

Inf. #2021-06-5991A Pág. 1 de 101

San José, 13 de julio de 2021.-

Señores  
**COMISIÓN NACIONAL DE PREVENCIÓN DE RIESGOS  
Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS**  
CLIENTE



Atención: Sr. Lidier Esquivel Valverde  
**Jefe de la Unidad de Investigación y Análisis de Riesgo**

**PROYECTO: “MODELO GEOFÍSICO-GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL  
DESLIZAMIENTO PARTE ALTA DE CALLE EL MANGO”,  
UBICADO EN ALAJUELITA, SAN JOSÉ.**

**CONTRATACIÓN DIRECTA 2021CD-000002-0006500001**

Estimados Señores:

Se presenta el informe denominado “**DESARROLLO DEL MODELO GEOFÍSICO-GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL DESLIZAMIENTO PARTE ALTA DE CALLE EL MANGO, ALAJUELITA**”, de acuerdo con la oferta de servicios de nuestra empresa, en el cual se muestran los resultados de los trabajos realizados para el análisis de susceptibilidad a deslizamiento en el área.

El trabajo incluye sondeos de penetración standard (SPT) y de rotación con recuperación de núcleo, tomografía eléctrica, levantamiento topográfico a partir de orto fotogrametría y un levantamiento geológico local; para el desarrollo del modelo geológico-geofísico-geotécnico del deslizamiento que se encuentra afectando el sitio de interés.

De tal manera que las recomendaciones de este estudio se encuentran gobernadas por las características y propiedades físicas y geológicas ubicadas en la zona de estudio, así como las condiciones esperadas de comportamiento según las metodologías establecidas para la evaluación de estas actividades.

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

Atentamente,

**GEOL. GIORGHI VILLALOBOS SÁNCHEZ**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**ING. C. EUGENIO ARAYA M., M.Eng.**  
**GERENTE TECNICO DE LABORATORIO**

## TABLA DE CONTENIDO

CARTA DE PRESENTACIÓN.....	1
TABLA DE CONTENIDO .....	2
RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES TÉCNICAS:.....	4
1.- INTRODUCCIÓN:.....	6
1.1.- Objetivos del estudio: .....	6
1.2.- Metodología aplicada: .....	6
1.3.- Coordinación profesional:.....	11
1.4.- Descripción del sitio:.....	12
1.5.- Antecedentes históricos:.....	13
2.- RESULTADOS OBTENIDOS:.....	17
2.1.- Marco geológico regional:.....	17
2.2.- Geología local: .....	19
2.3.- Geología Estructural:.....	23
2.4.- Sismos históricos:.....	25
2.5. – Estimación de aceleración pico:.....	26
2.6.- Amenazas Naturales: .....	27
2.6.1.- Sucesos climáticos recientes: .....	28
2.6.1.1. Fechas de ocurrencia y nivel ciclónico de los huracanes (Chinchilla, 2017). .....	29
2.7.- Análisis geomorfológico:.....	32
2.8. – Topografía de línea base:.....	33
2.9. – Tomografía Eléctrica:.....	37
2.9.1 Clasificación determinada a partir de los rangos resistivos. ....	37
2.9.2 Descripción del perfil TE – 1.....	38
2.9.3 Descripción del perfil TE – 2.....	39
2.9.4 Descripción del perfil TE – 3.....	41
2.9.5. Conclusiones .....	43
2.10.- Sondeos exploratorios en el terreno: .....	45
2.10.1.- Clasificación unificada de suelos (ASTM D-2487**): .....	47
2.10.2.- Nivel de agua subterránea en las perforaciones: .....	47
3.- MODELO GEOLOGICO GEOFISICO GEOTECNICO: .....	48

4.- ANALISIS DE SUCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTO: .....	49
4.1. - Descripción de los parámetros de la metodología Mora – Varhson – Mora .....	52
4.1.1. - Parámetro de pendiente.....	52
4.1.2. - Parámetro de susceptibilidad litológica .....	53
4.1.3. - Parámetro de humedad .....	55
4.1.4. - Disparo por lluvia .....	55
4.1.5. - Disparo por sismicidad.....	56
4.1.6. – Susceptibilidad de deslizamiento.....	57
5. – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
6.- DISCUSION SOBRE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO: ..	62
7.- BIBLIOGRAFIA:.....	63
ANEXOS.....	66
ANEXO A: Ubicación de pruebas .....	67
ANEXO B: Topografía .....	69
ANEXO C: Tomografía eléctrica.....	75
ANEXO D: Hojas de perfiles de perforación .....	79
ANEXO E: Fotos de daños y grietas debido al deslizamiento.....	90
ANEXO F: Fotografías de pruebas de campo y cajas de los testigos de rotación.....	93
ANEXO G: Laminas y mapas .....	101

## RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES TÉCNICAS:

La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) han realizado una diversa cantidad de estudios e inspecciones en la parte alta de Calle El Mango, del último informe CNE-UIAR-INF-795-2020 se concluye que el deslizamiento de la parte alta de calle El Mango, es de tipo rotacional y se caracteriza por estar constituido por rocas sedimentarias altamente meteorizadas de la Formación Pacacua. El área se caracteriza por la presencia de nacientes de agua y un nivel freático muy superficial que favorece la formación de grietas y la deformación del terreno, al incrementarse la humedad del subsuelo; siendo así que nace la urgencia por definir un modelo geológico-geofísico-geotécnico para el sitio.

El sitio de estudio se localiza de acuerdo con el mapa geológico regional sobre depósitos aluviales recientes, específicamente sobre un abanico coluvio aluvial donde se encuentra asentado el poblado de San Josecito. Localmente se logra corroborar esta formación, la cual se puede diferenciar en dos unidades litológicas, una unidad de suelos coluviales y una unidad de depósitos de deslizamientos, además se identifica una unidad de lutitas de la Fm. Peña Negra en las márgenes de la Quebrada Chinchilla, donde ha sido expuesta por la ocurrencia de deslizamientos.

Se identifica como sismo de interés para el sitio el Terremoto de Alajuelita del 21 de marzo de 1842 que presentó una magnitud estimada a partir de intensidades de  $M_i$  5,4; según Peraldo & Montero (1999). Este terremoto, tuvo una longitud de ruptura de 5 km (Montero et al., 2005) y generó grandes daños en Alajuelita, pero sin pérdidas de vidas humanas (Rojas, 1993) con una intensidad de Mercalli de VII.

Del análisis topográfico histórico se observa de manera general que en los sectores de alta pendiente tenemos una disminución de la superficie de un perfil a otro debido a la erosión gradual en este sector, mientras que en el sector de bajas pendientes y hasta la quebrada Chinchilla se aprecia un movimiento en el terreno en dirección hacia la quebrada, además de un aumento en la profundidad del cauce en el tiempo según cada una de las fuentes. Se debe destacar que en la línea de color naranja que corresponde a las curvas de nivel obtenidas para esta investigación, se observa un perfil menos suave que los demás con pequeñas caídas abruptas y sectores con depresiones de tipo cuchara que corresponde con sectores de fracturas, asentamientos o coronas de deslizamientos.

El modelo geológico geofísico geotécnico definido para el sitio de estudio está compuesto por 5 capas las cuales son correlacionadas según los resultados obtenidos, teniendo así una capa 1 y 2 de suelos coluviales que se diferencian por su matriz en plasticidad y granulometría, así como la abundancia y tamaños de bloques, una capa 3 de aluvión, una capa 4 correspondiente a un intrusivo tipo gabro y una capa 5 de lutitas de la Fm. Peña Negra.



La tabla 4.1, pág. 51 define la clasificación para la microzonificación realizada donde por ejemplo para una clasificación "V muy alta" se recomienda prohibir su uso con fines urbanos y se recomienda usar como áreas de protección o agrícolas; mientras que para los sectores definidos como "IV alta" y "III moderada" fuera de lo que se delimita como la zona de afectación y de amortiguamiento se recomienda hacer estudios específicos e implementar obras correctivas y de estabilización, además se define una zona de amortiguamiento donde se prohíbe nuevas construcciones o ampliaciones a obras existentes, solo se permiten obras de mitigación y reparaciones y mantener un estricto monitoreo en las viviendas y elementos circundantes.

## 1.- INTRODUCCIÓN:

### 1.1.- Objetivos del estudio:

- Desarrollar un modelo geológico-geofísico- geotécnico para el área de estudio.
- Evaluar la susceptibilidad del terreno a deslizamientos en condiciones naturales o bajo el efecto de agentes de disparo como sismo y lluvia.
- Brindar recomendaciones según las conclusiones alcanzadas en cuanto a la zonificación del área de interés.

### 1.2.- Metodología aplicada:

#### Sondeos de suelo

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.

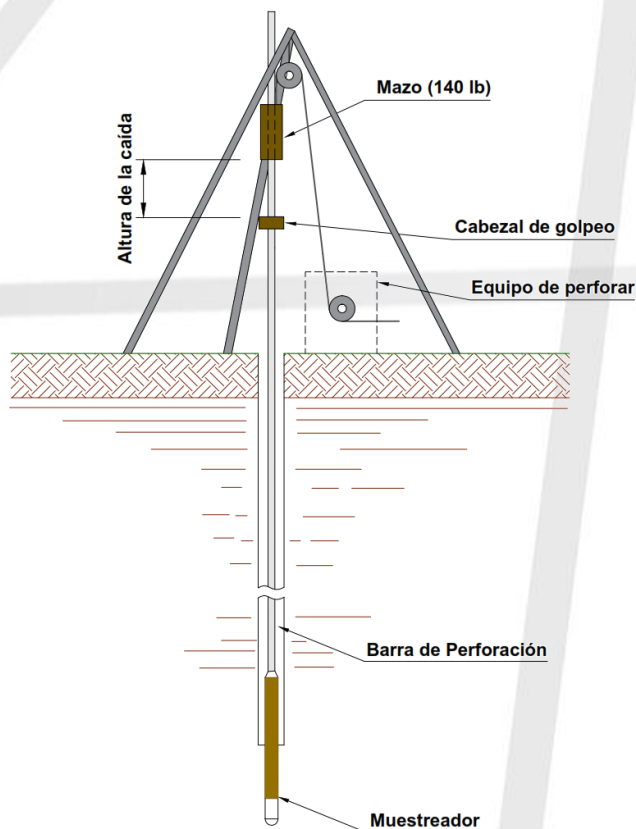


Figura #1.2.1: Esquema de la Prueba de Penetración Estándar (SPT)

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.

El sistema de rotación con diamante consiste en máquinas (TMG STR-183 en este caso), que hacen rotar barriles de doble tubo de diámetro según sea requerido, a las cuales se les coloca en una de las puntas una broca de diamante, con variedad de brocas de diamante para estratos blandos, regulares o de alta dureza, para con ello lograr mejores recuperaciones. Las longitudes de los barriles pueden ser de 1,5 m (utilizado para el proyecto) y 3,0 m; pudiendo avanzar hasta lograr dichas longitudes de los barriles, o cuando el alma está llena, se introduce un pescador de alma y se extrae la misma con los testigos de núcleos recuperados en su interior, los cuales se sacan y acomodan en cajas de madera con sus respectivas divisiones de los intervalos perforados, para que luego un especialista en geotecnia o geología pueda efectuar la respectiva descripción litológica de la perforación.

Para que la perforación a rotación se pueda realizar de forma adecuada, se usan lodos (bentonita) o agua limpia, como agentes de enfriamiento de las brocas durante el proceso de rotación.

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-2937\*\*)
- 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.

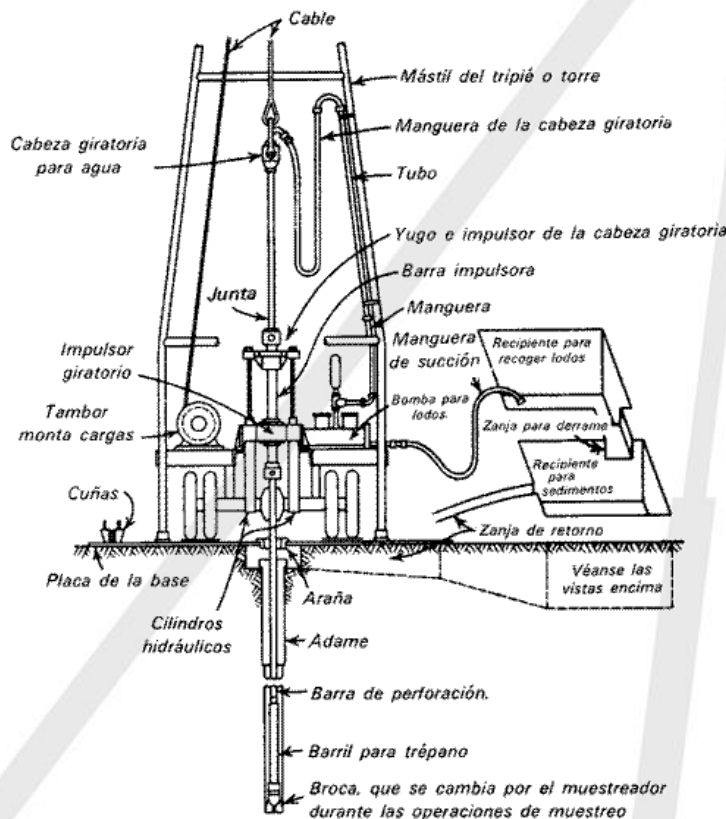


Figura #1.2.2: Esquema del Sistema de Rotación con Diamante

### Tomografía Eléctrica\*\*

Para esta investigación tomográfica se usó el método de Imagen de Resistividad (Resistivity Imaging) bajo la norma ASTM D6431-99 (2010). El arreglo electrodo usado para el método de tomografía eléctrica es el de Alfa Wenner, en el cual los electrodos tanto potencial como de corriente tienen una separación equidistante durante la toma de mediciones. Para ganar profundidad después de cada barrido se aumenta la separación del valor indicado como "a".

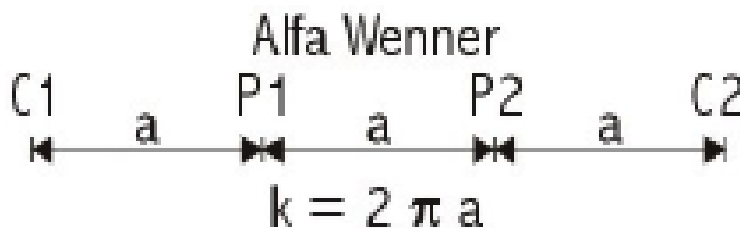
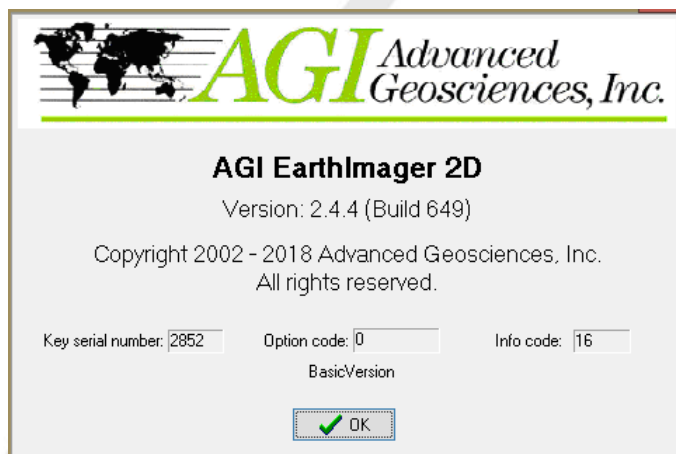


Figura #1.2.3. Dispositivo Wenner Alfa.



El equipo usado es un resistivímetro marca Tigre de la Compañía inglesa Allied Associates. El software de procesamiento de datos usado fue el AGI Earth Imager 2D versión 2.4.4. (2018). Este programa procesa secciones en 2 dimensiones provenientes de varios arreglos electródicos. Para la inversión de datos de resistividad eléctrica, se usa el método de mínimos cuadrados (Sasaki, 1992) con el que se produce un modelo de 2D del subsuelo a partir de los datos de resistividad aparente. Este programa es totalmente automático con salidas gráficas que ilustran el contraste en los valores resistivos en tonos de colores.



**Figura #1.2.4. Software usado Ver 2.4.4**

## Fuentes de error y profundidad de investigación geofísica.

El equipo usado para las tomografías eléctricas desde que es automatizado tiene una buena regulación de la cancelación de los auto potenciales generados en cada electrodo. Se debe entonces considerar el error por efecto de los procesos de inversión en la etapa de procesamiento de datos. Todo esto se estima en menos del 10%.

El programa no corre bien en pendientes muy pronunciadas mayores a 1:1, es por tal motivo que a propósito se ajusta la pendiente del perfil a fin de poder correr el software.

Con este método se establece una profundidad de investigación de máxima de 80 m.

## Método Determinístico

En este método se supone que la sismicidad futura será igual a la pasada, considerando el máximo terremoto ocurrido, como el máximo posible. El método se desarrolla en cinco fases:

- Caracterización de las fuentes sismogénicas, incluye a cualquier fuente sismotectónica, que puede ser una porción de la corteza que se considera con sismicidad uniforme, la cual puede ir desde una falla activa que puede generar terremotos y deformaciones del terreno, hasta una amplia región que presenta semejanzas geológicas, geofísicas y sismológicas, y que por lo tanto se puede asumir que tiene potencial sísmico.
- Selección del terremoto de control, consiste en establecer el máximo terremoto potencial a cada fuente, de acuerdo con datos históricos o de paleosismicidad.
- Traslación del terremoto de control, dentro de cada fuente sismogénica se sitúa el terremoto de control a la distancia más cercana al sitio u obra escogida para analizar.
- Determinación del movimiento del terreno en el área de estudio, entre los terremotos de control se escoge el que genere mayor intensidad en el sitio de estudio, para esto se utiliza una ley de atenuación adecuada a la zona sísmica escogida. Los resultados se pueden expresar en valores de aceleración o de intensidades de Mercalli Modificada.
- Determinación de la peligrosidad sísmica en el área de estudio, se define la peligrosidad como por el valor más alto del movimiento del terreno generado por los distintos terremotos de control.

### **Método Mora-Varhson-Mora**

El método consiste en la combinación de varios factores y parámetros, los cuales se obtienen de la observación y medición de indicadores morfodinámicos y su distribución espacio-temporal (Mora, 2002).

La mezcla de los factores y parámetros se realiza considerando que los deslizamientos ocurren cuando en una ladera, compuesta por una litología determinada, con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos). Bajo estas condiciones, los factores dinámicos y externos como la sismicidad y las lluvias intensas (elementos activos) actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio, la mayoría de las veces precario, que se mantiene en la ladera (Mora & Varhson, 1992).

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

$$H = EP * D \quad (1)$$

#### **Donde:**

H: grado de susceptibilidad al deslizamiento

EP: valor producto de la combinación de los pasivos

D: valor del factor de disparo

El valor de los elementos pasivos se compone de los siguientes parámetros, según Mora (2002):

$$EP = (S_l * S_h * S_p) \quad (2)$$

**Donde:**

S<sub>l</sub>: valor del parámetro de susceptibilidad litológica

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

S<sub>p</sub>: valor del parámetro de pendiente

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros (Mora & Varhson, 1992):

$$D = (D_s + D_{Ll}) \quad (3)$$

**Donde:**

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

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

Sustituyendo la ecuación 2 y 3 dentro de las variables de la ecuación 1, se obtiene la expresión del método Mora – Varhson – Mora:

$$H = (S_l * S_h * S_p) * (D_s + D_{Ll}) \quad (4)$$

Mora (2002) enfatiza en que los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada, por lo que se sugiere dividir el rango de los valores obtenidos en cinco clases de susceptibilidad y la asignación de los calificativos.

### 1.3.- Coordinación profesional:

Los trabajos de campo fueron realizados entre el 13 de abril y el 27 de mayo del 2021, por el ingeniero topógrafo Héctor Chaves Alfaro y su personal técnico para el levantamiento topográfico, la empresa Ingeofica S. A. representada por el geólogo Carlos Leandro Montoya llevaron a cabo los perfiles de tomografía eléctrica, la perforaciones exploratorias las ejecutó el técnico de perforación Luis Aguilar bajo la dirección del Supervisor Técnico 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 y por último el levantamiento geológico local y la supervisión y coordinación general de todos los trabajos de campo estuvo a cargo del geólogo Giorgi S. Villalobos Sánchez.

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



## 1.4.- Descripción del sitio:

El área de estudio comprende el polígono demarcado en la figura 1.4.1 y sus cercanías inmediatas, se ubica entre los distritos de San Antonio y San Josecito, cantón de Alajuelita, provincia de San José, en la parte alta de calle El Mango. Se encuentra entre las cotas de 1243 msnm y 1306 msnm y rodeado por zonas con pendientes de medias, moderadas a altas.

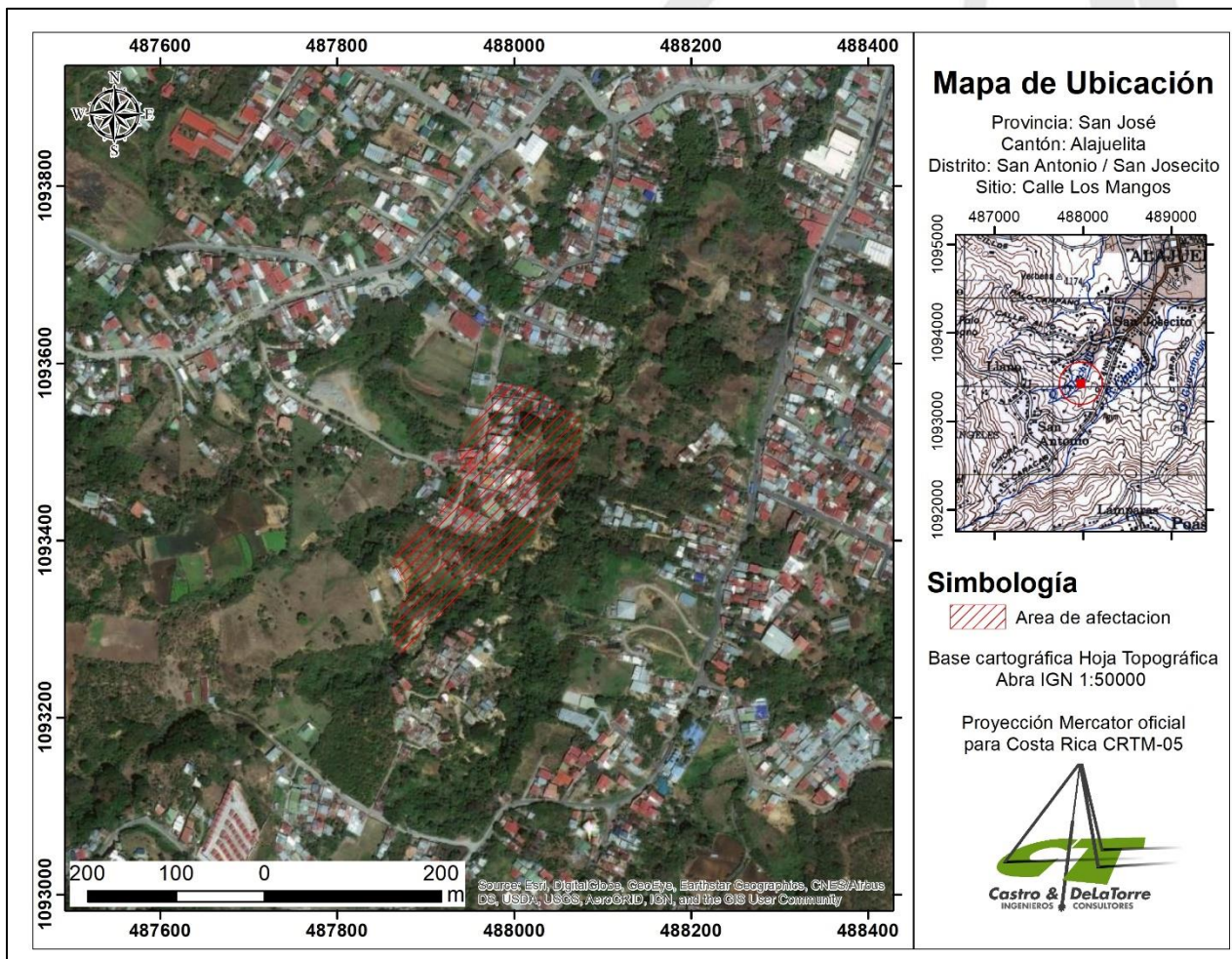


Figura #1.4.1: Ubicación del Proyecto



## 1.5.- Antecedentes históricos:

El cantón de Alajuelita cuenta con diferentes sectores conocidos con problemas de deslizamientos y que han sido investigados e intervenidos desde 1996 según registros. En el 2017 se comienza a generar un deslizamiento en la parte alta de Calle El Mango el cual se relaciona con la tormenta Nate como agente de disparo, y los informes técnicos realizados por el departamento de Investigación y Análisis de Riesgos de la CNE (IAR-INF-1350-2017; IAR-INF-1351-2017; IAR-INF-1352-2017; IAR-INF-1226-2017 y IAR-INF-1110-2018, CNE-UIAR-INF-0304-2020), indican y caracterizan la zona y propiedades evaluadas, como vulnerable a inestabilidad con grietas, asentamiento del terreno y presencia de arcillas expansivas que originan agrietamientos importantes en el suelo, generando una gran cantidad de problemas geotécnicos. De dichos informes se define una ficha técnica para el deslizamiento como se muestra a continuación:

**Nombre del deslizamiento:** Deslizamiento parte alta de calle el Mango  
**Ubicación geográfica:** Alajuelita/San Josecito/Calle El Mango  
**Fecha de agrietamientos visibles:** 07 de noviembre del 2017  
**Grado de actividad:** Activo  
**Tipo de deslizamiento:** Rotacional  
**Fecha de mayores agrietamientos visibles:** 2017-2018  
**Datos históricos de desplazamientos:** No existen  
**Subcuenca hidrográfica:** Quebrada Chinchilla/Río Tiribi/Virilla/ Grande de Tárcoles  
**Altitud del área de deslizamiento:** 1300 msnm  
**Características geológicas:** Formación Pacacua, rocas sedimentarias meteorizadas (areniscas y lutitas)  
**Distancia lineal aproximada del punto de origen (frontal) a confluencia con quebrada:** 300 metros  
**Área total del deslizamiento:** 3.2 hectáreas  
**Uso del suelo actual:** Urbano y potreros  
**Efectos visibles:** agrietamientos y cortes verticales en el terreno, daños en viviendas, camino, tendido eléctrico, tubería de agua potable  
**Viviendas ubicadas internamente y afectadas o comprometidas por el deslizamiento:** 82  
**Infraestructura vulnerable:** Viviendas  
**Grado de riesgo:** El deslizamiento se cataloga como de moderado a alto para asentamientos humanos.

*Fuente: CNE-UIAR-INF-795-2020, página 2.*

En el informe IAR-INF-1110-2018, efectuado por el Geól. Luis Miguel Araya Venegas describe el área de inestabilidad por deslizamiento e identifica las viviendas afectadas en ese momento como se observa en la figura 1.5.1, además registra los daños a viviendas en ese momento como se observa en la figura 1.5.2.



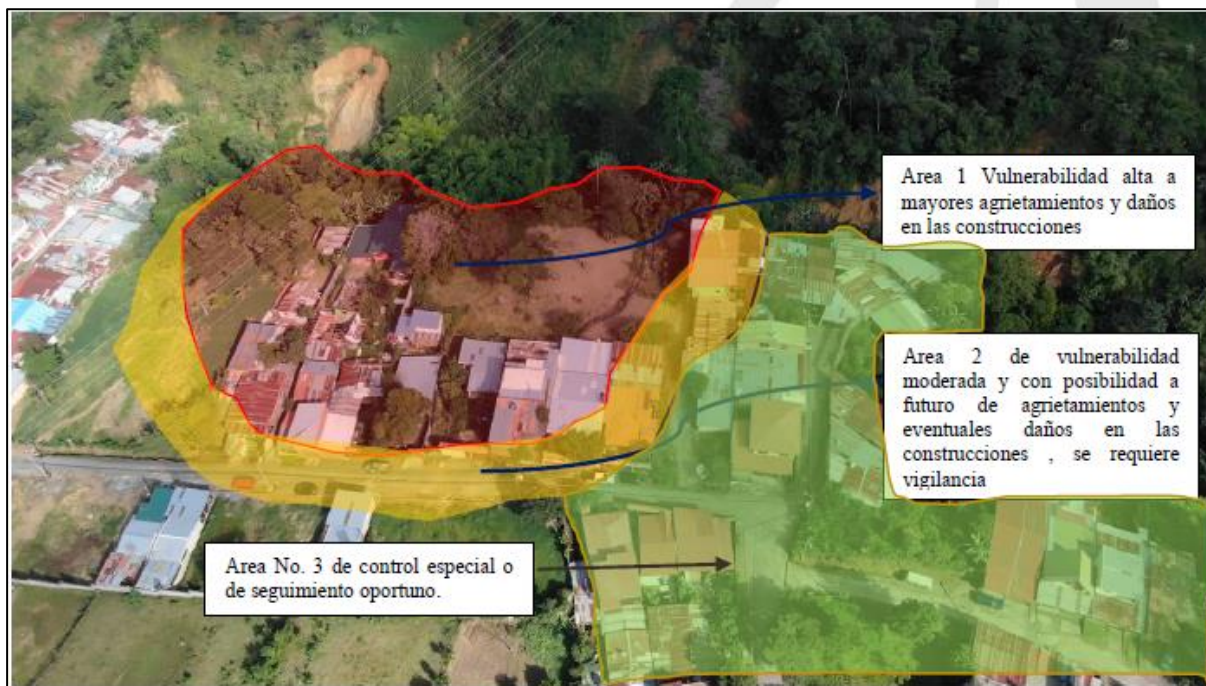
**Figura #1.5.1: Viviendas afectadas y área de deslizamiento al 2018. Fuente: CNE-UIAR-INF-795-2020, página 4. Original del informe CNE-UIAR-INF-1110-2018.**



**Figura #1.5.2: Daños en viviendas dentro del área de deslizamiento al 2018. Fuente: CNE-UIAR-INF-795-2020, página 6. Original del informe CNE-UIAR-INF-1110-2018.**



Posteriormente en el 2020 el informe CNE-UIAR-INF-0304-2020 presenta una microzonificación para el área de interés según lo establecido en los estudios previos, un sobrevuelo con dron y nuevas inspecciones de campo (figura 1.5.3).



**Figura #1.5.3: Microzonificación de riesgo de deslizamiento para el área de interés. Fuente: CNE-UIAR-INF-795-2020, página 7. Original del informe CNE-UIAR-INF-0304-2020.**

El 12 de octubre del 2020, se comprueba que se inició un nuevo proceso de inestabilidad muy importante en sectores que anteriormente no presentaban ningún tipo de evidencia por deslizamiento luego de un fuerte periodo de lluvias en mayo del 2020.

