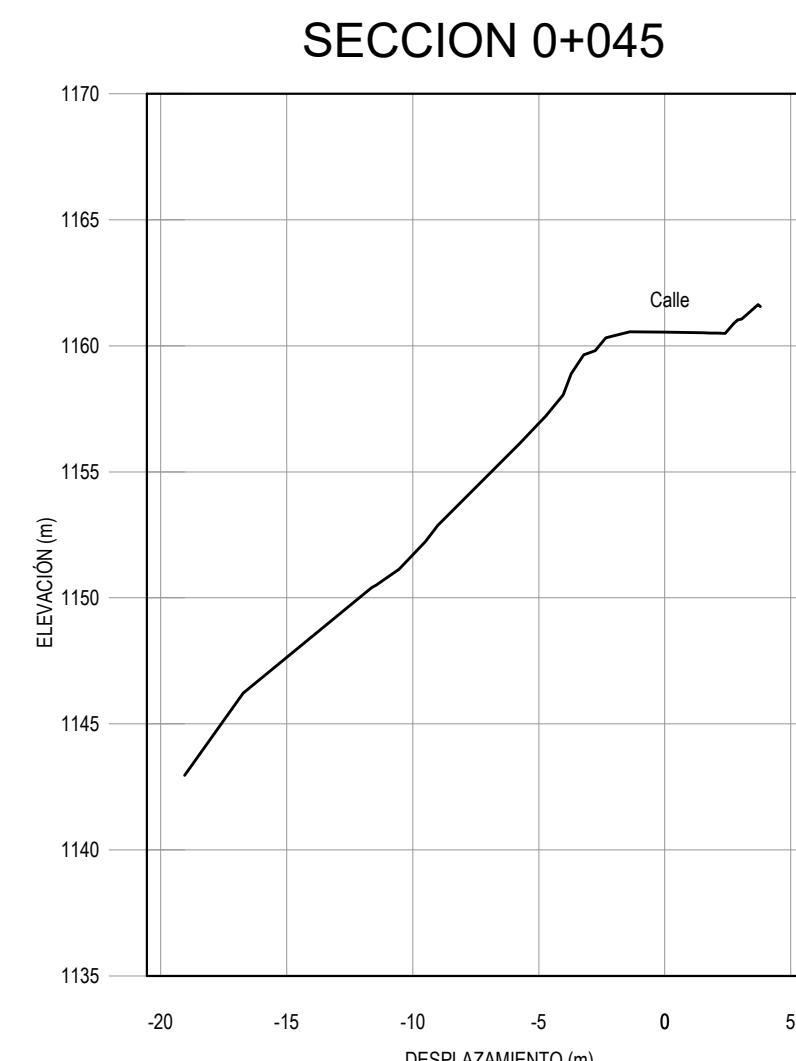
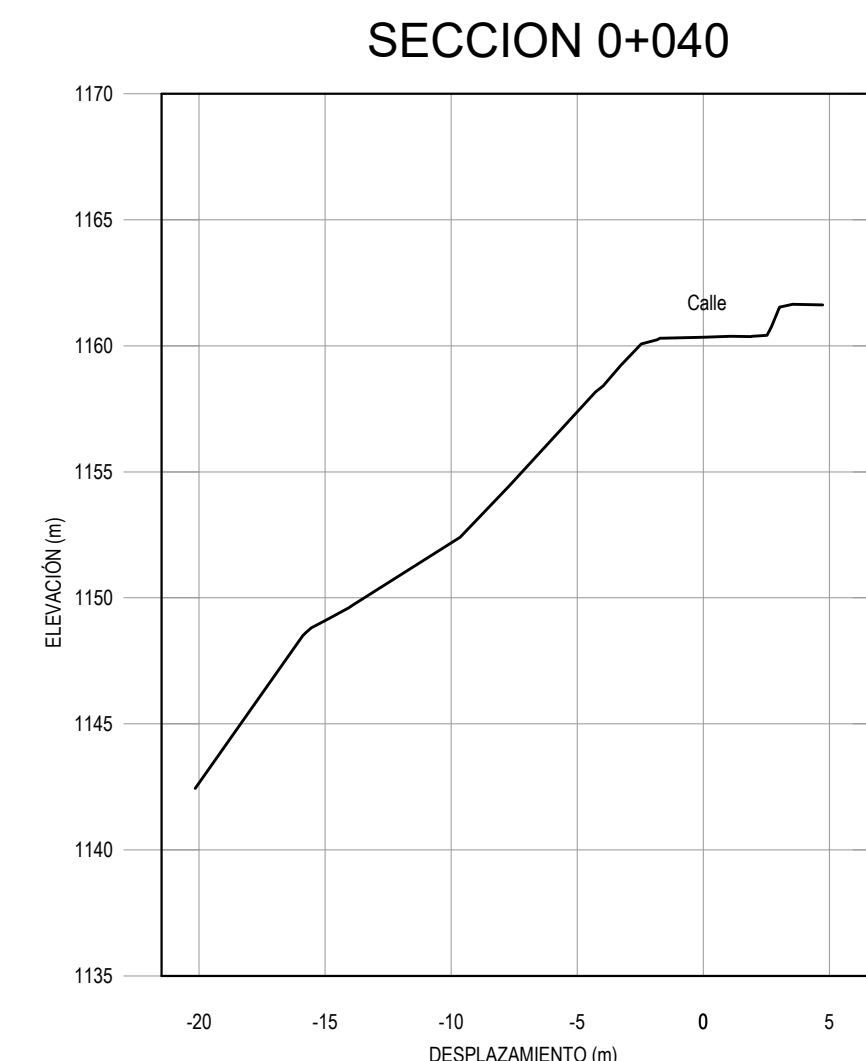
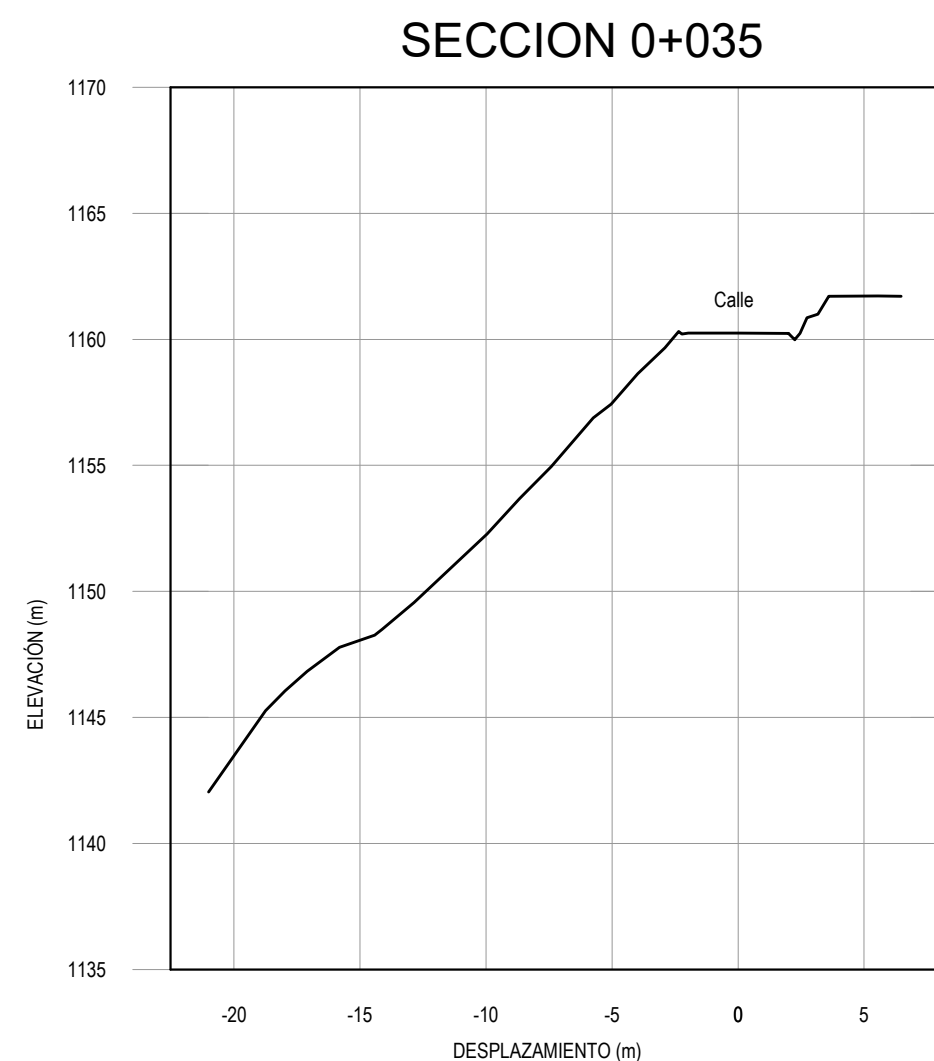
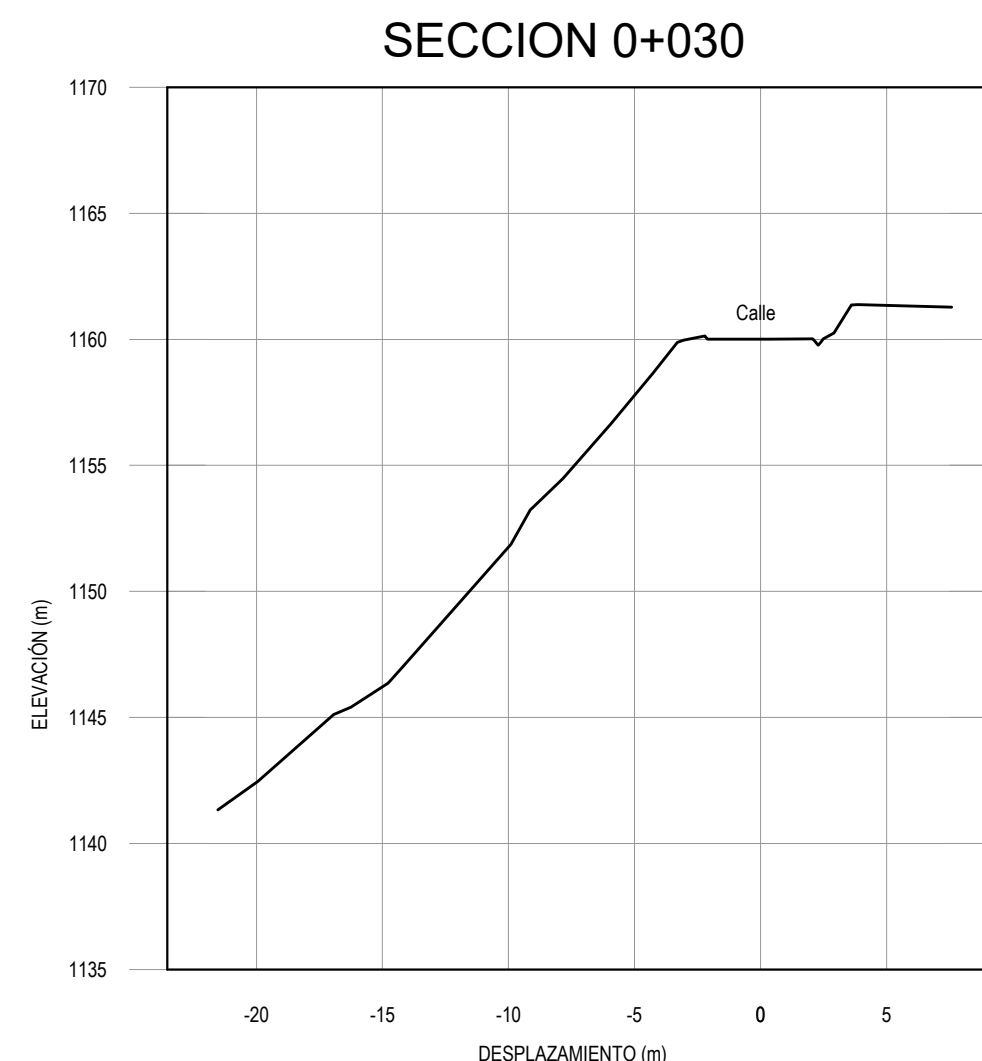
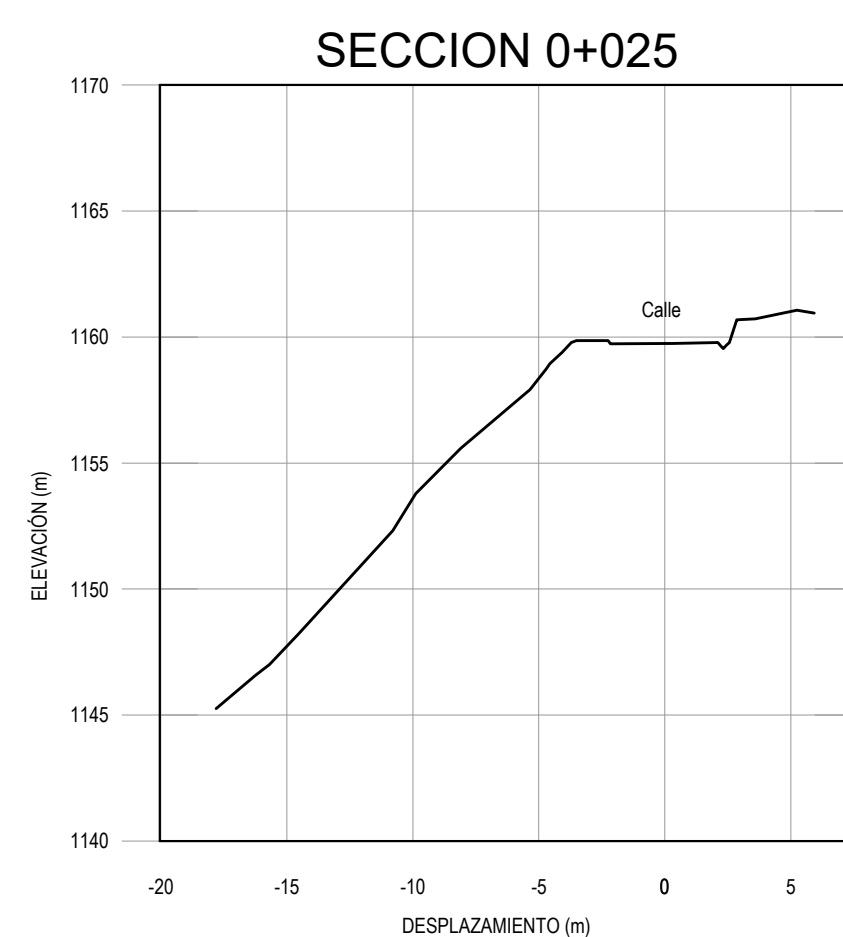
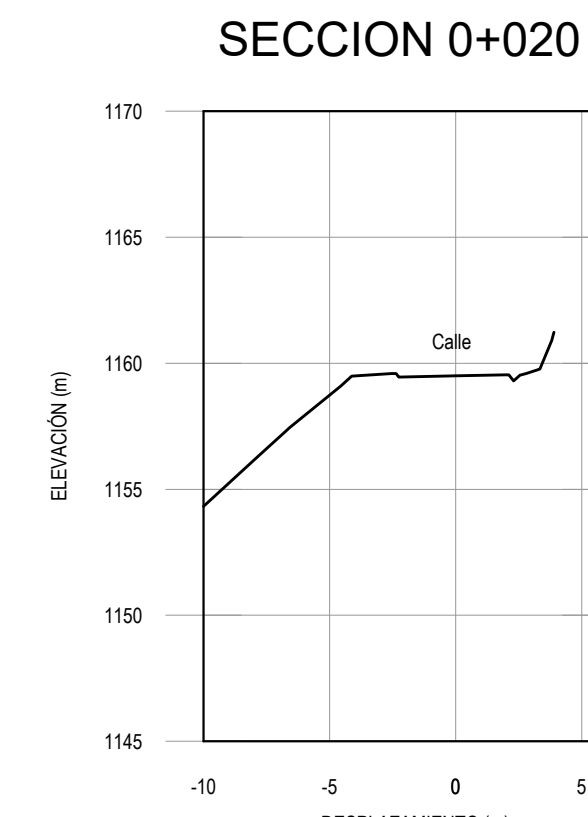
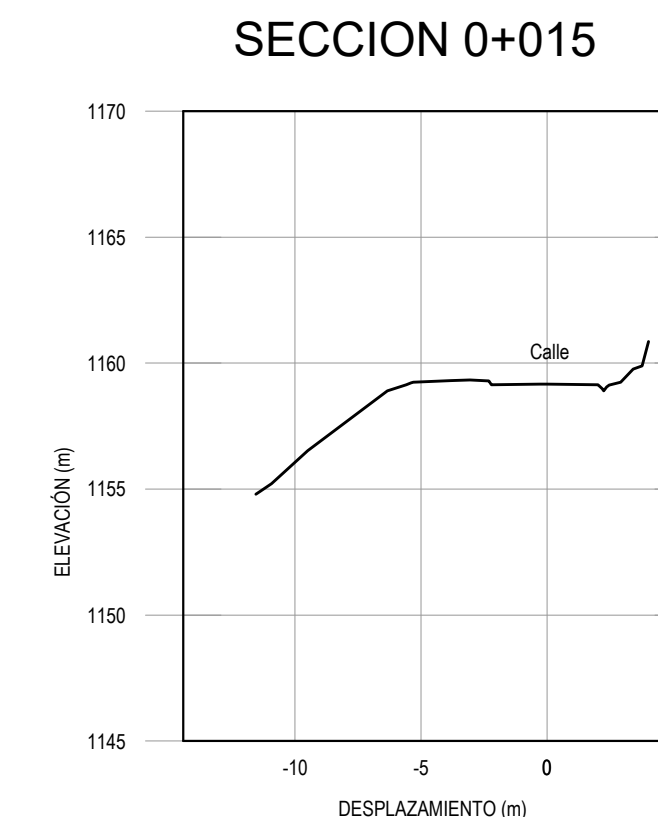
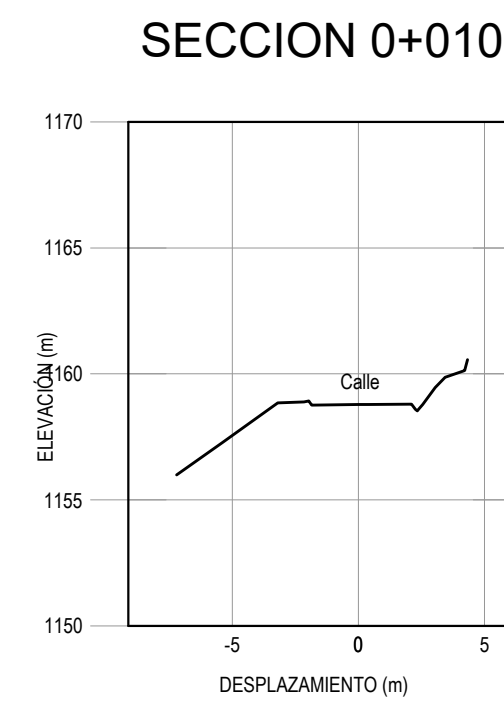
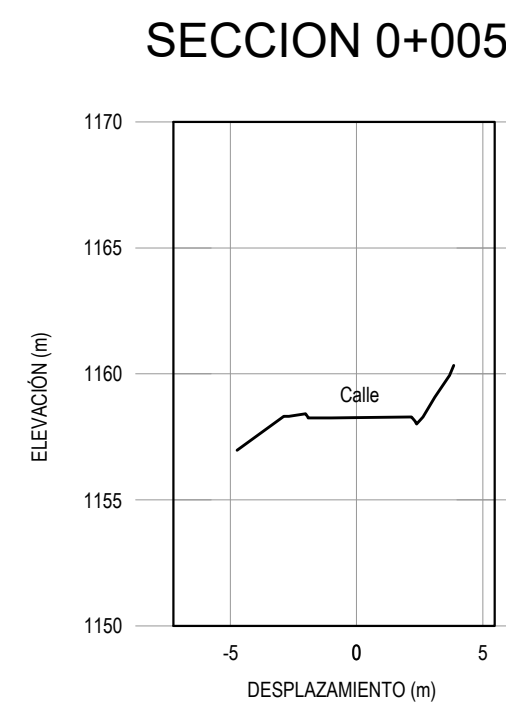
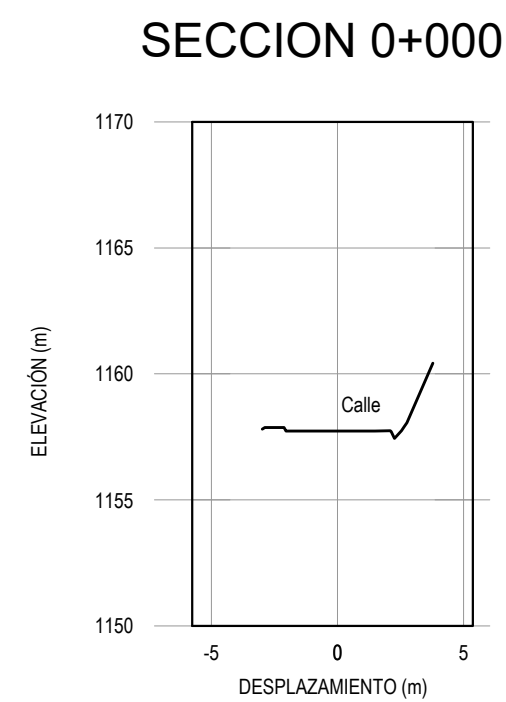
**PLANTA DE TOPOGRAFIA LEVANTADA PARA DISEÑO**