El informe CNE-UIAR-INF-795-2020 menciona las evidencias de campo que reflejan claramente las características de que el deslizamiento avanzo incrementando su área activa y donde se constata:

- Asentamiento vertical superior a 20 centímetros donde se delimita la corona actual.
- Pisos, paredes, aceras, columnas fisuradas.
- Terrenos muy cenagosos
- Hundimientos tipo “zanjas”, que incluso pueden ubicarse viviendas completas
- Inclinación en los pisos.
- Puertas y ventanas que no cierran
- En las esquinas de las ventanas y puertas pequeñas fisuras tipo “zig-zag”
- Escalones o gradas de cualquier altura
- Los postes de las cercas y cables tensos y desplazados.
- Caminos con hundimientos en dos extremos
- Ruptura de tubería de acueductos



Se concluye en este informe (CNE-UIAR-INF-795-2020) que el deslizamiento de la parte alta de calle El Mango, es de tipo rotacional y se caracteriza por estar constituido por rocas sedimentarias altamente meteorizadas de la Formación Pacacua. El área se caracteriza por la presencia de nacientes de agua y un nivel freático muy superficial que favorece la formación de grietas y la deformación del terreno, al incrementarse la humedad del subsuelo.

Por último, se presenta una nueva microzonificación de riesgo de deslizamiento a octubre del 2020 como se muestra en la siguiente figura 1.5.4.



**Figura #1.5.4: Microzonificación de riesgo de deslizamiento para el área de interés a octubre del 2020. Fuente: CNE-UIAR-INF-795-2020, página 13.**

De las situaciones presentadas y todo el antecedente dado es que nace la necesidad urgente de poder establecer un modelo geológico-geofísico-geotécnico que defina parámetros litológicos, geomecánicos, geomorfológicos y hasta climáticos para poder generar una microzonificación del área en cuanto a la susceptibilidad de deslizamiento de manera detallada y local, con el fin de tener los fundamentos necesarios para la toma de decisiones de las instituciones competentes.



## 2.- RESULTADOS OBTENIDOS:

Se evalúan aspectos vistos durante la visita de campo tales como condiciones geotécnicas, descripción de las rocas presentes, presencia de niveles de agua superficial (cursos de agua establecidos, quebradas o ríos), estado de las pendientes en el sitio e indicios de inestabilidad y análisis de amenazas naturales.

Además, se lleva a cabo un levantamiento geológico local a escala 1 : 2000 y un análisis topográfico que incluye una base histórica y un levantamiento actual mediante ortofotogrametría.

### 2.1.- Marco geológico regional:

Según Denyer & Arias, (1991) las rocas que conforman los alrededores del área de estudio corresponden en su gran mayoría con rocas sedimentarias, depósitos aluviales y rocas ígneas. En el área de interés esta cubierta principalmente por depósitos aluviales y coluviales cuaternarios (fig. #2.1.1).

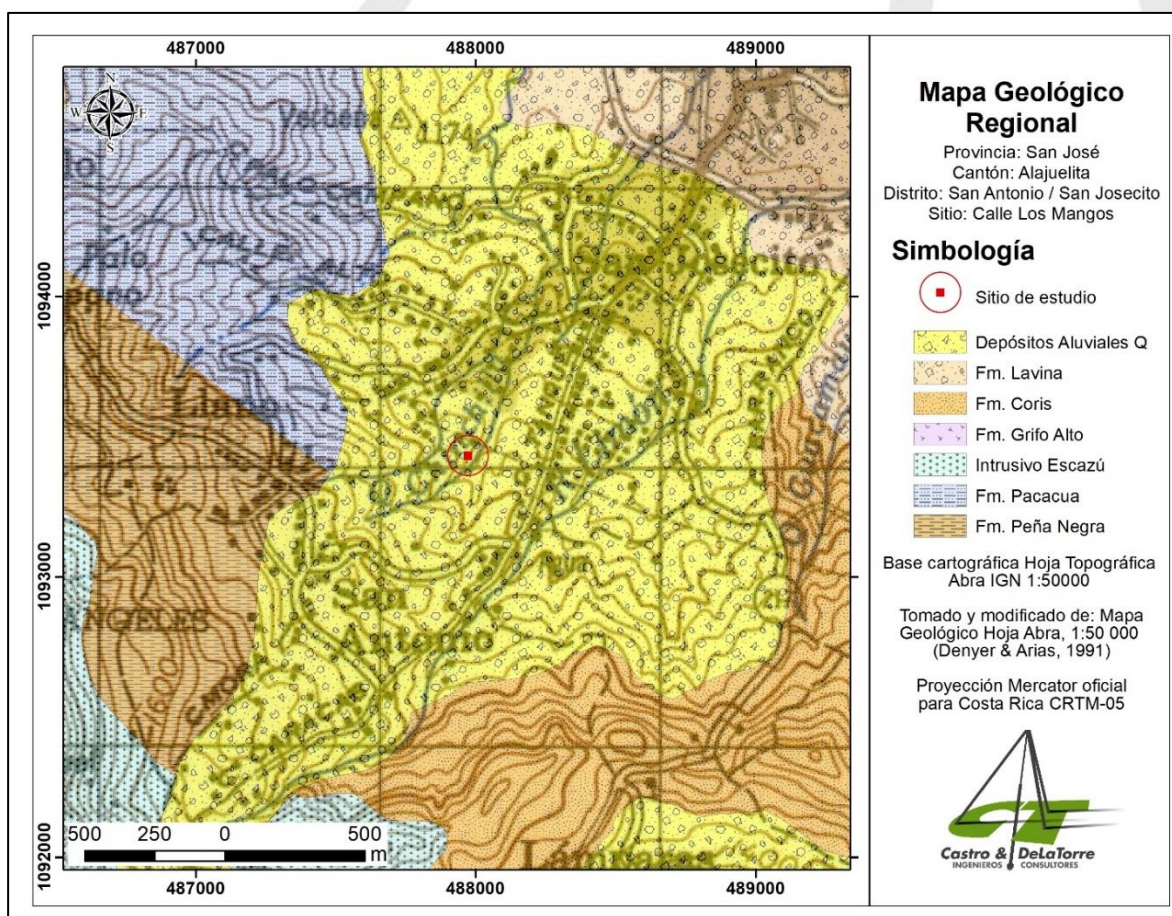


Figura #2.1.1: Mapa geológico regional.

La descripción de las formaciones geológicas que conforman la geología regional se detalla a continuación y tal descripción se basa en el trabajo de Denyer & Arias (1991), en la figura 2.1.1 se muestra la distribución de las unidades de rocas presentes en las cercanías del área de estudio.

### *Depósitos Aluviales Recientes:*

Formados por los depósitos de los principales ríos que recorren la zona y depósitos de pie de monte depositados por acción de la gravedad al desprenderse o erosionarse las rocas de las partes montañosas. Sobresalen los abanicos coluvio-aluviales bordeando groseramente los cerros de Escazú, dentro de los cuales destaca el formado por el río Limón y sus afluentes como la Quebrada Chinchilla; sobre el cual se asienta la población de San Josecito.

### *Formación Lavina:*

Se trata de depósitos de flujos de lodos con bloques andesíticos, principalmente, dentro de una matriz arcillo-arenosa mal cementada. Estos depósitos han cubierto algunos sectores del Valle Central. El espesor máximo reportado es de 60 m, por lo general son de 15 m a 20 m. Estos materiales se relacionan con eventos del Pleistoceno-Holoceno (Hidalgo et al, 2004).

### *Formación Coris:*

Constituida por ortocuarcitas o areniscas cuarzosas que afloran en bancos masivos de varios metros de espesor e intercalaciones de vulcarenitas, conglomerados, tobas, lutitas carbonosas y lignito. Estratigráficamente presenta un contacto superior concordante con la Fm. La Cruz, el contacto inferior no es claro por la falta de erosión. Fue depositada en un ambiente que varía de litoral a terrestre con facies volcánicas bien establecidas.

### *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 Pacacua:*

Se encuentra constituida por volcanoclastitas de granulometría diversa, tonos rojos y morados, aunque el verde es frecuente en algunos sectores (Denyer & Arias, 1991). Se caracteriza por mostrar una estratificación decimétrica hasta métrica de areniscas vulcanoclásticas (finas, gruesas y guijarrosas) tobas, tobetas y brechas finas y gruesas con contacto por fragmentos por matriz, además de troncos fósiles de hasta 1 m de diámetro, diques y *sills* de diabasa con espesores de aprox. 1 m (Denyer & Arias, 1991).

Denyer & Arias (1991) reportan espesores entre 1200 m y 2000 m para esta unidad y una forma tabular; así como proponen una edad de Mioceno Inferior para esta unidad, gracias a criterios estratigráficos.

### *Formación Peña Negra:*

Denyer & Arias (1991), definen esta formación en dos unidades; la inferior como una secuencia de areniscas medias y finas pardas, con estratos decimétricos y esporádicas intercalaciones de estratos delgados (10 cm - 20 cm) de tobas; y la superior son intercalaciones guijarrosas con estratos de caliza aislados, las areniscas se vuelven pardas de grano medio a grueso, mal estratificadas y con mucha influencia volcánica, incluso plagioclasas idiomórficas entre sus granos.

Las rocas están profusamente meteorizadas a suelos color pardo-rojizo, con espesores de 5 m a más de 10 m, y con perfiles de roca meteorizada que pueden alcanzar hasta 25 m. Están asimismo intruidas por pequeñas apófisis aflorantes, del Intrusivo de Escazú y algunas áreas con alteración hidrotermal leve y metamorfismo de contacto a cornubianitas, en la cercanía a cuerpos intrusivos hipoabisales de Escazú (Ruíz & Soto, 2014).

## **2.2.- Geología local:**

El sitio de estudio se localiza de acuerdo con el mapa geológico regional sobre depósitos aluviales recientes, específicamente sobre un abanico coluvio aluvial donde se encuentra asentado el poblado de San Josecito. Localmente se logra corroborar esta formación, la cual se puede diferenciar en dos unidades litológicas, una unidad de suelos coluviales y una unidad de depósitos de deslizamientos, además se identifica una unidad de lutitas de la Fm. Peña Negra en las márgenes de la quebrada Chinchilla donde ha sido expuesta por la ocurrencia de deslizamientos (figura #2.2.1).

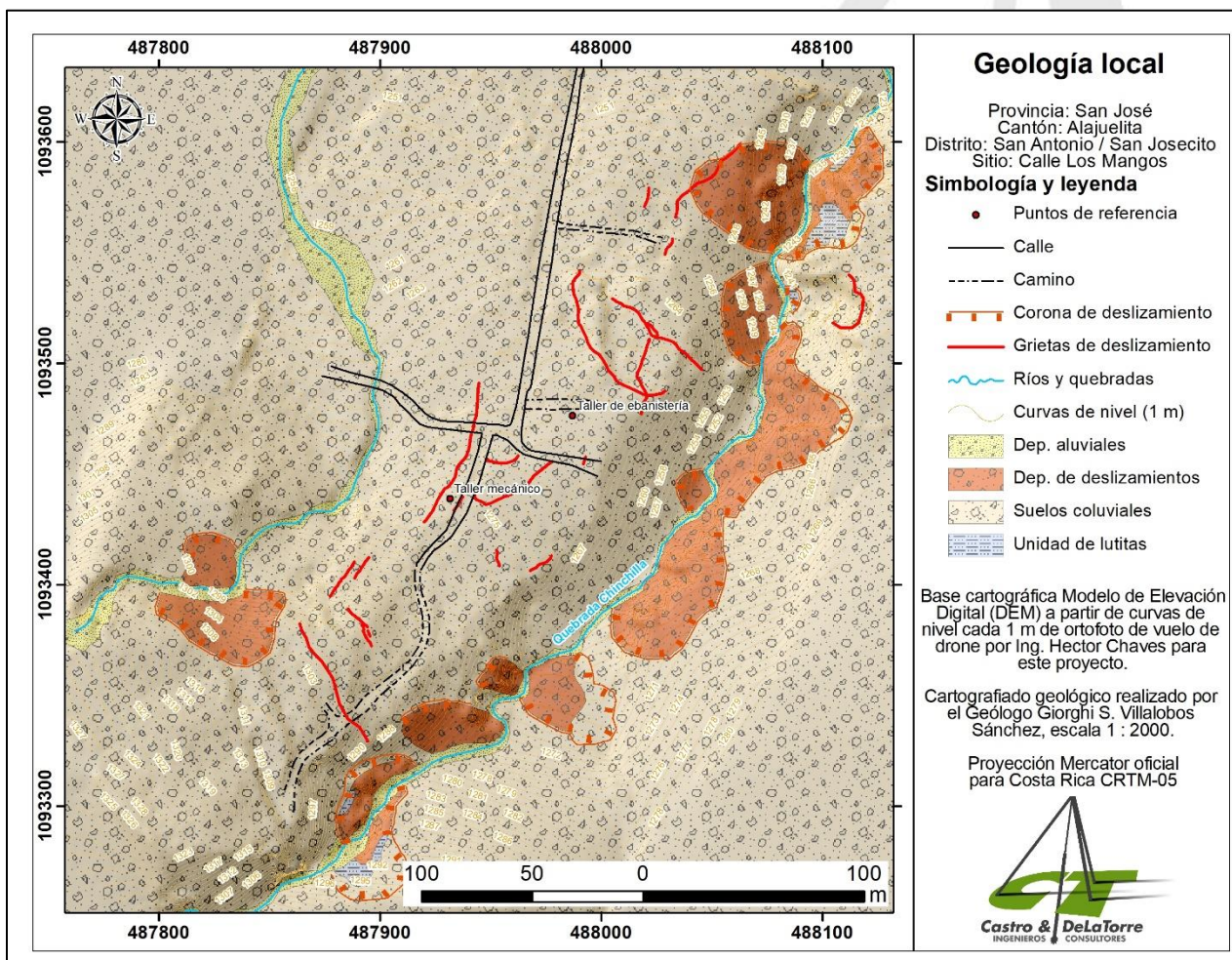


Figura #2.2.1: Mapa geológico local.

*Unidad de depósitos aluviales*

Consiste en los depósitos formados por la acción de las quebradas presentes, de granulometría muy variada desde limos arenosos hasta bloques de más de 1 m principalmente aportados por los suelos coluviales superiores (fotografía #2.2.1). Esta unidad se encuentra restringida a los cauces de las quebradas, se encuentra sin consolidar y en actual desarrollo.





Fotografía #2.2.1 Unidad de depósitos aluviales recientes.

### *Unidad de depósitos de deslizamientos*

Son depósitos sin consolidar altamente heterogéneos de suelos cohesivos con bloques de variado tamaño (dm-m) y que se distribuyen principalmente en las márgenes de la quebrada Chinchilla (fotografía #2.2.2). Son producto de los materiales desprendidos ante la ocurrencia de deslizamientos de actividad reciente histórica y actual.



Fotografía #2.2.2. Unidad de depósitos de deslizamientos enmarcada en rojo.



## *Suelos coluviales*

Esta unidad corresponde a la identificada por Denyer & Arias (1991) para el sitio de estudio y localmente consiste a coluvio provenientes de los “Cerros de Escazú” que geológicamente corresponden a la Formación Intrusivos de Escazú.

Son limos plásticos y limos arcillosos de variada plasticidad con bloques redondeados a sub angulares de distribución errática y primordialmente flotando en matriz, aunque se puede encontrar ocasionalmente contacto puntual, la composición de los bloques se identificó únicamente de gabros en concordancia con los Intrusivos de Escazú como fuente del coluvio (figura #2.2.3).



Fotografía #2.2.3. Unidad de suelos coluviales.

## *Unidad de lutitas*

Corresponden a las lutitas de la Fm. Peña Negra, específicamente en el área de interés se observan a la base de la quebrada Chinchilla o donde los deslizamientos han expuesto esta unidad.

Son lutitas de color café a gris muy fracturadas con arcilla en fracturas y patinas de óxidos (figura 2.2.4), en algunos planos de las fracturas se observan superficies pulidas debido a la fricción interna dada en esta unidad litológica.



Fotografía #2.2.4. Unidad de lutitas.

### 2.3.- Geología Estructural:

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. Entre las fallas activas del CDCCR se encuentra el sistema de fallas Frailes-Pirris-Pangolín, con la cual se asocian diversos terremotos históricos de magnitudes intermedias ( $5,0 < M_s < 6,5$ ) y su traza se ubica aproximadamente a 1 km al NE del sitio de interés.

#### *Sistema de fallas Frailes-Pirris-Pangolín (Fallas Higuito y Bello Horizonte):*

Es un sistema de falla que 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. (2009), se puede observar en las hojas de Quepos (falla Pirris-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 (Denyer et al., 2009). Corresponde con una falla dextral con componente normal y presenta un rumbo general noroeste-sureste (Denyer et al., 2009; Montero et al, 1998).

Su traza es clara en fotos aéreas y en mapas topográficos (Montero et al, 1998). Se puede observar en Denyer et al. (2009), que el bloque noreste se presenta levantado, con la presencia de leves escarpamientos mirando al oeste y hay desvíos derechos de varias quebradas.



Montero et al. (1998) indican que corta depósitos Cuaternarios que rellenan el sur del Valle Central y hay varios microsismos que se alinean con esta falla. El sismo de Alajuelita de 1842 se le atribuye a este sistema de fallas en su extremo noroeste, conocido y descrito anteriormente como fallas Higuito y Bello Horizonte. Es considerada una falla neotectónica, (Denyer et al., 2009).

El Terremoto de Alajuelita del 21 de marzo de 1842 presentó una magnitud estimada a partir de intensidades de Mi 5,4, según Peraldo & Montero (1999). Este terremoto, tuvo una longitud de ruptura de 5 km (Montero et al., 2005) y generó grandes daños en Alajuelita, pero sin pérdidas de vidas humanas (Rojas, 1993) con una intensidad de Mercalli de VII.

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 sismos de 7,0 Mw. Montero et al. (1998) estiman una velocidad de movimiento (deslizamiento), de 1,6 mm/año.

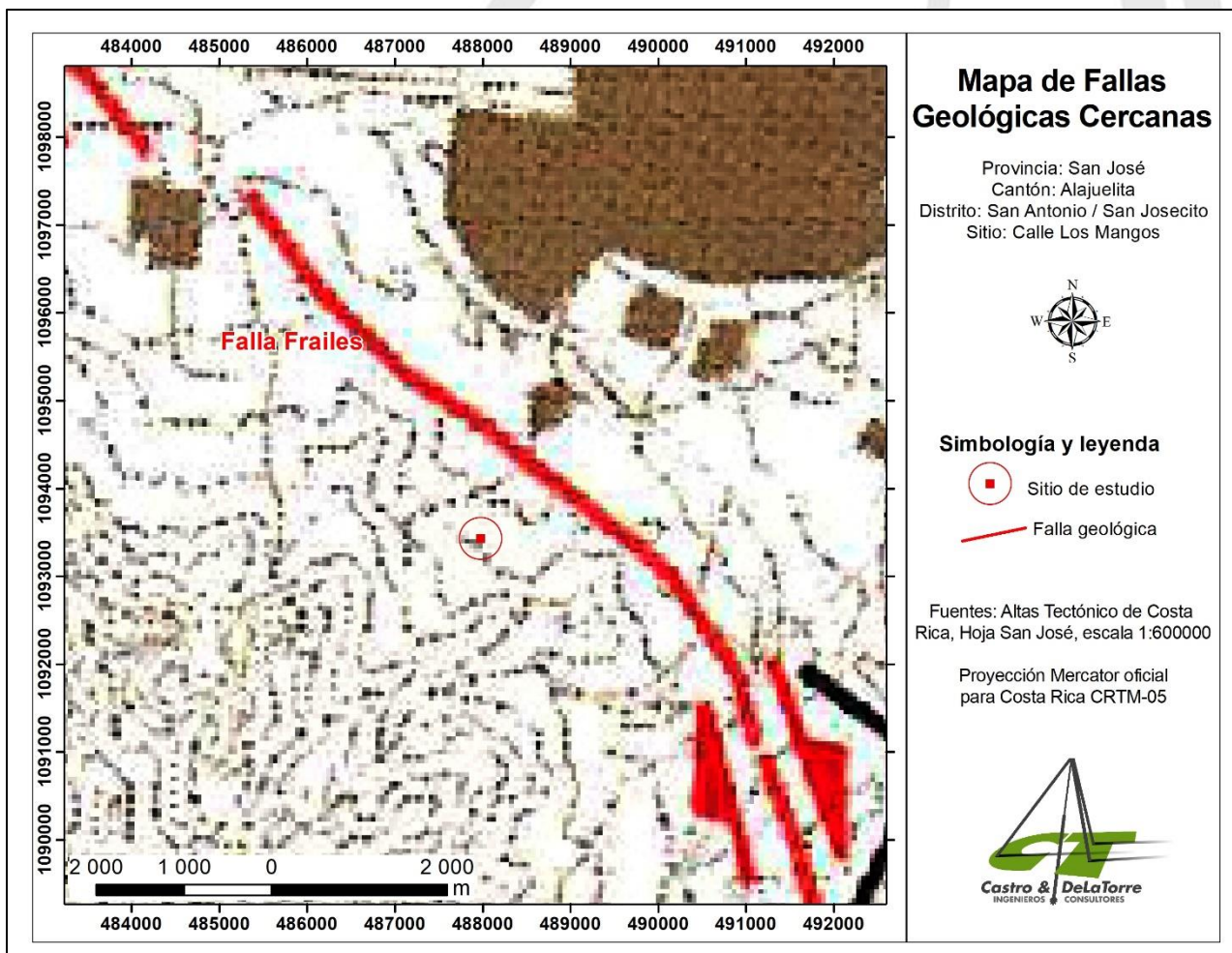


Figura #2.3.1: Mapa de fallas cercanas.

## 2.4.- Sismos históricos:

A continuación, se brinda una recopilación y análisis de la sismicidad de los alrededores del sitio en estudio. Empezando por los datos recopilados y expuestos por Fernández & Montero (2002). Donde hablan de varios enjambres sísmicos cercanos a la zona de estudio, con sus magnitudes, fallas asociadas, ubicación, entre otros.

### *Enjambre de junio de 1994*

Este fue un enjambre pequeño, registrando un sismo con magnitud máxima de 3,4 al sur de Desamparados, por donde cruzan las fallas Agua Caliente, Río Azul y Jericó.

Se generaron pocos sismos y muy cercanos a las distintas fallas, dificultando determinar con certeza la falla que originó la actividad sísmica. Sin embargo, Rojas et al. (1994), relacionaron estos sismos con las fallas Higuito y Salitral.

### *El enjambre de octubre de 1994*

En octubre se registró nuevamente en la misma zona epicentral un nuevo enjambre. En este caso se generó una secuencia de temblores cuyo máximo evento tuvo magnitud 4,2 al igual que en junio, se relacionaron con las fallas Salitral e Higuito. Una mayor cantidad de temblores con magnitud 3,0 que permitieron definir mejor las fuentes de estos temblores. Se le adjudicaron a la falla Agua Caliente. Sin embargo, no se puede descartar la posibilidad que en las fallas Jericó y Río Azul hayan ocurrido desplazamientos durante ese enjambre.

### *Zona sísmica de Escazú - Belo Horizonte*

La falla Belo Horizonte, durante noviembre de 1992, enero de 1993 y septiembre de 1993, generó enjambres sísmicos. Los cuales presentan una tendencia noroeste, en la misma dirección de la falla.

En su mayoría magnitudes bajas, que varían entre 2 y 3 grados, con un solo evento de 4,1 y profundidad de 6,5 Km.

Respecto a la actividad sísmica más actual, a inicios del mes de abril del año 2016 la Red Sismológica Nacional localizó 26 sismos, al sur de Escazú, Santa Ana y Ciudad Colón, con los cuales determinaron la falla Salitral como la posible responsable de la sismicidad, debido a la orientación de los sismos, en dirección suroeste-noreste, desde el sur de Ciudad Colón hasta el oeste de Escazú. Sin embargo, no se puede ignorar la cercanía de la falla Escazú.

Este enjambre de sismos se ha caracterizado por magnitudes ( $M_w$ ) de entre 1,8 y 3,3 y profundidades menores a 13 Km. El sismo de mayor magnitud del enjambre ocurrió el día 25 de mayo, 3 Km al sur de Santa Ana, San José, con una profundidad de 9 Km.

## Sismo Piedras Negras

El 22 de diciembre de 1990 a las 11:27 a.m. se da un sismo de magnitud 5,7 Ms a una profundidad de 6,5 km; 4 km al nor-noreste de Santiago de Puriscal, específicamente en Piedras Negras, cantón de Mora. Se registró una intensidad máxima (escala Mercalli Modificada) de VII en Alajuela con un resultado de cien personas heridas, una persona fallecida y daños materiales entre 268 y 300 casas dañadas total o parcialmente en San José, Alajuela y Heredia; unos cinco edificios públicos y comerciales resultaron afectados en diferentes grados. A raíz del sismo principal se produjeron daños como caída de repellos, vidrios quebrados, caída de objetos de los estantes, etc.

En la zona sur de Puriscal se reportó gran cantidad de pequeños deslizamientos y hundimientos. Además, importantes deslizamientos en el cañón del río Virilla. Estos últimos ocurrieron al bascularse y fragmentarse las columnas de ignimbrita que conforman las paredes subverticales del cañón.

### 2.5. – Estimación de aceleración pico:

Para poder definir la amenaza sísmica (evento disparador de deslizamientos) es necesario especificar cuál es el parámetro de movimiento fuerte analizado. Para este proyecto, se utilizó el parámetro de aceleración máxima, cuya única variable es la amplitud, el cual es el valor más comúnmente utilizado en el análisis de la atenuación, según Climent et. al (1994). Estos autores proponen la siguiente ecuación para ser utilizada en países de Centroamérica:

$$\ln A = -1,687 + 0,553 * M - 0,537 * \ln(R) - 0,00302 * R + 0,327 * S + \sigma_{PGA}$$

Dónde:

A: Aceleración pico (m/s<sup>2</sup>)

M: magnitud de momento (5,7)

R: distancia hipocentral (13,5 km)

S: parámetro indicativo de la geología (0,6)

$\sigma_{PGA}$ : término relacionado con el error de estimación y es igual a 0,75.

El escenario particular de análisis planteado para el sitio se considera que debería ser similar a las condiciones generadas en el sismo del 21 de marzo de 1842 (Ms =5,4) y con una intensidad máxima para el poblado de Alajuelita de VII, tomando en cuenta una distancia hipocentral de 13,5 km según el reporte profundidad y cercanía de la falla, asumiendo una magnitud momento de 5,7 como un escenario crítico donde se dé un sismo con el potencial calculado para esta falla; con lo cual se obtiene una aceleración pico de **0,27 g** para un sitio clasificado como S<sub>3</sub> según apartado 2.2 del Código Sísmico de Costa Rica 2010.



## 2.6.- Amenazas Naturales:

El sitio de estudio se encuentra en un sector donde la Comisión Nacional de Emergencias define varias amenazas naturales, principalmente por sismicidad, terrenos inestables y flujos de lodos (figura #2.6.1).

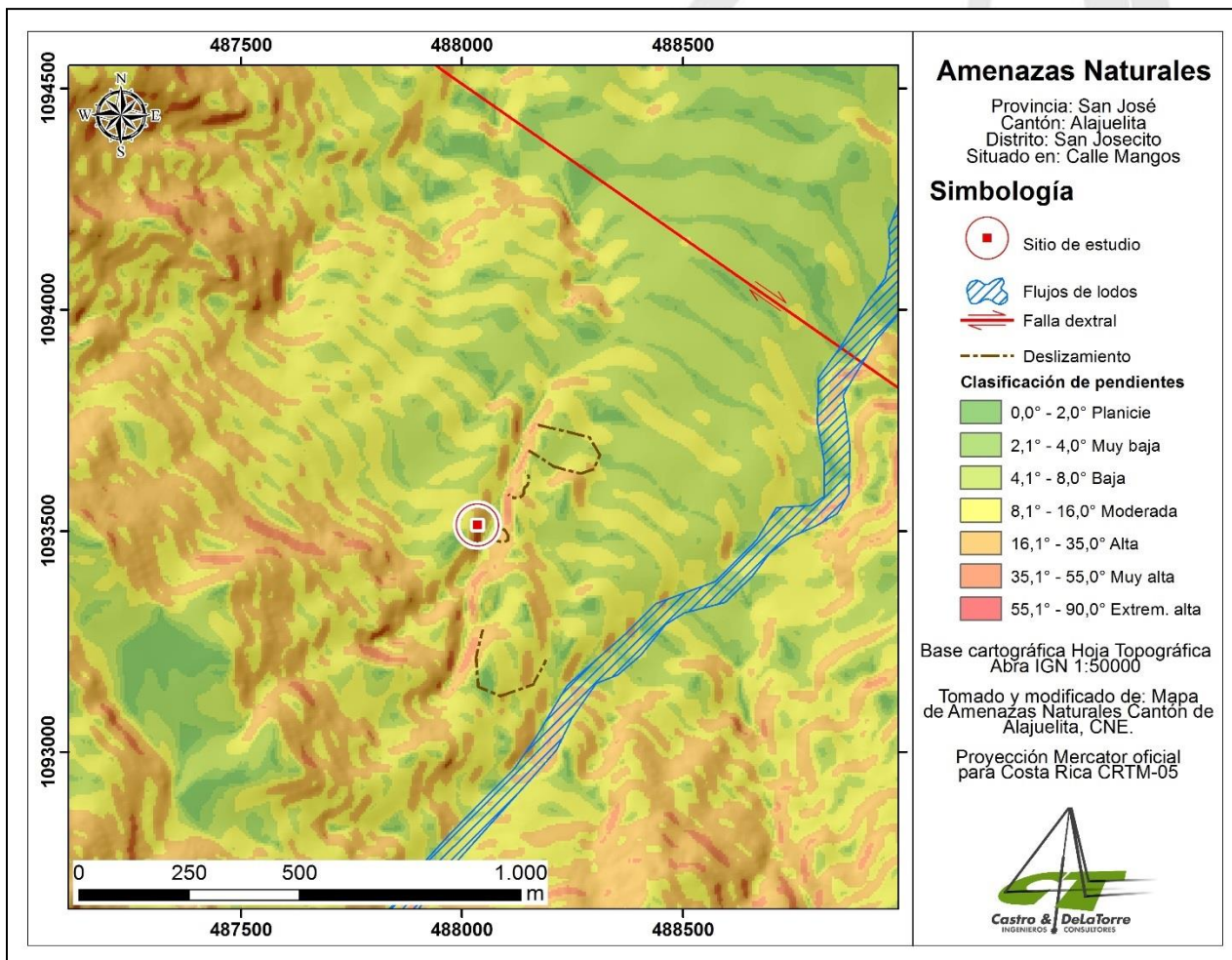


Figura #2.6.1: Amenazas naturales del sitio según CNE.