ESCALA 1:300



**SECCIONES**

ESCALA 1:300



Proyecto:	OBRAS DE ESTABILIZACION EN TALUD DE CALLE LA CRUZADA	
Propietario de proyecto:		
Diseño:		
Consortio:		
Elaboró:	Ing. Isaac Hernández C. IC-22556	
Revisó:	Ing. Marlon Jiménez J. IC-9247	
Aprobó:	Ing. Marco Tapia B. IC-5915	
Contenido:	Planta de topografía levantada para la fase de diseño. Perfil y secciones	
Escala:	Fecha:	Lámina:
INDICADAS	Marzo 2023	L002 Cod. 1071.PLA.23.DIS.TA

---

# **11 Apéndice B: Registro de Riesgos**

---



*Esta página se ha dejado en blanco intencionalmente*

CÓDIGO	AMENAZAS	RIESGO ACTUAL			ACCIONES DE RESPUESTA	RIESGO RESIDUAL		
		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo Actual		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo residual
<b>A</b>	<b>Riesgos asociados a factores externos (sismos, volcanes, fenómenos hidrometeorológicos)</b>							
A.1	Daños o salidas de operación provocadas por amplificación de la onda sísmica	1	3	3	No se requieren	1	3	3
A.2	Daños o salidas de operación provocadas por licuefacción	1	3	3	No se requieren	1	3	3
A.3	Desplazamientos o daños por la inestabilidad del terreno por la sacudida sísmica	3	3	9	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	1	3	3
A.4	Daños estructurales por la sacudida sísmica	1	3	3	No se requieren	1	3	3
A.5	Daños o salidas de operación provocadas por la influencia de un deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa del terreno causado por sismo.	3	3	9	No se requieren	1	3	3
A.6	Interrupción de la operación por la caída de ceniza proveniente de la erupción de un volcán cercano.	1	2	2	No se requieren	1	2	2
A.7	Interrupción de la operación por caída de bloques o material volcánico de la erupción de un volcán cercano	1	2	2	No se requieren	1	2	2
A.8	Daños o salidas de operación provocadas por la influencia de un deslizamiento, avalancha, flujo lahárico u otro asociado a la erupción de un volcán cercano	1	1	1	No se requieren	1	1	1
A.9	Daños o salidas de operación provocadas por deslizamiento, avalancha u otro movimiento de masa causado por tormentas o eventos hidrológicos extremos	4	3	12	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes. Manejo de la escorrentía superficial.	2	3	6
A.10	Daños o salidas de operación provocadas por avenidas o inundaciones por eventos hidrológicos extremos	4	2	8	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes. Manejo de la escorrentía superficial.	2	2	4
A.11	Desplazamientos o daños por la ocurrencia de vientos de intensidad extrema	1	1	1	No se requieren	1	1	1

CÓDIGO	AMENAZAS	RIESGO ACTUAL			ACCIONES DE RESPUESTA	RIESGO RESIDUAL		
		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo Actual		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo residual
<b>B</b>	<b>Riesgos asociados a condición litológica, estructuras geológicas, morfología o procesos geológicos.</b>							
B.1	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de deslizamientos o inestabilidad del terreno, en zonas de fuerte pendiente	5	3	15	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	3	6
B.2	Desplazamientos o inestabilidad por impacto de bloques, troncos u objetos provenientes de las zonas altas de las pendientes	2	2	4	No se requieren	2	2	4
B.3	Desplazamientos o inestabilidad por deslizamientos o inestabilidad del terreno en superficie, en zonas de terreno incompetente	1	3	3	No se requieren	1	3	3
B.4	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de zonas de debilidad (grietas, capas meteorizadas, rellenos de falla, zonas de cortante)	4	3	12	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	3	6
B.5	Desplazamientos o inestabilidad por deslizamientos o inestabilidad del terreno a causa de orientación desfavorable de las capas litológicas	4	3	12	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	3	6
B.6	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de deslizamientos o inestabilidad del terreno por estratos débiles no identificados	2	3	6	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	1	3	3
B.7	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de procesos erosivos.	4	3	12	Obras de control de escorrentía superficial	1	3	3
B.8	Asentamientos provocados por la erosión del material de relleno de dolinas (sinkholes) presentes en el terreno	1	3	3	No se requieren	1	3	3

CÓDIGO	AMENAZAS	RIESGO ACTUAL			ACCIONES DE RESPUESTA	RIESGO RESIDUAL		
		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo Actual		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo residual
<b>C</b>	<b>Riesgos asociados a condición hidrogeológica</b>							
C.1	Desplazamientos o inestabilidad por desplazamientos o deformaciones del terreno a causa de la elevación del nivel freático	1	2	2	No se requieren	1	2	2
C.2	Desplazamientos o inestabilidad por desplazamientos o deformaciones del terreno a causa del descenso del nivel freático	1	2	2	No se requieren	1	2	2
C.3	Desplazamientos o inestabilidad por erosión interna del terreno a causa de gradientes hidráulicos excesivos	1	2	2	No se requieren	1	2	2
C.4	Desplazamientos o inestabilidad por desplazamientos del terreno por la saturación excesiva por control de capas impermeables más profundas	1	2	2	No se requieren	1	2	2
C.5	Desplazamientos o inestabilidad por desplazamientos o deformaciones del terreno a causa del artesianismo	1	2	2	No se requieren	1	2	2
C.6	Desplazamientos o inestabilidad por deformaciones del terreno a causa de la acumulación de presiones por su baja permeabilidad	2	2	4	No se requieren	2	2	4
C.7	Desplazamientos o inestabilidad por erosión superficial por el agua de escorrentía no controlada	4	3	12	Obras de control de escorrentía superficial	2	3	6
C.8	Desplazamientos o inestabilidad por influencia directa de socavación hidráulica.	3	2	6	Obras de control de escorrentía superficial	2	2	4

CÓDIGO	AMENAZAS	RIESGO ACTUAL			ACCIONES DE RESPUESTA	RIESGO RESIDUAL		
		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo Actual		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo residual
<b>D Riesgos asociados al comportamiento geotécnico del terreno (esfuerzos, deformaciones, estabilidad)</b>								
D.1	Asentamientos diferenciales provocados por la deformabilidad de los materiales de la cimentación	1	2	2	No se requieren	1	2	2
D.2	Desplazamientos de la estructura a causa de baja capacidad soportante del terreno de cimentación	1	2	2	No se requieren	1	2	2
D.3	Desplazamientos de la estructura a causa de la inestabilidad de bloques o cuñas presentes en la cimentación	2	2	4	No se requieren	2	2	4
D.4	Asentamientos diferenciales provocados por la expansión, colapso o contracción de los materiales debidos a su estructura mineralógica	1	2	2	No se requieren	1	2	2
D.5	Desplazamientos de la estructura a causa de la formación de grietas de retracción por los cambios volumétricos del suelo	1	2	2	No se requieren	1	2	2
D.6	Desplazamientos de la estructura a causa de la formación de grietas de descompresión asociadas a zonas inestables	3	2	6	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	2	4
D.7	Corrosión de elementos metálicos por su contacto directo con el terreno	1	2	2	No se requieren	1	2	2

CÓDIGO	AMENAZAS	RIESGO ACTUAL			ACCIONES DE RESPUESTA	RIESGO RESIDUAL		
		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo Actual		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo residual
<b>E</b>	<b>Riesgos asociados al tipo de cimentación u obras asociadas</b>							
E.1	Incapacidad de cimentar las obras de protección mediante pilotes hincados, debido a la presencia de dolinas o cavidades en terreno kárstico	1	2	2	No se requieren	1	2	2
E.2	Desplazamientos de la estructura a causa del descalce de las obras de protección por procesos erosivos	3	3	9	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes. Manejo de la escorrentía superficial.	2	2	4
E.3	Desplazamientos a causa de erosión provocada por corta de arbustos / deforestación, actividad agrícola	3	2	6	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	2	4
E.4	Costos excesivos por requerimientos especiales de protección (necesidad de obras especiales o sistemas de estabilización, etc.)	1	2	2	No se requieren	1	2	2
E.5	Imposibilidad técnica de estabilizar el terreno	1	3	3	No se requieren	1	3	3

CÓDIGO	AMENAZAS	RIESGO ACTUAL			ACCIONES DE RESPUESTA	RIESGO RESIDUAL		
		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo Actual		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo residual
<b>F</b>	<b>Riesgos de origen antrópico</b>							
F.1	Empeoramiento de los riesgos geotécnicos por la imposibilidad de ejecutar las obras de protección por trámites externos (permisos, negociaciones, etc.)	2	2	4	No se requieren	2	2	4
F.2	Empeoramiento de los riesgos geotécnicos por la imposibilidad de ejecutar las obras de protección por trámites internos (contratación, autorizaciones, etc.)	2	2	4	No se requieren	2	2	4
F.3	Costos no previstos por la necesidad de realizar obras temporales adicionales para mantener la estabilidad durante el tiempo requerido para trámites externos	2	2	4	No se requieren	2	2	4
F.4	Costos no previstos debido a la necesidad de diseñar obras adicionales o rediseñar obras existentes a causa de mal funcionamiento o fallos de obras de protección.	2	2	4	No se requieren	2	2	4
F.5	Costos no previstos debido a la necesidad de diseñar obras adicionales o rediseñar obras ya existentes a causa de un pobre mantenimiento.	3	2	6	Aplicar planes de mantenimiento preventivo	2	2	4
F.6	Daños a la infraestructura provocados por la colisión de vehículos de cualquier tipo	3	2	6	Rotulación. Concientización ciudadana. Instalación de cámaras de seguridad.	2	2	4
F.7	Daños a la infraestructura provocados por inseguridad social: vandalismo, conflictos armados, disturbios, terrorismo	3	2	6	Rotulación. Concientización ciudadana. Instalación de cámaras de seguridad.	2	2	4
F.8	Daños a la infraestructura provocados por la acumulación de desechos, contaminación, derrames tóxicos	1	3	3	No se requieren	1	3	3
F.9	Daños a la infraestructura provocados por incendio	2	2	4	No se requieren	2	2	4

CÓDIGO	AMENAZAS	RIESGO ACTUAL			ACCIONES DE RESPUESTA	RIESGO RESIDUAL		
		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo Actual		Amenaza	Vulnerabilidad	Riesgo residual
<b>G Riesgos del proceso constructivo de obras de protección o el mantenimiento</b>								
G.1	Daños a personas o animales debidos a la poca resistividad eléctrica del terreno ante la ocurrencia de descargas atmosféricas	1	2	2	No se requieren	1	2	2
G.2	Afectación a propiedades de terceros causadas por el manejo inapropiado de agua	3	2	6	Obras de control de escorrentía superficial	2	2	4
G.3	Afectación al terreno de terceros a causa de inestabilidad generada por la estructura o por las obras de protección a la misma	3	2	6	Evaluación detallada. Obras de estabilización con anclajes.	2	2	4
G.4	Daños a la infraestructura, caminos públicos o privados por causa de los procesos constructivos de las obras de protección	3	2	6	Plan de gestión y control de calidad durante la construcción.	2	2	4
G.5	Interrupción de servicios públicos por causa de los procesos constructivos de las obras de protección	3	2	6	Plan de gestión y control de calidad durante la construcción.	2	2	4
G.6	Lesiones o pérdidas humanas a terceros causadas por el proceso constructivo de las obras	2	2	4	No se requieren	2	2	4
G.7	Afectación a propiedades de terceros causadas por el manejo inapropiado del material de desecho y los sitios de escombrera	3	2	6	Plan de gestión y control de calidad durante la construcción.	2	2	4
G.8	Costos excesivos por no dar mantenimiento a las obras debido a la imposibilidad de acceder con equipo apropiado a los sitios	1	2	2	No se requieren	1	2	2
G.9	Costos no previstos debido a una pobre logística del proceso constructivo (materiales de construcción, de desecho, escombreras, instalaciones temporales, etc.)	1	2	2	No se requieren	1	2	2
G.10	Lesiones o pérdidas humanas a trabajadores causadas por el proceso constructivo de las obras	2	2	4	No se requieren	2	2	4
G.11	Costos excesivos por requerimientos especiales de proceso constructivo (uso de equipos especiales, limitaciones de acceso de equipos, tecnologías no disponibles, etc.)	1	2	2	No se requieren	1	2	2



*Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco*

---

## **12 Apéndice C: Investigación geotécnica**

---

*Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco*

San José, 10 de febrero del 2023.

Señores  
**GEOINTER COSTA RICA, S.A.**

Atn.: **Ing. Mariano Carazo Sánchez**



**PROYECTO:** "PANTALLAS ANCLADAS, SUELOS COSIDOS, MUROS DE RETENCION, ENTRE OTROS - CALLE LA CRUZADA, SALITRAL, SALITRAL, SANTA ANA, SAN JOSÉ"

Estimados señores:

Se presenta el informe del estudio geofísico-geotécnico y de análisis de estabilidad local de taludes, ubicado en el distrito Salitral, del cantón Santa Ana, en la provincia de San José, ya que se desea verificar la estabilidad local del sitio donde se han presentado problemas por deslizamientos.

Se nos solicitó determinar los lineamientos requeridos desde el punto de vista de la mecánica de suelos y analizar la estabilidad local del talud, para realizar el diseño estructural de las obras de contención por construir.

Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración, o reunión, que estimen conveniente.