Según la CNE, el sector más vulnerable es hacia el SW del Cantón, en las partes altas del río Limón, Quebrada Chinchilla y sus afluentes. Los deslizamientos pueden ser iniciados por sismos, lluvias intensas, erosión al pie de las laderas, cortes de carretera y deforestación y generar avalanchas, destrucción de carreteras, terrenos cultivables, personas, viviendas y daños a líneas vitales.

Los flujos de lodo se encuentran asociados la ocurrencia misma de deslizamientos, dado que estos provocan represamientos en la quebrada provocando que al momento de que el cauce alcance su máximo potencial de energía para romper ese tapón se genera un flujo de lodos turbulenta y de gran energía que en su paso erosiona con fuerza el cauce, desestabilizando laderas e iniciando formación de nuevos deslizamientos.

## 2.6.1.- Sucesos climáticos recientes:

Un disparador de deslizamientos son las precipitaciones elevadas que sobre saturan los suelos y la escorrentía erosionando estos, por lo que es importante tener en cuenta los eventos recientes de lluvia máxima como tormentas tropicales.

De los resúmenes meteorológicos para los meses de julio, agosto, setiembre y octubre 2017 del IMN, se resalta que dicho año estuvo marcado por una serie de eventos climáticos anómalos extremos que incrementaron las precipitaciones a nivel nacional y las intensidades de lluvia a nivel local. El evento climatológico y meteorológico conocido como tormenta Nate, se trata de un proceso de lluvia durante los días 4 al 6 de octubre del 2017; sin embargo, este evento fue precedido por una serie de tormentas, depresiones y ondas tropicales en los meses de setiembre y agosto en los que todo el territorio nacional se vio afectado por uno de los episodios más lluviosos a nivel general, con una un proceso de saturación continua más extremos de la historia. Entre los fenómenos climáticos más severos de este episodio se pueden mencionar a la tormenta Irma y la tormenta María, principalmente.

La temporada ciclónica fue sumamente activa entre agosto y octubre del 2017, en la que se registraron 6 huracanes, de los cuales 5 alcanzaron la categoría de huracán intenso, siendo Irma uno de los más fuertes y destructivos a su paso por las islas del mar Caribe, y este en particular, tuvo influencia indirecta muy intensa sobre nuestro país. De hecho, setiembre del 2017 generó la mayor cantidad de días con presencia de huracanes intensos (17,5 días) durante cualquier mes en el registro de la zona Atlántica, a saber: Irma, María y José. Estos tres huracanes poseen la mayor cantidad de energía ciclónica acumulada (ACE), siendo los más destructivos de esta época (Fig. #2.6.1.1). Las fechas de influencia y la categoría alcanzada como huracanes de los principales eventos ciclónicos se observa en el cuadro 2.6.1.1.

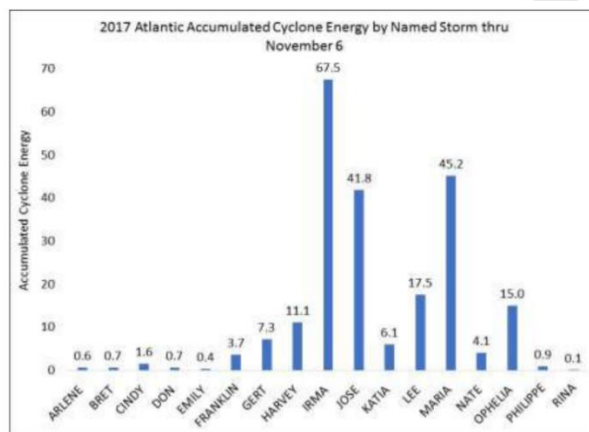


Figura #2.6.1.1: Energía ciclónica acumulada en Atlántico entre Julio-Noviembre (Chinchilla, 2017).

## 2.6.1.1. Fechas de ocurrencia y nivel ciclónico de los huracanes (Chinchilla, 2017).

Nombre	Fecha	Categoría
Harvey	17/08 al 01/09	4
Irma	30/08 al 12/09	5
José	05/09 al 21/09	4
Katia	05/09 al 09/09	2
Lee	15/09 al 29/09	3
María	16/09 al 30/09	5
Nate	04/10 al 06/10	4

En el mes de julio (2017) el clima del país está influenciado por la ocurrencia del fenómeno conocido como Canícula, el cual se trata de un aumento en las precipitaciones en la zona Norte y Atlántica del país y una disminución en el Valle Central y las regiones restantes; sin embargo, para el año anterior, en el Valle Central se presentó un aumento en las precipitaciones promedio en toda la zona, excepto en Cartago donde se observó un déficit; mientras que en el sector de Alajuela el superávit fue de 117 mm (Morera, 2017). Esto demuestra un ingreso anticipado de la época lluviosa en esta zona del país; principalmente por el ingreso de la onda tropical # 26 el día 21 de julio, la cual generó fuertes aguaceros con tormenta eléctrica e intensas ráfagas en Heredia y San José y por la presencia de la onda tropical # 29 el día 30 de julio con condiciones sumamente lluviosas durante la tarde y precipitaciones de hasta 97 mm en ciertas áreas del Valle Central.

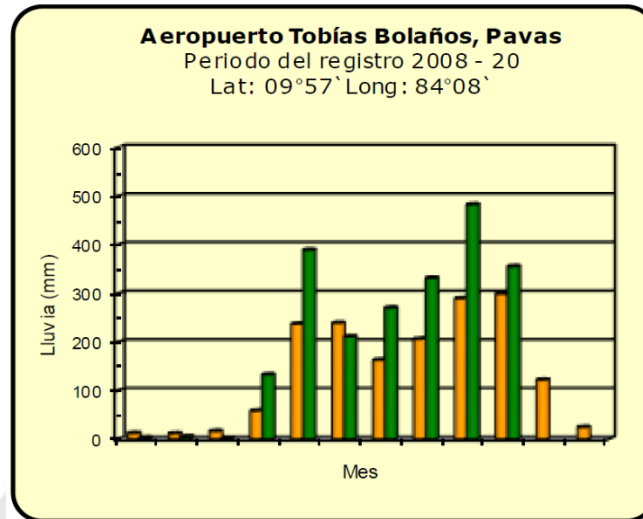
En el mes de agosto (2017), el día 5, ingresó la onda tropical # 31, generando montos de lluvia entre 90-130 mm en períodos de 24 horas (Poleo, 2017), siendo la región del Pacífico Norte la más afectada, mientras que al Oeste del Valle Central se presentaron acumulados mayores a 80 mm en 24 horas. La estación del aeropuerto Tobías Bolaños presenta un superávit de 125 mm con respecto al promedio mensual en este mes, lo que confirma el efecto del aumento de precipitaciones producto de las ondas tropicales y el huracán Harvey.

El mes de setiembre del 2017 ha sido uno de los más lluviosos de las últimas décadas, siendo que el Valle Central se registraron excedentes mayores al 100% del promedio, es decir se sobrepasó más del doble de la precipitación, con precipitaciones entre 300 mm - 700 mm en el mes; principalmente. En ese sentido, la estación del aeropuerto Tobías Bolaños, registró un superávit de 193,4 mm por encima del promedio mensual.

El mes de octubre es el más lluvioso del año en las regiones de la Vertiente del Pacífico y del Valle Central. Sin embargo, la distribución de la lluvia a lo largo de octubre del año anterior fue muy irregular, concentrándose principalmente en las lluvias generadas por la tormenta tropical Nate. En el Valle Central, los montos acumulados superaron los promedios entre 30%-50%, al registrarse montos entre 400 mm - 500 mm (Naranjo, 2017). En este mes en la estación del aeropuerto Tobías Bolaños, la precipitación incrementó en 56,6 mm solamente.



Con esta información queda claro que, para la estación Tobías Bolaños, la precipitación promedio de todos los meses del 2017, superó los promedios de prácticamente todos los meses, lo que en general responde a que el 2017 fue un año muy lluvioso influenciado por el fenómeno de la Niña (ENOS Fase Fría). Igualmente, es evidente que setiembre del 2017 fue mucho más lluvioso y con mayor cantidad de acontecimientos meteorológicos que octubre del 2017 (Figura #2.6.1.2), que solamente presentó la tormenta Nate como suceso extraordinario.



**Figura #2.6.1.2. Datos comparativos de precipitación promedio mensual y la precipitación del 2017 en la estación Tobías Bolaños (Naranjo, 2017).**

### Tormenta Irma

Un organizado sistema de baja presión al oeste de las Islas de Cabo Verde se desarrolló en la tormenta tropical Irma el día 30 de agosto, las condiciones atmosféricas y oceánicas fueron idóneas para el rápido fortalecimiento de dicho disturbio el cual se manifestó el día 31 como un huracán categoría 1 y rápidamente categoría 2; conforme avanzaba sobre el océano Atlántico llegó alcanzar categoría 3 y mientras se acercaba a las Islas de Sotavento fue un potente huracán categoría 5. Su tránsito por dichas islas, así como por el norte de las Antillas Mayores causó intensos vientos y lluvias fuertes. Cuando se encontraba en el norte de Cuba el día 9 de setiembre ocasionó flujo de vientos sobre el país ligado a dicho sistema el cual se mantuvo hasta el día 11 de setiembre. En Costa Rica, este evento meteorológico generó condiciones nubladas y lluviosas principalmente en el Pacífico, y en menor medida en el Valle Central, aunque en esta zona se registraron precipitaciones máximas cercanos a los 60 mm el día 9 de setiembre, mientras que el 10 los acumulados rondaron entre 30 mm y 40 mm y el día 11 de setiembre los montos fueron cercanos a los 100 mm.

## Tormenta Tropical María

El 16 de setiembre cruzó Costa Rica la onda tropical #40, que en las horas de la tarde generó precipitaciones de variable intensidad, con picos máximos en el Valle Central y el Pacífico, que llegaron a alcanzar hasta 40 mm en la estación de aeropuerto Tobías Bolaños, en Pavas.

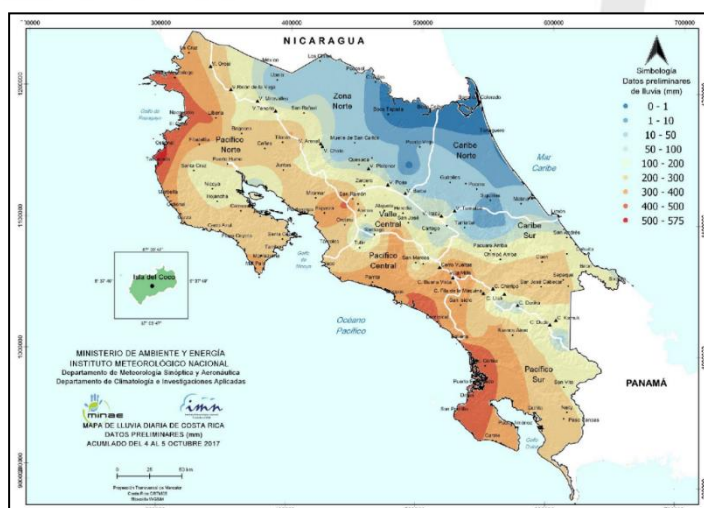
El 19 de setiembre la onda tropical #41 cruzó Costa Rica incrementado las precipitaciones vespertinas en el país, con máximos entre de 50 mm a 80 mm en 24 horas. Las precipitaciones comenzaron pasadas el medio día y se extendieron hasta altas horas de la noche. Las lluvias iniciaron en el Valle Central, extendiéndose hacia el del Pacífico y Zona Norte.

Ambas ondas tropicales afectaron directamente al país, siendo relacionadas con la ocurrencia en el Caribe de la tormenta tropical María.

## Tormenta tropical Nate

Se trata de uno de los temporales más severos ocurridos en los últimos tiempos; cuya formación se estima ocurrió a 280 km al NW de la provincia de Limón, con un lapso de afectación directa de 48 hr, muy especialmente en el Pacífico, Zona Norte y Valle Central de nuestro país; dejando a su paso grandes pérdidas tanto en vidas humanas como daños materiales. Este temporal se caracterizó por tener precipitaciones, vientos y oleaje de gran intensidad.

La intensidad de las lluvias o la cantidad de agua que se acumula en función de un período de tiempo juega un rol determinante en la respuesta de las cuencas del país. Para obtener este tipo de datos se recurrió a los mapas de lluvia diaria acumulada cada 24 horas, publicados preliminarmente por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). La figura #2.6.1.3 representa las lluvias acumuladas entre los días 4 y 5 (ambos de octubre, 2017), donde se muestran los primeros efectos indirectos y directos asociados con el evento de baja presión conocido como tormenta Nate, que posteriormente se convirtiera en huracán. Nótese una gran área de precipitaciones cubriendo el Pacífico Norte y Sur del país, con máximos de hasta 500 mm en cantones costeros.



**Figura #2.6.1.3: Mapa de lluvia diaria acumulada del 4 al 5 de octubre (IMN, 2017).**



## 2.7.- Análisis geomorfológico:

Se elabora el análisis geomorfológico del área de interés comprendiendo un área aproximada de 0,17 Km<sup>2</sup> y en ella identificándose cinco (5) unidades geomorfológicas. Tal caracterización se realiza basándose en el análisis de imágenes aéreas, mapas e información cartográfica reciente y se clasifican las unidades geomorfológicas mediante el sistema ITC de Holanda, el cual es ampliamente usado en el país. A continuación, se describen estas unidades y en la Figura 2.7.1 se observa su distribución en las cercanías del sitio.

Es importante destacar que este análisis geomorfológico complementa los métodos de susceptibilidad a deslizamientos analizados más adelante y se utilizan como insumo a estos, dado que esta es un parámetro de importancia en tales análisis.

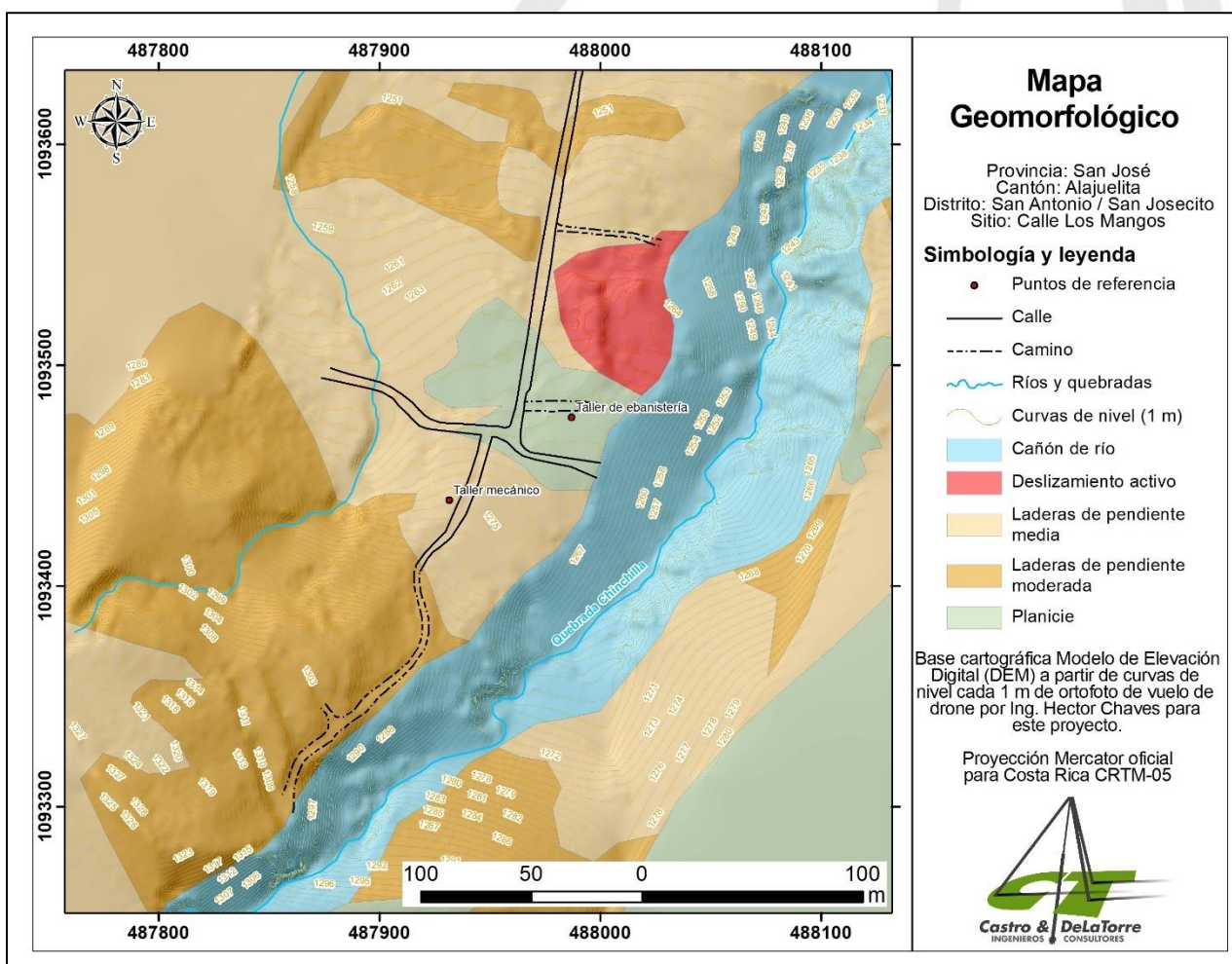


Figura #2.7.1. Mapa geomorfológico de los alrededores del sitio de estudio

Laderas denudacionales de baja pendiente o planicies:

Se localizan principalmente en las zonas de mayor concentración de viviendas, principalmente sobre depósitos coluviales recientes, además cuentan con pendientes que no superan los 4° de inclinación. Los terrenos dentro de esta unidad presentan formas suavemente onduladas principalmente en los centros poblacionales.

Laderas denudacionales de media pendiente:

Se refieren a terrenos de pendientes entre los 4° y 16° de inclinación, se presentan principalmente en las transiciones de zonas planas a zonas montañosas, en este caso se encuentran predominando el área de interés. Estas laderas tienen una moderada disectación por parte de flujos de aguas superficiales.

Laderas denudacionales de pendiente moderada:

Corresponden principalmente con las zonas ubicadas en las partes medias-altas de la zona montañosa y con una disectación media debida a los cursos de agua establecidos en la zona, propiciados por la pendiente y el efecto de la gravedad. Con pendientes entre los 16° y 35°. Sobre esta unidad se encuentran gran parte de las grietas observadas y algunas coronas de deslizamientos.

Cañón de río:

Corresponde a la depresión de terreno formada por la erosión del paso de la quebrada Chinchilla, profundo por lo que genera laderas de pendientes altas en sus márgenes, siendo estos sitios donde se concentran la mayoría de los deslizamientos.

Deslizamiento activo

Se define esta geoforma como un sector particular donde se da un asentamiento del terreno que se encuentra activo y forma una depresión en forma de herradura con un desplazamiento primordialmente vertical de aproximadamente 3 m y sin movimiento horizontal considerable.

## 2.8. – Topografía de línea base:

Se consulta la información histórica disponible de topografía para el área investigada y para esta investigación se han obtenido curvas de nivel cada 1 m a partir de un vuelo con dron en abril del 2021; de las curvas históricas y las obtenidas para este trabajo se generan modelos de elevación digital (MED) los cuales se comparan mediante perfiles topográficos respectivos con tal de tener una idea de cómo ha avanzado el deslizamiento en estudio.



Se cuenta con las curvas de nivel de la hoja Abra escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) las cuales son cotas de nivel cada 20 m y que se realizó mediante estereofotogrametría basadas en fotos aéreas tomadas en 1956 por el Servicio Geodésico Interamericano y con una actualización fotoplanimétrica con fotos aéreas tomadas en 1988 por el IGN, las curvas de nivel de la hoja Agres escala 1:10 000 del IGN mediante fotogrametría digital a partir de fotos aéreas de vuelos en el 2005, curvas de nivel a escala 1:5000 del IGN mediante fotogrametría digital a partir de fotos aéreas de vuelos entre el 2005 y 2007; y por último las curvas de nivel obtenidas para este trabajo a partir de un vuelo de drone realizado en abril del 2021 del cual se obtiene una ortofoto y un MED de la condición más reciente del sitio, trabajo realizado por el Ing. Topógrafo Hector Chaves.

En la figura 2.8.1 se muestra la ortofoto y el MED del vuelo de drone para este estudio y con la ubicación de las líneas de perfil de las cuales se obtienen perfiles topográficos para cada MED de las curvas de nivel disponibles para comparar las variaciones topográficas dadas por el deslizamiento en estudio.

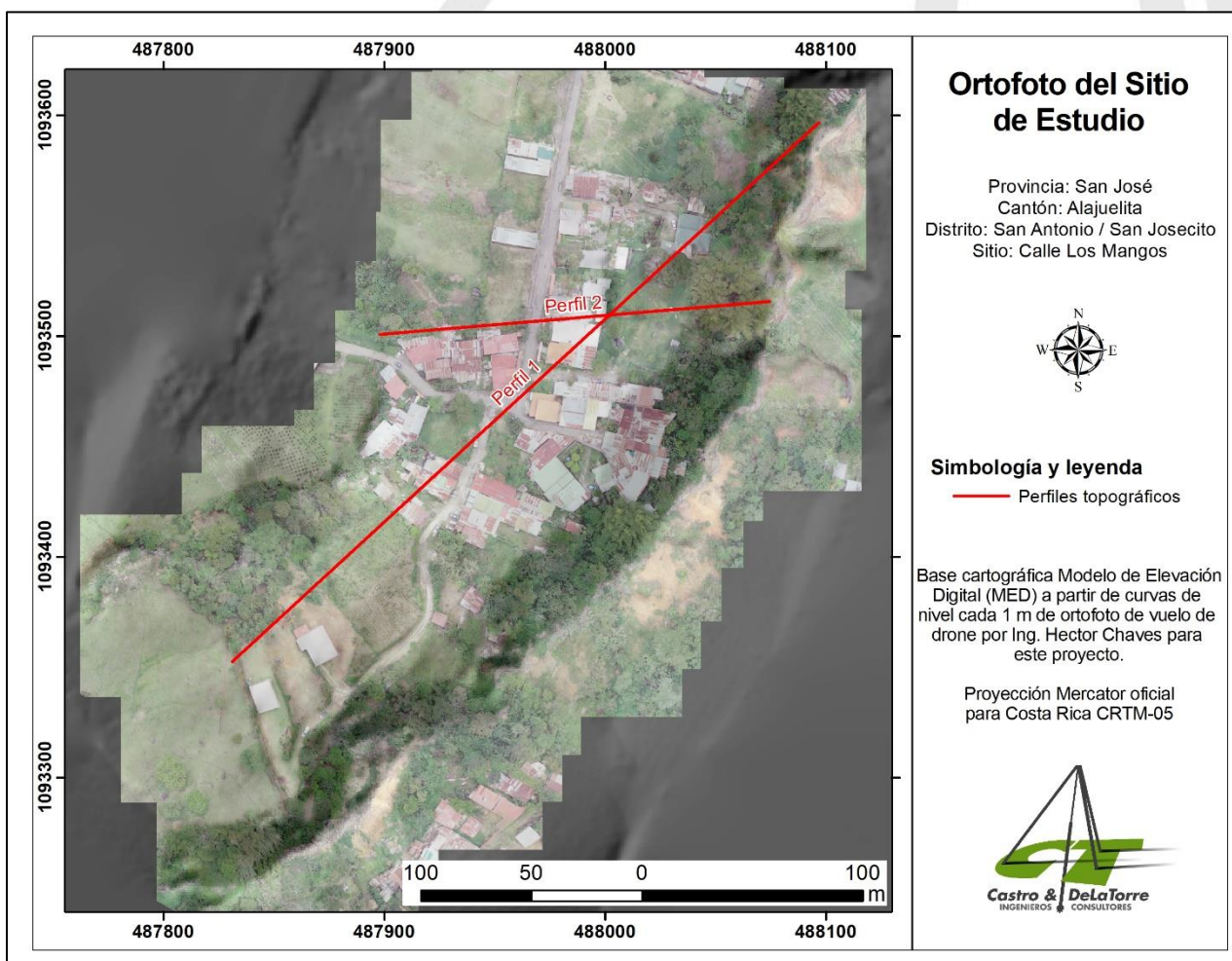
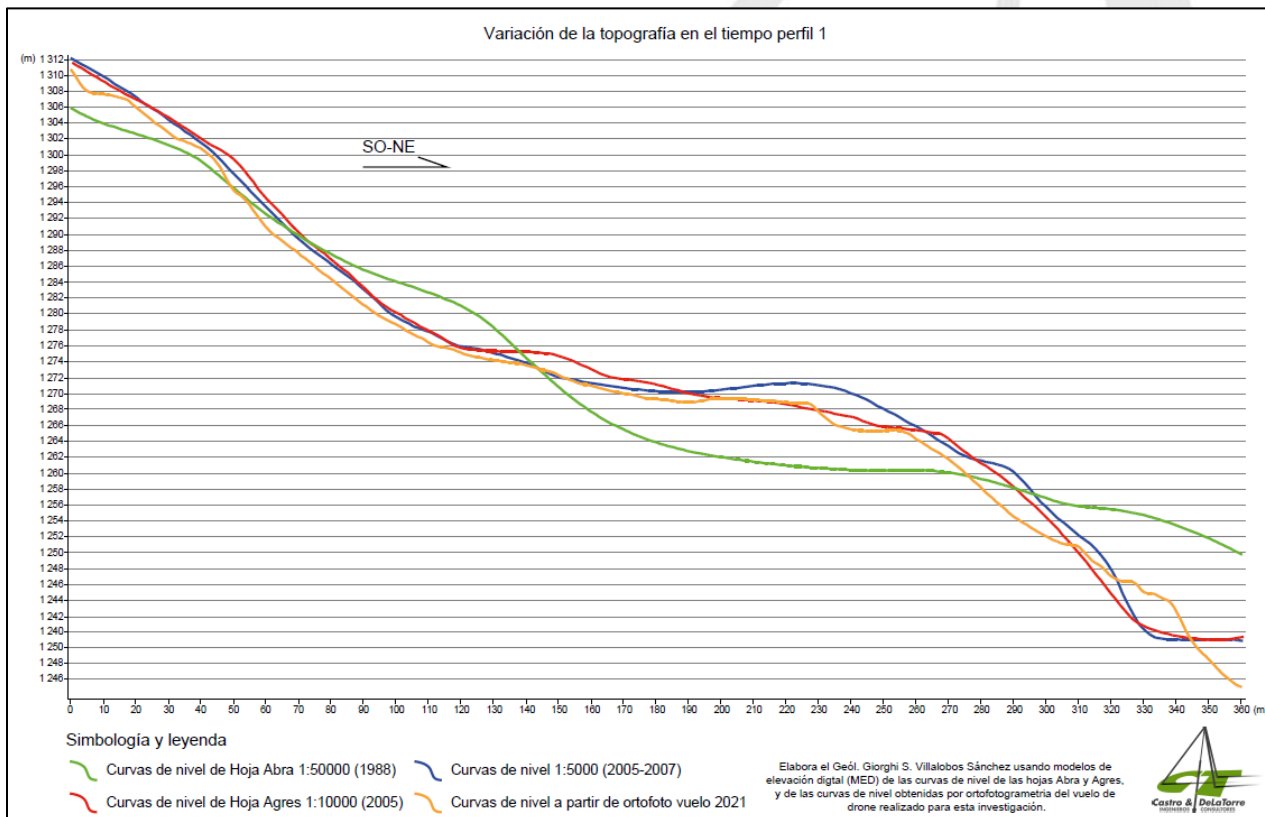


Figura #2.8.1. Ortofoto con MED para el sitio de estudio de vuelo 2021.

En el anexo B se muestran las curvas de nivel de cada una de las fuentes mencionadas y para ejemplificar los cambios en topografía ocasionados por el deslizamiento en estudio se muestra en las figuras 2.8.2 y 2.8.3 y con mayor detalle en el mismo anexo B, los perfiles superpuestos de cada una de las fuentes tanto para el perfil 1 y perfil 2.



**Figura #2.8.2. Perfiles topográficos superpuestos de cada fuente de curvas de nivel para el perfil 1.**

Como se observa de manera general una de las primeras apreciaciones es que en la parte alta del perfil las variaciones son de menor proporción y que incluso en gran parte se pueden deber a las diferentes escalas de cada fuente, y que en la parte baja y hasta el cauce de la quebrada Chinchilla si se observan mayores cambios.

Cronológicamente observando la línea de color verde que corresponde a las curvas de nivel de la hoja Abra (1988), deducimos que en la parte alta de mayor pendiente por encima de la cota 1276 m.s.n.m. las diferencias se pueden deber en gran medida a la diferencia de escala tan grande, pero de igual manera se entiende el nivel de terreno ha sido modificado donde se ha dado paulatinamente una erosión lenta de los suelos con una deposición en las zonas bajas o de pie de talud; en el sector de pendientes bajas se observa como el nivel de terreno era más bajo que los históricos recientes y el cual se ha podido ir modificando por la formación de rellenos artificiales y la propia deposición de los materiales erosionados en las partes altas, siempre teniendo en cuenta las diferencias de escala que hay entre la hoja Abra y las demás fuentes para así entender la magnitud en las diferencias.



Ahora analizando las demás curvas se observa de manera general que sus diferencias presentan magnitudes menores; sin embargo, se aprecia que en los sectores de alta pendiente tenemos un disminución de la superficie de un perfil a otro debido a la erosión gradual en este sector, mientras que en el sector de bajas pendientes y hasta la quebrada Chinchilla se aprecia un movimiento en el terreno en dirección hacia la quebrada además de un aumento en la profundidad del cauce en el tiempo según cada una de las fuentes. Se debe destacar que en la línea de color naranja que corresponde a las curvas de nivel obtenidas para esta investigación se observa un perfil menos suave que los demás con pequeñas caídas abruptas y sectores con depresiones de tipo cuchara que corresponde con sectores de fracturas, asentamientos o coronas de deslizamientos.