Atentamente,

---

**Geól. Giorgi Sepp Villalobos Sánchez**  
Cédula: 7-0182-0894  
Número de colegiado: CGCR-418  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

---

**Ing. Claudio Eugenio Araya Mora,**  
**M.Eng**  
Cédula: 1-0969-0986  
Número de colegiado: CFIA IC-15375  
**GERENTE TÉCNICO DE LABORATORIO**

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109



## TABLA DE CONTENIDO

<b>CARTA DE PRESENTACIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>2</b>
<b>RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES TÉCNICAS:</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN:</b> .....	<b>4</b>
1.1. Objetivos del estudio: .....	4
1.2. Metodología aplicada:.....	4
1.3. Coordinación profesional:.....	13
<b>2. ASPECTOS GENERALES Y TRABAJO REALIZADO:</b> .....	<b>13</b>
2.1. Ubicación del Proyecto: .....	13
2.2. Trabajo de campo:.....	14
<b>3. ENTORNO GEOLÓGICO:</b> .....	<b>16</b>
3.1. Encuadre geológico Regional:.....	16
3.2. Encuadre geológico local:.....	18
3.3. Descripción de estructuras (Fallas).....	18
<b>4. RESULTADOS GEOFÍSICOS:</b> .....	<b>21</b>
4.1. Análisis geofísico: .....	21
<b>5. RESULTADOS GEOTECNICOS:</b> .....	<b>23</b>
5.1. Perfil estratigráfico del terreno:.....	23
5.2. Aguas subterráneas:.....	24
<b>6. EVALUACION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES GEOTECNICAS:</b> .....	<b>24</b>
6.1. Unidades geotécnicas: .....	24
6.2. Capacidad de soporte admisible neta del subsuelo:.....	25
6.3. Estabilidad local de taludes: .....	26
<b>7. RECOMENDACIONES:</b> .....	<b>26</b>
7.1. Cimentaciones de estructuras: .....	26
7.2. Conformación de taludes en corte y relleno: .....	26
7.3. Rellenos:.....	27
7.4. Fuerzas Laterales: (Muros de retención).....	27
7.5. Coeficiente sísmico:.....	30
<b>8. DISCUSION SOBRE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO:</b> .....	<b>31</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA:</b> .....	<b>32</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>35</b>
ANEXO A: Ubicación de Pruebas.....	36
ANEXO B: Resumen de perfil geofísico .....	38
ANEXO D: Hojas de perfiles de perforación .....	42
ANEXO F: Fotografías de las pruebas realizadas .....	45

## RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES TÉCNICAS:

Como conclusión general y de acuerdo con los resultados obtenidos de las dos perforaciones realizadas más los parámetros geofísicos obtenidos, se puede considerar que este terreno es apto para la construcción del proyecto en mención, pero se deberán seguir las recomendaciones brindadas en este informe, el cual se complementa como un proyecto geotécnicamente viable como conclusión del apartado 8 “Discusión sobre los grados de incertidumbre y alcance del estudio”.

Con respecto a la estratigrafía detectada en las perforaciones realizadas, se concluye que existe un relleno artificial heterogéneo de arcilla limo arenosa con piedras, lastre y contaminado con orgánico (Capa A), seguido de un suelo orgánico color café con piedras (Capa B). Debajo de estos continúa una arcilla limo arenosa color café a café claro con piedras (Capa C), seguida de acuerdo con la geofísica, por una roca fracturada y una roca sana.

Con respecto al análisis de estabilidad, el sector de carretera en estudio presenta un deslizamiento de aproximadamente 18 m de longitud en el talud que soporta la calle hacia la margen izquierda del río Uruca. Por lo tanto, con el fin de garantizar la estabilidad de la carretera se recomienda la implementación de alguna obra de estabilidad apoyada o anclada a los estratos naturales de sitio con capacidades iguales o mayores a 25 t/m<sup>2</sup> de capacidad soportante admisible, el cual deberá ser diseñado por un ingeniero civil con experiencia en estas obras según el modelo geotécnico de este informe (Ver sección 6.3).

Las fundaciones de las obras de estabilización por construir (pantallas ancladas, suelos cosidos, muros de retención, entre otras), deberán quedar empotrados en los estratos firmes de sitio de la capa 3, pudiendo usar 25 t/m<sup>2</sup> de capacidad de soporte admisible (75 t/m<sup>2</sup> a la falla) (ver sección 7.1).

Dado que existe la posibilidad que las condiciones encontradas varíen en otros puntos, se recomienda solicitar los servicios de un técnico en mecánica de suelos, para que pueda revisar los fondos de las excavaciones para las placas de eventuales obras de estabilización, para de esa forma verificar que se están apoyando en los estratos competentes. De encontrarse suelos distintos en algún sector, se deberán efectuar investigaciones adicionales de confirmación y la revisión profesional correspondiente.

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

## 1. INTRODUCCIÓN:

### 1.1. Objetivos del estudio:

- Determinar la estratigrafía y capacidad del subsuelo para apoyar la toma de decisiones sobre el proyecto.
- Analizar la estabilidad local del terreno con respecto a los accidentes topográficos presentes en el terreno donde se desarrollará el proyecto.
- Brindar recomendaciones en base a los diferentes problemas de aplicación a la ingeniería, en lo que se refiere a la construcción de obras civiles, principalmente las fundaciones y otros aspectos importantes.

### 1.2. Metodología aplicada:

#### **Prospección geofísica:**

La investigación geofísica consiste en la descripción de las condiciones geológicas regionales, la estratigrafía local del sitio haciendo una discriminación litológica de los materiales tanto en suelos como en rocas, y establecimiento del modelo geomecánica del sitio, mediante la ejecución de la técnica geofísica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), según lo indica la Norma ASTM D-6429-99 (Standard Guide for Selecting Geophysical Method).

La prueba de método geofísico MASW consiste en realizar un impacto (fuente) en superficie para generar un (1) tren de ondas superficiales llamadas Rayleigh que surgen de la interacción de múltiples reflexiones de las ondas P y SV. El registro de las velocidades de estas ondas superficiales se hace usando geófonos de baja frecuencia para así tener mejor detección de la propagación de este tipo de onda en los estratos superficiales (mejor resolución).

En un medio estratificado, la velocidad de propagación (velocidad de fase) de las ondas Rayleigh depende de su longitud de onda y frecuencia. Las ondas Rayleigh de baja frecuencia (longitud de onda larga) penetran más profundo que las ondas Rayleigh de frecuencias más altas (longitudes de onda más cortas), es decir se generan ondas con profundidad de penetración más superficial, que es lo que se desea al momento de emplear este método. Cabe destacar que el valor la velocidad de propagación de las ondas Rayleigh, es aproximadamente el 70% de la velocidad de ondas transversales tipo S, por lo que prácticamente se asume el valor obtenido de la onda de corte  $V_s$ .

Este método se fundamenta por medio de la Transformada de Fourier para obtener el espectro de potencia en el dominio de la frecuencia de las ondas superficiales generadas ante una solicitud sísmica, que, en este caso como se indicó anteriormente, fue con un golpe de mazo dado a una distancia en metros (m) (offset) del primer geófono receptor. Todo ello se hace afín de evaluar cómo se distribuye la energía en función de la frecuencia. De este modo, se determina la profundidad en cada contraste de la velocidad de onda S, asociado a un cambio litológico y/o al estado mecánico de los materiales del subsuelo (grado de compactación, ripabilidad del terreno) (IGC,2011). Es decir, se obtiene una curva de dispersión de la velocidad de fase versus la frecuencia, (Lentitud vs. Frecuencia), filtrándose solamente las ondas superficiales.

El gráfico generado representa una relación lineal y/o directamente proporcional entre la pendiente del espectro calculado y la profundidad del tope del cuerpo que origina la anomalía. De esta manera se obtiene un modelo de velocidades en función de la profundidad, posterior a la aplicación de un método inversión.

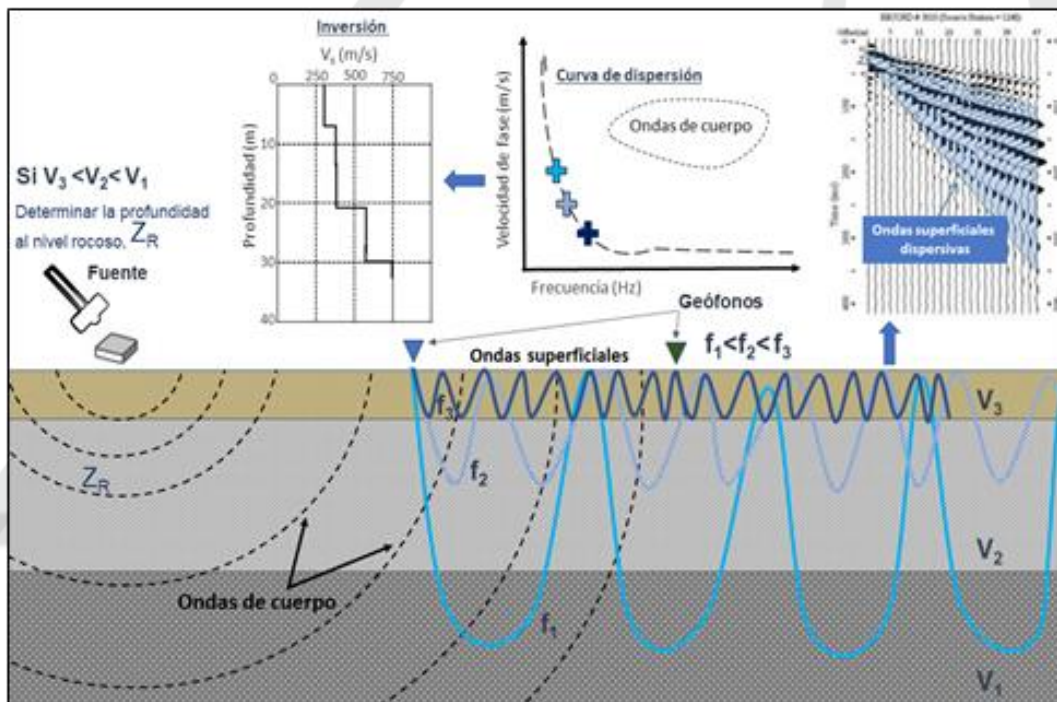


Figura 1.- Metodología MASW que utiliza las ondas superficiales generadas después de un impacto. (Modificado de Park et al., 2007).

Para llevar a cabo la adquisición de los datos, se empleó un (1) sismógrafo digital de 24 canales, modelo Geode, marca Geometrics, una (1) ristra de 24 geófonos de 4,5 Hz colocados a distancias convenientes para obtener una relación profundidad/resolución idónea para el objetivo del estudio, una (1) fuente generadora de impactos dotada de un dispositivo que marque el origen de tiempos, una (1) caja de interfaz de red (NIP: Network Interface Port), una (1) computadora portátil, y una (1) batería con su respectivo cable tipo "caimán".



El paquete computacional del sismógrafo utilizado incluye el software de adquisición Sismodule Controller. Este software de adquisición opera en la computadora portátil antes especificada, que permite la visualización y análisis en tiempo real de las señales sísmicas adquiridas. Para el procesamiento e interpretación de los datos se utilizó el software Surface Wave Analysis Wizard, también de Geometrics. Este software utiliza el método MASW para determinar el perfil de velocidad de las ondas de corte "Vs" y su espesor hasta la base del lecho rocoso, así como también, la continuidad lateral de las capas sísmicas.

## Relación $V_p/V_s$

Como la técnica de refracción estima el valor de la velocidad ondas longitudinales o compresionales P, existen muchos autores que han establecido una relación empírica entre la onda de compresión o primaria ( $V_p$ ), y la onda de corte o cizalla ( $V_s$ ); obteniendo varias tasas  $V_p/V_s$ , cuya diferenciación va a depender de las condiciones geológicas existentes, parámetros físicos establecidos y los equipos de medición utilizados.

Tomando en cuenta que Barton (2007) relaciona la calidad de las rocas, velocidad sísmica, atenuación y anisotropía, muestra la relación de la onda P y la onda S basada en trabajos de campo, utilizando la referencia de Sjøgren (1984). Entonces, considerando que la relación  $V_p/V_s$  depende de la relación de Poisson ( $\nu$ ) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu}}$$

Además, entendiendo que la relación de Poisson ( $\nu$ ) es una medida de la contracción lateral del material, es decir que, en el caso de materiales elásticos, esta relación varía entre 0 y 0,5; y como los líquidos no oponen resistencia a esfuerzo cortante,  $\mu = 0$ , entonces  $\nu = 1/2$ . Sjøgren (1984) presenta relaciones promedio  $V_p/V_s$  de 93 secciones de 5 (cinco) diferentes tipos roca de rocas ígneas y metamórficas, estableciendo que la relación  $V_p/V_s$  es de aproximadamente  $\sqrt{3}$  para (cero porosidad) rocas densas y masivas para las cuales  $\nu = 0,25$ . Sin embargo, en el caso de sedimentos no consolidados y materiales cercanos a la superficie, la relación  $V_p/V_s$  incluso puede alcanzar valores de 20 a 40, siendo la relación de Poisson ( $\nu$ ) comúnmente mayor que  $\nu = 0,45$ .

Para diferentes tipos de materiales, Salem (2000) encontró que primero los valores de  $\nu$  inferiores a 0,5 en suelos superficiales pueden indicar presencia de humus, sedimentos o suelos arcillosos; segundo, los valores alrededor de 0,1 en superficie pueden indicar saturación de aire o arenas de cuarzo puro; y por último, que el cociente de Poisson aumenta con la profundidad, lo que puede deberse a que los suelos y sedimentos cerca de la superficie son más jóvenes y más compresibles que los suelos a mayores profundidades, menos compresibles y más plásticos.

TIPO DE MATERIAL	RELACION DE POISSON, $\nu$
Materiales en la superficie con saturación de aire	0,1
Arcilla	0,15 – 0,5
Arena	0,3 - 0,4
Roca	0,15 – 0,25
Rocas muy blandas	0,45
Rocas muy duras	0,0 – 0,05
Sedimentos no consolidados y no saturados	0,31
Suelos Anisotrópicos	-1,0 – 0,5
Suelos superficiales con presencia de humus Sedimentos o Suelos Arcillosos	< 0,5

Tabla 1.- Tabla de valores representativos de la relación de Poisson ( $\nu$ ) según el tipo de material. (Fuente: Avalos, 2008)

Para el caso de Costa Rica, Rojas (2003) considera rangos en la velocidad de onda P, procede a tomar su valor promedio en estudios de refracción sísmica realizados por Protti (1980 y 1981) y Vásquez (1985), utilizados en investigaciones del mapa geológico de Costa Rica (criterios litológicos), para obtención de los valores de onda de velocidad de onda cortante ( $V_s$ ), y resistividad registrados en informes técnicos del SENARA. Por tanto, para tomar el valor correspondiente de velocidad de la onda S, se utilizó la siguiente relación que generalmente se aplica en sismología para roca:

$$V_p = \sqrt{3}V_s$$

Por lo anteriormente expuesto y considerando las referencias antes citadas convencionalmente este trabajo utilizará ( $V_p = \sqrt{3}V_s$ ); por lo que con la obtención de estos parámetros permitirá deducir la compacidad de los materiales, profundidad de los contactos, espesor de los estratos.

MATERIALES	VELOCIDAD DE ONDA P (m/s)
Agua	1430 – 1680
Aire	330
Arcilla arenosa semi-consolidada (Suelo arcilloso)	381-655
Arcilla saturada	910-2750
Arcilla, arenisca arcillosa	1798
Arena	1402-2560
Arena arcillosa	975-1158
Arena cementada	853-975
Arena húmeda o saturada (incluyendo a la movediza)	610-1830
Arenas compactas	1500-5400
Arenas y gravas sueltas	400-900
Arenas y gravas sueltas saturadas	1500-1800
Sedimentos no consolidados	300-2500
Areniscas y lutitas	1830-4500
Suelo superficial húmedo, lodoso	305-396
Suelo superficial ligero y seco	183-274
Tierra suelta	250-400
Basalto inalterado	2600-4300
Caliza	2134-6100
Escombros (Ripio) o grava	600-793
Esquisto, arcilla esquistosa (shale)	800-4270
Granito	4575-5800
Granito inalterado	4800-6700
Ígnea alterada y Roca metamórfica	450-3700

Tabla 2.- Tabla de Valores representativos de la velocidad de Ondas “P” para varios materiales. (Fuente: Avalos, 2008)

MATERIALES	VELOCIDAD DE ONDA S (m/s)
Agua	0
Arenas compactas	800 – 2000
Areniscas	2150
Basalto	3200
Calizas	1350
Carbón	900
Depósitos de arcilla	900
Granito	3000
Gravas saturadas (Limpia)	300
Gravas saturadas (Sucia)	600
Gravas y arenas densas	150 – 200
Limos	2000 – 3000
Roca alterada (Impermeabilizada)	600-900
Rocas Ígneas	3500 – 4000
Rocas Metamórficas	2500 – 3500
Rocas Sedimentarias	1500 – 3000
Sedimentos no Consolidados	100 – 500

Tabla 3.- Tabla de Valores típicos o representativos de la velocidad de Ondas “S” para varios materiales. (Fuente: Avalos, 2008)

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

Densidad y módulos elásticos de los materiales:

Aristizábal et. al (2017) afirma que los valores de las velocidades de onda P y onda S, se les puede asociar mediante la teoría de la elasticidad a parámetros físicos como el módulo dinámico de rigidez al cortante (G), módulo de Young o dinámico de elasticidad (E) y relación de Poisson ( $\nu$ ) de los materiales (Kramer, 1996).

Por lo que para la estimación de cada módulo se debe considerar la estimación de las densidades de los materiales en estudio. Para su cálculo, se hizo uso de la fórmula expuesta por Dobrin (1976), a través de estudios de la relación entre la velocidad de propagación de ondas P y la densidad de sedimentos saturados realizados por Gardner et al. (1974). A continuación, se muestra la fórmula utilizada:

$$\rho = 0,23(V_p)^{0,25}$$

Donde:

$\rho$ : densidad en  $\text{gr/cm}^3$ ,

$V_p$ : velocidad de propagación de ondas P en  $\text{pies/s}$ .

MATERIALES	$\rho$ ( $\text{t/m}^3$ )
Arena Seca	1,6-2,0
Agua	1,0
Arcilla	1,3-1,8
Arenisca	1,9-2,7
Basalto inalterado	2,2-3,0
Dolomita y caliza	2,5-3,0
Granito inalterado	2,6-3,1

Tabla 4.- Tabla de Valores típicos o representativos de la densidad ( $\rho$ ) para varios materiales

La determinación de los módulos elásticos dinámicos de los estratos que constituyen el subsuelo se realizó a partir de la teoría de la elasticidad; en función de las velocidades de propagación de las ondas sísmicas longitudinal ( $V_p$ ) y transversal o de cortante ( $V_s$ ) que se propagan a través de un medio y/o material.

Las ecuaciones de los módulos elásticos que se ocupan en este estudio (G, E,  $\nu$ ) se especifican a continuación. Entre tanto, el módulo dinámico de rigidez al cortante (G), definido porque establece la relación entre la tensión y la deformación de corte, es decir es una medida de la dureza del material. Por su parte, el módulo de Young o dinámico de elasticidad (E), determina la cantidad de esfuerzo por unidad de deformación y la relación de Poisson ( $\nu$ ), como ya se dijo es una medida de la contracción lateral del material.

$$G = \rho V_s^2$$

$$E = 2(1 + \nu) G$$

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

El método proporciona información de los espesores y velocidades de los estratos del subsuelo. Esto puede resultar de utilidad principalmente en geología aplicada a obras civiles (Geotecnia) tales como en la construcción de edificios, puentes, represas, carreteras, taludes en los que interesa la profundidad de la roca inalterada, el grado de meteorización del recubrimiento, localizar materiales de construcción y grado de fractura o de facilidad de fracturación de la roca y evaluar el riesgo sísmico.

## Correlación de ripabilidad – excavabilidad

Según Bonilla (2012), la velocidad de las ondas P permite determinar el grado de fracturación de la roca. De acuerdo con Helfrich (1971), existe una relación entre la velocidad de las ondas P y el índice de fracturación RQD (Rock Quality Designation):

NIVEL DE FACTURACIÓN	V <sub>p</sub> (m/s)	RQD
Roca sin facturación	>4500	>95%
Roca con pocas fracturas	4000-4500	95-75%
Roca fracturada en grado medio	3500-4000	75-50%
Roca con numerosas fracturas	3000-3500	50-25%
Roca fuertemente fracturada	<3000	<25%

Tabla 5.- Tabla de Relación entre V<sub>p</sub> y RQD

Esta relación se obtiene de la velocidad V<sub>p</sub> obtenida en campo y la velocidad V<sub>p</sub> obtenida mediante el laboratorio. Esta expresión más general, debida a Deere et al. (1967) (Tomado de Barton, 2007) se especifica a continuación:

$$RQD = 100 \left( \frac{V_p}{V_{p \text{ Laboratorio}}} \right)$$

Donde:

- V<sub>p</sub> = Velocidad de las Ondas P medidas mediante geofísica de campo
- V<sub>p\_Laboratorio</sub> = Velocidad de las ondas P medidas mediante ensayos de laboratorio en testigos de sondeo.

Bajo el término de ripabilidad se refiere a un criterio cualitativo que mide la aptitud de un macizo rocoso para ser quebrantado por medio de un ripper arrastrado por un bull dozer. Coon & Merritt (1970) determinan un valor denominado Índice de Velocidad Relativa (V<sub>p</sub>/ V<sub>p\_Laboratorio</sub>) para verificar la calidad del macizo rocoso. Para cada roca se definen los márgenes de velocidad sísmica para los que la roca es ripable o no ripable.

ÍNDICE DE VELOCIDAD RELATIVA (V <sub>p</sub> / V <sub>p_Laboratorio</sub> )	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO
< 0,2	Muy mala
0,2-0,4	Mala
0,4-0,6	Media
0,6-0,8	Buena
>0,8	Muy Buena

Tabla 6.- Tabla de Relación entre V<sub>p</sub> y RQD

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

Según López et. al (2008), de acuerdo con el fabricante de bulldozers Caterpillar, para un modelo D-9, la facilidad de ripado se determinaría de acuerdo con el siguiente criterio, en función de  $V_p$ , velocidad de las ondas sísmicas primarias:

$V_p$ (m/s)	CALIDAD DE MATERIAL
Menor a 600	Materiales Suelos
600-1300	Ripado Fácil
1300-1700	Ripado Normal
1700-1850	Ripado Duro
Mayores a 1850	No son Ripables

Tabla 7.- Tabla de Márgenes de velocidad sísmica para la definición de la ripabilidad en rocas

Perforación penetración estándar:

Las perforaciones realizadas se llevaron a cabo mediante el sistema de penetración estándar (norma internacional ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16\*), llevando el registro continuo del valor de "N", tomando muestras cada 0,45 m; para luego ser llevadas al laboratorio.

El sistema de penetración estándar, SPT (Standard Penetration Test), consiste en recolectar muestras alteradas de los estratos del subsuelo de sitio, por medio de liners de bronce, los cuales se introducen en un muestreador de acero, el mismo se adjunta a una barra de acero y la misma es hincada por medio de un mazo de 140 lb de peso, que cae desde una altura de 0,76 m; extrayendo las muestras de suelo cada 0,45 m; en 3 tramos de 0,15 m cada uno, y contando el número de golpes de cada tramo, para luego obtener el valor de  $N_{spt}$ , que es la suma del número de golpes de los dos últimos tramos y de esa forma relacionar este valor del  $N_{spt}$  y las características de resistencia de los suelos y sus propiedades físicas.

Cuando los suelos son muy duros y se necesita perforar hasta una determinada profundidad, en lugar de usar el sistema de penetración estándar, se utilizan los trépanos de punta de acero (cono dinámico), para llegar a las profundidades necesarias, verificar la continuidad de soporte de los estratos, y traspasar estratos que contienen piedras pequeñas, para luego continuar con el sistema de perforación estándar, en algunos casos cuando el trépano de punta no sirve para traspasar los estratos duros, se utilizan perforaciones a rotación con diamante.

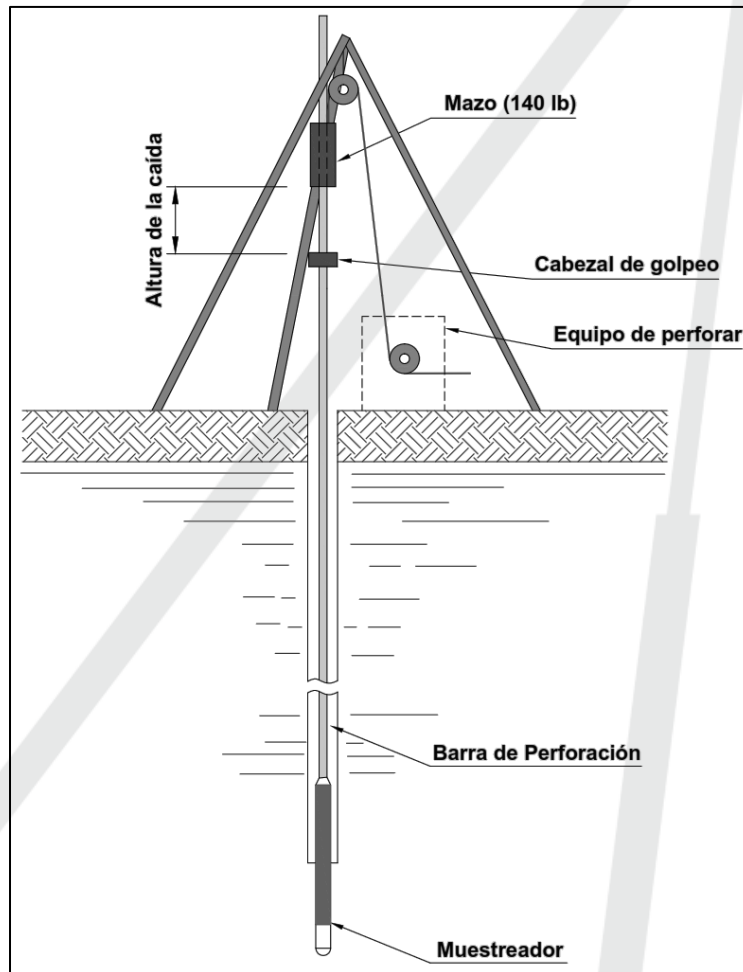


Figura 2. Esquema de la Prueba de Penetración Estándar (SPT).

Los liners de bronce conservan la humedad natural de las muestras extraídas, hasta que son llevadas al laboratorio y se sacan de los mismos, para practicar ensayos tales, como:

- Compresión inconfiada (cohesión) (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33\*\*)
- Densidad seca (ASTM D-7263\*\*)
- Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06\*)
- Límites de Atterberg (ASTM D-4318, Instrucción de ensayo IE-15\*)
- Análisis granulométrico (ASTM D-1140\*\*)
- Contenido de orgánico (ASTM D-2974\*\*)

Ensayos que son realizados de acuerdo con las normas internacionales vigentes a la fecha, ASTM y AASHTO.

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

4010 2273

info@cyt.cr

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

### 1.3. Coordinación profesional:

Nuestra empresa fue contratada por el Ing. Mariano Carazo Sánchez, en representación de la empresa GEOINTER COSTA RICA SOCIEDAD ANONIMA, para efectuar un estudio geológico - geotécnico, según la cotización # 2022-10-4268 (Orden de trabajo #13512). Dicha contratación fue aprobada en fecha 13 de enero del 2023, y fue entonces cuando se procedió a programar los trabajos de campo, laboratorio y oficina.

Los trabajos de campo de geofísica fueron realizados el día 17 de enero del 2023, por la Ingeniera Mónica Guevara González, con la ayuda de un asistente técnico de campo. Los trabajos de campo de perforación fueron realizados el día 17 de enero del año en curso por el Técnico Luis Aguilar, bajo la dirección del Supervisor General de Perforación, Rafael Rojas. El programa de laboratorio fue ejecutado por los Técnicos Daniel Agüero y Bryan Salazar, bajo la dirección del Ing. Carlos Murillo, Supervisor Técnico de Laboratorio.

La preparación de este informe quedó a cargo de la Geóloga María Rodríguez bajo la supervisión del Geólogo. Giorgi Villalobos; el Ing. Eugenio Araya, Gerente Técnico de Laboratorio; y el Gerente General de la empresa.

## 2. ASPECTOS GENERALES Y TRABAJO REALIZADO:

### 2.1. Ubicación del Proyecto:

Estos trabajos fueron efectuados en Calle La Cruzada en el distrito de Salitral, cantón de Santa Ana y provincia de San José, en un sector con problemas de inestabilidad en el terreno.

La ubicación aproximada por medio del sistema de Coordenadas CRTM-05 en el punto: Latitud: 1094309,9 N / Longitud 480873,3 E.

El sitio de estudio corresponde a calle pública de topografía plana con un talud que desciende hacia el este en la margen izquierda del río Uruca con una moderada a alta pendiente. Existen edificaciones en las colindancias del sitio de estudio.

Nos solicitaron determinar la estratigrafía y capacidad del subsuelo para apoyar la toma de decisiones sobre el proyecto.

Nuestros servicios profesionales han sido efectuados de acuerdo con principios y prácticas de Ingeniería aceptados actualmente.

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)



4010 2273



info@cyt.cr

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109





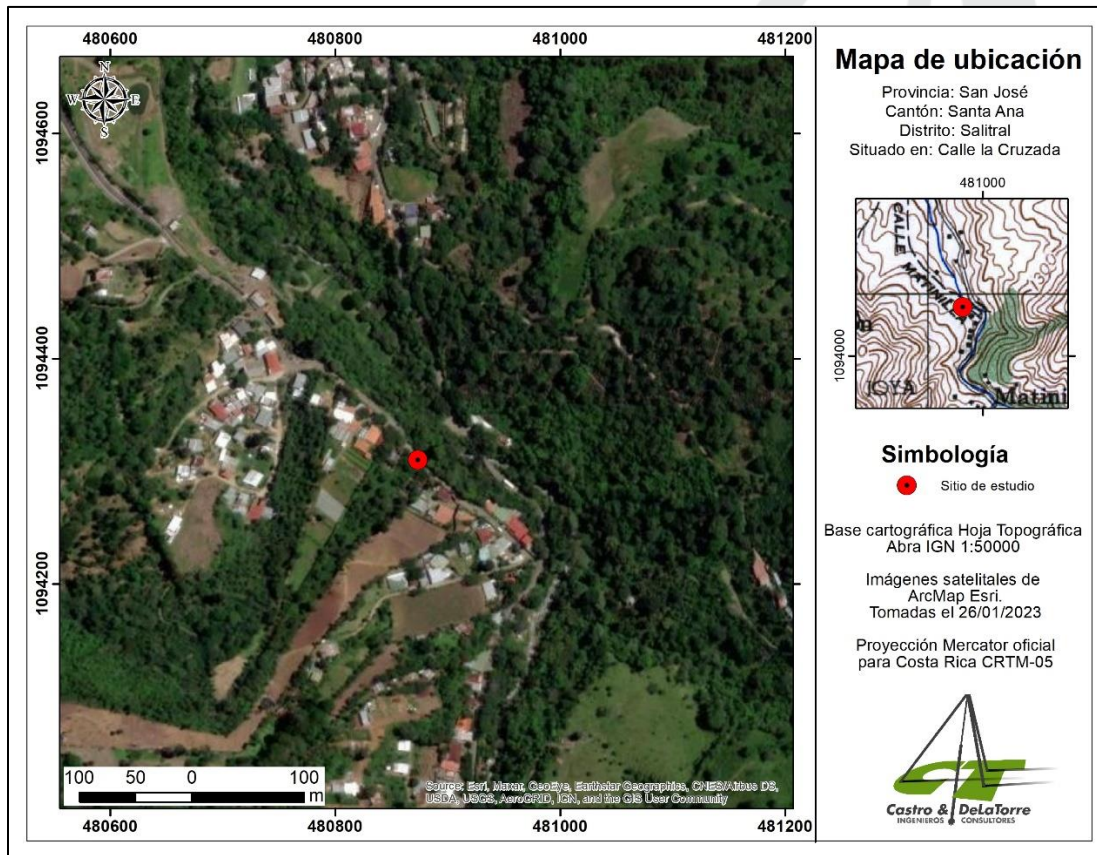


Figura 2.- Ubicación del Proyecto

## 2.2. Trabajo de campo:

Nos solicitaron efectuar dos perforaciones mediante la metodología de perforación a percusión estándar, SPT (norma internacional ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16\*), tomando muestras alteradas a cada 0,45 m de profundidad, las cuales fueron ubicadas en sitio según información aportada por el cliente.

Las profundidades alcanzadas en cada sondeo exploratorio se presentan en la siguiente tabla y su ubicación puede observarse en el Anexo A.

Sondeo	Profundidad neta alcanzada (m)
P-1	1,80 (RM)
P-2	1,46 (RM)

Tabla 8.- Sondeos exploratorios realizados y su profundidad respectiva.

RM: Rebote de mazo.

A las muestras obtenidas del proceso de perforación se les procedió a realizar los siguientes ensayos.

- Compresión inconfiada (cohesión) (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33\*\*)
- Densidad seca (ASTM D-7263\*\*)
- Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06\*)

Los resultados obtenidos de las muestras ensayadas fueron analizados en el departamento de ingeniería de acuerdo con técnicas adecuadas, y procediendo a la redacción del presente informe.

Además, se realizó un (1) perfil sísmico MASW-1 de 115 m de longitud aproximadamente en dirección NW-SE, y la separación de los geófonos fue de 5 m.

Sitio	Longitud (m)	Coordenadas CRTM 05			
		Inicio		Fin	
		X	Y	X	Y
MASW-1	115	480839,0	1094358,4	480917,6	1094276,6

Tabla 9.- Coordenadas de ubicación de inicio y fin del perfil de refacción sísmica

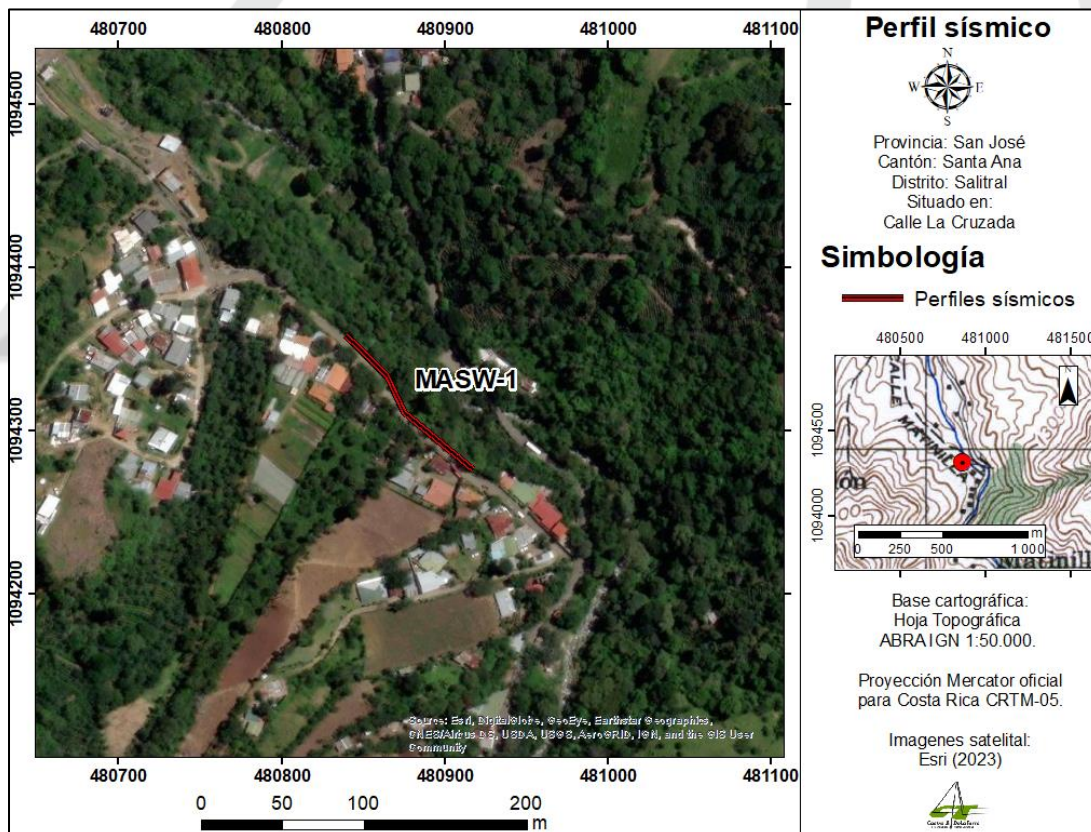


Figura 3.- Ubicación del perfil sísmico realizado

### 3. ENTORNO GEOLÓGICO:

#### 3.1. Encuadre geológico Regional:

Según Denyer y Arias (1990), en el sitio de estudio se encuentran rocas sedimentarias de origen continental con aporte volcánico, rocas volcánicas de la actividad reciente y materiales aluviales, donde para el sitio de estudio predomina la Formación Pacacua.