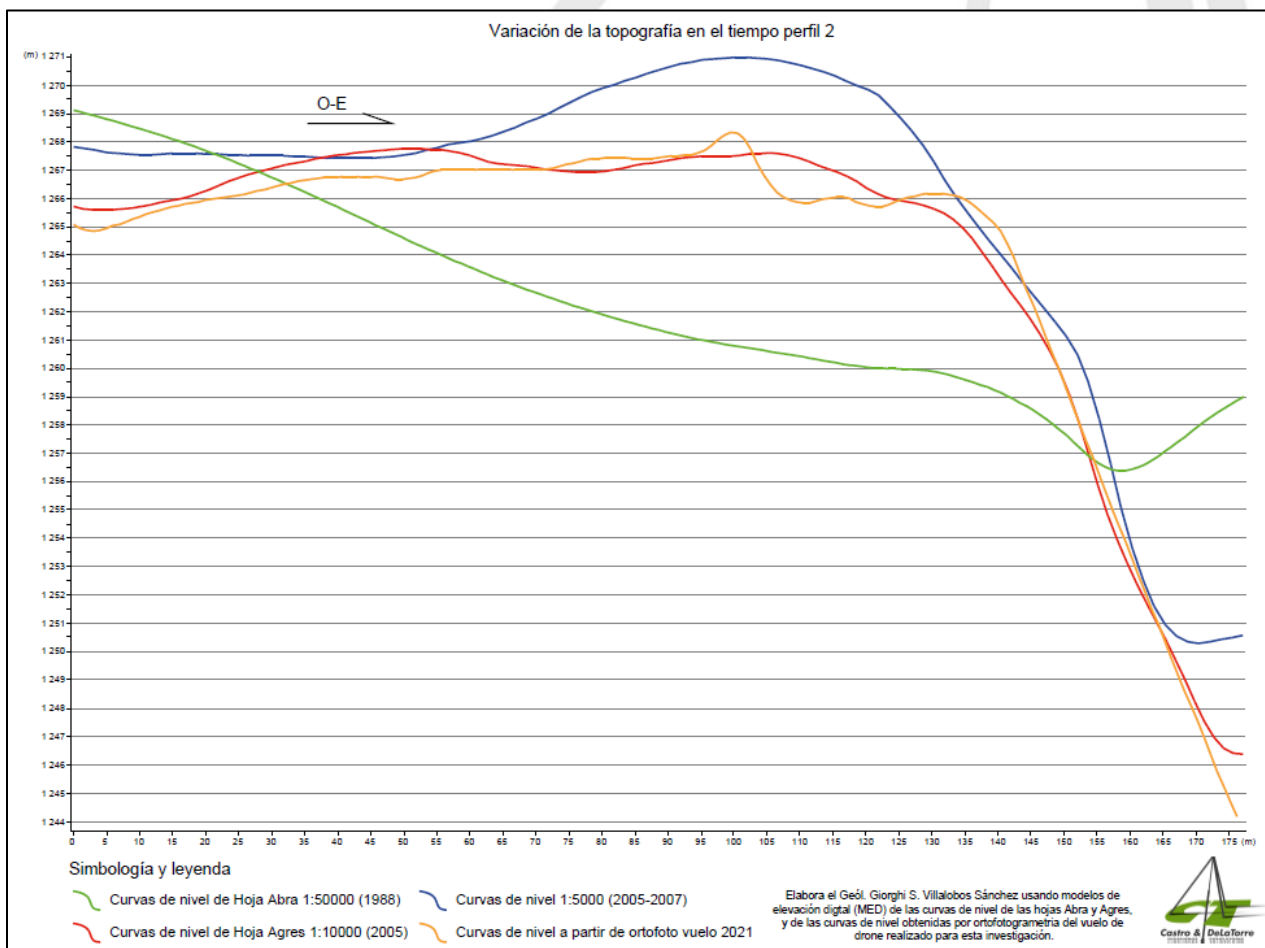


Figura #2.8.3. Perfiles topográficos superpuestos de cada fuente de curvas de nivel para el perfil 2.

Observando el perfil 2 podemos obtener las mismas conclusiones generales explicadas para el perfil 1, comparando las curvas de la hoja Abra (verde) tenemos cambios de mayor magnitud asociadas a la escala, pero con un comportamiento igual apreciable de erosión en parte alta con deposición en los sectores bajos y la posible formación de algunos rellenos artificiales que en conjunto pudieron elevar la superficie del terreno. De las demás fuentes en general se concluye lo mismo, un pequeño movimiento lateral hacia la quebrada Chinchilla, el aumento en la profundidad del cauce y la apreciación de las deformaciones en el suelo en las curvas de nivel obtenidas para esta investigación (naranja).

## 2.9. – Tomografía Eléctrica:

En esta sección se establece un marco resumen con la clasificación y los rangos de resistividades observadas tanto como su correlación geológica, posteriormente, se analizan los perfiles por separados.

### 2.9.1 Clasificación determinada a partir de los rangos resistivos.

Los perfiles interpretados arrojan valores de resistividad desde bajos a relativamente altos en contexto con materiales sedimentarios, ígneos y recientes. La figura 2.9.1.1 resume la clasificación generada para las capas identificadas en el sitio.

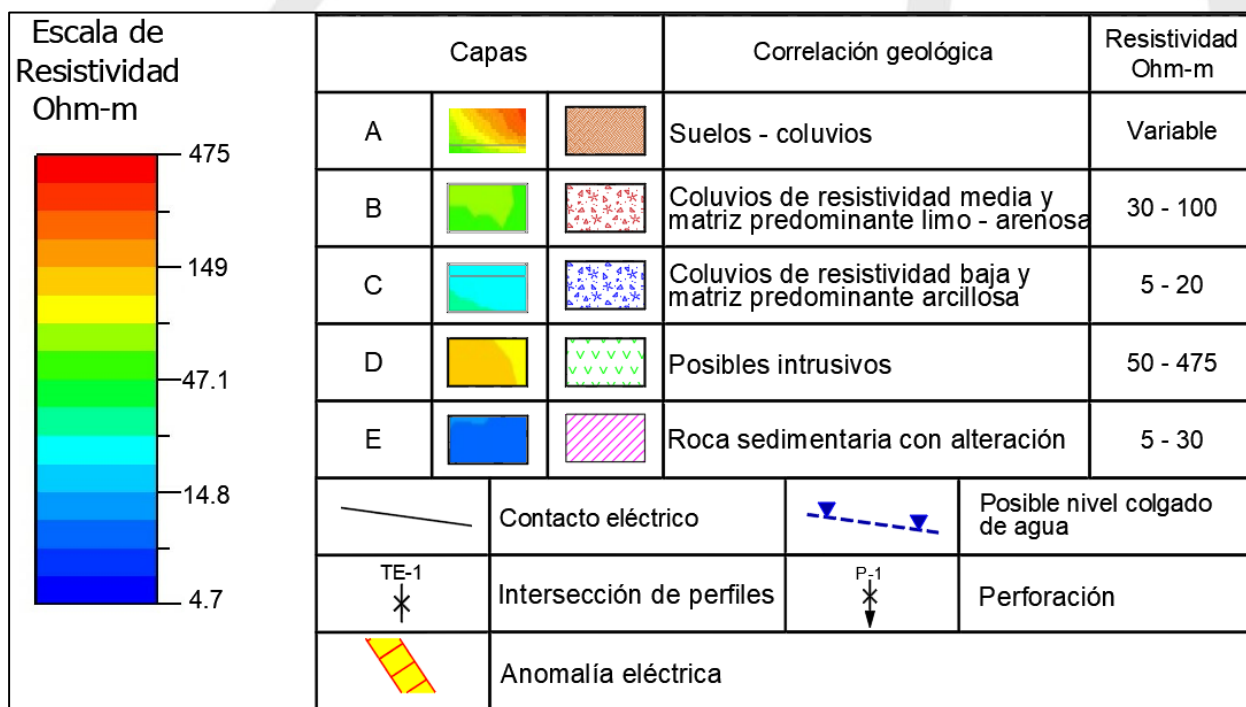


Figura #2.9.1.1. Posible correlación geológica y clasificación de resistividades propuesta.



El modelo geológico establecido, está basado en trabajos realizados en el entorno y de los datos que fueron obtenidos en las perforaciones de rotación y SPT realizadas en el entorno.

## 2.9.2 Descripción del perfil TE – 1

En la siguiente tabla 2.9.2.1, se establecen los espesores de las capas identificadas por perfil acorde a la clasificación general dada en el apartado anterior.

**Tabla 2.9.2.1. Resultados obtenidos en el perfil TE – 1**

<b>CAPA</b>	<b>Litología</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Resistividad (ohm – m)</b>
CAPA A	Suelos – coluvios - aluviones	3,4 – 7,8	Variable
CAPA B	Coluvios resistividad media y matriz liimo-arenosa	0 – 22	30 – 100
CAPA C	Coluvios de resistividad baja y matriz limo - arcillosa	0 – 19	5 – 20
CAPA D	Posibles intrusivos	0 – 4,4	50 – 475
CAPA E	Roca sedimentaria con alteración	>23*	5 – 30

\*Mínimo observado en yacimiento basal

Lo más resaltante del análisis es:

- La capa A con resistividades variables, reflejan materiales inconsolidados y mayoritariamente drenados de espesor máximo de 7,8 m.
- Las capas tipo B y C corresponden con materiales coluviales con rangos de diferente resistividad eléctrica. Aquellos que tengan la matriz más arcillosa generan valores resistivos bajos y está definida como la capa C que se ubica hacia el flanco SW del perfil, los coluvios que muestren resistividades de 30 ohm – m a 100 ohm – m se clasifican como materiales con matriz limo – arenosa y éstos están clasificados dentro de la capa B.
- Este es el único perfil en donde se observan resistividades altas de hasta casi 500 ohm – m que son clasificados como materiales intrusivos, en contexto geológico con afloramientos de cantos en las quebradas y un gabro descrito en la perforación P-1 que se encuentra a una distancia de 30 m al sur del perfil; estos materiales se han clasificado como capa D y su presencia en el perfil está limitado entre las estaciones 0+000 y 1+110.
- La capa E corresponde con rocas sedimentarias basales que producto del metamorfismo regional y, además, de la constitución de su matriz, se correlaciona con materiales con alteración.
- En la estación 0+110, se identifica un fuerte contraste lateral entre las capas D y E lo que se define como una anomalía eléctrica; esta anomalía se correlaciona como un cambio lateral en el carácter litológico más que asociado a procesos tectónicos.

- Con base en criterios de contrastes eléctricos y asumiendo un gradiente hidráulico lógico, y basado en trabajos del área, se interpreta un nivel estático entre los 25 m a 30 m en este perfil, identificado con una línea discontinua gruesa de color azul, este límite estaría cercano al contacto entre las unidades de coluvios recientes y la roca sedimentaria basal, otros niveles superiores fueron reportados durante los procesos de perforación, pero se correlacionan con niveles colgados.

Las siguientes figuras 2.9.2.1 y 2.9.2.2, se muestran los resultados del perfil y el modelo geológico integrado, en el anexo C se muestran las láminas a detalle de todas las tomografías eléctricas.

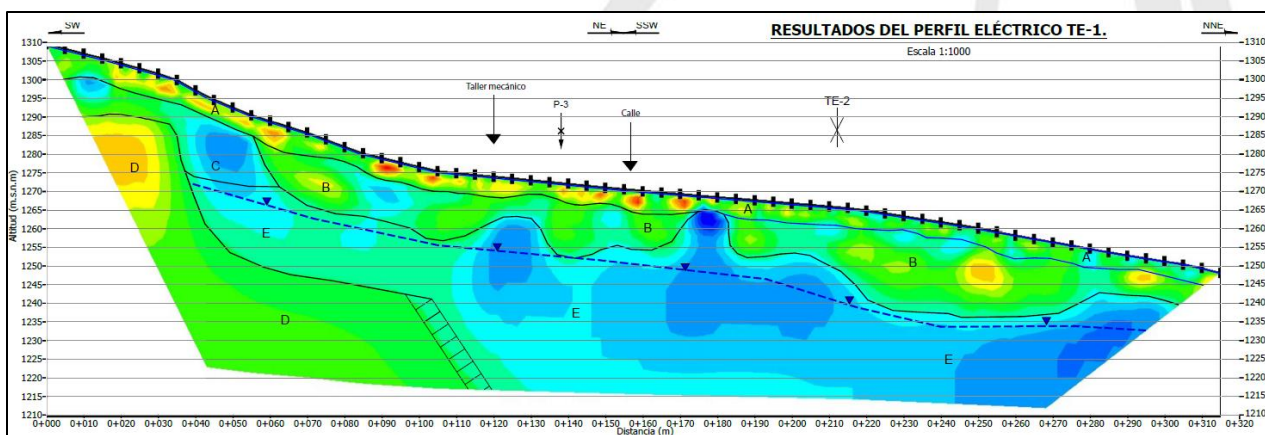


Figura #2.9.2.1. Salida gráfica del programa EarthImager V 4.4 del perfil TE - 1.

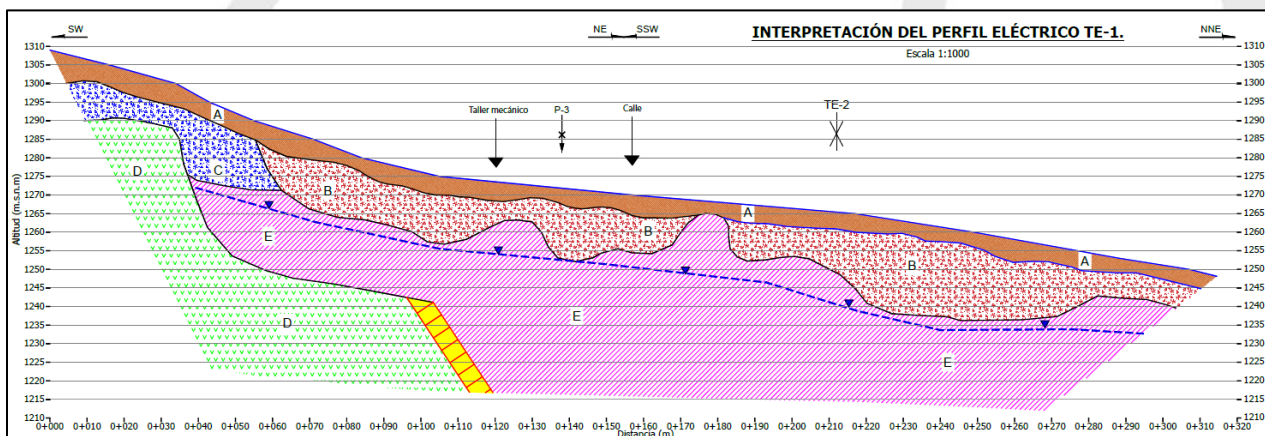


Figura #2.9.2.2. Modelo geológico integrado del perfil TE - 1.

### 2.9.3 Descripción del perfil TE - 2.

En la siguiente tabla 2.9.3.1, se establecen los espesores de las capas identificadas por perfil acorde a la clasificación general dada en el apartado 2.9.1.



**Tabla 2.9.3.1. Resultados obtenidos en el perfil TE – 2**

<b>CAPA</b>	<b>Litología</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Resistividad (ohm – m)</b>
CAPA A	Suelos – coluvios - aluviones	2,3 – 8,2	Variable
CAPA B	Coluvios resistividad media y matriz limo-arenosa	5,8 – 12	30 – 100
CAPA C	Coluvios de resistividad baja y matriz limo - arcillosa	6,8 – 18,7	5 – 20
CAPA E	Roca sedimentaria con alteración	>30*	5 – 30

\*Mínimo observado en yacimiento basal

Lo más resaltante del análisis es:

- La capa A con resistividades variables, reflejan materiales inconsolidados y mayoritariamente drenados de espesor máximo de 8 m.
- Las capas tipo B y C corresponden con materiales coluviales con rangos de diferente resistividad eléctrica. Aquellos que tengan la matriz más arcillosa generan valores resistivos bajos y está definida como la capa C que se ubica hacia el flanco SE y desde la estación 0+070 hasta el fin del perfil con el flanco NW del perfil, los coluvios que muestren resistividades de 30 ohm – m a 100 ohm – m se clasifican como materiales con matriz limo – arenosa y éstos están clasificados dentro de la capa B ubicado hacia el SE.
- La capa D correspondiente a materiales intrusivos no se identifica en este perfil.
- La capa E corresponde con rocas sedimentarias basales que producto del metamorfismo regional y, además, de la constitución de su matriz, se correlaciona con materiales con alteración y en este perfil yace en toda la sección como lo muestra la figura 2.9.3.2.
- Entre las estaciones 0+190 y 0+230, se identifica un cuerpo de mayor resistividad dentro de la unidad del sedimentario; esta variación demarcada en la interpretación como dos fronteras, y puede corresponder a algún rasgo estructural como zona de mayor fracturas o posible falla, aunque estas zonas anómalas no se prolongan hasta la superficie por lo que se deduce, que en caso de tratarse de un rasgo tectónico no es reciente (neotectónico).
- Con base en criterios de contrastes eléctricos y asumiendo un gradiente hidráulico lógico, y basado en trabajos del área, se interpreta un nivel estático entre los 25 m a 30 m en este perfil, identificado con una línea discontinua gruesa de color azul, este límite estaría cercano al contacto entre las unidades de coluvios recientes y la roca sedimentaria basal, otros niveles superiores fueron reportados durante los procesos de perforación, pero se correlacionan con niveles colgados.

Las siguientes figuras 2.9.3.1 y 2.9.3.2, se muestran los resultados del perfil y el modelo geológico integrado, en el anexo C se muestran las láminas a detalle de todas las tomografías eléctricas.

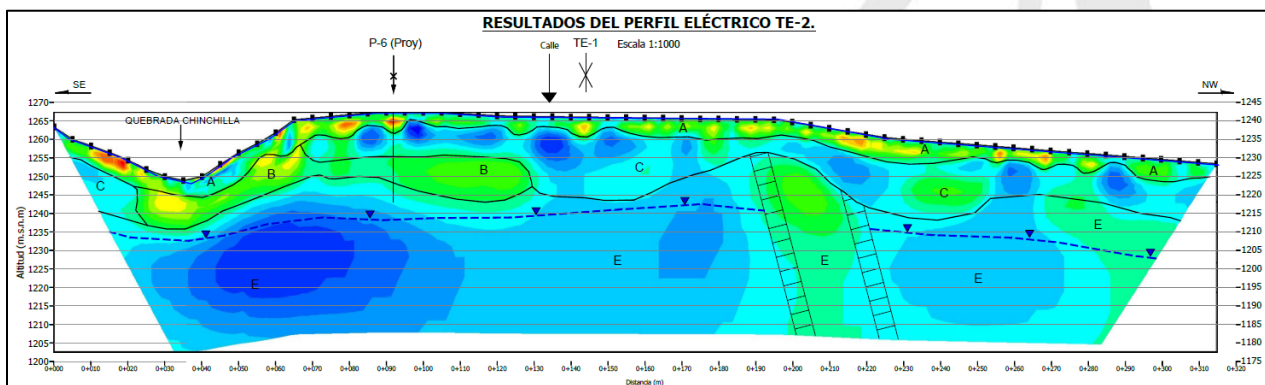


Figura #2.9.3.1. Salida gráfica del programa Earthmager V 4.4 del perfil TE – 2.

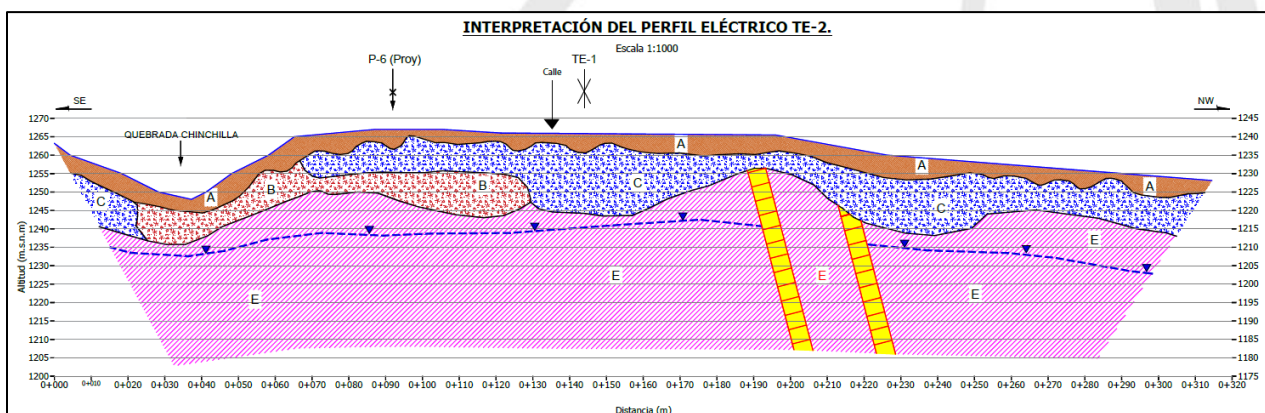


Figura #2.9.3.2. Modelo geológico integrado del perfil TE – 2.

### 2.9.4 Descripción del perfil TE – 3.

En la siguiente tabla 2.9.4.1, se establecen los espesores de las capas identificadas por perfil acorde a la clasificación general dada en el apartado 3.5.1.

Tabla 2.9.4.1. Resultados obtenidos en el perfil TE – 3

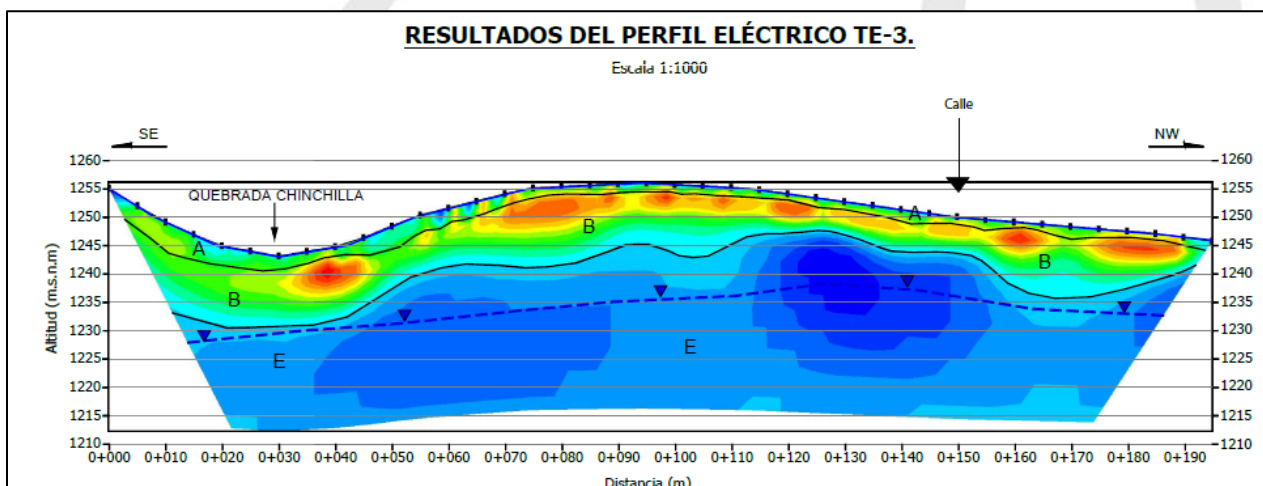
CAPA	Litología	Espesor (m)	Resistividad (ohm – m)
CAPA A	Suelos – coluvios - aluviones	1,4 – 3,2	Variable
CAPA B	Coluvios resistividad media y matriz limo-arenosa	4 – 11	30 – 100
CAPA E	Roca sedimentaria con alteración	>20*	5 – 30

\*Mínimo observado en yacimiento basal

Lo más resaltante del análisis es:

- La capa A con resistividades variables, reflejan materiales inconsolidados y mayoritariamente drenados de espesor máximo de 3 m.
- Se observa que, en este perfil las resistividades predominantes de los materiales coluviales están en un rango de valores intermedio (30 ohm – m a 100 ohm – m), por lo que se clasifican como capa B y la C está ausente.
- La capa E corresponde con rocas sedimentarias basales que producto del metamorfismo regional y, además, de la constitución de su matriz, se correlaciona con materiales con alteración y en este perfil yace en toda la sección como lo muestra la figura 2.9.4.2.
- No fueron observadas zonas de anomalía eléctrica asociadas a variaciones laterales y se identifica un claro nivel estático mayoritariamente entre las cotas 1230 m.s.n.m. y 1235 m.s.n.m.

Las siguientes figuras 2.9.4.1 y 2.9.4.2, se muestran los resultados del perfil y el modelo geológico integrado, en el anexo C se muestran las láminas a detalle de todas las tomografías eléctricas.



**Figura #2.9.4.1. Salida gráfica del programa EarthImager V 4.4 del perfil TE – 3.**



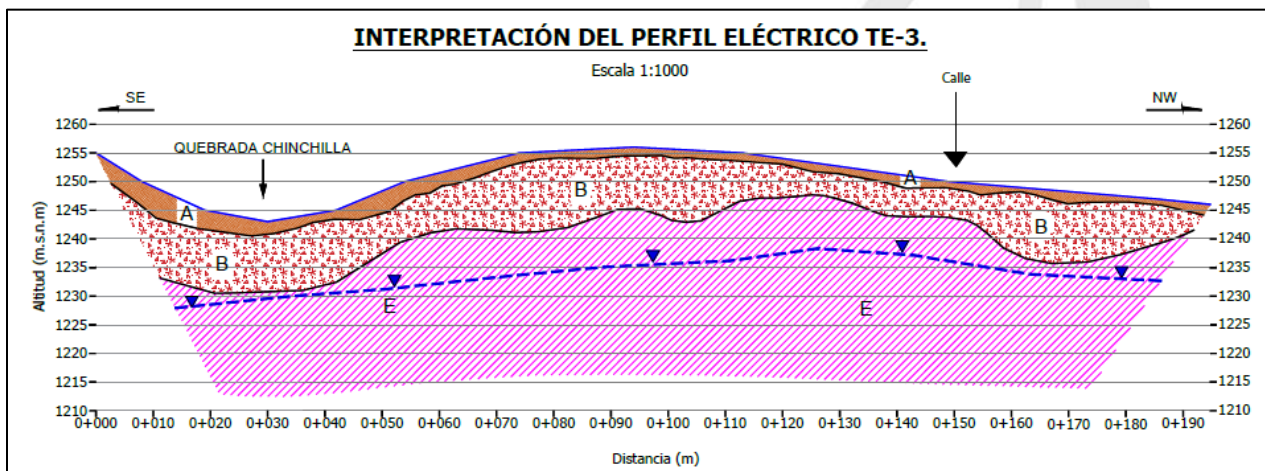


Figura #2.9.4.2. Modelo geológico integrado del perfil TE – 3.

### 2.9.5. Conclusiones

En resumen, se concluye que la estratigrafía geo-eléctrica obtenida en el sitio está resumida en el siguiente recuadro:

Capas		Correlación geológica	Resistividad Ohm-m
A		Suelos - coluvios	Variable
B		Coluvios de resistividad media y matriz predominante limo - arenosa	30 - 100
C		Coluvios de resistividad baja y matriz predominante arcillosa	5 - 20
D		Posibles intrusivos	50 - 475
E		Roca sedimentaria con alteración	5 - 30

Figura #2.9.5.1. Estratigrafía geo-eléctrica del sitio.

Además, se concluye en términos generales que:

- La capa A con resistividades variables, reflejan materiales inconsolidados y mayoritariamente drenados de espesor máximo de 7,8 m en el perfil TE - 1
- Las capas tipo B y C corresponden con materiales coluviales con rangos de diferente resistividad eléctrica. Aquellos que tengan la matriz más arcillosa generan valores resistivos bajos y está definida como la capa C, los coluvios que muestran resistividades de 30 ohm – m a 100 ohm – m se clasifican como materiales con matriz limo – arenosa y éstos están clasificados dentro de la capa B.
- En el perfil TE – 1, se observan resistividades altas de hasta casi 500 ohm – m que son clasificados como materiales intrusivos, en contexto geológico con afloramientos de cantos en las quebradas y un gabro descrito en la perforación P-1 que se encuentra a una distancia de 30 m al sur del perfil; estos materiales se han clasificado como capa D y su presencia en el perfil está limitado entre las estaciones 0+000 y 1+110.
- La capa E corresponde con rocas sedimentarias basales que producto del metamorfismo regional y, además, de la constitución de su matriz, se correlaciona con materiales con alteración.
- En la estación 0+110 del perfil TE - 1, se identifica un fuerte contraste lateral entre las capas D y E lo que se define como una anomalía eléctrica; esta anomalía se correlaciona como un cambio lateral en el carácter litológico más que asociado a procesos tectónicos.
- Entre las estaciones 0+190 y 0+230 del perfil TE – 2, se identifica un cuerpo de mayor resistividad dentro de la unidad del sedimentario; esta variación demarcada en la interpretación como dos fronteras, y puede corresponder a algún rasgo estructural como zona de mayor fracturas o posible falla, aunque estas zonas anómalas no se prolongan hasta la superficie por lo que se deduce, que en caso de tratarse de un rasgo tectónico no es reciente (neotectónico).
- Con base en criterios de contrastes eléctricos y asumiendo un gradiente hidráulico lógico, y basado en trabajos del área, se interpreta un nivel estático mayoritariamente entre los 25 m a 30 m de los perfiles, este límite estaría cercano al contacto entre las unidades de coluvios recientes y la roca sedimentaria basal, otros niveles superiores fueron reportados durante los procesos de perforación, pero se correlacionan con niveles colgados.

## 2.10.- Sondeos exploratorios en el terreno:

En general el perfil de suelo detectado en las perforaciones realizadas con el sistema de perforación estándar SPT y rotación con saca núcleo, y su clasificación por consistencia de acuerdo con Terzaghi y Peck<sup>1</sup>, es el siguiente:

Asfalto en P-5 de 0,00 m a 0,002 m.

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
AA	P-5	0,02 a 0,23	Relleno de lastre de color gris oscuro.

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
BB	P-1	0,00 a 0,40	Suelo orgánico de color negro, de baja calidad.
	P-1A	0,00 a 0,20	
	P-2	0,00 a 0,40	
	P-3	0,00 a 0,30	
	P-4	0,00 a 0,30	
	P-5	0,23 a 0,40	
	P-6	0,00 a 0,60	

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
CC	P-2	0,40 a 0,90	Arcilla limosa de color café.
	P-5	0,40 a 0,62	

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
DD	P-1	0,40 a 5,40	Limo de alta plasticidad de color café a café claro con pintas grises, amarillentas y negras y piedras, de consistencia variable entre media y rígida.
	P-1A	0,20 a 5,00	
	P-2	0,90 a 8,55	
	P-3	0,30 a 5,40	
	P-4	0,30 a 3,15	
	P-5	0,65 a 6,30	
	P-6	0,60 a 8,85	

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



CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
EE	P-1	5,40 a 21,90	Limo arcillo arenoso de color café amarillento a gris con bloques residuales decimétricos a centimétricos de hasta 45 cm, de consistencia variable entre media a rígida.
	P-2	8,55 a 13,50	
	P-3	5,40 a 7,65	
	P-4	3,15 a 5,50	
	P-5	6,30 a 9,50	
	P-6	8,85 a 12,90	

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
FF	P-1	21,90 a 28,90	Limo arcillo arenoso de color café amarillento con alteraciones de óxidos, superficies pulidas y fragmentos líticos residuales muy meteorizados, de consistencia rígida.
	P-3	7,65 a 10,35	

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
GG	P-6	12,90 a 13,95	Limo arcillo arenoso de color gris verdusco, de consistencia rígida.