Cada unidad geológica presente en el mapa geológico regional se describe con mayor detalle a continuación.

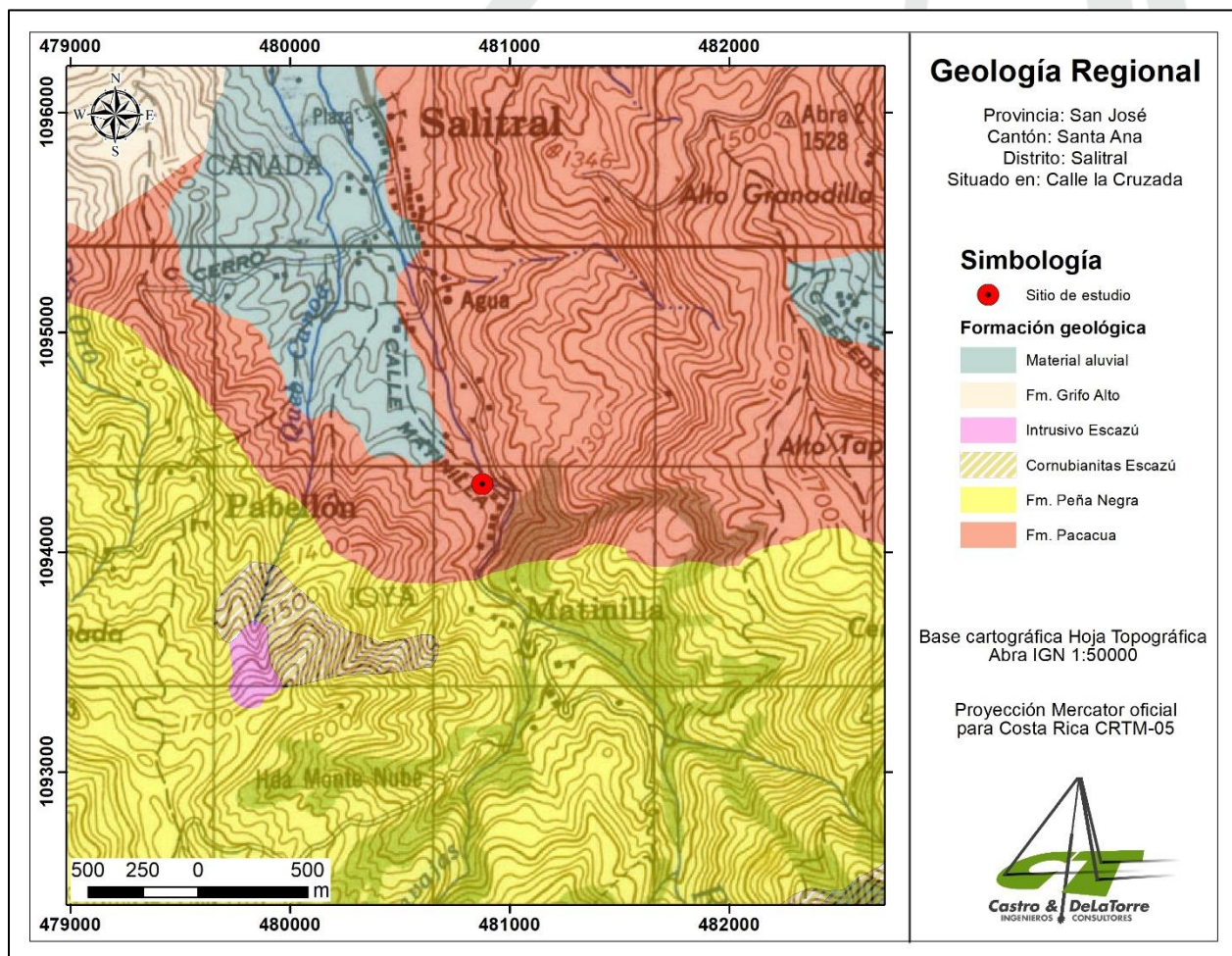


Figura 4.- Mapa geológico Regional parte de la Hoja topográfica Abra

## Formación Pacacua

La Formación Pacacua se trata de una secuencia de volcanoclásticas de granulometría diversa dispuestas como estratificaciones decimétricas hasta métricas de areniscas volcanoclásticas finas, gruesas y guijarrosas; además se asocian con esta formación tobas, tobitas y brechas finas y gruesas. Los colores predominantes de estas rocas son rojos y morados, aunque el verde es llamativo apareciendo aisladamente. En algunos sectores fuera del área de estudio se observan troncos fósiles.

## Formación Peña Negra

Se identifica dentro de la Fm. Peña Negra la unidad inferior constituida por una secuencia de areniscas medias y finas pardas, con estratos dm. La sección media son lutitas y areniscas finas negras en estratos cm y dm, con niveles concrecionales. En la unidad superior se presentan intercalaciones guijarrosas y estratos calizos aislados, las areniscas se vuelven pardas de grano medio a grueso, mal estratificadas (dm o m).

Sobreyace concordantemente y en contacto gradual a las Brechas verdes Coyolar, o bien en forma concordante pero brusca a la Fm. Pacacua. Es lateral a la Fm. San Miguel. Sobreyacida y equivalente lateral no diferenciado de la Fm. Coris y la Fm. Turrúcares. Está sobreyacida en discordancia y discontinuidad litológica por las formaciones Grifo Alto, Lavas Intracañón, Depósitos de Avalancha Ardiente.

Se presentan estructuras sedimentarias como laminación paralela, de carga, concreciones, laminación inclinada y rizaduras de oleaje. La paleontología encontrada en esta Formación se ve dominada por foraminíferos, radiolarios, bivalvos, gasterópodos, erizos, pez fósil y dientes de tiburón.

## Intrusivo y Cornubianitas de Escazú

El Intrusivo de Escazú representa el límite NW de los cuerpos plutónicos de la Cordillera de Talamanca. Las cornubianitas se describen conjuntamente debido a su relación genética directa. Las litologías asociadas corresponden con monzonitas, granodioritas, monzogabros, monzodioritas, gabros y sienitas. Las corneanas son metamorfismo de la Fm. Peña Negra. Su color varía de negro a gris claro.

Estas rocas intruyen principalmente las formaciones Peña Negra y Coris y levemente a la Fm. La Cruz. Las cornubianitas se encuentran tanto en posición lateral como superior.

## Formación Grifo Alto

Compuesta por lavas andesíticas. Normalmente son rocas de colores grises. Pueden encontrarse algunos basaltos y dacitas. Los flujos piroclásticos a veces son gruesos, conteniendo bloques lávicos y escoriáceos dm, sobreyaciendo discordantemente a la Fm. La Cruz y Fm. Coris y además sobreyacida por la lavas Intracañón (Fm. Colima) y los Depósitos de Avalancha Ardiente (Fm. Tiribí).

## Depósitos aluviales y coluviales

Formados por los depósitos de los principales ríos que recorren la zona. Sobresalen los abanicos coluvio-aluviales bordeando groseramente los cerros de Escazú. Dentro de los cuales destaca el formado por el río Uruca y sobre el cual se asienta la población de Santa Ana.

### 3.2. Encuadre geológico local:

En el sitio de estudio se aprecia aflorando las rocas volcánicas de la Fm. Pacacua, específicamente unas areniscas finas de color moraduzco muy fracturadas y con pátinas de meteorización, sobre estas rocas se observan suelos residuales cohesivos de poco espesor.



Figura 6.- Afloramiento de areniscas de la Fm. Pacacua en el sitio de estudio.

### 3.3. Descripción de estructuras (Fallas)

El presente apartado fue elaborado a partir de investigación bibliográfica sobre fallas geológicas existentes en las cercanías del terreno de estudio, esto en un radio de 5 Km del sitio de interés. El radio máximo se define en función del posible del riesgo sísmico existente que puede afectar a las estructuras que se van a construir.

El Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR) constituye un sistema ancho de fallas y pliegues activos, el cual define el límite oeste entre la placa Caribe y la microplaca Panamá. La zona se caracteriza por presentar eventos sísmicos originados hacia la costa pacífica, por el choque de placas Coco -Caribe.

### *Sistema de falla Frailes - Pirrís – Pangolín*

Se identifica al sistema de falla Frailes - Pirrís – Pangolín. Se ubica en la provincia de San José, se inicia al suroeste de la ciudad de San José y termina en San Carlos de Dota, a unos 4 km al sur de Copey. En Denyer et al. (2003), se puede observar en las hojas de Quepos (falla Pirrís-Pangolín) y hoja San José (falla Frailes). En Montero et al. (1998) al extremo noroeste de este sistema de falla se le conocía como Falla Higuito.

Tiene una extensión de 55 km. Si se toma en cuenta una longitud de 55 km, al aplicar las relaciones empíricas de Wells & Coppersmith (1994), se obtiene un potencial sísmico capaz de de 7,0 Mw. Montero et al. (1998) estiman una velocidad de movimiento (deslizamiento), de 1,6 mm/año.

Falla	Tipo (según literatura)	Referencia	Cercanía al terreno de estudio (Km)
Sistema de falla Frailes - Pirrís – Pangolín	Dextral con componente normal y presenta un rumbo general noroeste-sureste	(Denyer et al., 2003; Montero et al, 1998).	~3,0

Tabla 10.- Lista de fallas comprobadas ubicadas en los alrededores

### *Eventos sísmicos:*

El cantón de Santa Ana, localizado al sur del Valle Central, está cerca de una de las fuentes sísmicas más importantes de los últimos años y responsable del evento del 22 de diciembre de 1990 (sismos de Puriscal y Piedras Negras). Además, la actividad generada hacia la costa Pacífica, a causa del choque de las placas Coco- Caribe, podrían causar daño significativo sin llegar a grados extremos.

Algunos efectos que podría generar un acontecimiento sísmico superficial y cercano al cantón de Santa Ana son:

- Amplificaciones sísmicas hacia el norte del cantón, donde el tipo de suelo favorece esta clase de proceso (aluviones y suelos volcánicos poco compactos). Las poblaciones más vulnerables serían, Santa Ana y alrededores, Piedrades, Río Oro y Lindora, donde es posible se presenten fracturas de terreno.
- Deslizamientos en aquellos lugares donde la topografía y el tipo de roca favorecen la generación de los sismos. La región más vulnerable es hacia el sur donde prevalecen suelos arenosos, volcánicos muy alterados, fracturados y de fuerte pendiente.

La siguiente figura muestra a las estructuras descritas y su distribución en las cercanías del área de estudio.

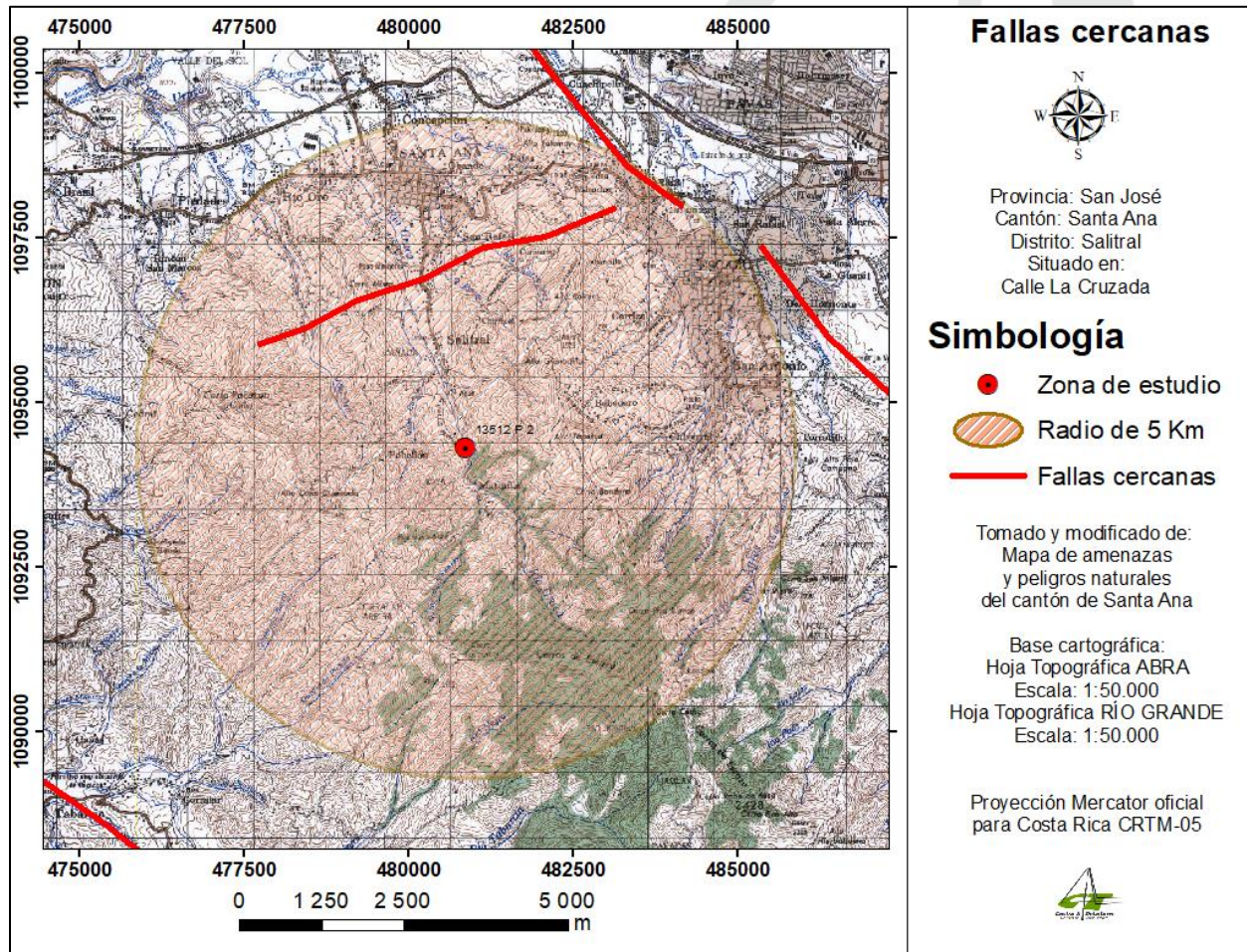


Figura 5.- Mapa de fallas cercanas para el sitio de estudio.

Con el análisis realizado en el sitio de estudio derivado de la visita de campo y la información bibliográfica, se estima la traza de la Falla Frailes a 3 Km aprox del sitio de estudio (estructura geológica activa más cercana). Sin embargo, por lo anteriormente expuesto, no se descartan daños ante la ocurrencia de un evento geológico cercano. Las condiciones geológicas de las rocas existentes, que se encuentran muy erosionadas, meteorizadas y fracturadas y la morfología del lugar propician a que el área se encuentre vulnerable a sufrir deslizamientos de tierras; por tanto, se recomienda seguir los lineamientos estipulados en el Código Sísmico de Costa Rica, con respecto al diseño de la futura obra por construir.

## 4. RESULTADOS GEOFÍSICOS:

### 4.1. Análisis geofísico:

Los resultados del estudio geofísico demuestran la presencia de cinco (5) capas bien definidas en el sitio de estudio cuyas características petrofísicas se modifican en espesor y velocidad. Esto se evidencia con los valores promedio de velocidad secundaria ( $V_s$ ) y distintos espesores obtenidos para las diferentes capas encontradas en el sitio.

Perfil sísmico	Capas	$V_s$ (m/s)	Profundidad (m)		Correlación Geológica
			Mínimo	Máximo	
MASW-1	1	618-623	0,10	2,15	Relleno y/o Suelos residuales cohesivos de duros a rígidos
	2	304-356	0,10	6,50	Suelos residuales cohesivos con bloques
	3	574-641	0,10	20,80	Roca meteorizada
	4	708-843	5,80	26,60	Roca fracturada
	5	977-1314	>19		Roca sana

Tabla 11.- Resumen de velocidades y espesores obtenidos de cada perfil sísmico realizado

Los resultados para el perfil sísmico (MASW-1) muestran los valores de velocidad secundaria ( $V_s$ ) (m/s) y las profundidades obtenidas en metros (m) por capa.

Se tienen un relleno y/o suelos residuales cohesivos de duros a rígidos relacionados a la capa 1, con un espesor variable entre 0,10 m y 2,15 m con una velocidad de onda secundaria desde 618 m/s hasta 623 m/s, seguido de la capa 2, asociada a suelos residuales cohesivos blandos con bloques donde se da el rebote de las perforaciones, con una velocidad desde 304 m/s hasta 356 m/s, entre 0,10 m y 6,50 m de profundidad. Se observa que la capa 2 consiste en una transición a la roca que consiste de bloques de gran tamaño en una matriz limo arenosa, siendo de menor resistencia y que podría estar ocasionando una inestabilidad en pendientes altas por no soportar el peso superior de los materiales.

A partir de la capa 3 inicia el manto rocoso presente en la zona de estudio, que aparece en distintos estados de alteración, meteorización, erosión y fracturamiento, asociado a una secuencia sedimentaria rocosa alterada conformada por brechas y areniscas erosionadas y muy fracturadas de color morado de la Formación Pacacua, esta formación rocosa aflora hacia el NW a lo largo del perfil. De hecho, la capa 3 se asocia con una roca meteorizada, definida así por sus características litológicas presentes en la zona de estudio y el rango de velocidad arrojado en el análisis sísmico, considerando velocidades desde 574 m/s hasta 641 m/s a partir de 0,10 m hasta 20,80 m.

Luego continua la capa 4 interpretada como una roca fracturada, velocidades desde 708 m/s hasta 843 m/s; mostrándose entre 5,80 m y 26,60 m de profundidad; y la capa 5 se interpreta como una roca sana, con velocidades desde 977 m/s hasta 1314 m/s; mostrándose a partir de 19 m de profundidad.



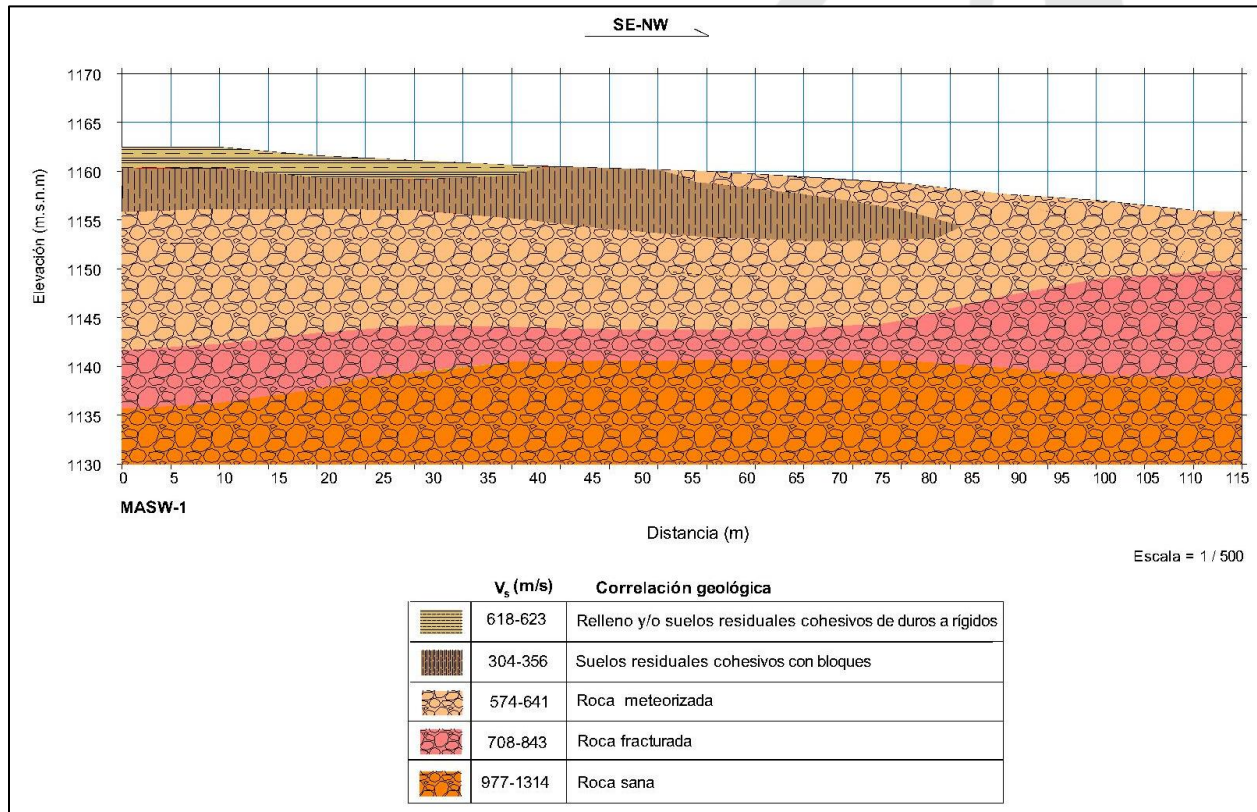


Figura 6.- Perfil sísmico MASW-1 realizado en la propiedad

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de la velocidad de onda cortante y los módulos elásticos por capa.

Estrato	Profundidad (m)		$V_p$ promedio (Km/s)	$V_s$ (m/s)	Densidad (t/m <sup>3</sup> )	Módulo G (MPa)	Módulo E (MPa)
	Mínimo	Máximo					
1	0,10	2,15	1,07	618-623	1,77	682,41	1706,02
2	0,10	6,50	0,57	304-356	1,51	166,26	415,66
3	0,10	20,80	1,05	574-641	1,76	653,43	1633,57
4	5,80	26,60	1,34	708-843	1,87	1139,00	2847,51
5	>19		1,98	977-1314,	2,06	2793,29	6983,23

Tabla 12.- Velocidades de onda cortante y módulos elásticos del perfil sísmico

De acuerdo con las relaciones matemáticas antes descritas, se muestran los resultados estimados de la velocidad de onda  $V_{s30}$  y el período natural,  $T_n$  en el perfil (MASW-1) dando en promedio para  $V_{s30}$  un valor de 664,6 m/s y para un  $T_n$  igual a 0,20 s; por lo que se clasifica el sitio como tipo  $S_2$ , según los rangos establecidos por el Código Sísmico de Costa Rica.

Perfil	$V_{s30}$ (m/s)	$T_n$ (s)
MASW-1	664,6	0,20

Tabla 13.- Tabla de velocidad de onda  $V_{s30}$  y el período natural,  $T_n$  estimados

Con respecto a la ripabilidad – excavabilidad de los materiales, el rango de las velocidades de onda P obtenido para el perfil MASW-1, para suelos es variable comenzando con 1,07 Km/s y finalizando con 0,57 Km/s y para roca inicia desde 1,05 Km/s hasta 1,98 Km/s; por lo que, según los rangos de velocidad sísmica para la definición de la ripabilidad en rocas, cuya calidad de los materiales inicia con ripado fácil, pasando por materiales sueltos, hasta según la siguiente tabla:

Capa	$V_p$ (m/s)	CALIDAD DE MATERIAL
1	1070	Ripado fácil
2	570	Materiales sueltos
3	1050	Ripado fácil
4	1340	Ripado normal
5	1980	No son ripables

Tabla 14.- Tabla márgenes de velocidad sísmica para la definición de la ripabilidad

## 5. RESULTADOS GEOTECNICOS:

### 5.1. Perfil estratigráfico del terreno:

En general el perfil de suelo detectado en las dos perforaciones realizadas con el sistema de rotación con broca de diamante, y su clasificación por consistencia de acuerdo con Terzaghi y Peck<sup>1</sup>, es el siguiente:

CAPA	Perforación	Profundidad, m	Descripción
A	P-1	0,00 a 0,45	Relleno artificial heterogéneo de arcilla limo arenosa de color café con piedras, lastre y contaminado con orgánico.
	P-2	0,00 a 0,18	

CAPA	Perforación	Profundidad, m	Descripción
B	P-1	0,45 a 0,90	Suelo orgánico de color café con piedras.
	P-2	0,18 a 0,50	

CAPA	Perforación	Profundidad, m	Descripción
C	P-1	0,90 a 1,80	Arcilla limo arenosa de color café a café claro con piedras, de consistencia rígida.
	P-2	0,50 a 1,46	

<sup>1</sup> Terzaghi, Karl y Ralph B. Peck. "Soil mechanics in engineering practice". Wiley, New York.

## 5.2. Aguas subterráneas:

Durante el proceso de perforación no se detectó presencia del nivel de agua, a las profundidades investigadas, y a partir de los niveles actuales de terreno, en esta época del año.

Las condiciones de cada perforación se muestran en la siguiente tabla:

Sondeo	Profundidad Nivel de agua (m)
P-1	No se detectó
P-2	No se detectó

Tabla 15.- Tabla de profundidad del nivel de agua

Sin embargo, si fuera un parámetro de relevancia para el proyecto el conocer si existen flujos de entrada lenta a los huecos de las perforaciones; a su solicitud podríamos efectuar sondeos adicionales para insertar piezómetros, para posteriormente efectuar mediciones periódicas tanto en verano como en el invierno.

## 6. EVALUACION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES GEOTECNICAS:

En este apartado se describen los diferentes análisis realizados tales como: análisis de estabilidad de taludes, sistema de cimentación, nivel de desplante, capacidad de soporte admisible, asentamientos y otros asuntos asociados con el diseño y construcción de las obras de cimentación.

### 6.1. Unidades geotécnicas:

De acuerdo con las perforaciones realizadas y el perfil geofísico realizado, se establecen las siguientes unidades geotécnicas con sus respectivos parámetros para el análisis de estabilidad:

Unidad Geotécnica	Descripción	Peso unitario húmedo, $\gamma_w$ t/m <sup>3</sup>	Cohesión, C, kg/cm <sup>2</sup>	Ángulo de fricción interna, $\theta$ (°)
UG-1	Suelos cohesivos y relleno (capa 1, que se correlaciona con las capas A y C)	1,77	0,80	20
UG-2	Suelos residuales cohesivos con bloques (capa 2)	1,51	0,65	20
UG-3	Roca meteorizada (capa 3)	1,76	-	38
UG-4	Roca fracturada (capa 4)	1,87	-	50
UG-5	Roca sana (capa 5)	2,06	-	56

Tabla 16.- Parámetros geotécnicos recomendados

## 6.2. Capacidad de soporte admisible neta del subsuelo:

Se realizó un análisis de capacidad de soporte admisible neta de los estratos del subsuelo de las dos perforaciones realizadas, para lo cual utilizamos una fórmula para suelos cohesivos por el método de Meyerhof, por medio del valor de cohesión, correlacionándola además con el valor de  $N_{spt}$ . Para los estratos rocosos naturales y firmes de sitio se ha utilizado la fórmula que establece el Código de Cimentaciones de Costa Rica vigente, para lo cual se ha utilizado el software RocLab para obtener los parámetros geotécnicos de dichos estratos (ver anexo C).

Mientras que para la capa 2 de la sísmica se utiliza la fórmula de Naranjo & Dranichnikov (2012), que recopilan un número amplio de datos de diferentes estudios a través del tiempo y llegan a una expresión de correlación entre la  $V_p$  y el  $N_{spt}$  aplicable a todo material. De este valor de  $N_{spt}$  se obtiene de manera convencional la capacidad de soporte admisible neta:

$$N_{spt} = 0,0280 * V_p - 2,4992$$

Los valores de capacidad presentados en la siguiente tabla indican la conveniencia de transmitir los esfuerzos de las obras por construir, a los estratos naturales de sitio, pudiendo usar cimentaciones convencionales.

Unidad geotécnica	Capacidad de soporte admisible, $Q_{adm}$ (t/m <sup>2</sup> ) <sup>(a)</sup>
UG-1	20 <sup>(b)(c)</sup>
UG-2	13
UG-3	25
UG-4	30
UG-5	40

<sup>(a)</sup> Estos valores de capacidad soportante admisible presentan un factor de seguridad (F.S) de 3,0 contra la falla por cortante del suelo y garantiza que bajo la presión de fundación recomendada los asentamientos no serán mayores que los máximos permisibles.

<sup>(b)</sup> Dado que este estrato está constituido en parte por un relleno artificial heterogéneo de arcilla limo arenosa, no se recomienda apoyar cimentaciones sobre el mismo, debido al riesgo de altos asentamientos en las obras por construir.

<sup>(c)</sup> Debido que debajo de este estrato aparecen suelos más suaves, de utilizar dicha capacidad se deberá efectuar un análisis de distribución de bulbos de presión de la posición y área de las placas al estrato inferior más débil. De dicho análisis se obtendrá la capacidad de soporte admisible a utilizar en el diseño estructural.

Tabla 17.- Tabla de capacidad soportante contra nivel de desplante

### 6.3. Estabilidad local de taludes:

El sector de carretera en estudio presenta un deslizamiento de aproximadamente 18 m de longitud en el talud que soporta la calle hacia la margen izquierda del río Uruca. Por lo tanto, con el fin de garantizar la estabilidad de la carretera se recomienda la implementación de alguna obra de estabilización apoyada o anclada a los estratos naturales de sitio con capacidades iguales o mayores a  $25 \text{ t/m}^2$  de capacidad soportante admisible, el cual deberá ser diseñado por un ingeniero civil con experiencia en estas obras según el modelo geotécnico de este informe.

***Además, para ayudar a mantener una adecuada estabilidad, será de suma importancia darle un excelente manejo a las aguas pluviales producto de precipitaciones y escorrentías de la ruta, por medio del encauzamiento de canales revestidos con concreto y drenajes, para que las aguas puedan fluir lo más rápidamente hacia las cunetas y contracunetas, evitando con ello filtraciones que pudieran ablandar el subsuelo, y mantener una adecuada vegetación o hidrosiembra sobre las laderas, para con ello ayudar a disminuir los riesgos por erosión e inestabilidad, ya que uno de los detonantes normalmente es un mal manejo de las aguas.***

Se deberá estar vigilante que, en los terrenos aledaños, no se altere la condición natural del terreno, ya que ello podría iniciar un proceso de movimientos. En todo caso, de efectuarse cortes fuertes en dicho terreno o en las colindancias, se recomienda confinarlos por medio de muros de retención o similar.

## 7. RECOMENDACIONES:

### 7.1. Cimentaciones de estructuras:

Las fundaciones de las obras de estabilización por construir (pantallas ancladas, suelos cosidos, muros de retención, entre otras), deberán quedar empotrados en los estratos firmes de sitio de la capa UG-3, pudiendo usar  $25 \text{ t/m}^2$  de capacidad de soporte admisible ( $75 \text{ t/m}^2$  a la falla).

### 7.2. Conformación de taludes en corte y relleno:

Para conformar taludes de poca altura, lo más estables posibles en cortes, se recomienda acostar los estratos a una inclinación máxima de 2,0 : 1,0 (Horizontal : Vertical), debiendo evitar por completo el escurrimiento e infiltración de aguas pluviales y servidas, ya que ello ocasionaría erosión, y por ende desestabilizaría los taludes.

Si por motivo de espacio no pudieran conformar los taludes con las gradientes recomendadas, estos se podrían proteger total o parcialmente su altura, por medio de muros de retención, o una combinación muro-talud.

### 7.3. Rellenos:

Para conformar rellenos de buena calidad, se recomienda remover por completo el estrato de relleno artificial heterogéneo de arcilla limo arenosa y el estrato de suelo orgánico natural (capas A y B) de baja calidad, el cual tiene 0,90 m y 0,50 m de espesor en los sectores de P-1 a P-2 respectivamente, para luego banquear el suelo natural de sitio, para evitar conformar rellenos sobre planos inclinados de falla. Los suelos naturales del sitio se podrían usar para conformar rellenos en las épocas de verano, que es cuando se puede lograr control de la humedad óptima para compactarse en capas no mayores a 0,20 m al 95% del Proctor estándar.

Si se efectúan rellenos cuando las condiciones del climatológicas sean severas, se tendrían que usar materiales granulares (lastres o gravas) ya que con éstos se logran humedades adecuadas de compactación con mayor facilidad que con los suelos cohesivos.

Si requieren apoyar cimentaciones sobre rellenos artificiales, se recomienda efectuar un estudio de suelos con perforaciones complementarias y ensayos de consolidación, una vez conformado dicho relleno, para de esa forma cuantificar la capacidad de soporte admisible del mismo y el grado de asentamientos, considerando su estado saturado.

Ítem	Especificación
Límite líquido	30% máximo
Índice plástico	<4
Espesor de capas	Máximo 30 cm
Granulometría	
Tamaño de malla	% pasando
75 mm (3")	100
25 mm (1")	70 – 100
4,75 mm (# 4)	30 – 70
0,075 mm (# 200)	4 – 12

Tabla 18.- Tabla de especificaciones de material granular<sup>2</sup>

### 7.4. Fuerzas Laterales: (Muros de retención)

Para mejorar el contacto vertical suelo muro se propone colocar en el paramento interno del muro 0,30 m de espesor de una piedra triturada, la que, si se le deja una adecuada salida al agua, podrá aliviar eventuales presiones hidrostáticas. Así, para el cálculo del empuje lateral de los suelos, contra muros de retención, usando la teoría de Rankine, se pueden usar los siguientes parámetros:

<sup>2</sup> Tomado y Modificado de: "Apartado 704.07 del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes, CR-2020".

## Unidad geotécnica UG-1

<b>Peso unitario húmedo:</b>	1,77 t/m <sup>3</sup>
<b>Ángulo de fricción interna a futuro estimado:</b>	20°
<b>Coeficiente de presión activa, K<sub>A</sub>:</b>	0,49
<b>Coeficiente de presión pasiva, K<sub>P</sub>:</b>	2,04
<b>Coeficiente de fricción suelo-placa:</b>	0,35
Valor de cohesión a futuro nulo, para el empuje lateral.	
<i>Se recomienda construir un drenaje en el paramento interno de los muros, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas.</i>	
<i>Los cimientos de los muros colocados en un plano horizontal del terreno deberán estar apoyados en los estratos naturales de sitio de 25 t/m<sup>2</sup>.</i>	

## Unidad geotécnica UG-2

<b>Peso unitario húmedo:</b>	1,51 t/m <sup>3</sup>
<b>Ángulo de fricción interna a futuro estimado:</b>	20°
<b>Coeficiente de presión activa, K<sub>A</sub>:</b>	0,49
<b>Coeficiente de presión pasiva, K<sub>P</sub>:</b>	2,04
<b>Coeficiente de fricción suelo-placa:</b>	0,35
Valor de cohesión a futuro nulo, para el empuje lateral.	
<i>Se recomienda construir un drenaje en el paramento interno de los muros, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas.</i>	
<i>Los cimientos de los muros colocados en un plano horizontal del terreno deberán estar apoyados en los estratos naturales de sitio de 25 t/m<sup>2</sup>.</i>	

## Unidad geotécnica UG-3

<b>Peso unitario húmedo:</b>	1,76 t/m <sup>3</sup>
<b>Ángulo de fricción interna a futuro estimado:</b>	38°
<b>Coeficiente de presión activa, K<sub>A</sub>:</b>	0,24
<b>Coeficiente de presión pasiva, K<sub>P</sub>:</b>	4,20
<b>Coeficiente de fricción suelo-placa:</b>	0,45
Valor de cohesión a futuro nulo, para el empuje lateral.	
<i>Se recomienda construir un drenaje en el paramento interno de los muros, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas.</i>	
<i>Los cimientos de los muros colocados en un plano horizontal del terreno deberán estar apoyados en los estratos naturales de sitio de 25 t/m<sup>2</sup>.</i>	

## Unidad geotécnica UG-4

<b>Peso unitario húmedo:</b>	1,87 t/m <sup>3</sup>
<b>Ángulo de fricción interna a futuro estimado:</b>	50°
<b>Coeficiente de presión activa, K<sub>A</sub>:</b>	0,13
<b>Coeficiente de presión pasiva, K<sub>P</sub>:</b>	7,55
<b>Coeficiente de fricción suelo-placa:</b>	0,60
Valor de cohesión a futuro nulo, para el empuje lateral.	
<i>Se recomienda construir un drenaje en el paramento interno de los muros, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas.</i>	
<i>Los cimientos de los muros colocados en un plano horizontal del terreno deberán estar apoyados en los estratos naturales de sitio de 25 t/m<sup>2</sup>.</i>	

## Unidad geotécnica UG-5

<b>Peso unitario húmedo:</b>	2,06 t/m <sup>3</sup>
<b>Ángulo de fricción interna a futuro estimado:</b>	56°
<b>Coeficiente de presión activa, K<sub>A</sub>:</b>	0,09
<b>Coeficiente de presión pasiva, K<sub>P</sub>:</b>	10,70
<b>Coeficiente de fricción suelo-placa:</b>	0,60
Valor de cohesión a futuro nulo, para el empuje lateral.	
<i>Se recomienda construir un drenaje en el paramento interno de los muros, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas.</i>	
<i>Los cimientos de los muros colocados en un plano horizontal del terreno deberán estar apoyados en los estratos naturales de sitio de 25 t/m<sup>2</sup>.</i>	

## Relleno de material granular compactado al 95% St:

<b>Peso unitario húmedo estimado:</b>	2,00 t/m <sup>3</sup>
<b>Ángulo de fricción interna a futuro estimado:</b>	30°
<b>Coeficiente de presión activa, K<sub>A</sub>:</b>	0,33
<b>Coeficiente de presión pasiva, K<sub>P</sub>:</b>	3,00
Valor de cohesión a futuro nulo, para el empuje lateral	
<i>Se recomienda construir un drenaje en el paramento interno de los muros, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas.</i>	



## 7.5. Coeficiente sísmico:

Para determinar el coeficiente sísmico a utilizar en el diseño de la estructura por construir y de acuerdo con el capítulo 2 (secciones 2.1 y 2.2) y al capítulo 5, del Código Sísmico de Costa Rica 2010, el proyecto se ubica en la **zona sísmica III** y los suelos de sitio clasifican como **Tipo S<sub>2</sub>**, por lo que se deberá de utilizar para el factor espectral dinámico (FED) la **Figura 5.6** (ver Figura 10 de este informe).