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
HH	P-6	13,95 a 20,75	Limo arcillo arenoso de color café amarillento a gris con bloques residuales centimétricos de 7 cm, de consistencia rígida.

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
II	P-6	20,75 a 24,45	Grava en matriz arenosa de color gris, de compacidad relativa muy compacta (aluvión).

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
JJ	P-1	28,90 a 30,40	Gabro de color gris claro con algunas fracturas y con pátinas de óxido en las fracturas.

CAPA	Perforación	Profundidad (m)	Descripción
KK	P-6	24,45 a 31,50	Lutita de color café meteorizada con pátinas de óxido, hierro y magnesio, alteración a arcillas y muy fracturada, con presencia de algunas superficies pulidas y de consistencia dura a rígida.

## 2.10.1.- Clasificación unificada de suelos (ASTM D-2487\*\*):

Basado en las pruebas de laboratorio y en la observación visual de las muestras extraídas y ensayadas, se clasifican los suelos encontrados de la siguiente forma:

**Tabla 3.6.1. Resultados de límites de Atterberg:**

Capa	CC	DD	EE	FF
<b>Límites de Atterberg: ASTM D-4318 Instrucción de ensayo IE-15*</b>				
Límite líquido	37	52	38	27
Índice plástico	15	23	9	3
Límite contracción**, %	11	18	6	4
Contenido orgánico** %	-	-	-	-
<b>Granulometría: ASTM D-1140**</b>				
<b>Malla</b>	<b>% pasando</b>			
4,75 mm (#4)	98	100	100	92
0,425 mm (#40)	90	95	98	79
0,075 mm (#200)	81	91	95	62
Contenido de arena %	19	9	5	38
Clasificación unificada: ASTM D-2487**	CL	MH	ML-SM	ML-SM

## 2.10.2.- Nivel de agua subterránea en las perforaciones:

Durante el proceso de perforación se detectó presencia de un nivel de aguas subterráneas en algunos de los puntos, a las profundidades estudiadas, y a partir de los niveles actuales de terreno, en esta época del año. El detalle se muestra en la tabla 2.10.2.1.

**Tabla 2.10.2.1. Profundidad del nivel de aguas:**

Sondeo	Profundidad Nivel de Aguas (m)
P-1	13,70
P-1A	ND
P-2	3,60
P-3	2,80
P-4	2,80
P-5	4,50
P-6	4,50

ND: No se detectó

De acuerdo con las observaciones efectuadas en las perforaciones se detecta nivel de aguas subterráneas a las profundidades investigadas en esta época del año en la mayoría de los sondeos. Estos niveles se asocian a niveles colgados retenidos por los suelos de mayor plasticidad de baja permeabilidad, esto se evidencia porque en la P-1A no se detecta nivel de aguas subterráneas, en las perforaciones P-1 y P-6 se dan fugas totales del agua de perforación a partir de 10,0 m y nivel de superficie respectivamente, debido a que se atraviesan las capas sello que retienen los niveles colgados y en el caso de la P-6 se da debido al gran nivel de grietas en el subsuelo, y por último la tomografía eléctrica confirma que un posible nivel freático regional se encuentra almacenado en la capa KK de lutitas de la Fm. Peña Negra a profundidades mayores entre los 20,0 m y 30,0 m.

### 3.- MODELO GEOLÓGICO GEOFÍSICO GEOTÉCNICO:

En este apartado se presentará una correlación de los resultados obtenidos de la tomografía eléctrica, la geología local y las perforaciones realizadas; estableciendo así un modelo que contemple parámetros geomecánicos, estratigrafía y estructuras geológicas presentes.

En la tabla 3.1 se muestra un resumen de las características más relevantes del modelo conceptual definido.

**Tabla 3.1. Resumen del modelo Geológico Geofísico Geotécnico.**

Capa modelo	Capa geoelectrica	Capa geotécnica	Geología local	Peso unitario (t/m <sup>3</sup> )	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	A	AA, BB, CC y DD	Suelos coluviales	1,96-2,07	0,43-0,88
2	B y C	EE, GG y HH	Suelos coluviales	1,90-2,20	0,10-1,00
3	B	II	Deposito Aluvial	2,00	No cohesivo
4	D	FF y JJ	Intrusivo (Gabro)	1,95-2,70	>1,10
5	E	KK	Unidad de lutitas	2,30	>1,10

El modelo geológico geofísico geotécnico definido para el sitio de estudio está compuesto por 5 capas las cuales son correlacionadas según los resultados obtenidos.

La capa 1 consiste en los suelos residuales y superficiales en el sitio que lo constituyen los rellenos artificiales, el suelo orgánico, limos plásticos y limos de alta plasticidad (AA, BB, CC y DD), que corresponde a la capa geoelectrica A y según la geología local son suelos coluviales con mayor presencia de bloques y matriz arcillosa; estos suelos cubren la superficie de prácticamente toda el área de estudio y son los que almacenan niveles colgados de agua subterránea.

La capa 2 son suelos limos arcillo arenosos (EE, GG y HH) con bloques coluviales de mayor tamaño, pero en menor presencia, corresponde con las capas geoelectricas B y C, y según la geología local el cuerpo predominante de los depósitos coluviales. Esta capa presenta lentes muy blandos y de plasticidad alta, los cuales funcionan como superficies de falla que no soportan el peso de las litologías sobreyacentes.



La capa 3 corresponde a un depósito aluvial grueso antiguo de gravas en matriz arenosa, que inicialmente se correlaciona con la capa geoelectrica B, pero se diferencia de los coluvios debido a la descripción de la muestra recuperada en la perforación P-6 (capa II) y a la forma de lente por debajo de la quebrada Chinchilla entre las estaciones 0+020 y 0+130 del perfil TE - 2.

La capa 4 es un intrusivo tipo gabro (capa JJ) con su respectiva transición de suelo limo arcillo arenoso (capa FF) que corresponde al frente de meteorización y alteración del intrusivo, estos suelos presentan superficies pulidas y presencia de bloques residuales de gabro. Se correlaciona con la capa geoelectrica D y se considera que se encuentra afectada por la sobrecarga de las litologías sobreyacentes y el ascenso de los cuerpos intrusivos.

La capa 5 son lutitas meteorizadas, muy fracturadas con pátinas de óxidos y rellenos de arcillas en las fracturas, se observan superficies pulidas que evidencian que la unidad esta bajo deformación; se asocia a la capa geoelectrica E y a la unidad de lutitas de la Fm. Peña Negra.

En el perfil TE-2 se reconoce una anomalía geoelectrica la cual se asocia a una posible paleo falla que afecta parcialmente la capa geoelectrica C, esta estructura de mayor resistividad eléctrica tiene una aparente alineación con la quebrada sin nombre al oeste del área de estudio y que sería el límite de la zona afectada, es decir; esta estructura es la barrera local para la zona de deformación hacia el este a la quebrada Chinchilla.

Se define por tanto que en prácticamente todas las litologías presentes se observan evidencias de deformación a excepción del gabro en su estado sano; el deslizamiento se clasifica como de tipo rotacional donde el desplazamiento vertical se da en mayor magnitud que el horizontal y las capas 1 y 2 son las que se encuentran en movimiento. Donde además se identifican dos direcciones aparentes en el movimiento del deslizamiento, en la parte de altas pendientes tienen una dirección primordial aparente hacia el este, mientras que en la parte baja donde se concentran la mayoría de las viviendas se tiene una dirección primordial aparente hacia el norte noreste.

Como se mencionó en la sección 2.10.2, página 47 el nivel freático regional del sitio se encuentra en las litologías de la Formación Peña Negra a profundidades variantes entre 20 m y 30 m respecto a la superficie del terreno, sin embargo se reconocen la presencia de cuerpos de agua subterráneos colgados entre los suelos coluviales entre los primeros 10 m de profundidad los cuales por su plasticidad permiten la ocurrencia de estos niveles de agua subterráneas y a su vez evitan una tasa de filtración mayor en profundidad hacia las lutitas de la Fm. Peña Negra resultando en algunos afloramientos intermitentes de agua en superficie. Esta concentración de agua en estos primeros 10 m de profundidad mantiene los suelos con gran humedad o saturados la mayor parte del tiempo siendo un factor importante en su estabilidad.

#### 4.- ANÁLISIS DE SUCEPTIBILIDAD A LA OCURRENCIA DE DESLIZAMIENTO:

El área de estudio conforma un terreno inmerso en un sinnúmero de accidentes topográficos, que a su vez generan paisajes geomorfológicos que propician zonas de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas.

La evaluación de la susceptibilidad de laderas, especialmente a la ocurrencia de deslizamientos se ha realizado mediante la aplicación del método Mora-Varhson (1992) y las modificaciones propuestas por Mora (2002) conociéndose luego como Mora – Varhson –Mora.

El método consiste en la combinación de varios factores y parámetros, los cuales se obtienen de la observación y medición de indicadores morfodinámicos y su distribución espacio - temporal (Mora, 2002).

La mezcla de los factores y parámetros se realiza considerando que los deslizamientos ocurren cuando en una ladera, compuesta por una litología determinada, con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, se alcanza un grado de susceptibilidad (elementos pasivos). Bajo estas condiciones, los factores dinámicos y externos como la sismicidad y las lluvias intensas (elementos activos) actúan como factores de disparo que perturban el equilibrio, la mayoría de las veces precario, que se mantiene en la ladera (Mora & Varhson, 1992).

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

$$H = EP * D \quad (1)$$

**Donde:**

- H: grado de susceptibilidad al deslizamiento
- EP: valor producto de la combinación de los pasivos
- D: valor del factor de disparo

El valor de los elementos pasivos se compone de los siguientes parámetros, según Mora (2002):

$$EP = (S_l * S_h * S_p) \quad (2)$$

**Donde:**

- S<sub>l</sub>: valor del parámetro de susceptibilidad litológica
- S<sub>h</sub>: valor del parámetro de humedad del terreno
- S<sub>p</sub>: valor del parámetro de pendiente

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros (Mora & Varhson, 1992):

$$D = (D_s + D_{Ll}) \quad (3)$$

**Donde:**

- D<sub>s</sub>: valor del parámetro de disparo por sismicidad
- D<sub>Ll</sub>: valor del parámetro de disparo por lluvia

Sustituyendo la ecuación 2 y 3 dentro de las variables de la ecuación 1, se obtiene la expresión del método Mora – Varhson – Mora:

$$H = (S_l * S_h * S_p) * (D_s + D_{Ll}) \quad (4)$$

Mora (2002) enfatiza en que los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada, por lo que se sugiere dividir el rango de los valores obtenidos en cinco clases de susceptibilidad y la asignación de los calificativos.

**Tabla 4.1.** Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento (Mora, 2002).

Clase	Calificativo de susceptibilidad al deslizamiento	Características
I	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas, Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta, Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc,
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura, Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta, Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc, Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado,
III	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio, Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, etc, Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado, Recomendable para usos urbanos de baja densidad,
IV	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta ( $< 50^\circ$ ) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta, Para su utilización se deben realizar estudios estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección
V	Muy alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta ( $> 50^\circ$ ) en caso de sismos de magnitud y lluvias de intensidad alta, Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección.

La clasificación de la tabla anterior se basa en la influencia que tienen las diferentes condiciones examinadas en un área específica, es decir, las áreas de susceptibilidad determinadas para un sitio son válidas únicamente para el sitio en estudio (Mora, 2002).



#### 4.1. - Descripción de los parámetros de la metodología Mora – Varhson – Mora

##### 4.1.1. - Parámetro de pendiente

El parámetro utiliza las clases de pendientes de Van Zuidan (1986), con los cuales se describen los procesos característicos y esperados y las condiciones del terreno, así como una leyenda de colores. Las clases de pendientes pueden coincidir con los sectores críticos, donde los procesos de deslizamiento son dominantes (Tabla 4.1.1).

**Tabla 4.1.1.** Clases de pendientes, condiciones del terreno y valor del parámetro (Mora, 2002).

Clases de pendiente		Condiciones del terreno	Color	Valor del Parámetro S
Grados (°)	Porcentaje (%)			
0 - 2	0 – 2	Planicie, sin denudación apreciable	Verde oscuro	0
2 - 4	2 – 7	Pendiente muy baja, peligro de erosión	Verde claro	1
4 - 8	7 – 15	Pendiente baja, peligro severo de erosión	Amarillo	2
8 - 16	15 – 30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión	Naranja	3
16 - 35	30 – 70	Pendiente fuerte, procesos denudaciones intensos, peligro extremo de erosión de suelos	Rojo claro	4
35 – 55	70 – 140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos	Rojo oscuro	5
> 55	> 140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos	Morado	6

El mapa de pendientes del área de estudio (Figura 4.1.1) indica la presencia de casi todas las clases de pendiente mostradas en la tabla anterior dentro del área de estudio a excepción de las pendientes extremeñamente fuertes. En el mapa de pendientes se muestra la distribución de las zonas con las distintas clasificaciones de pendientes dadas.

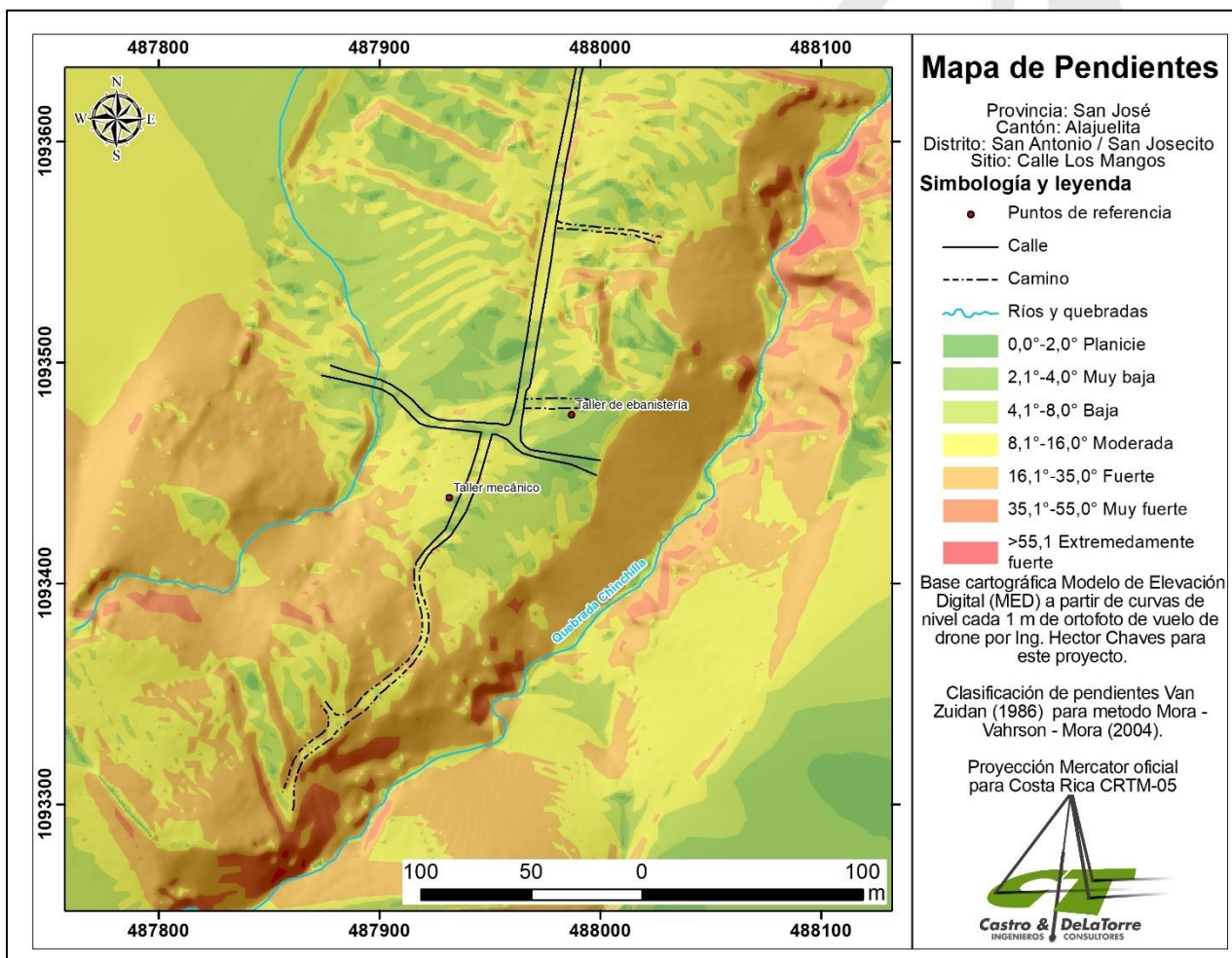


Figura #4.1.1. Mapa de pendientes para el área de estudio.

#### 4.1.2. - Parámetro de susceptibilidad litológica

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas (Mora *et al.*, 1992). La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, etc., influyen claramente en la estabilidad o inestabilidad de las laderas (Mora *et al.*, 1992).

En la tabla 4.1.2.1 se muestra los criterios de clasificación para la litología según el método utilizado.

**Tabla 4.1.2.1. Clasificación de la susceptibilidad litológica  $S_i$ .**

Calidad	Litología	Valor del parámetro $S_i$
Muy bueno	Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático (NF) bajo. Calizas duras, permeables. Rocas intrusivas poco fisuradas, NF bajo. Basaltos, andesitas, ignimbritas y otras rocas efusivas sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas sanas, poco fisuradas. NF bajo. Materiales sanos con poca o ninguna meteorización. Resistencia al corte elevada, fisuras sanas sin relleno.	1
Bueno	Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, estratificación maciza (decimétrica o métrica), poco fisurada, NF bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lavas, ignimbritas, rocas metamórficas poco o medianamente alteradas y fisuradas. Aluviones con compactaciones leves, con proporciones considerables de finos, drenaje moderado. NF a profundidades intermedias. Resistencia al corte media a elevada, fracturas que pueden desplazarse.	2
Medio	Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas, coluvio, lahares, arenas, suelos no consolidados, drenaje poco desarrollado, NF relativamente alto. Resistencia al corte moderada a media, fracturación importante.	3
Pobre	Aluviones, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas, fracturadas con estratificaciones de la pendiente y con rellenos arcillosos, NF somero. Resistencia al corte moderada a baja, con presencia frecuente de arcillas.	4
Muy pobre	Materiales aluvionales, coluviales poco consolidados de muy baja calidad mecánica, rocas con estado alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los Valores 3 y 4 con NF muy someros, sometidos movimientos de agua subterránea significativos. Resistencia al corte muy baja, materiales blandos con mucho material fino (arcillas, limos).	5

En la Tabla 4.1.2 se muestra el valor asignado a cada litología presente en el área según la geología local (figura 2.2.1), donde para el área en estudio predominan los suelos coluviales que se les da un valor de parámetro  $S_i$  de 4,5 según la litología y el modelo geotécnico planteado para el sitio.

**Tabla 4.1.2. Susceptibilidad litológica en los suelos de las unidades geológicas del área de estudio.**

Unidades litológicas	Valor del parámetro $S_i$
Suelos coluviales	4,5
Depósitos aluviales	4
Depósitos de deslizamiento	5
Unidad de lutitas	4



### 4.1.3. - Parámetro de humedad

La valoración del parámetro de humedad de acuerdo con Mora & Varhson (1992) se realiza por medio de los promedios mensuales de precipitación, efectuando con ellos un balance hídrico simplificado, donde se asume una evapotranspiración potencial de 125 mm/mes. De acuerdo con este valor las precipitaciones inferiores a 125 mm no conducen a un aumento de la humedad del terreno mientras que un valor mayor a 250 mm conduce a una humedad del suelo muy alta.

Se efectúa la suma de estos valores para los doce meses del año, con lo que se obtiene un valor que puede oscilar entre 0 y 24 unidades. El resultado refleja los aspectos relacionados con la saturación y la distribución temporal de humedad en el terreno (Mora *et al.*, 1992). El valor del parámetro  $S_H$  se otorga utilizando la clasificación de la tabla 4.1.3.2.

Tomando como referencia la estación pluviométrica de San Juan de Dios (tabla 4.1.3.1), y de acuerdo con la norma de la tabla 4.1.3.2, se establece el parámetro de humedad como medio con un valor de 3.

**Tabla 4.1.3.1.** Precipitación media por mes de la estación San Juan de Dios y su valor  $S_H$ .

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
14,7	11,6	10,4	41,7	277,1	279,0	180,2	250,7	358,2	338,7	150,3	36,8	1965,5
0	0	0	0	2	2	1	2	2	2	1	0	12

En la segunda fila en celeste se muestra la precipitación media en mm y en la ultima fila los valores de  $S_H$  por mes.

**Tabla 4.1.3.2.** Valoración del parámetro de humedad del terreno ( $S_H$ ) (Mora *et al.*, 1992).

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

### 4.1.4. - Disparo por lluvia

Para la evaluación del parámetro se consideran las intensidades de lluvias potencialmente generadoras de deslizamientos, se utiliza la lluvia máxima en 24 horas con un periodo de retorno de 100 años, aplicando la distribución de valores Gumbel tipo I o logPearson tipo III a series temporales con más de 10 años de registro (Mora & Varhson, 1992).

Para el caso de estudio, se utilizó la distribución Gumbel tipo I, utilizando el registro de 22 años de la estación meteorológica San Juan de Dios. La precipitación máxima calculada para un periodo de retorno de 100 años es de 352,8 mm; obteniéndose así un valor de 4 para el parámetro de disparo por lluvia, según Tabla 4.1.4.1

**Tabla 4.1.4.1** Valoración del parámetro de disparo por lluvias  $D_{LI}$ .

Lluvia máxima en 24 horas, período de retorno 100 años [mm]	Descripción	Valoración del parámetro $D_{LI}$
< 100	Muy bajo	1
100 - 200	Bajo	2
200 - 300	Medio	3
300 - 400	Alto	4
> 400	Muy alto	5

#### 4.1.5. - Disparo por sismicidad

El parámetro de disparo por sismicidad, de acuerdo con Mora & Varhson (1992) es tomado en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad debido a que la sismicidad es un evento natural que ha causado la mayor destrucción por deslizamientos en Costa Rica. Se ha observado que el potencial de generación de deslizamientos por actividad sísmica puede correlacionarse con la escala de intensidades Mercalli – Modificada, y en caso de contar con datos de aceleraciones pico (PGA), se utiliza la relación de Trifunac & Brady (1975) con el propósito de establecer los valores del parámetro de disparo por sismicidad (Tabla 4.1.5.1).

**Tabla 4.1.5.1** Valoración del parámetro de disparo por sismicidad.

Intensidad de Mercalli modificada	Aceleración pico (%g) (Trifunac & Brady, 1975)	Valoración del parámetro $D_S$
I	0,3 – 0,6	1
II	0,6 – 1,1	2
III	1,1 – 2,2	3
IV	2,2 – 4,5	4
V	4,5 – 8,9	5
VI	8,9 – 17,7	6
VII	17,7 – 35,4	7
VIII	35,4 – 70,5	8
IX	70,5 – 140,8	9
X	140,8 – 280,8	10
XI	280,8 – 560,4	11
XII	> 560,4	12

Para este caso se asocia una intensidad máxima de VII asumiendo el caso del sismo de Alajuelita del 21 de marzo de 1842, por lo que el valor del parámetro de disparo por sismo es de 7.

#### 4.1.6. – Susceptibilidad de deslizamiento

En la figura 4.1.6.1 se muestran los resultados de la evaluación de cada uno de los parámetros del método Mora – Varhson –Mora en el área de estudio, tomando en cuenta el disparo por lluvia y sismo.

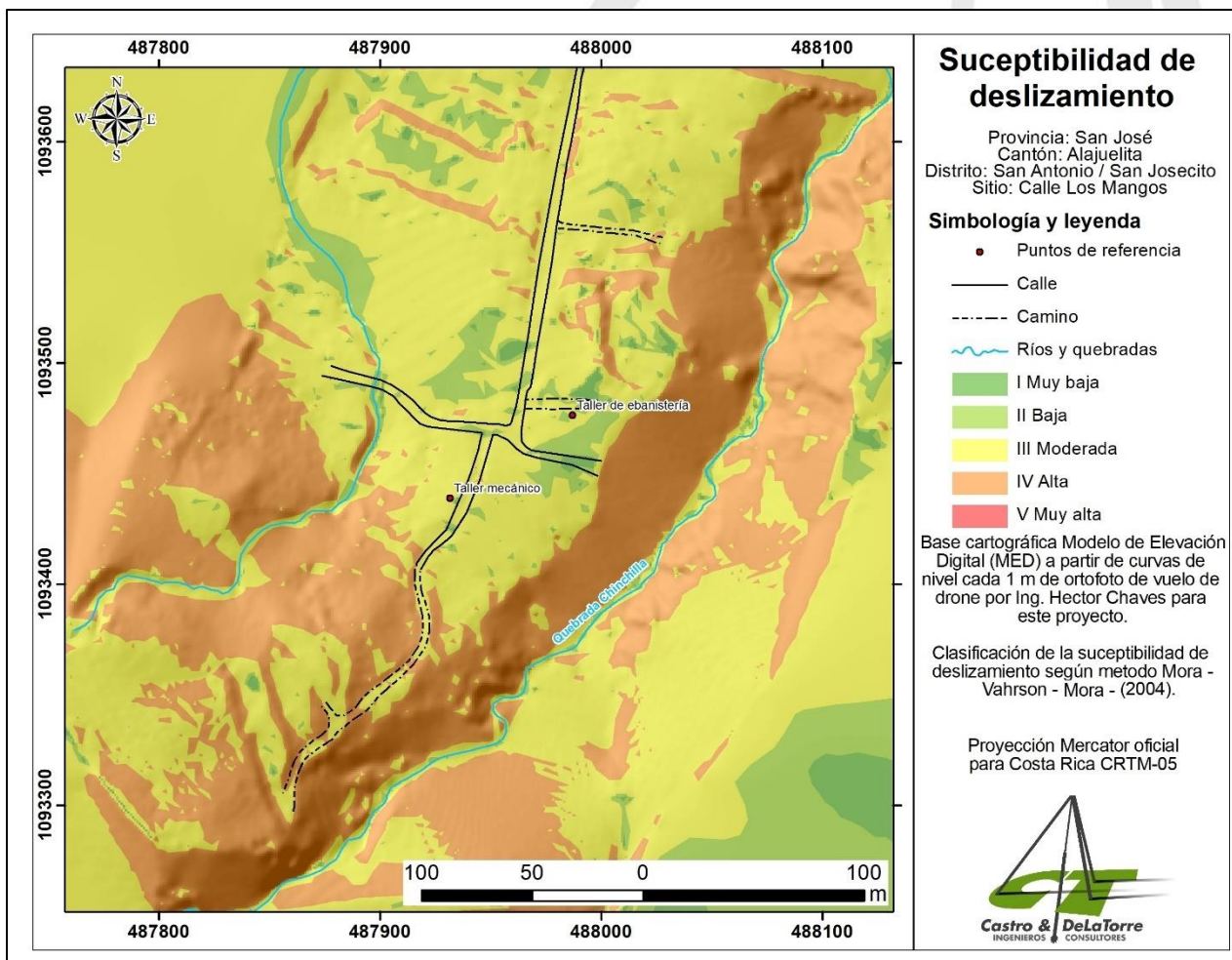


Figura #4.1.6.1. Producto de la metodología MVM, (2004) utilizando los parámetros de humedad, pendiente, litología y disparos por lluvia y sismicidad.

Se pueden observar valores uniformes en los parámetros de humedad, lluvia y sismicidad; contrario al parámetro de pendiente y susceptibilidad litológica que son los que en mayor medida definen la susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos.



En la figura 4.1.6.2 se muestra el resultado de la susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos solo contemplando el disparo por sismo, el cual no varía apreciablemente con la figura 4.1.6.1 lo cual evidencia que para el sitio de estudio la sismicidad no lleva el mayor peso en cuanto a la ocurrencia de deslizamientos.

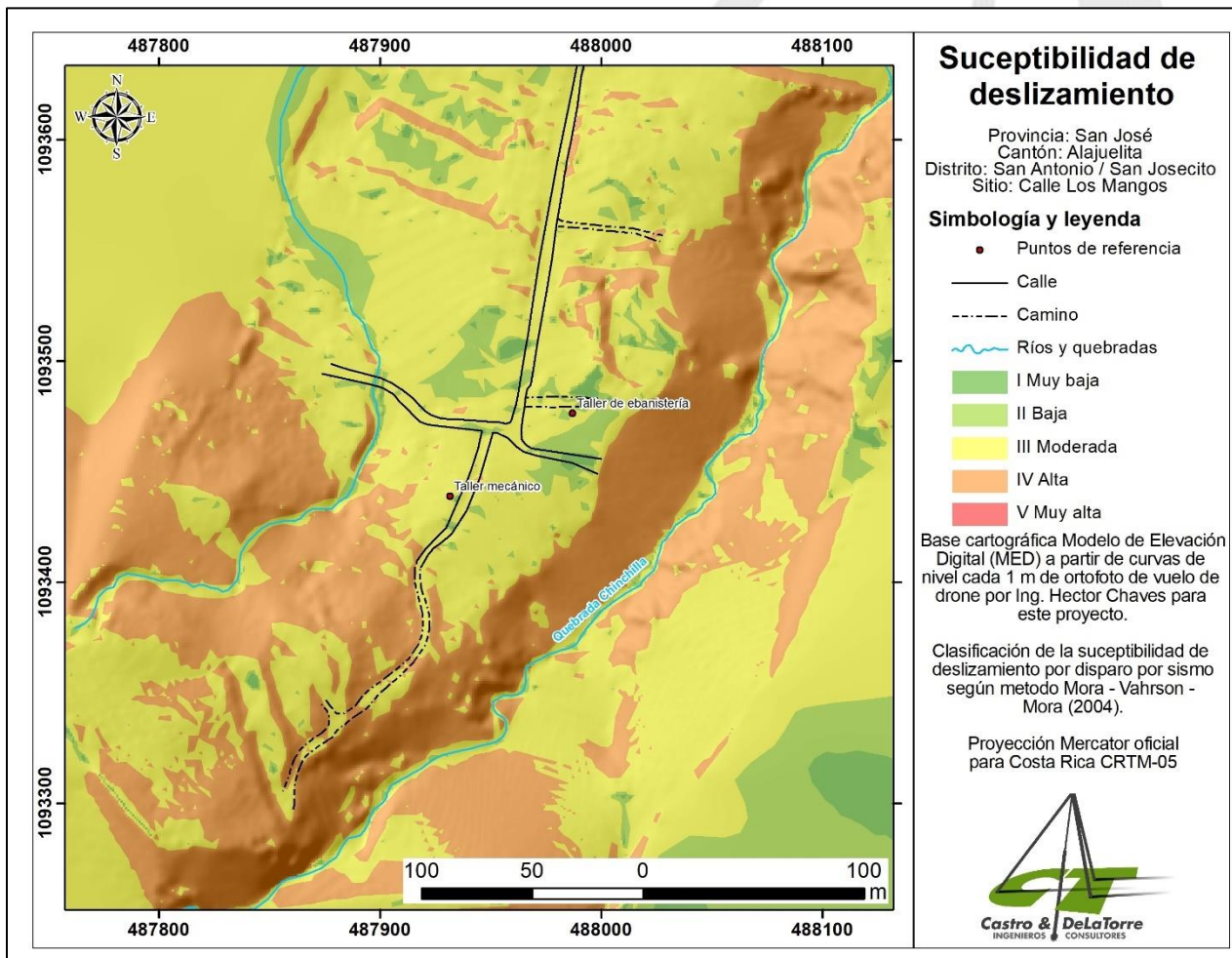
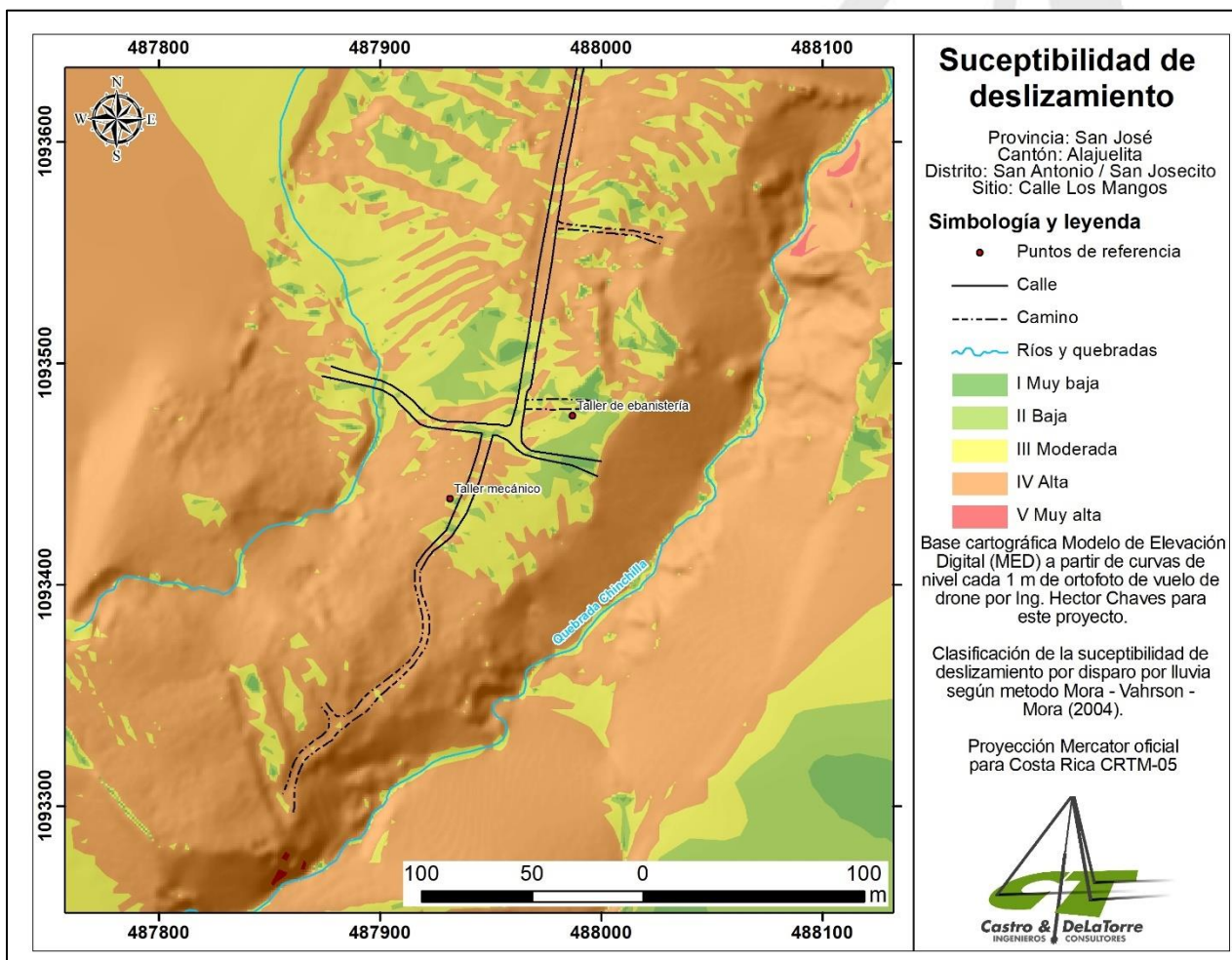


Figura #4.1.6.2. Producto de la metodología MVM, (2004) utilizando los parámetros de humedad, pendiente, litología y disparo solo por sismicidad.

En la figura 4.1.6.3 se observa como al contemplar solo el disparo por lluvia aumenta considerablemente el área considerada como de alta susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos, siendo este parámetro de disparo por lluvia el que mantiene el mayor peso en cuanto a la ocurrencia de deslizamiento.



**Figura #4.1.6.3. Producto de la metodología MVM, (2004) utilizando los parámetros de humedad, pendiente, litología y disparo solo por lluvia.**

El resultado final al aplicar el método Mora – Varhson – Mora en el área de estudio indica una susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos predominante entre moderada y alta, lo cual concuerda con la ocurrencia comprobada de deslizamiento para este sitio asociado principalmente al disparo por lluvia, además es importante considerar que este método pretende definir zonas con susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos por lo que de existir deslizamientos ya reconocidos y definidos estos se deben analizar por aparte para entender si el deslizamiento se encuentra activo y definir el riesgo.



## 5. – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del modelo geológico geofísico geotécnico se entiende que los suelos susceptibles a deslizamientos por sus características poseen espesores mayores a 20 m, además se registra actividad del deslizamiento incluso al 16 de junio del 2021 que se realiza una última visita de inspección y que los daños evidenciados en estructuras y superficies es considerable, dejando vivienda inhabitables, desniveles en el terreno de hasta 5,0 m y la aparición de daños en viviendas que antes no presentaban pero siempre dentro del área delimitada como de afectación; esto lleva a definir una microzonificación del área de estudio en cuanto al riesgo de deslizamiento utilizando los resultados del método Mora - Vahrson - Mora y el área demarcada como afectada definiendo su respectiva área de amortiguamiento según el levantamiento de campo por las grietas en el terreno y estructuras dañadas tal como se muestra en la figura 5.1.

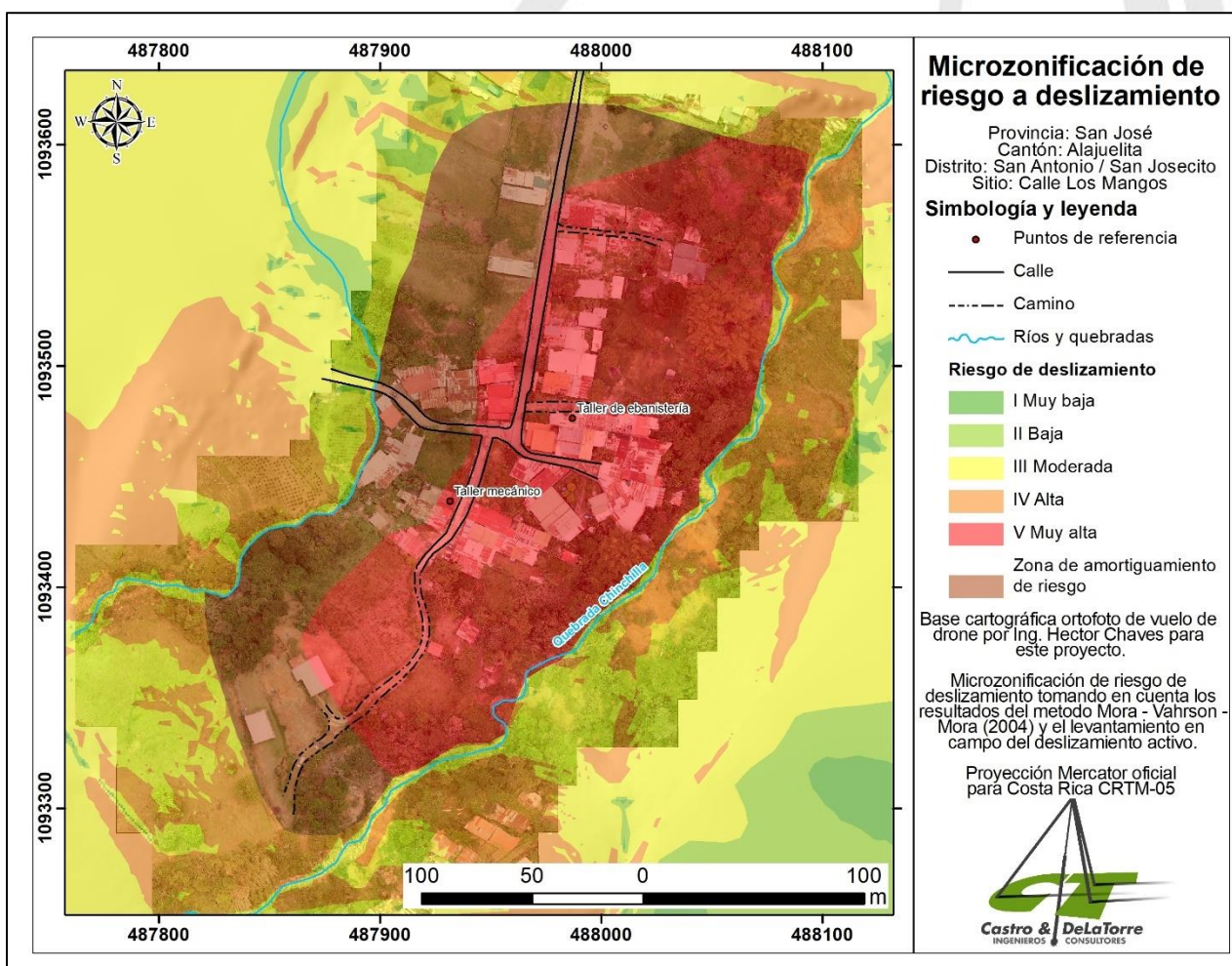


Figura #5.1. Microzonificación del riesgo por deslizamiento.



La tabla 4.1, página 51 define de igual manera la clasificación para la microzonificación realizada donde por ejemplo para una clasificación “V muy alta” se recomienda prohibir su uso con fines urbanos y se recomienda usar como áreas de protección o agrícolas.

En los sectores definidos como “V muy alta” no se recomienda la ocupación de las viviendas existentes de manera temporal o permanente, ya que la vulnerabilidad es muy alta, esto sin distinguir en el actual estado de las viviendas puesto que se define que el potencial de continuidad en el movimiento del terreno es muy alto y que inevitablemente se acelera con las lluvias, sin contar el caso amplificado que puede darse ante un sismo.

Para los sectores definidos como “IV alta” se define la obligación de realizar estudios estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.

En el caso de los sectores clasificados como “III moderada” no se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio, Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, etc, Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado, Recomendable para usos urbanos de baja densidad

Para el sector definido como “Zona de amortiguamiento” alrededor de la zona afectada se le considera como de muy alto riesgo y se recomienda no permitir construcciones nuevas y las ya existentes tener un monitoreo constante del comportamiento del terreno y estructuras, así como de los elementos circundantes.

Entre las actividades de monitoreo se recomiendan, realizar un levantamiento periódico de la ubicación de los mojones construidos para esta investigación, obtener modelos de elevación digital a partir de vuelos de drone que permitan una comparación de la topografía en el tiempo, observación visual de grietas o cambios en el terreno por parte de los habitantes que den el aviso oportuno y visitas periódicas de parte de funcionarios de la CNE o Municipalidad de Alajuelita que lleven un registro fotográfico e inventario de daños y movimientos del terreno.

A las viviendas dentro de la zona de amortiguamiento se les podrá realizar reparaciones o medidas de mitigación como obras para el manejo de aguas o de retención, pero no se permitirá ampliación de las estructuras ya existentes de viviendas.

Dado el modelo planteado las obras necesarias para poder asegurar las obras y el terreno tendrían un precio muy elevado debido a la profundidad de estratos geotécnicos competentes siendo probablemente varias veces mayor al costo de la obra a construir, por lo que se insiste en que las obras a poder realizar serán solo de mitigación y el mayor esfuerzo se encuentra en el monitoreo constante de las viviendas y elementos circundantes.

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

El estudio aquí presentado analiza el área específica de interés y contempla solo a ésta, no se recomienda ni se debe tomar para extrapolar criterios a sectores aledaños debido a que cada proyecto presentará sus particularidades.

Se considera que la cantidad de información brindada en este informe, así como los criterios planteados son suficientes para la toma de decisiones sobre el proyecto y la formulación de criterios.

Los datos aquí mostrados presentan incertidumbres aceptadas por los distintos códigos que rigen el país, así como los métodos usados son los de mejor aplicabilidad para las condiciones del país, siguiendo además bases técnicas validadas y principios éticos profesionales.

De seguir adecuadamente las recomendaciones dadas y conclusiones en este informe, no se prevé contratiempo alguno para el análisis de la situación del área investigada, sin embargo, cualquier modificación en éste, que no esté contemplado dentro del informe requerirá una ampliación en el estudio o replanteamiento del informe.

## 7.- BIBLIOGRAFIA:

- Advanced Geosciences, Inc. (2002 - 2015). AGI EarthImager 2D (Versión 2.4.0 (Build 617)) [Software de cómputo].
- Arias, O., & Denyer, P., 1991: Estructura geológica de la región comprendida en las hojas topográficas Abra, Carraigres, Candelaria y Río Grande, Costa Rica. - Rev. Geol. Amér. Central, 12: 61-74.
- Camacho, D., Chaves, J. & Murillo, D., 2004: Diagnóstico de la susceptibilidad al deslizamiento e inundación, análisis del contexto sísmico y reconocimiento de peligros volcánicos para el Cantón de Montes de Oca: una contribución al plan regulador del Municipio. - 106 págs. Univ. De Costa Rica, San José [Tesis Lic].
- Campus International Products Ltd. (1999 - 2007). ImagerPro 2006. Electrical Resistivity Tomography Control Software (Versión 1.1.2) [Software de cómputo].
- Chávez, L., 2015: "Caracterización geológica del deslizamiento El Picadero, Santa Ana." - Empresa Rivering de Costa Rica SA para Municipalidad de Santa Ana. San José.
- Chinchilla, G., 2017: Resumen Meteorológico Mensual Setiembre 2017. – Boletín Meteorológico Mensual, IMN, San José. Costa Rica.
- Denyer, P. & Arias, O., 1990: Geología de la hoja Abra. Instituto Geográfico Nacional, 1 hoja escala 1:50 000.
- Denyer, P. & Arias, O., 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica. - Rev. Geol. Amér. Central, 12: 1-59.
- Denyer, P., Montero, W. & Alvarado, G.E., 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. –Editorial de la Universidad de Costa Rica, 81 págs.
- Fernández, M. & Montero, W. 2002: Fallamiento y sismicidad del área entre Cartago y San José, Valle Central de Costa Rica. – Revista Geológica de América Central, 26: 25-37.
- Montero, W., Barahona, M., Rojas, W. & Taylor M., 2005: Los Sistemas de falla Agua Caliente y rio Azul y Relevos Compresivos asociados, Valle Central de Costa Rica –Revista Geológica de América Central, 33: 9-27.
- Montero, W. & Morales, L. D., 1984: Sismotectónica y niveles de actividad microtemblores en el suroeste del Valle Central, Costa Rica, Rev. Geof. 21-21-41.
- Montero, W. & Morales, L.D., 1990: Deformación y esfuerzos neotectónicos en Costa Rica. - Revista Geológica de América Central, 11:69-87.



- Montero, W., 1994: Neotectonics and related stress distribution in a subduction-collisional zone: Costa Rica. - Profil, 7:125-141, Stuttgart.
- Mora, R., Vahrson, W. & Mora, S., 1992: Mapa de amenaza de deslizamientos, Valle Central, Costa Rica. - Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC) [Escala 1:285700].
- Mora, S. & Vahrson, W., 1993: Determinación a priori de la Amenaza de Deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando Indicadores Morfodinámicos. – Revista Tecnología ICE, Vol. 3, N°1:32-42.
- Mora, R., Chávez, J. & Vásquez, M., 2002: Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la Península de Papagayo mediante la modificación del método Mora & Vahrson (Mora et al., 1992).- Memoria del tercer curso internacional sobre microzonificación y su aplicación en la mitigación de desastres. Lima, Perú. 38-46.
- Mora, R., 2004: Evaluación De La Susceptibilidad Al Deslizamiento Del Cantón De San José, Provincia De San José, Costa Rica.- Proyecto Fundevi 0960 Servicios Especializados De Laboratorio De Suelos Y Rocas Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación.- 18 pags. Universidad de Costa Rica, San José.
- Morera, R., 2017: Resumen Meteorológico Mensual Julio 2017. – Boletín Meteorológico Mensual, IMN, San José. Costa Rica.
- Naranjo, J.D., 2017: Resumen Meteorológico Mensual octubre 2017. – Boletín Meteorológico Mensual, IMN, San José. Costa Rica.
- Poleo, D.A., 2017: Resumen Meteorológico Mensual agosto 2017. – Boletín Meteorológico Mensual, IMN, San José. Costa Rica.
- Rojas, W. Morales, N. & Sanez, L. & Åke S., (2011): “Neotectonic and paleoseismology of the Longitudinal fault system in southern Costa Rica”. Posters on 2<sup>nd</sup> INQUA – IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Corinth, Greece (2011).
- Ruiz, P. & Soto, G., 2014: Preparación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos utilizando imágenes lidar en los Cerros de Escazú, cantones Aserrí, Desamparados, Alajuelita, Santa Ana y Escazú, Costa Rica. – Informe final, consultoría CNE.
- Sasaki, Y., 1992, Resolution of Resistivity tomography inferred from numerical simulation, Geophysical Prospecting, 40, 453-464.

- Soto, G. (2018): Anatomía del abanico coluvio-aluvial de Escazú (Costa Rica) y sus calidades geotécnicas e hidrogeológicas. XIII Congreso Nacional de Geotecnia - CONGEO 2018
- Sprechmann, Peter [editor] 1984: "Manual de geología de Costa Rica"; Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Van Zuidam, R.A., 1986: Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. - 442 pp. Smits Publishers, La Haya
- Woodward-Clyde Consultants, 1993: A preliminary evaluation of earthquake and volcanic hazards significant to the major population centers of the Valle Central, Costa Rica. -Final report prepared for Ret Corporation, 155 pp.
- MONTERO, W., BARAHONA, M., ROJAS, W. & TAYLOR M., 2005: Los Sistemas de falla Agua Caliente y rio Azul y Relevos Compresivos asociados, Valle Central de Costa Rica – Revista Geológica de América Central, 33: 9-27.

#### Referencias:

\* Ensayo Acreditado.

\*\* Ensayo No Acreditado.

**Nota:** Este informe modifica y sustituye al informe 2021-06-5991, debido a que se hicieron cambios dentro del texto, los cuales se encuentra subrayados y modificaciones a los anexos B y C.

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

FUNDADA EN 1963

Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076

correo-e: [info@cyt.cr](mailto:info@cyt.cr)

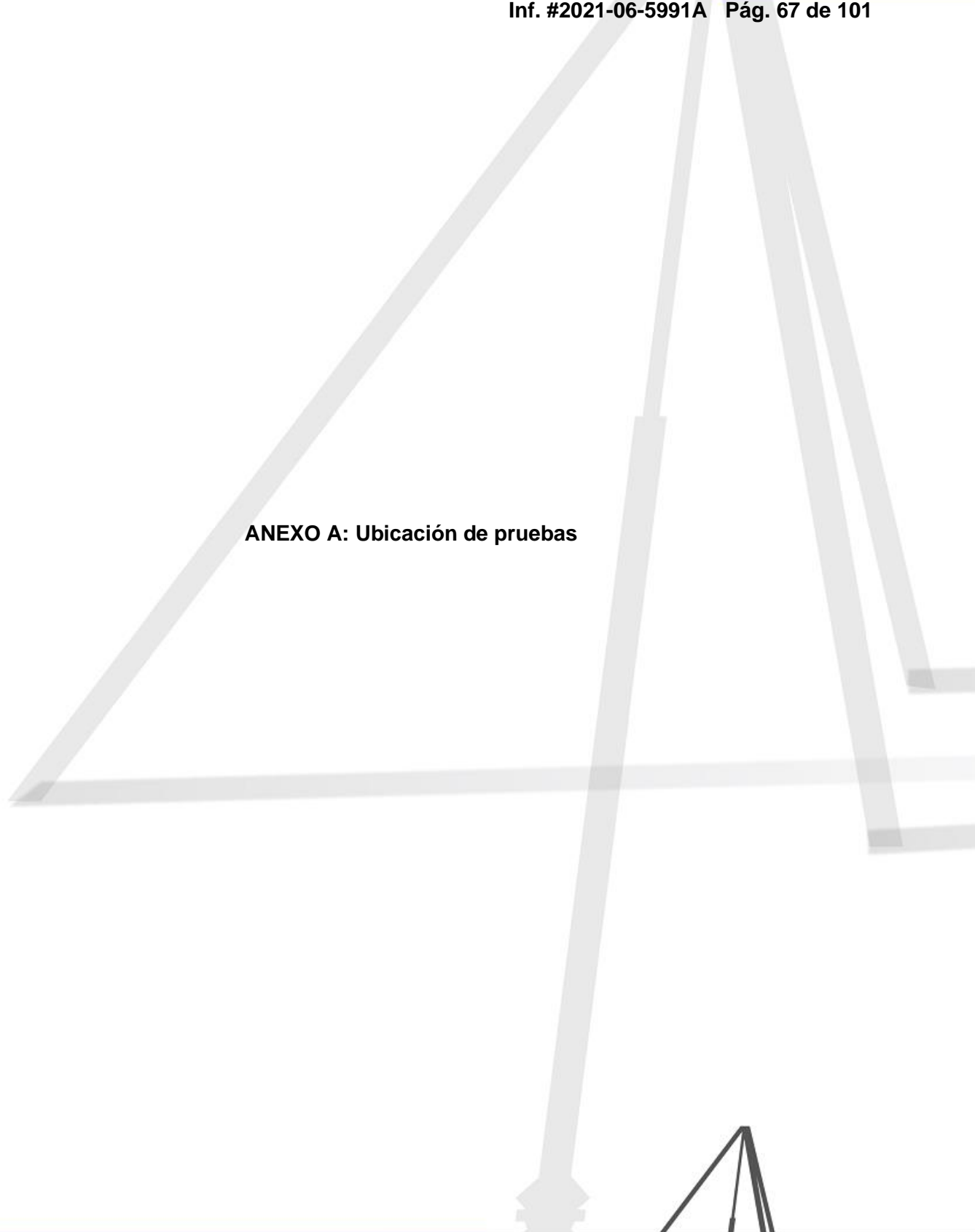
500 m oeste de la Fabrica Jack's, Pavas, San José, Costa Rica 10109