El valor de aceleración pico efectiva de diseño para un periodo de retorno de 475 años para la zona en estudio es **aef = 0,33**.

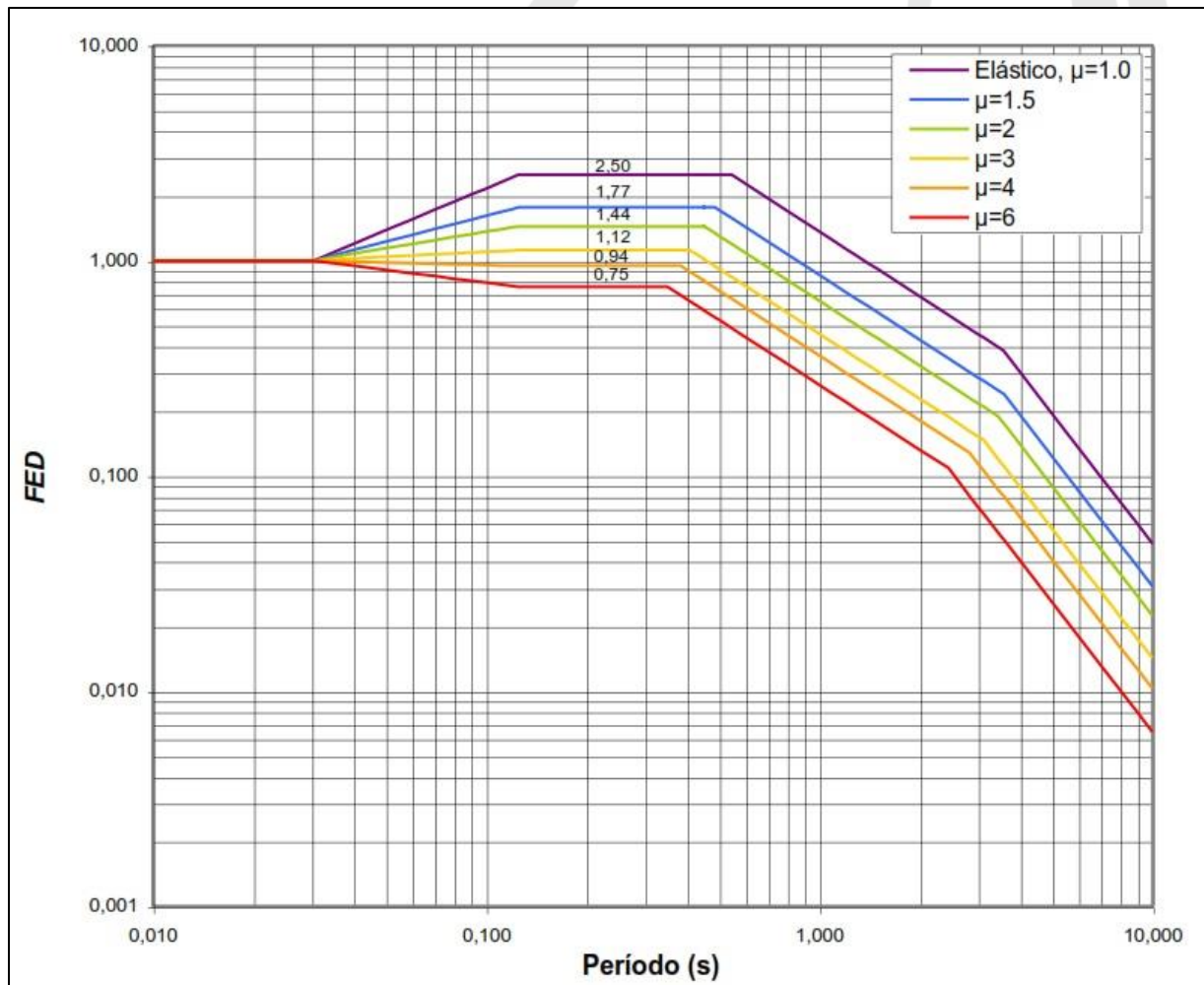


Figura 7.- Factor espectral dinámico, FED para sitios Tipo S<sub>2</sub> en Zona III

## 8. DISCUSION SOBRE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO:

Dado que existe la posibilidad que las condiciones encontradas varíen en otros puntos, se recomienda solicitar los servicios de un técnico en mecánica de suelos, para que pueda revisar los fondos de las excavaciones para las placas de eventuales obras de estabilización, para de esa forma verificar que se están apoyando en los estratos competentes. De encontrarse suelos distintos en algún sector, se deberán efectuar investigaciones adicionales de confirmación y la revisión profesional correspondiente.

*Cualquier situación no contemplada en este informe y que se presente en la etapa constructiva se nos deberá consultar al respecto, esto por cuanto por la naturaleza de los ensayos (puntuales) no se puede predecir con absoluta certeza las condiciones generales del suelo, sin embargo, se debe decir, que no existen incertidumbres geotécnicas conocidas que permanezcan como no resueltas, que hayan permanecido sin atención técnica o que hubiesen requerido ensayos adicionales.*

Se deberá evitar que los suelos superficiales y de los fondos de excavaciones, sufran saturación, resecamiento, descompresión, o remoldeo, ya que produciría pérdida de la condición natural del mismo. En el caso de las excavaciones para las placas de eventuales obras, sugerimos que una vez que se haya efectuado cada excavación de placa, se coloque de inmediato un sello de concreto.

Para las excavaciones profundas en dicho terreno, se recomienda proteger las paredes, ello principalmente para evitar derrumbes y deslizamientos de suelo que producen lamentables riesgos laborales e inestabilizan las áreas circundantes.

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

## 9. BIBLIOGRAFIA:

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Código Sísmico de Costa Rica. Primera Edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 2011.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Código Geotécnico de Taludes y Laderas de Costa Rica. Primera Edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 2015.

George B. Sowers, George F. Sowers. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Primera Edición. Editorial Limusa-Wiley S.A., Mexico D.F., 1972.

Donald P. Coduto. Foundation Design: Principles and Practices. Editorial Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, United States of America, 1994.

Asociación Costarricense de Geotecnia. Código de Cimentaciones de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 2009.

Wayne C. Teng. Foundation Design. Editorial Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, United States of America, 1962.

Joseph E. Bowles. Foundation Analysis and Design. Fourth Edition. Editorial McGraw-Hill, Inc. New York, United States of America, 1988.

ARISTIZÁBAL A., J. A., MENDOZA ALFONSO, NÉSTOR A., 2017: "Obtención de propiedades mecánicas a partir de la relación Vp/Vs para depósitos superficiales de ceniza volcánica en Manizales Colombia", Revista Espacio Vol. 38 (Nº 32) Año 2017. Pág. 22

ARROYO, I., 2001: "Sismicidad y Neotectónica en la región de influencia del proyecto Boruca: hacia una mejor definición sismogénica del Sureste de Costa Rica".- 162 págs. Univ. de Costa Rica, San José [Tesis de Lic.]..

ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE GEOTECNIA, 2009: "Código de cimentaciones de Costa Rica". Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

ASTM DESIGNATION D5777, 1995: "Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pa.

ASTM D5878, 2008: "Standard guides for using rock-mass classification systems for engineering", ASTM Int. West Conshohocken, PA, pp. 1-30.

ASTM DESIGNATION D6429-99, 1995: "Standard guide for selecting geophysical method", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pa.

AVALOS, J. M., MEJIA, J. A., VEGA, N., 2008: "Aplicación del método de refracción sísmica para la determinación de velocidades de ondas p", Universidad de El Salvador, tesis de grado para optar al título de: ingeniero civil, ciudad universitaria, marzo de 2008

BARTON, N. 2007: "Rock Quality, Seismic Velocity, Attenuation and Anisotropy". Taylor & Francis, London & Netherlands, 6 p

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

## Inf. # 2023-02-1082. Pág. 33 de 48

- BIENIAWSKI, Z.T., 1973: "Engineering classification of jointed rock masses". Civil Engineer in South Africa, 15(12), pp 335-343.
- BIENIAWSKI, Z.T. (ED.), 1976: "Exploration for rock engineering: Proceedings of the Symposium on Exploration for rock engineering", Johannesburg, Balkema, 1, pp 97-106.
- BONILLA, M., 2012: "Modelo geofísico mediante el uso del método de refracción sísmica del área comprendida por los sitios de Presa Electriona y Belén", Heredia, Costa Rica. Trabajo especial de grado de la Universidad de Licenciado en Geología.
- COLEGIO FEDERADO DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS DE COSTA RICA, 2011. "Código Sísmico de Costa Rica". Primera Edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- COON, R. F. y MERRITT, A. H., 1970: "Determination of the in situ modulus of deformation of rock ASTM special technical publication 477" (pp. 154-173): American Society for testing and materials.
- DEERE, D.U., HENDRON, A.J., PATTON, F.D. & CORDING, E.J., 1967: "Design of surface and near-surface construction". In: Rock. Failure and Breakage of Rock, Fairhurst, C. (Ed.): 237-302. New York: Society of Mining Engineers of AIME.
- DENGO, G., 1962: "Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica". - 112 págs. IGN, San José.
- DENYER, P., & ALVARADO. G., 2007: "Mapa geológico de Costa Rica. – Escala 1: 400000", Librería Francesa, San José.
- DOBRIN, M., 1976: "Introduction to geophysical prospecting", McGraw Hill, New York, 485 p.
- GARDNER, G.H.F., GARDNER, L.W. AND GREGORY, A.R., 1974: "Formation velocity and density: the diagnostic basis for stratigraphic traps". Geophysics, 39: 770-780.
- HELFRICH, H. K., 1971: "Mapping of rock mass strength by the seismic refraction method". IVA-rapport 38, Stocjholm.
- INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA, 2011: "Catalan seismic network. international federation of digital seismograph networks other/seismic network". doi:10.7914/SN/CA.
- KRAMER, S. L., 1996: "Geotechnical earthquake engineering". Prentice-Hall, Inc.
- LOPEZ, J., MEJIA J., 2008: "Aplicación del método de refracción sísmica para la determinación de velocidades de ondas P" Trabajo especial de grado de la Universidad de El Salvador para optar al título de Ingeniero civil.
- PARK, C. B., R. D. MILLER, J. H. XIA, AND J. IVANOV, 2007: "Multichannel analysis of surface waves (MASW)--active and passive methods". The Leading Edge, 26, 60-64.
- PROGRAMA DE INGENIERIA SISMICA, LANAMME / E.C.G., U.C.R: "Capítulo VI, Análisis de la información obtenida de la Ampliación de la señal sísmica, 6-17 p
- PROTTI, R., 1980: "Prospección geofísica por sísmica de refracción en la cuenca del río Andamojo, Santa Cruz, Guanacaste, con fines hidrogeológicos", 38 págs. Informe téc.133, SENAS (SENARA).

PROTTI, R., 1981: "Estudio hidrogeológico con fines de riego en la margen derecha del río Tempisque", – 47 págs. Informe téc. 152 de geofísica (más anexo). Departamento de Hidrogeología, SENAS (SENARA).

ROJAS, M., 2003: "Consideraciones sobre amplificación sísmica en depósitos aluviales, caso cuenca del tempisque, Costa Rica" Instituto Costarricense de Electricidad. Revista Geológica de América Central, 28: 109-123, 2003.

ROMERO, M., CRAGNO, A., SCHMITZ, M., AMBROSIO, R., 2006: "Caracterización de suelos con métodos geofísicos en la Guaira, Macuto, Caraballeda y Tanaguarena, estado Vargas, Venezuela", Vol. 31 222-236 p

SALEM, H.S., 2000: "Poisson's ratio and porosity of surface soils and shallow sediments, determined from seismic compressional and shear wave velocities", Geotech 50:461 463.

SJØGREN, B., 1984: "Shallow Refraction Seismics", London, Chapman & Hall. 268 p.

VÁSQUEZ, C., 1985: "Zonificación hidrogeológica por métodos geofísicos de las Cooperativas del Río Las Palmas", – 32 págs. Informe téc. 158 (Dirección de Aguas Subterráneas y Estudios Básicos, Departamento de Hidrogeología). SENARA

#### Referencias:

\* Ensayo Acreditado.

\*\* Ensayo No Acreditado.

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109



ANEXOS

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109



## ANEXO A: Ubicación de Pruebas

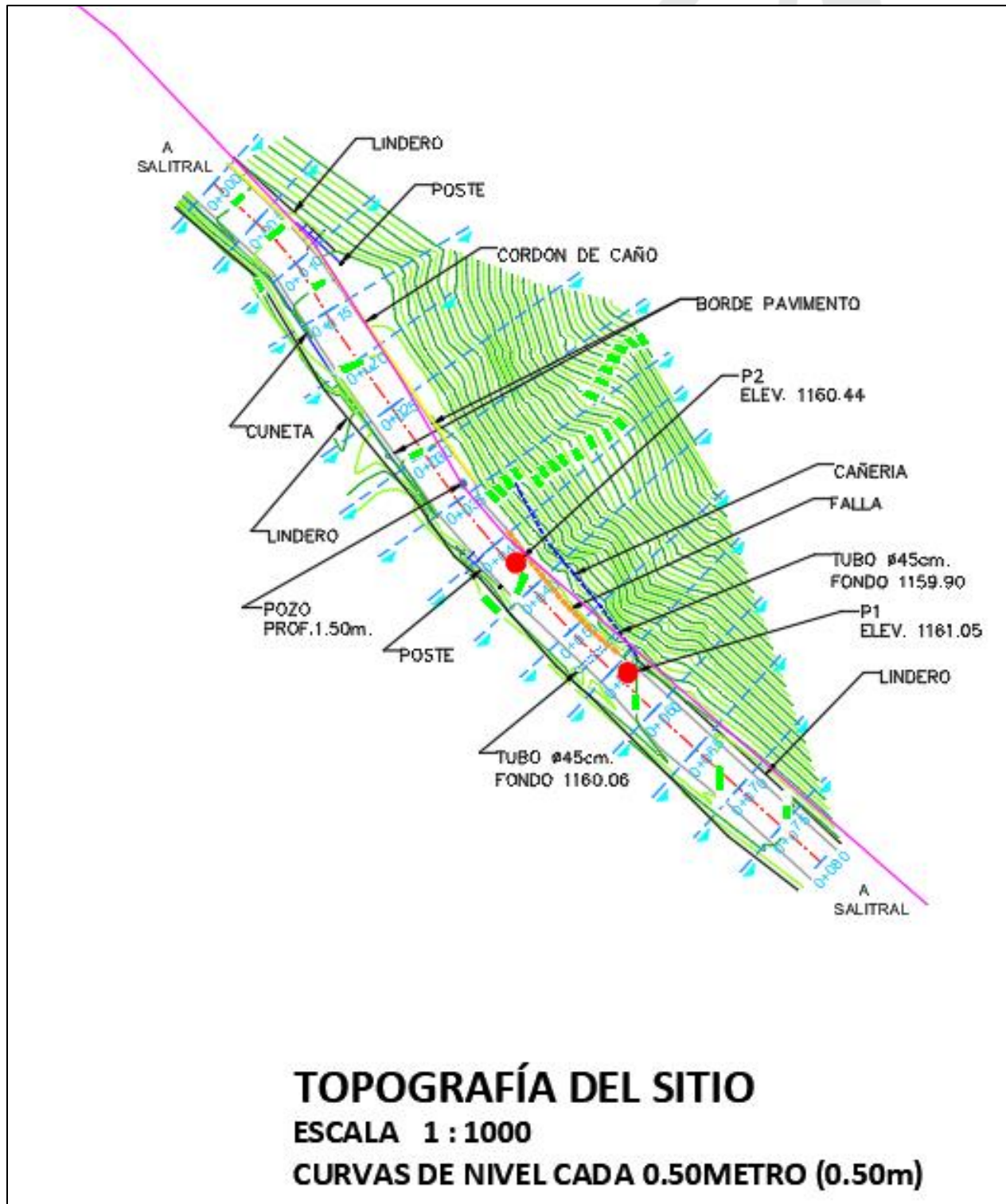
[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109