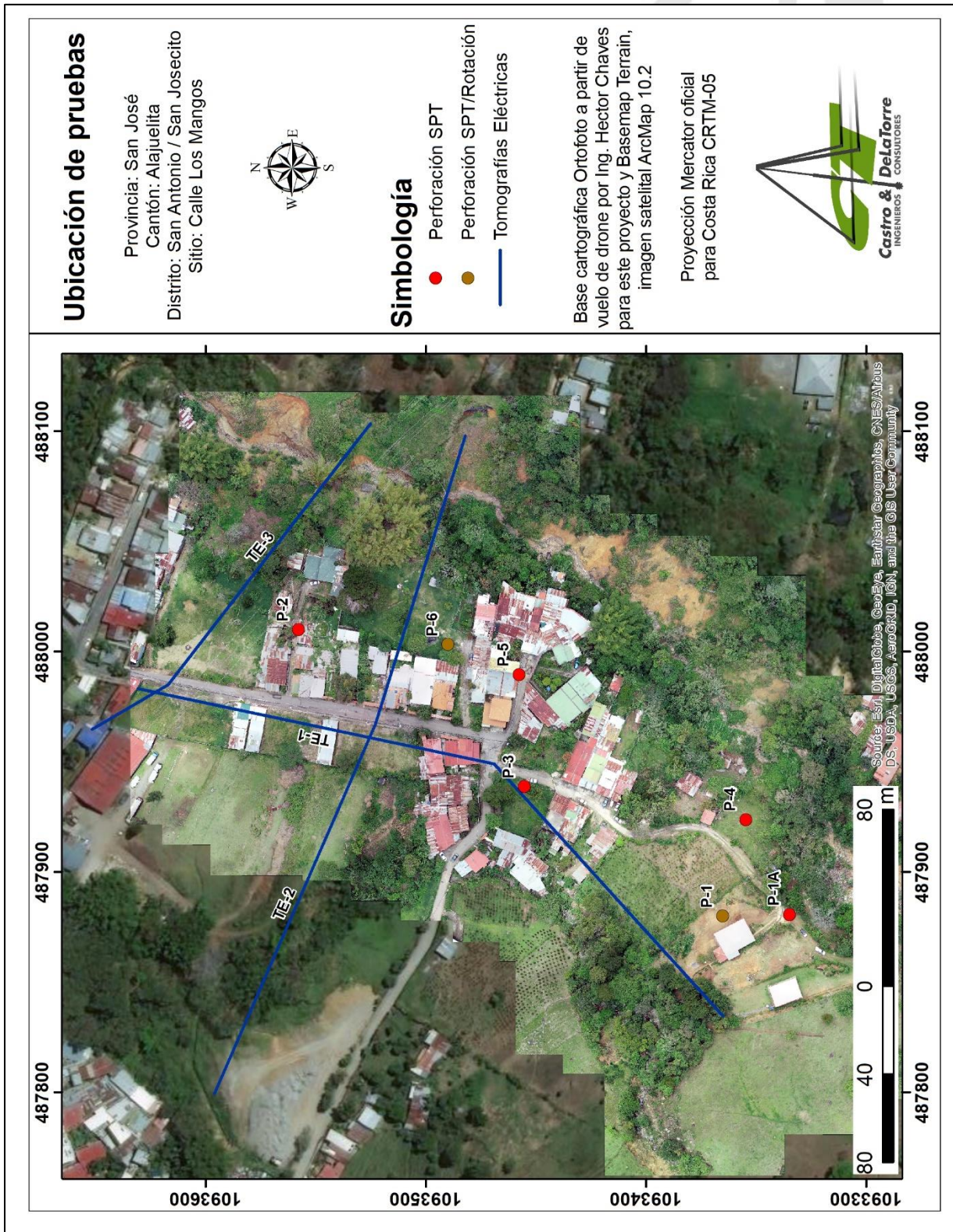


ANEXOS

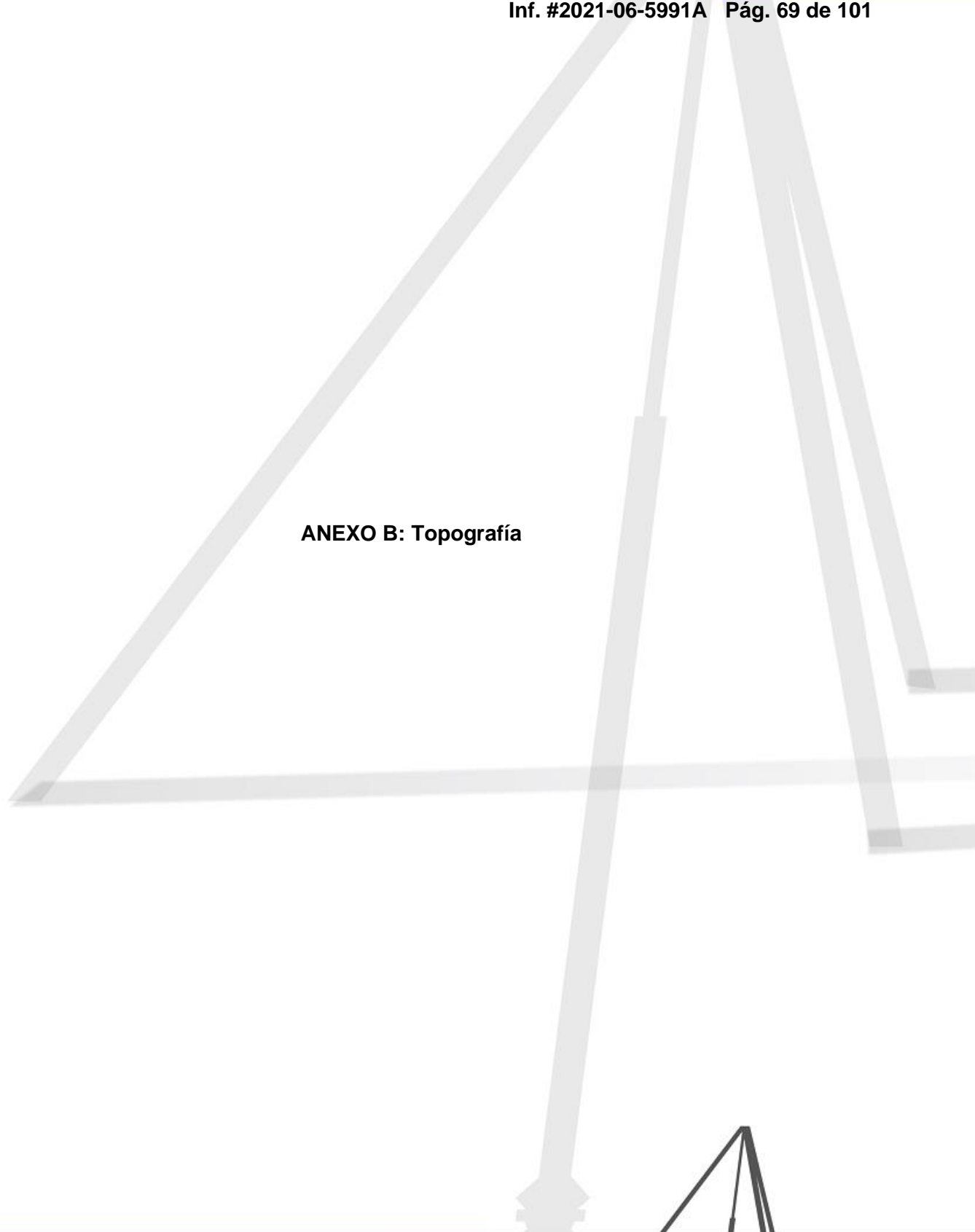


**ANEXO A: Ubicación de pruebas**

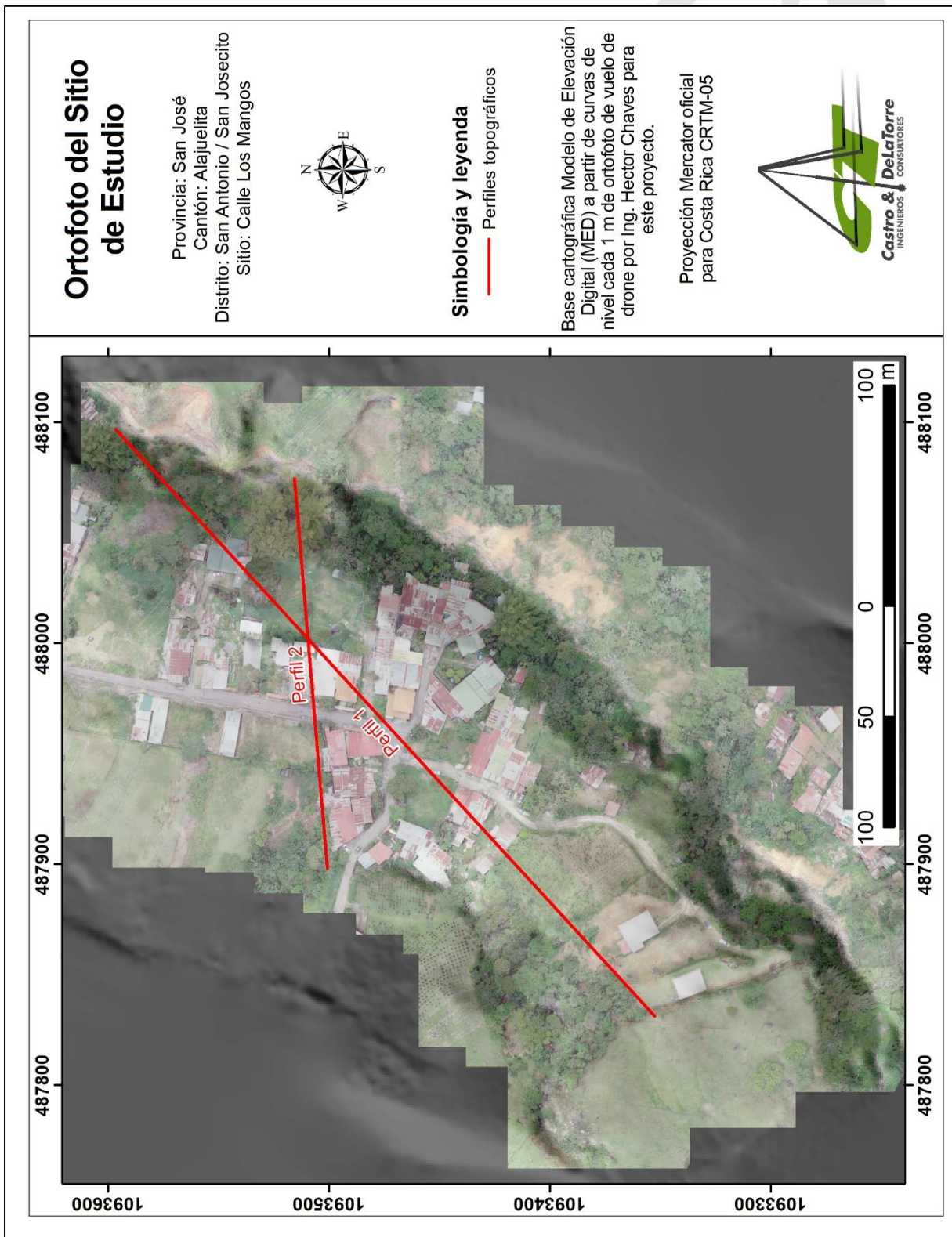


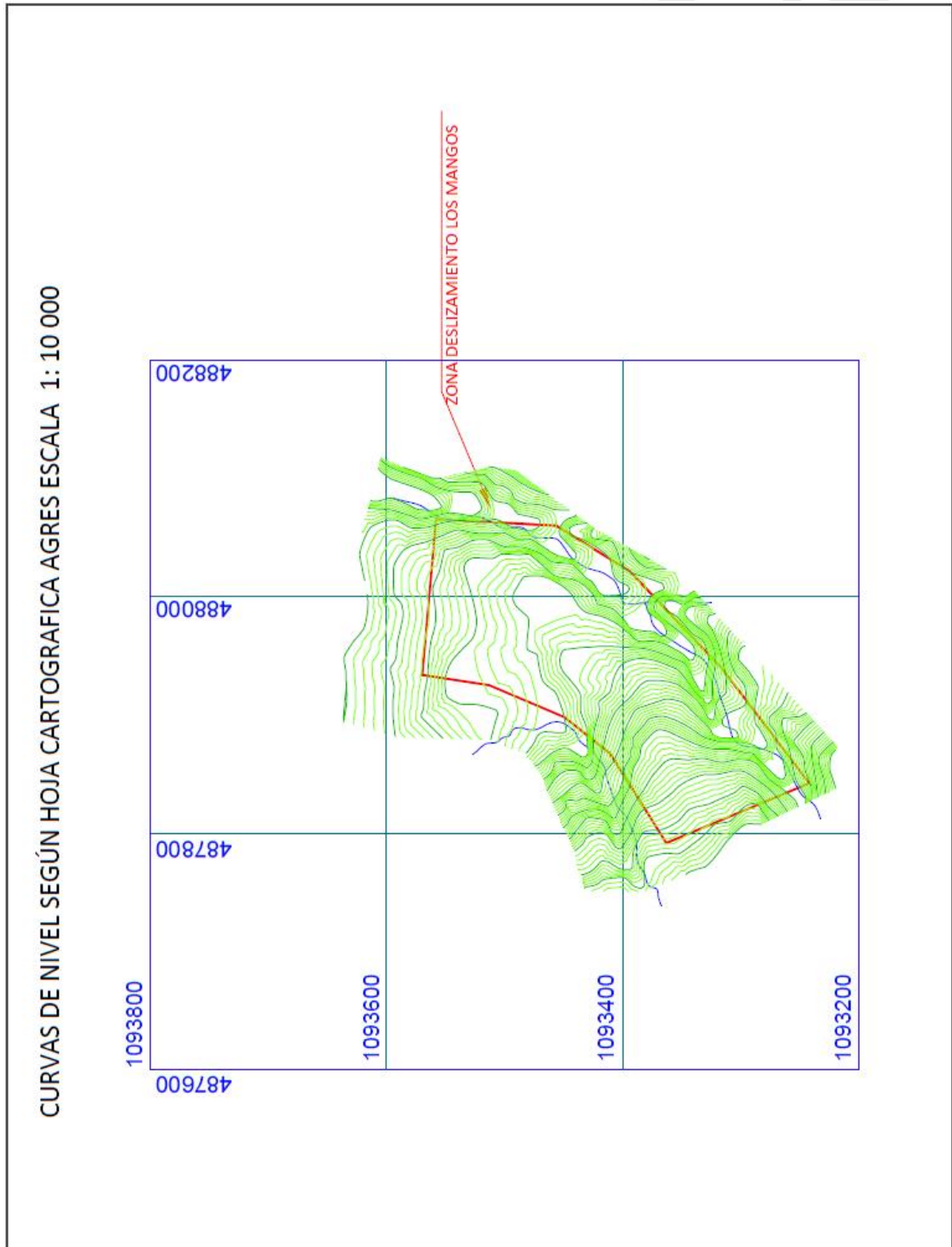


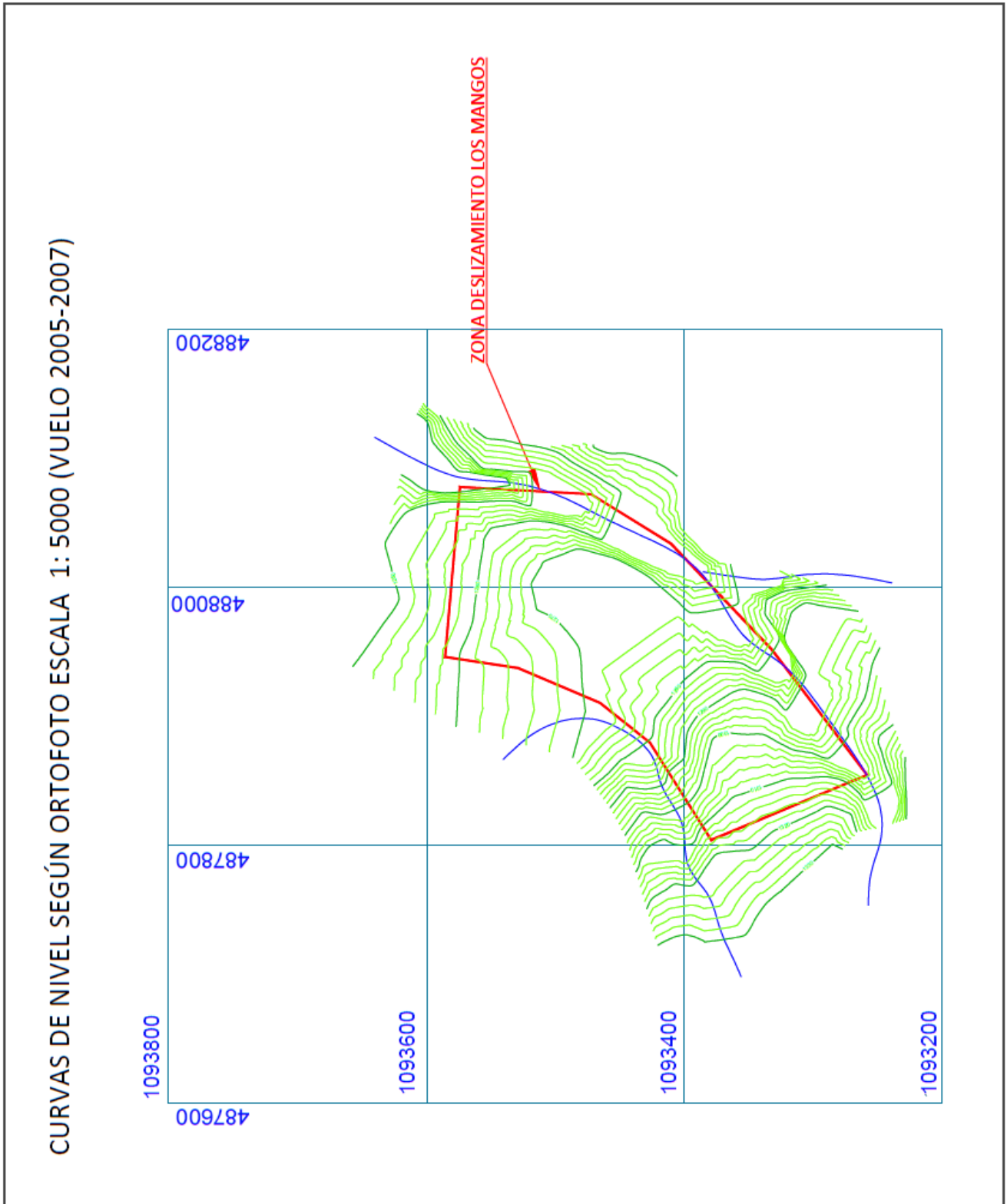
**ANEXO B: Topografía**



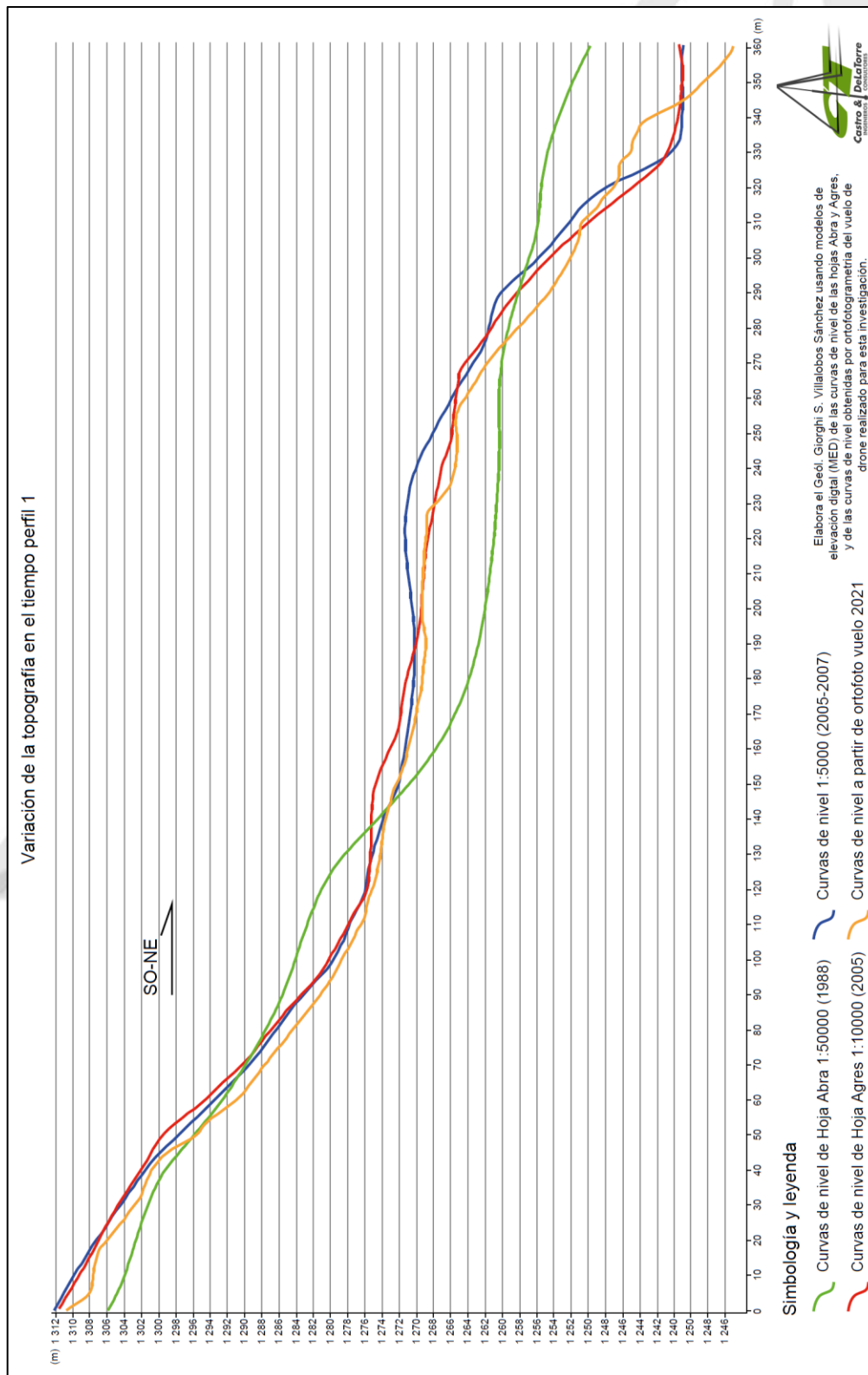


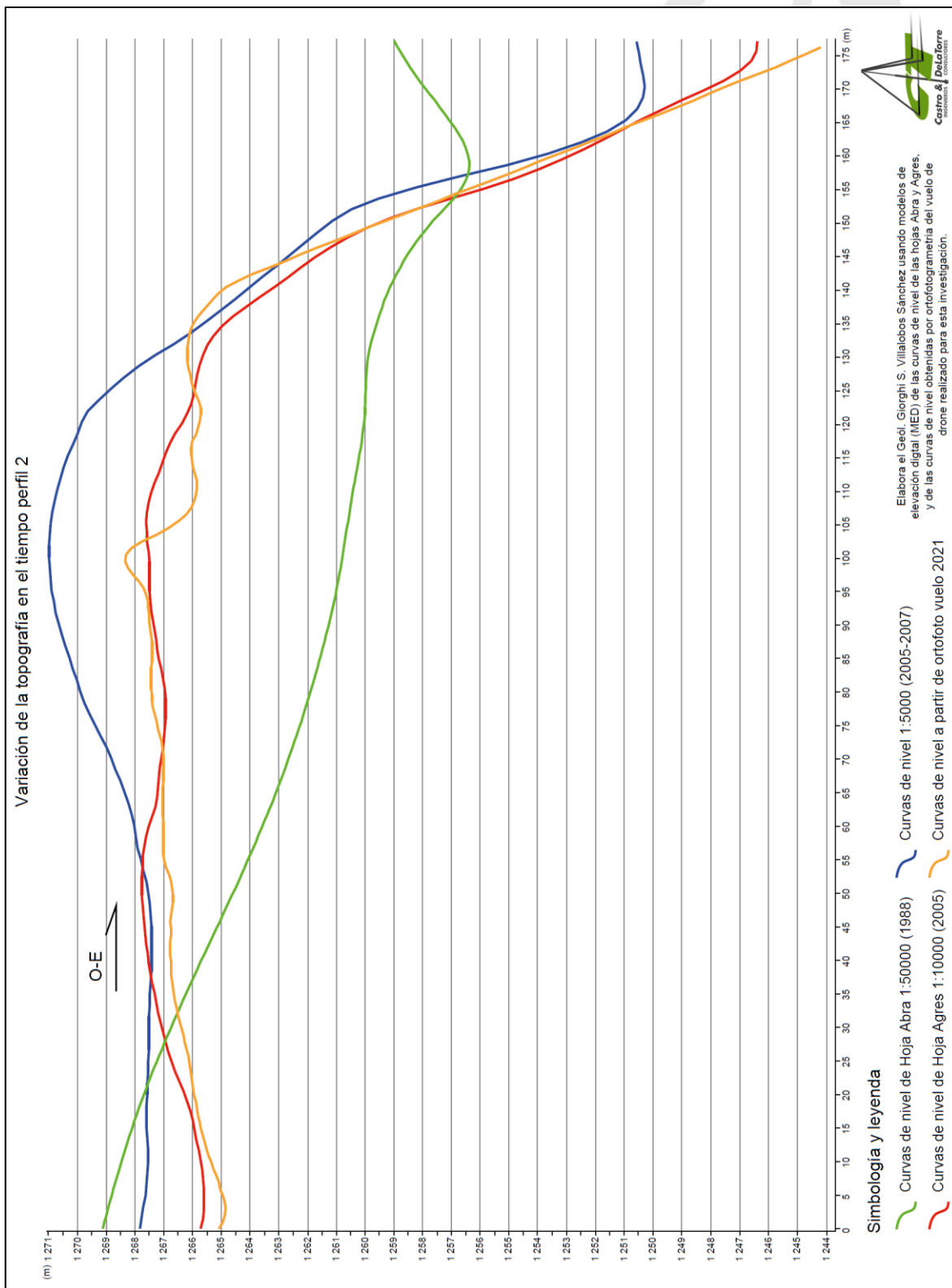




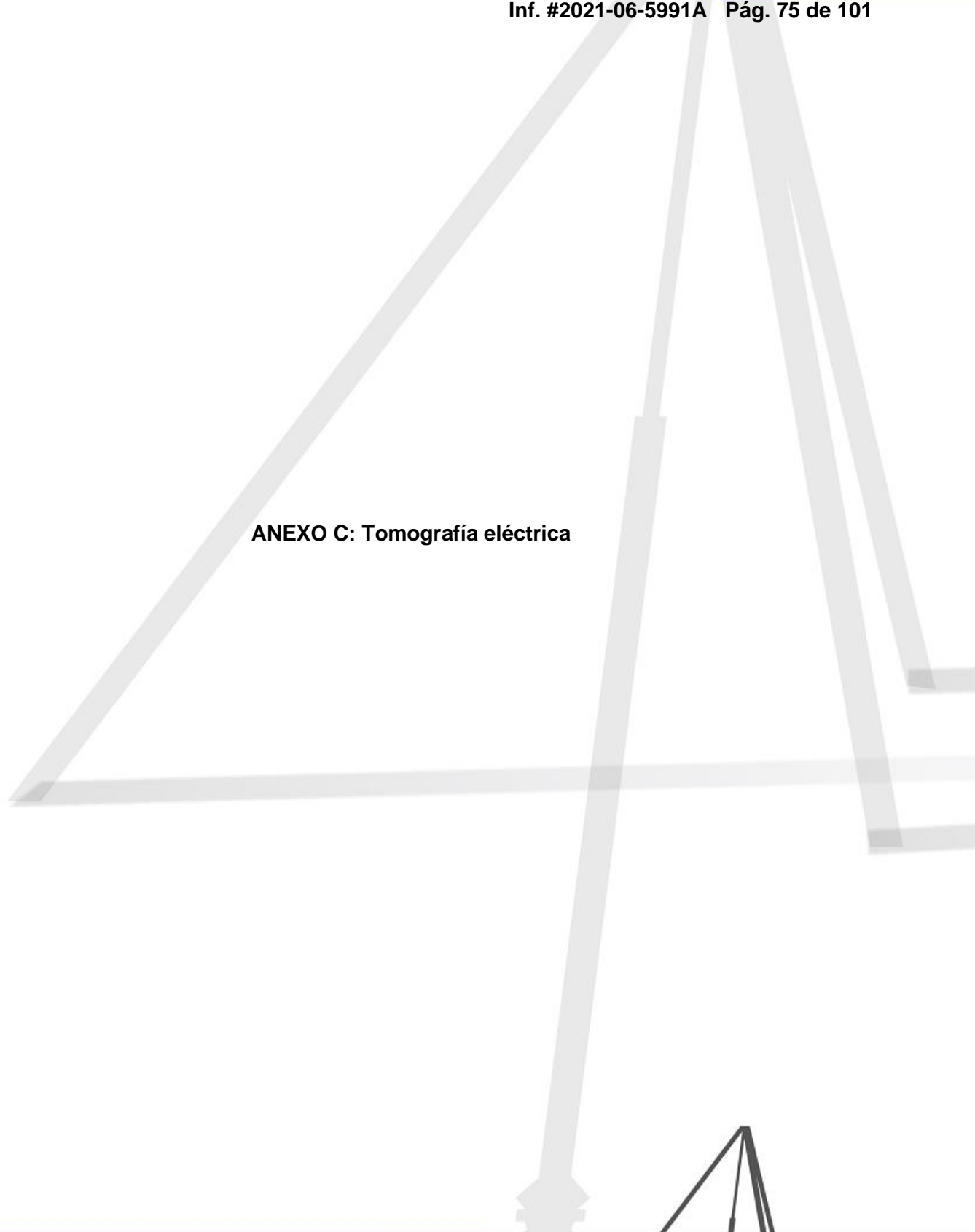






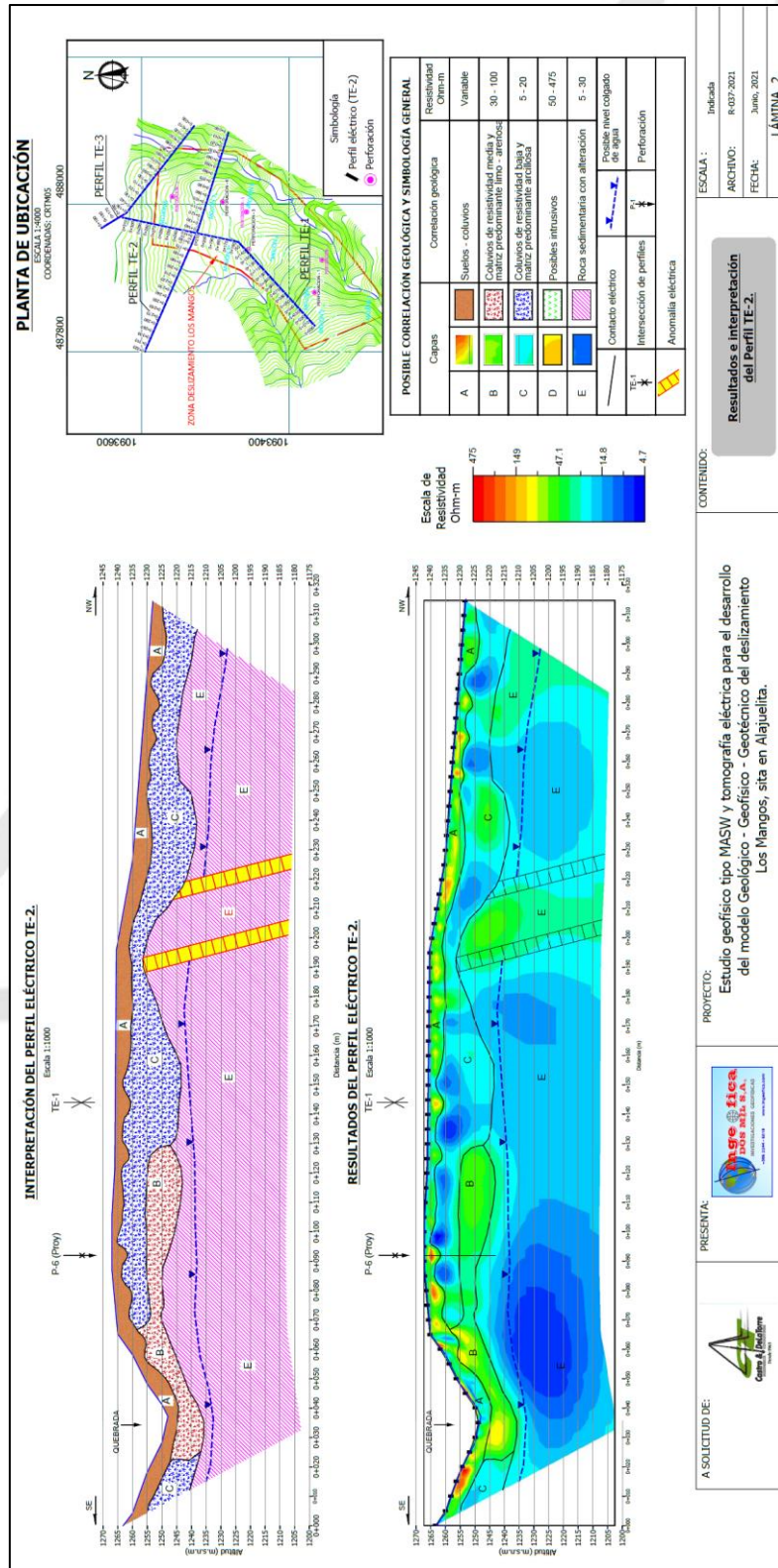


**ANEXO C: Tomografía eléctrica**

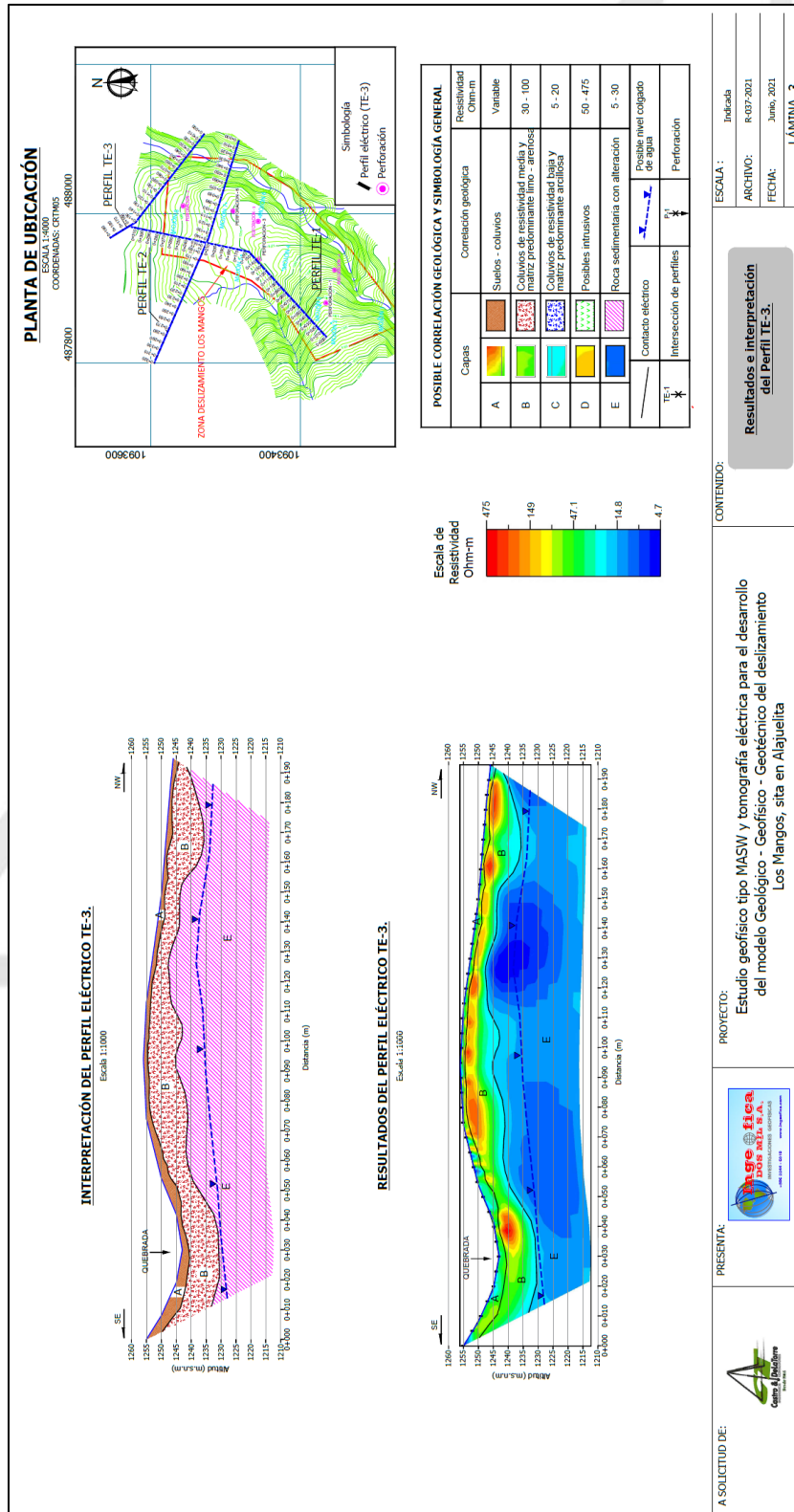














**ANEXO D: Hojas de perfiles de perforación**



PERFORACION:	<b>P-1</b>	PROYECTO:	DESARROLLO DEL MODELO GEOFISICO-GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MANGOS
PROF. TOTAL:	30,40 m	UBICACIÓN:	SAN JOCESITO, ALAJUELITA, SAN JOSE
NIVEL DEL TERRENO:	NIVEL ACTUAL	SISTEMA DE PERFORACION:	PERCUSION ESTANDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*) y ROTACION CON BROCA DE DIAMANTE (ASTM D-2113, Instrucción de Ensayo IE-32*)
ORDEN DE TRABAJO:	7671	PIEZOMETRO:	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>
FECHA DE INICIO:	5/5/2021	# INFORME:	2021-06-5991
FECHA DE FINALIZACION:	13/5/2021	FECHA:	10/6/2021
PERFORADOR:	LUIS AGUILAR	PREPARADO POR:	GIORGI VILLALOBOS
EQUIPO:	TMG STR-183	OBSERVACIONES:	CONTRATACION DIRECTA 2021CD-000002-0006500001
DESCRITO POR:	GIORGI VILLALOBOS	HOJA:	1



INTERVALOS (m)	M#	Tipo de Perf.	Nspt					N*	N'	%W*	Hs**	C*	RQD	REC	S	DESCRIPCION VISUAL DEL SUELO	SUCS**
			0	20	40	60	80										
0,00	0,45	T.P														0,00 m - 0,40 m CAPA BB Suelo orgánico de color negro, de baja calidad.	
0,45	0,90	1 SPT						11	11				60%			0,40 m - 5,40 m CAPA DD Limo de alta plasticidad de color café a café claro con pintas grises, amarillentas, negras y piedras, de consistencia semidura, dura y rígida.	MH
0,90	1,35	BAR						49	49				82%				
1,35	1,50	T.P						89	89				0%				
1,50	1,50	2 SPT						10	Rbt				0%				
1,50	2,40	HQ											19%				
2,40	2,85	3 SPT						10	10				0%				
2,85	3,90	HQ											50%				
3,90	4,35	4 SPT						14	14	27,0	1,64	0,76	49%				
4,35	5,40	HQ											45%				
5,40	5,70	5 SPT						40	Rbt	24,3	1,70	0,46	56%				
5,70	6,90	HQ											33%				
6,90	7,35	6 SPT						33	33	16,2	1,90	0,57	49%				
7,35	8,40	HQ											55%				
8,40	8,85	7 SPT						11	11	16,4	1,84	0,55	60%				
8,85	9,90	HQ											70%				
9,90	10,30	8 SPT						65	Rbt	10,4	2,04	0,57	49%				
10,30	11,40	HQ											81%				
11,40	11,40	9 SPT						10	Rbt				0%				
11,40	12,90	HQ											50%				
12,90	13,35	10 SPT						2	2				0%				
13,35	14,40	HQ											33%				
14,40	14,40	11 SPT						10	Rbt				0%				
14,40	15,90	HQ											60%				
15,90	16,35	12 SPT						14	14				0%				
16,35	17,40	HQ											63%				
CASING SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>															NIVEL FREÁTICO: 13,70 m		

M# : Número de muestra para inconfundida	%REC : Porcentaje de recuperación de muestra
N : Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)	%RQD : Descripción de calidad de roca (siglas en Inglés)
N' : Valor Nspt corregido (martillo automático)	SPT : Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)
%W : Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)	HQ : Rotación con broca de diamante (ASTM D-2113, Instrucción de Ensayo IE-32*)
Hs : Peso unitario seco, g/cm3 (ASTM D-2937**)	ANOTACIONES:
C : Cohesión, kg/cm2 (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33*)	Rbt : Rebote del mazo. Se da fuga completa de agua a 10,00 m.
T.P : Trépanos de punta (cono dinámico)	* Ensayo Acreditado ** Ensayo No Acreditado
S : Simbología de estratigrafía	

PERFORACION:	<b>P-1</b>	PROYECTO:	DESARROLLO DEL MODELO GEOFISICO-GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MANGOS
PROF. TOTAL:	30,40 m	UBICACIÓN:	SAN JOCESITO, ALAJUELITA, SAN JOSE
NIVEL DEL TERRENO:	NIVEL ACTUAL	SISTEMA DE PERFORACION:	PERCUSION ESTANDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*) y ROTACION CON BROCA DE DIAMANTE (ASTM D-2113, Instrucción de Ensayo IE-32*)
ORDEN DE TRABAJO:	7671	PIEZOMETRO:	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>
FECHA DE INICIO:	5/5/2021	FECHA:	10/6/2021
FECHA DE FINALIZACION:	13/5/2021	# INFORME:	2021-06-5991
PERFORADOR:	LUIS AGUILAR	PREPARADO POR:	GIORGI VILLALOBOS
EQUIPO:	TMG STR-183	OBSERVACIONES:	CONTRATACION DIRECTA 2021CD-000002-0006500001
DESCRITO POR:	GIORGI VILLALOBOS	HOJA:	2



INTERVALOS (m)	M#	Tipo de Perf.	Nspt					N*	N'	%W*	Hs**	C*	RQD	REC	S	DESCRIPCION VISUAL DEL SUELO	SUCS**
			0	20	40	60	80										
17,40	17,80	13	SPT	[Bar chart showing SPT blow counts]					80	Rbt	19,6	1,88			60%	5,40 m - 21,90 m CAPA EE Limo arcillo arenoso de color café amarillento a gris con bloques residuales decimétricos a centimétricos de hasta 45 cm, de consistencia rígida.	ML
17,80	18,90		HQ											0%			
18,90	18,90	14	SPT	[Bar chart showing SPT blow counts]					10	Rbt					53%		
18,90	20,40		HQ											45%			
20,40	20,40	15	SPT	[Bar chart showing SPT blow counts]					10	Rbt					0%		
20,40	21,90		HQ												70%		
21,90	21,94	16	SPT	[Bar chart showing SPT blow counts]					25	Rbt					0%	21,90 m - 28,90 m CAPA FF Limo arcillo arenoso de color café amarillento con alteraciones de óxidos, superficies pulidas y fragmentos líticos residuales muy meteorizados, de consistencia rígida.	ML-SM
21,94	23,40		HQ												67%		
23,40	23,85	17	SPT	[Bar chart showing SPT blow counts]					43	43	34,9	1,45	1,33		98%		
23,85	25,90		HQ												58%		
25,90	26,35	18	SPT	[Bar chart showing SPT blow counts]					49	49	35,0	1,41	1,12		98%		
26,35	27,40		HQ												87%		
27,40	27,47	19	SPT	[Bar chart showing SPT blow counts]					36	36					0%		
27,47	28,90		HQ												88%		
28,90	28,92	20	SPT	[Bar chart showing SPT blow counts]					10	Rbt					0%	28,90 m - 30,40 m CAPA JJ Gabro de color gris claro con algunas fracturas y con patinas de oxido en las fracturas.	
28,92	30,40		HQ										90%	100%			
30,40	30,40	21	SPT	[Bar chart showing SPT blow counts]					10	Rbt					0%		

CASING	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	Consistencia		Muy blanda Blanda Media Semidura Dura Rígida		NIVEL FREÁTICO:	13,70 m
M#	: Número de muestra para inconfiada			%REC			: Porcentaje de recuperación de muestra	
N	: Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)			%RQD			: Descripción de calidad de roca (siglas en Inglés)	
N'	: Valor Nspt corregido (martillo automático)			SPT			: Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)	
%W	: Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)			HQ			: Rotación con broca de diamante (ASTM D-2113, Instrucción de Ensayo IE-32*)	
Hs	: Peso unitario seco, g/cm3 (ASTM D-2937**)			ANOTACIONES:				
C	: Cohesión, kg/cm2 (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33*)			Rbt : Rebote del mazo. Se da fuga completa de agua a 10,00 m.				
T.P	: Trépanos de punta (cono dinámico)			* Ensayo Acreditado ** Ensayo No Acreditado				
S	: Simbología de estratigrafía							





PERFORACION:		P-2		PROYECTO:		DESARROLLO DEL MODELO GEOFISICO-GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MANGOS											
PROF. TOTAL:		13,50 m		UBICACION:		SAN JOCESITO, ALAJUELITA, SAN JOSE											
NIVEL DEL TERRENO:		NIVEL ACTUAL		SISTEMA DE PERFORACION:		PERCUSION ESTANDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)											
ORDEN DE TRABAJO:		7671		PIEZOMETRO:		SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>											
FECHA DE INICIO:		7/5/2021		FECHA:		10/6/2021											
FECHA DE FINALIZACION:		7/5/2021		# INFORME:		2021-06-5991											
PERFORADOR:		LUIS AGUILAR		PREPARADO POR:		GIORGI VILLALOBOS											
DESCRITO POR:		ANGEL CASCANTE		OBSERVACIONES: <b>CONTRATACION DIRECTA 2021CD-000002-0006500001</b>													
INTERVALOS (m)	M#	Tipo de Perf.	Nspt				N*	%W*	Hs**	C*	Rec	S	DESCRIPCION VISUAL DEL SUELO	SUCS**			
0,00	0,45	T.P											0,00 m - 0,40 m CAPA BB Suelo orgánico de color negro, de baja calidad.				
0,45	0,90	1 SPT					9	36,9	1,29	0,53	49%		0,40 m - 0,90 m CAPA CC Limo plástico de color café, de consistencia media.				
0,90	1,35	Bar					9				100%						
1,35	1,80	Bar					10				100%						
1,80	2,25	2 SPT					6	55,0	1,15	0,56	82%						
2,25	2,70	Bar					5				69%						
2,70	3,15	Bar					7				84%						
3,15	3,60	3 SPT					5	54,6	1,15	0,41	100%						
3,60	4,05	Bar					7				80%						
4,05	4,50	Bar					7				80%						
4,50	4,95	4 SPT					14	36,0	1,46	0,45	89%		0,90 m - 8,55 m CAPA DD Limo de alta plasticidad de color café a café claro con pintas grises, amarillentas, negras y piedras, de consistencia variable entre media, semidura, dura y rígida.	MH			
4,95	5,40	Bar					20				51%						
5,40	5,85	Bar					9				62%						
5,85	6,30	5 SPT					7	39,0	1,02		60%						
6,30	6,75	Bar					6				42%						
6,75	7,20	Bar					5				42%						
7,20	7,65	6 SPT					7	48,7	0,81		51%						
7,65	8,10	Bar					8				40%						
8,10	8,55	Bar					10				49%						
8,55	9,00	7 SPT					9	32,7	1,51	0,84	71%						
9,00	9,45	T.P					9				0%						
9,45	9,90	T.P					16				0%						
9,90	10,35	T.P					31				0%						
10,35	10,80	T.P					29				0%		8,55 m - 13,50 m CAPA EE Limo arcillo arenoso de color café amarillento a gris con bloques residuales decimétricos a centimétricos, de consistencia variable entre media y rígida.	ML-SM			
10,80	11,25	T.P					23				0%						
11,25	11,70	T.P					23				0%						
11,70	12,15	T.P					28				0%						
12,15	12,60	T.P					30				0%						
12,60	13,05	T.P					29				0%						
13,05	13,50	T.P					29				0%						
REBOTE		SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>		Consistencia				Muy blanda		Blanda	Meda	Semidura	Dura	Rígida	NIVEL DE AGUA:	NF: 4,05 m
Rec= % de Recuperación de muestra				Bar= Barreno				SPT = Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)									
M# = Número de muestra para inconfundida				T.P = Trépanos de punta (cono dinámico)				S = Simbología de estratigrafía									
Nspt = Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)																	
%W = Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)																	
Hs = Peso unitario seco, g/cm3 (ASTM D-2937**)																	
C = Cohesión, kg/cm² (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33*)																	
												* Ensayo Acreditado ** Ensayo No Acreditado					

PERFORACION:		P-3		PROYECTO:		DESARROLLO DEL MODELO GEOFISICO-GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MANGOS								
PROF. TOTAL:		10,35 m		UBICACION:		SAN JOCESITO, ALAJUELITA, SAN JOSE								
NIVEL DEL TERRENO:		NIVEL ACTUAL		SISTEMA DE PERFORACION:		PERCUSION ESTANDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)								
ORDEN DE TRABAJO:		7671		PIEZOMETRO:		SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>								
FECHA DE INICIO:		6/5/2021		FECHA:		10/6/2021								
FECHA DE FINALIZACION:		6/5/2021		# INFORME:		2021-06-5991								
PERFORADOR:		LUIS AGUILAR		PREPARADO POR:		GIORGHI VILLALOBOS								
DESCRITO POR:		ANGEL CASCANTE		OBSERVACIONES: <b>CONTRATACION DIRECTA 2021CD-000002-0006500001</b>										
INTERVALOS (m)	M#	Tipo de Perf.	Nspt				N*	%W*	Hs**	C*	Rec	S	DESCRIPCION VISUAL DEL SUELO	SUCS**
0,00	0,45	T.P											0,00 m - 0,30 m CAPA BB Suelo orgánico de color negro, de baja calidad.	
0,45	0,90	1 SPT	█				8	30,9	1,51	0,44	49%		0,30 m - 5,40 m CAPA DD Limo de alta plasticidad de color café a café claro con pintas grises, amarillentas, negras y piedras, de consistencia variable entre muy blanda, blanda, media, semidura, dura y rígida.	MH
0,90	1,35	Bar	█				11				60%			
1,35	1,80	Bar	█				14				71%			
1,80	2,25	2 SPT	█				16	22,3	1,69	0,80	60%			
2,25	2,70	Bar	█				20				76%	5,40 m - 7,65 m CAPA EE Limo arcillo arenoso de color café amarillento a gris con bloques residuales decimétricos a centimétricos, de consistencia muy blanda a media.	ML-SM	
2,70	3,15	Bar	█				9				82%			
3,15	3,60	3 SPT	█				13	17,5	1,80	0,77	60%			
3,60	4,05	Bar	█				12				49%			
4,05	4,50	Bar	█				12				60%	7,65 - 10,35 m CAPA FF Limo arcillo arenoso de color café amarillento con alteraciones de óxidos, superficies pulidas y fragmentos líticos residuales muy meteorizados, de consistencia variable entre media y rígida.	ML-SM	
4,50	4,95	4 SPT	█				10	28,4	1,60	0,61	76%			
4,95	5,40	Bar	█				8				38%			
5,40	5,85	T.P	█				1				0%			
5,85	6,30	T.P	█				1				0%	7,65 - 10,35 m CAPA FF Limo arcillo arenoso de color café amarillento con alteraciones de óxidos, superficies pulidas y fragmentos líticos residuales muy meteorizados, de consistencia variable entre media y rígida.	ML-SM	
6,30	6,75	T.P	█				4				0%			
6,75	7,20	T.P	█				11				0%			
7,20	7,65	T.P	█				14				0%			
7,65	8,10	T.P	█				24				0%	7,65 - 10,35 m CAPA FF Limo arcillo arenoso de color café amarillento con alteraciones de óxidos, superficies pulidas y fragmentos líticos residuales muy meteorizados, de consistencia variable entre media y rígida.	ML-SM	
8,10	8,55	T.P	█				29				0%			
8,55	9,00	T.P	█				21				0%			
9,00	9,45	T.P	█				56				0%			
9,45	9,90	T.P	█				57				0%	7,65 - 10,35 m CAPA FF Limo arcillo arenoso de color café amarillento con alteraciones de óxidos, superficies pulidas y fragmentos líticos residuales muy meteorizados, de consistencia variable entre media y rígida.	ML-SM	
9,90	10,35	T.P	█				67				0%			

REBOTE SI  NO

Consistencia: Muy blanda | Blanda | Media | Semidura | Dura | Rígida

NIVEL DE AGUA: NF: 2,10 m

Rec= % de Recuperación de muestra  
M# = Número de muestra para inconfiada  
Nspt = Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16\*)  
%W = Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06\*)  
Hs = Peso unitario seco, g/cm3 (ASTM D-2937\*\*)  
C = Cohesión, kg/cm² (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33\*)

Bar= Barreno  
SPT = Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16\*)  
T.P = Trépanos de punta (cono dinámico)  
S = Simbología de estratigrafía

\* Ensayo Acreditado \*\* Ensayo No Acreditado



PERFORACION: <b>P-4</b>		PROYECTO: DESARROLLO DEL MODELO GEOFISICO-GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MANGOS													
PROF. TOTAL: <b>5,50 m</b>		UBICACION: SAN JOCESITO, ALAJUELITA, SAN JOSE													
NIVEL DEL TERRENO: NIVEL ACTUAL		SISTEMA DE PERFORACION: PERCUSION ESTANDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)													
ORDEN DE TRABAJO: <b>7671</b>		PIEZOMETRO: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>													
FECHA DE INICIO: 5/5/2021		FECHA: 10/6/2021													
FECHA DE FINALIZACION: 5/5/2021		# INFORME: <b>2021-06-5991</b>													
PERFORADOR: LUIS AGUILAR		PREPARADO POR: GIORGI VILLALOBOS													
DESCRITO POR: ANGEL CASCANTE															
OBSERVACIONES: <b>CONTRATACION DIRECTA 2021CD-000002-0006500001</b>															
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 - 0,30 m CAPA BB Suelo orgánico de color negro, de baja calidad.	
0,45	0,90	1 SPT						8	48,3			38%		0,30 m - 3,15 m CAPA DD Limo de alta plasticidad de color café a café claro con pintas grises, amarillentas, negras y piedras, de consistencia variable entre media, semidura, dura y rígida.	MH
0,90	1,35	Bar						11				60%			
1,35	1,80	Bar						14				98%			
1,80	2,25	2 SPT						19	25,3	1,31		71%	3,15 - 5,50 m CAPA EE Limo arcillo arenoso de color café amarillento a gris con bloques residuales decimétricos a centimétricos, de consistencia variable entre media y rígida.	ML-SM	
2,25	2,70	Bar						20				69%			
2,70	3,15	Bar						41				38%			
3,15	3,60	T.P						29				0%			
3,60	4,05	T.P						15				0%			
4,05	4,50	T.P						24				0%			
4,50	4,95	T.P						18				0%			
4,95	5,40	T.P						42				0%			
5,40	5,50	T.P						50				0%			
REBOTE		SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	Consistencia					NIVEL DE AGUA:		2,80 m				
M# = Número de muestra para inconfiada		Consistencia					Bar = Barreno		SPT = Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)						
Nspt = Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)		Muy blanda   blanda   Media   Semidura   Dura   Rígida					T.P = Trépanos de punta (cono dinámico)		S = Simbología de estratigrafía						
%W = Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)															
Hs = Peso unitario seco, g/cm3 (ASTM D-2937**)															
C = Cohesión, kg/cm² (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33*)															

PERFORACION:		P-5		PROYECTO:		DESARROLLO DEL MODELO GEOFISICO-GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MANGOS									
PROF. TOTAL:		9,50 m		UBICACION:		SAN JOCESITO, ALAJUELITA, SAN JOSE									
NIVEL DEL TERRENO:		NIVEL ACTUAL		SISTEMA DE PERFORACION:		PERCUSION ESTANDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)									
ORDEN DE TRABAJO:		7671		PIEZOMETRO:		SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>									
FECHA DE INICIO:		7/5/2021		FECHA:		10/6/2021									
FECHA DE FINALIZACION:		7/5/2021		# INFORME:		2021-06-5991									
PERFORADOR:		LUIS AGUILAR		PREPARADO POR:		GIORGHI VILLALOBOS									
DESCRITO POR:		ANGEL CASCANTE		OBSERVACIONES: <b>CONTRATACION DIRECTA 2021CD-000002-0006500001</b>											
INTERVALOS (m)	M#	Tipo de Perf.	Nspt				N*	%W*	Hs**	C*	Rec	S	DESCRIPCION VISUAL DEL SUELO	SUCS**	
0,00	0,45	T.P											0,00 m - 0,02 m Asfalto.		
0,45	0,90	1 SPT					10	16,7			49%		0,02 m - 0,23 m CAPA AA Relleno de lastre de color gris oscuro.		
0,90	1,35	Bar					6				60%		0,23 m - 0,40 m CAPA BB Suelo orgánico de color negro, de baja calidad.		
1,35	1,80	Bar					8				98%		0,40 m - 0,65 m CAPA CC Arcilla limosa de color café.	CL	
1,80	2,25	2 SPT					6	29,7	1,16		60%		0,65 m - 6,30 m CAPA DD Limo de alta plasticidad de color café a café claro con pintas grises, amarillentas, negras y piedras, de consistencia variable entre blanda, media, semidura, dura y rígida.	MH	
2,25	2,70	Bar					6				71%				
2,70	3,15	Bar					6				96%				
3,15	3,60	3 SPT					4	35,9	1,36	0,58	71%				
3,60	4,05	Bar					8				82%				
4,05	4,50	Bar					7				60%				
4,50	4,95	4 SPT					6	41,0	1,37	0,66	93%				
4,95	5,40	Bar					6				71%				
5,40	5,85	Bar					7				60%				
5,85	6,30	5 SPT					11	38,1	1,47	0,84	82%				
6,30	6,75	Bar					32				60%	6,30 m - 9,50 m CAPA EE Limo arcillo arenoso de color café amarillento a gris con bloques residuales decimétricos a centimétricos, de consistencia muy blanda a media.	ML-SM		
6,75	7,20	Bar					12				0%				
7,20	7,65	Bar					24				0%				
7,65	8,10	T.P					25				0%				
8,10	8,55	T.P					36				0%				
8,55	9,00	T.P					45				0%				
9,00	9,50	T.P					64				0%				
REBOTE		SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	Consistencia				Muy blanda   blanda   Media   Semidura   Dura   Rígida				NIVEL DE AGUA:	NF: 4,50 m		
Rec= % de Recuperación de muestra				Bar= Barreno				SPT = Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)							
M# = Número de muestra para inconfiada				SPT = Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)				T.P = Trépanos de punta (cono dinámico)							
Nspt = Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)				S = Simbología de estratigrafía											
%W = Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)															
%W = Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)															
C = Cohesión, kg/cm² (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33*)															

PERFORACION:	<b>P-6</b>	PROYECTO:	DESARROLLO DEL MODELO GEOFISICO-GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MANGOS
PROF. TOTAL:	31,50 m	UBICACIÓN:	SAN JOCESITO, ALAJUELITA, SAN JOSE
NIVEL DEL TERRENO:	NIVEL ACTUAL	SISTEMA DE PERFORACION:	PERCUSIÓN ESTANDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*) y ROTACION CON BROCA DE DIAMANTE (ASTM D-2113, Instrucción de Ensayo IE-32*)
ORDEN DE TRABAJO:	7671	PIEZOMETRO:	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>
FECHA DE INICIO:	6/5/2021	FECHA:	10/6/2021
FECHA DE FINALIZACION:	13/5/2021	# INFORME:	2021-06-5991
PERFORADOR:	LUIS AGUILAR	PREPARADO POR:	GIORGI VILLALOBOS
EQUIPO:	TMG STR-183		
DESCRITO POR:	GIORGI VILLALOBOS		
OBSERVACIONES:	CONTRATACION DIRECTA 2021CD-00002-0006500001		



INTERVALOS (m)	M#	Tipo de Perf.	Nspt				N*	N'	%W*	Hs**	C*	RQD	REC	S	DESCRIPCION VISUAL DEL SUELO	SUCS**
			0	20	40	60										
0,00	0,45	T.P												0,00 m - 0,60 m CAPA BB Suelo orgánico de color negro, de baja calidad.		
0,45	0,90	1 SPT					3	3	29,7	0,88			33%			
0,90	1,35	BAR					5	5					38%			
1,35	2,25	BAR					6	6					60%			
2,25	2,70	2 SPT	█				22	22	32,8	1,30			62%			
2,70	3,15	BAR	█				15	15					87%			
3,15	3,60	BAR	█				6	6					40%			
3,60	4,05	3 SPT	█				5	5	33,2	1,46	0,37		80%			
4,05	4,50	BAR	█				5	5					27%			
4,50	4,95	BAR	█				9	9					49%			
4,95	5,40	4 SPT	█				9	9	33,4	1,44	0,38		60%			
5,40	5,85	BAR	█				6	6					82%			
5,85	6,30	BAR	█				8	8					71%			
6,30	6,75	5 SPT	█				6	6	32,5	1,54	0,34		60%			
6,75	7,20	BAR	█				7	7					60%			
7,20	7,65	BAR	█				4	4					82%			
7,65	8,10	6 SPT	█				8	8	20,6	1,83	0,38		42%			
8,10	8,55	T.P	█				18	18					71%			
8,55	9,00	T.P	█				16	16					0%			
9,00	9,45	T.P	█				11	11					0%			
9,45	9,90	T.P	█				20	20					0%			
9,90	10,35	T.P	█				36	36					0%			
10,35	10,80	T.P	█				34	34					0%			
10,80	11,25	T.P	█				39	39					0%			
11,25	11,70	T.P	█				45	45					0%			
11,70	12,15	T.P	█				38	38					0%			

CASING	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	Consistencia		NIVEL FREÁTICO:	NF: 4,50 m
M# : Número de muestra para inconfundida	%REC : Porcentaje de recuperación de muestra				
N : Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)	%RQD : Descripción de calidad de roca (siglas en Inglés)				
N' : Valor Nspt corregido (martillo automático)	SPT : Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)				
%W : Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)	HQ : Rotación con broca de diamante (ASTM D-2113, Instrucción de Ensayo IE-32*)				
Hs : Peso unitario seco, g/cm <sup>3</sup> (ASTM D-2937**)	ANOTACIONES:				
C : Cohesión, kg/cm <sup>2</sup> (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33*)	Rbt : Rebote del mazo.			Se da fuga completa de agua a 10,00 m.	
T.P : Trépanos de punta (cono dinámico)					
S : Simbología de estratigrafía					



PERFORACION:	<b>P-6</b>	PROYECTO:	DESARROLLO DEL MODELO GEOFISICO-GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL DESLIZAMIENTO DE LOS MANGOS
PROF. TOTAL:	31,50 m	UBICACIÓN:	SAN JOCESITO, ALAJUELITA, SAN JOSE
NIVEL DEL TERRENO:	NIVEL ACTUAL	SISTEMA DE PERFORACION:	PERCUSIÓN ESTANDAR, SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*) y ROTACION CON BROCA DE DIAMANTE (ASTM D-2113, Instrucción de Ensayo IE-32*)
ORDEN DE TRABAJO:	7671	PIEZOMETRO:	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>
FECHA DE INICIO:	6/5/2021	FECHA:	10/6/2021
FECHA DE FINALIZACION:	13/5/2021	# INFORME:	2021-06-5991
PERFORADOR:	LUIS AGUILAR	PREPARADO POR:	GIORGI VILLALOBOS
EQUIPO:	TMG STR-183	HOJA:	9
DESCRITO POR:	GIORGI VILLALOBOS	CONTRATACION DIRECTA 2021CD-000002-0006500001	



INTERVALOS (m)	M#	Tipo de Perf.	Nspt					N*	N'	%W*	Hs**	C*	RQD	REC	S	DESCRIPCION VISUAL DEL SUELO	SUCS**
			0	20	40	60	80										
12,15 - 12,60		T.P	[Bar chart]					44	44					0%		5,40 m - 12,90 m CAPA EE Limo arcillo arenoso de color café amarillento a gris con bloques residuales decimétricos a centimétricos de hasta 45 cm, de consistencia rígida.	ML-SM
12,60 - 13,05		T.P	[Bar chart]					48	48					0%			
13,05 - 13,50		T.P	[Bar chart]					56	56					0%			
13,50 - 14,40		HQ	[Bar chart]											100%		12,90 m - 13,95 m CAPA GG Limo arcillo arenoso de color gris verduzco, de consistencia rígida.	
14,40 - 14,85	7	SPT	[Bar chart]					30	30	26,8	1,65	1,27		64%			
14,85 - 15,90		HQ	[Bar chart]											73%			
15,90 - 16,35	8	SPT	[Bar chart]					55	55	21,9	1,85	1,01		82%			
16,35 - 17,40		HQ	[Bar chart]											20%		13,95 m - 20,75 m CAPA HH Limo arcillo arenoso de color café amarillento a gris con bloques residuales centimétricos de hasta 7 cm, de consistencia rígida.	
17,40 - 17,85	9	SPT	[Bar chart]					59	59	17,1	1,91			82%			
17,85 - 18,90		HQ	[Bar chart]											32%			
18,90 - 18,95	10	SPT	[Bar chart]					25	Rbt					0%			
18,95 - 20,40		HQ	[Bar chart]											63%			
20,40 - 20,75	11	SPT	[Bar chart]					50	50	18,7	1,91	1,47		49%			
20,75 - 21,90		HQ	[Bar chart]											37%			
21,90 - 21,90	12	SPT	[Bar chart]					20	Rbt					0%			
21,90 - 23,40		HQ	[Bar chart]											24%		20,75 m - 24,45 m CAPA II Grava en matriz arenosa de color gris, de compacidad relativa muy compacta. (aluvión)	
23,40 - 23,40	13	SPT	[Bar chart]					20	Rbt					0%			
23,40 - 24,90		HQ	[Bar chart]											53%			
24,90 - 24,90	14	SPT	[Bar chart]					30	Rbt					0%			
24,90 - 26,40		HQ	[Bar chart]											0%	33%		
26,40 - 26,40	15	SPT	[Bar chart]					25	Rbt					0%			
26,40 - 27,90		HQ	[Bar chart]											0%	80%		24,45 m - 31,50 m CAPA KK Lutita de color café meteorizada con patinas de oxido, hierro y magnesio, alteración a arcillas y muy fracturada, con presencia de algunas superficies pulidas y de consistencia dura a rígida.
27,90 - 27,90	16	SPT	[Bar chart]					20	Rbt					0%			
27,90 - 29,90		HQ	[Bar chart]											0%	100%		
29,90 - 29,90	17	SPT	[Bar chart]					20	Rbt					0%			

CASING		SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	Consistencia										NIVEL FREÁTICO:		NF: 4,50 m		
Muy blanda   Blanda   Media   Semidura   Dura   Rígida																	
M# : Número de muestra para inconfundida										%REC : Porcentaje de recuperación de muestra							
N : Valor Nspt (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)										%RQD : Descripción de calidad de roca (siglas en Inglés)							
N' : Valor Nspt corregido (martillo automático)										SPT : Sistema de Penetración Estándar (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16*)							
%W : Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06*)										HQ : Rotación con broca de diamante (ASTM D-2113, Instrucción de Ensayo IE-32*)							
Hs : Peso unitario seco, g/cm3 (ASTM D-2937**)										ANOTACIONES:							
C : Cohesión, kg/cm2 (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33*)										Rbt : Rebote del mazo. Se da fuga completa de agua a 10,00 m.							
T.P : Trépanos de punta (cono dinámico)										* Ensayo Acreditado ** Ensayo No Acreditado							
S : Simbología de estratigrafía																	



**ANEXO E: Fotos de daños y grietas debido al deslizamiento**











**ANEXO F: Fotografías de pruebas de campo y cajas de los testigos de rotación**



















Cajas de testigos de las perforaciones a rotación

P-1





P-6





**Tomografías eléctricas**



**ANEXO G: Láminas y mapas**