[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

4010 2273

info@cyt.cr

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109





## ANEXO B: Resumen de perfil geofísico y memorias de cálculo de RocLab

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

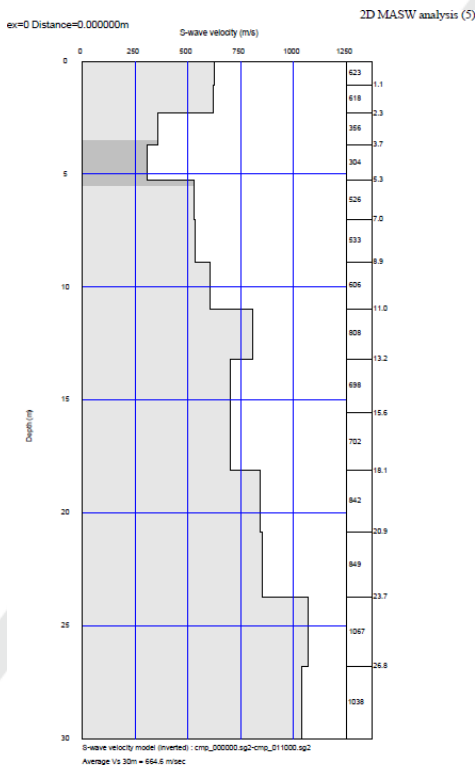
  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

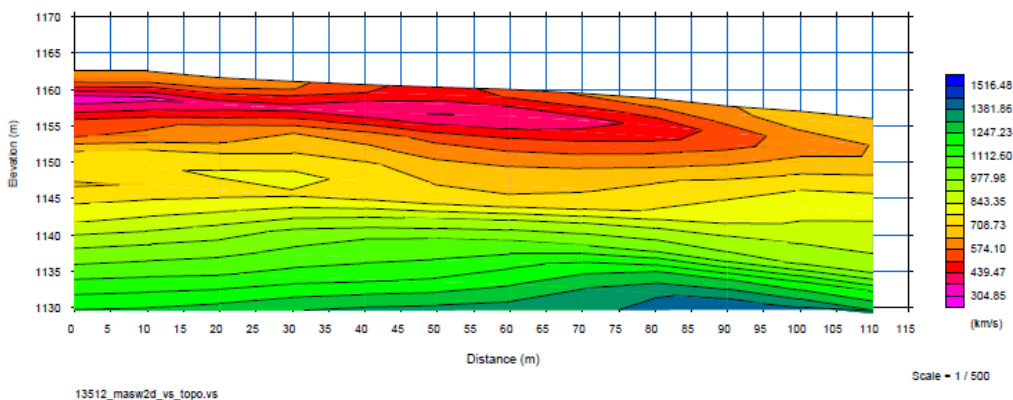
500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109



## Perfil geofísico MASW-1



Perfil estratigráfico promedio de las velocidades obtenidas del procesamiento de los datos geofísicos

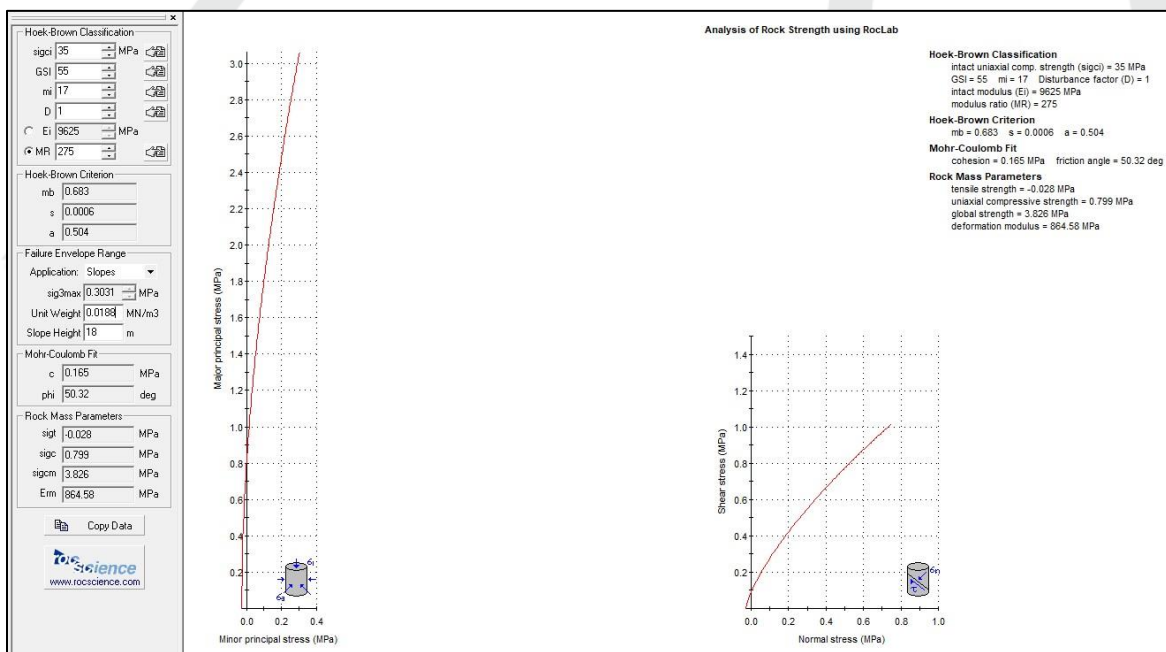
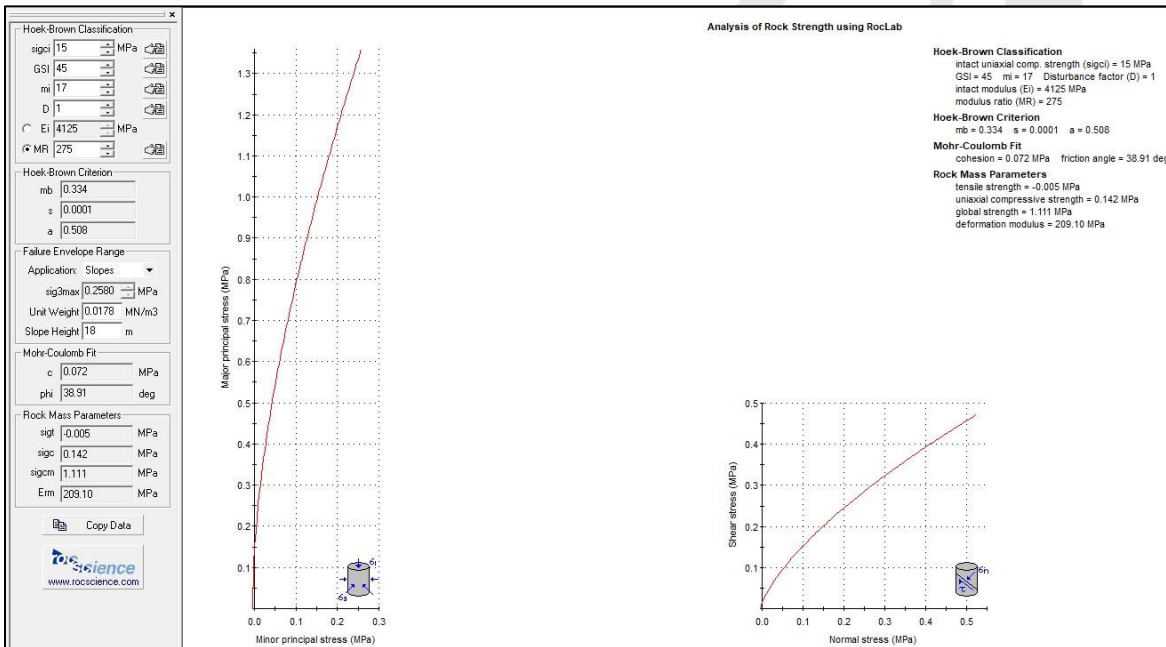


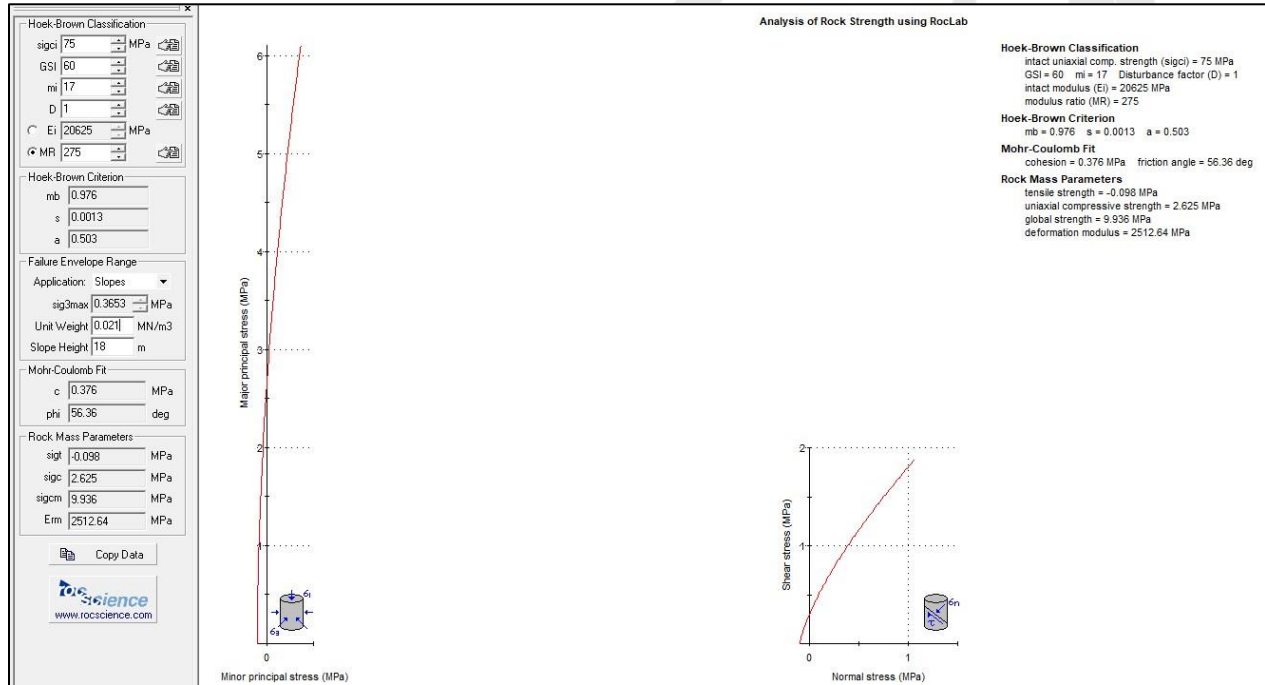
Modelo de velocidades 2D obtenido del procesamiento de los datos geofísicos

### Nota:

La delimitación e interpretación de los espesores de las capas sísmicas en el modelo 2D se realiza a través de la correlación del promedio de los perfiles estratigráficos obtenidos del procesamiento e interpretación de los datos geofísicos y la información geológica existente.

## Memorias de cálculo de RocLab





## ANEXO D: Hojas de perfiles de perforación


[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109



PERFORACION: <b>P-1</b>		PROYECTO: MURO DE CONTENCIÓN - CALLE LA CRUZADA		
PROF. TOTAL: <b>1.80 m</b>		UBICACIÓN: SALITRAL, SANTA ANA, SAN JOSE.		
NIVEL DEL TERRENO: NIVEL ACTUAL		SISTEMA DE PERFORACION: PERCUSIÓN ESTANDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)		
ORDEN DE TRABAJO: <b>13512</b>		PIEZOMETRO: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>		
FECHA DE INICIO: 17/1/2023		# INFORME: <b>2023-02-1082</b>		
FECHA DE FINALIZACIÓN: 17/1/2023		FECHA: 24/1/2023		
PERFORADOR: LUIS AGUILAR		PREPARADO POR: MARIA RODRIGUEZ		
DESCRITO POR: BRYAN SALAZAR		OBSERVACIONES:		
OBSERVACIONES:		HOJA: 1		


INTERVALOS (m)	M#	Tipo de Perf.	Nspt					N*	%W*	Hs**	C**	Rec	S	DESCRIPCION VISUAL DEL SUELO	SUCS**
			0	20	40	60	80								
0.00	0.45	T.P												0,00 m - 0,45 m CAPA A Relleno artificial heterogéneo de arcilla limo arenosa de color café con piedras, lastre y contaminado con orgánico.	
0.45	0.90	1 SPT	█					16	19.9			60%		0,45 m - 0,90 m CAPA B Suelo orgánico de color café con piedras.	
0.90	1.35	Bar	█	█				32				71%			
1.35	1.75	Bar	█	█	█			76				71%			
1.75	1.80	TP	█	█	█	█		58				0%		0,90 m - 1,80 m CAPA C Arcilla limo arenosa de color café a café claro con piedras, de consistencia rígida.	

REBOTE	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Rebota en piedras.	Consistencia					NIVEL DE AGUA:	No se detecto.
				Muy blanda	Blanda	Media	Semidura	Dura	Rígida	


Rec= % de Recuperación de muestra	Bar= Barreno
M# = Número de muestra para inconfiada	SPT = Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)
Nspt = Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)	T.P = Trépanos de punta (cono dinámico)
%W = Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)	S= Simbología de estratigrafía
Hs = Peso unitario seco, g/cm3 (ASTM D-7263**)	
C = Cohesión, kg/cm <sup>2</sup> (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33**)	* Ensayo Acreditado ** Ensayo No Acreditado

PERFORACION: <b>P-2</b>		PROYECTO: MURO DE CONTENCIÓN - CALLE LA CRUZADA.			
PROF. TOTAL: <b>1.46 m</b>		UBICACIÓN: SALITRAL, SANTA ANA, SAN JOSE.			
NIVEL DEL TERRENO: NIVEL ACTUAL		SISTEMA DE PERFORACION: PERCUSIÓN ESTÁNDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)			
ORDEN DE TRABAJO: <b>13512</b>		PIEZOMETRO: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
FECHA DE INICIO: 17/1/2023		FECHA: 24/1/2023		# INFORME: <b>2023-02-1082</b>	
FECHA DE FINALIZACIÓN: 17/1/2023		PREPARADO POR: MARIA RODRIGUEZ		HOJA: 2	
PERFORADOR: LUIS AGUILAR		OBSERVACIONES:			
DESCRITO POR: BRYAN SALAZAR					

INTERVALOS (m)	M#	Tipo de Perf.	Nspt					N*	%W*	Hs**	C**	Rec	S	DESCRIPCION VISUAL DEL SUELO	SUCS**
			0	20	40	60	80								
0.00	0.45	T.P												0,00 m - 0,18 m CAPA A Relleno artificial heterogéneo de arcilla limo arenosa de color café con piedras, lastre y contaminado con orgánico.	
0.45	0.90	1 SPT						39	9.9	1.17		71%		0,18 m - 0,50 m CAPA B Suelo orgánico de color café con piedras.	
0.90	1.35	Bar						81				49%		0,50 m - 1,46 m CAPA C Arcilla limo arenosa de color café a café claro con piedras, de consistencia rígida.	
1.35	1.46	TP						50				0%			

REBOTE	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Rebota en piedras.					NIVEL DE AGUA:	No se detecto.
--------	--	-----------------------------	--------------------	---	--	--	--	----------------	----------------

Rec= % de Recuperación de muestra	Bar= Barreno
M# = Número de muestra para inconfiada	SPT = Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)
Nspt = Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)	T.P = Trépanos de punta (cono dinámico)
%W = Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)	S= Simbología de estratigrafía
Hs = Peso unitario seco, g/cm3 (ASTM D-7263**)	
C = Cohesión, kg/cm² (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33**)	

\* Ensayo Acreditado \*\* Ensayo No Acreditado

## ANEXO F: Fotografías de las pruebas realizadas

[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109





P-1



[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

## P-2



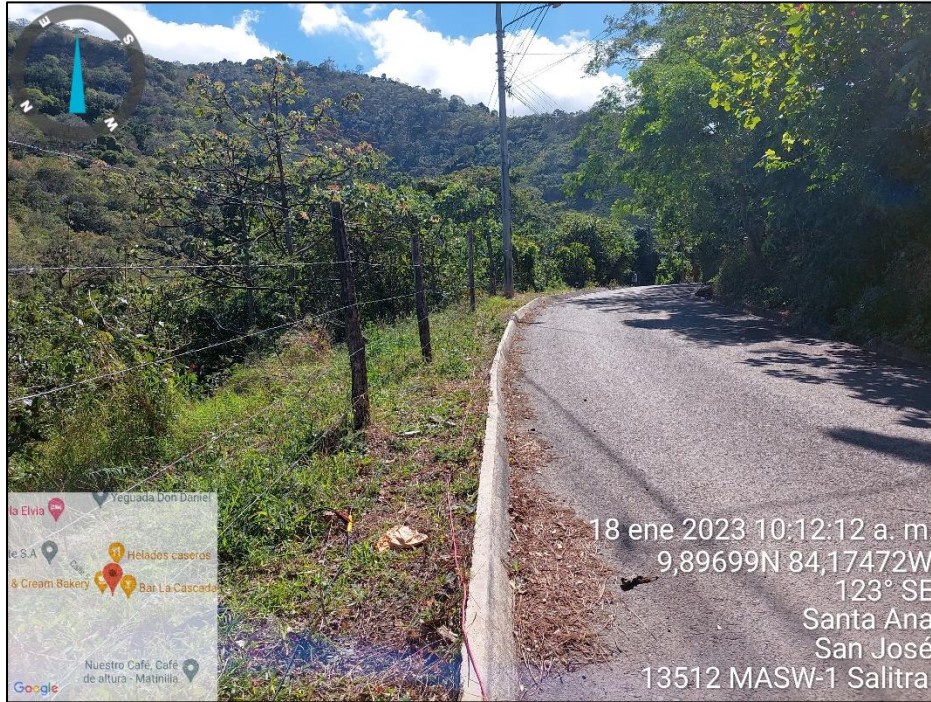
[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

## MASW-1



[www.cyt.cr](http://www.cyt.cr)

  4010 2273

 [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109