

**CARACTERIZACIÓN DEL  
DESLIZAMIENTO EL  
PICADERO, CALLE PILAS,  
SAN RAFAEL DE SANTA  
ANA, SAN JOSÉ**



recepcion@geotectica.com



8343-4204



www.geotectica.com



350 mts Sur del BCR. San Rafael  
de Heredia. Código Postal 40504

REALIZADO PARA  
MUNICIPALIDAD DE SANTA ANA  
MAYO, 2021

**Heredia, Jueves 13 de mayo, 2021**

GT-INF-2020-388-A

**Sres.  
Municipalidad de Santa Ana**

Estimados señores:

Mediante la siguiente nota quiero hacer constar que el presente estudio denominado **“CARACTERIZACIÓN DE LA REACTIVACION DEL DESLIZAMIENTO EL PICADERO, CALLE PILAS, SAN RAFAEL DE SANTA ANA, SAN JOSÉ”** es responsabilidad profesional y autoría en su totalidad de nuestra empresa, a quien la Municipalidad de Santa Ana, le ha pedido la colaboración para la realización de la investigación.

El estudio posee el objetivo de caracterizar cualitativamente y cuantitativamente el deslizamiento El Picadero ubicado en Calle Pilas, San Rafael de Santa Ana, San José, para conocer la amenaza natural y el riesgo intrínseco a esta. El informe se encuentra basado en los procedimientos y metodologías técnicas y profesionalmente conocidas y recomendadas por el Colegio de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA), así como el Colegio de Geólogos de Costa Rica (CGCR), en manuales y reglamentos publicados.

Sin más que agradecerle y quedando a su entera disposición, se despide cordialmente.

**Carlos Alonso Vargas Campos  
Geólogo Geotecnista / Hidrogeólogo  
Consultor  
CGCR N° 271  
SETENA CI 81-2002**

## Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	4
•	Objetivo General .....	4
•	Objetivos específicos.....	4
•	Metodología.....	4
•	Sitio de Estudio .....	11
II.	CONTEXTO GEOLÓGICO .....	12
•	Geología Regional. ....	12
a)	Formación Pacacua .....	12
b)	Formación Grifo Alto.....	13
c)	Depósitos Aluviales y Coluviales .....	13
•	Geología Local .....	13
a)	Lutitas de color morado (Formación Pacacua) .....	14
b)	Lava andesítica de matriz color gris claro (Formación Grifo Alto).....	15
c)	Depósitos coluviales.....	15
d)	Depósitos Aluviales .....	16
III.	CONTEXTO TECTÓNICO.....	18
•	Falla Salitral .....	19
•	Falla Escazú.....	21
•	Falla Aserri .....	21
•	Falla Belo Horizonte .....	22
•	Sismicidad histórica .....	22
a)	Enjambre de junio de 1994 .....	22
b)	El enjambre de octubre de 1994.....	22
c)	Enjambre de noviembre de 1997.....	23
d)	Zona sísmica de Escazú - Belo Horizonte.....	23
e)	Actividad sísmica reciente .....	23
IV.	CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO.....	25
•	Unidades de origen denudacional.....	25
a)	Laderas denudacionales de baja pendiente (<math><8^\circ</math>).....	25
b)	Laderas denudacionales de moderada pendiente (<math>8^\circ - 35^\circ</math>).....	25
c)	Laderas denudacionales de alta pendiente .....	25
d)	Movimientos en masa .....	26
•	Unidades de origen fluvial.....	26
a)	Abanico aluvial .....	26
•	Unidades de origen estructural .....	26
a)	Escarpes.....	26
•	Pendientes alrededor del área del deslizamiento .....	27
V.	CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO .....	29
VI.	CONTEXTO HIDROLÓGICO.....	31
•	Factor Forma .....	32
a)	Microcuenca de quebrada sin nombre.....	32

b) Microcuenca del río Corrogres (afluente).....	33
• Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (Kc).....	33
a) Microcuenca de quebrada sin nombre.....	33
b) Microcuenca del río Corrogres (afluente).....	34
• Aspectos climáticos.....	35
a) Precipitación.....	35
b) Intensidad máxima de lluvia.....	36
c) Actividad climática entre julio y octubre del 2017.....	37
VII. ANÁLISIS DEL DESLIZAMIENTO EL PICADERO.....	41
• Reseña histórica del deslizamiento El Picadero.....	41
• Caracterización del deslizamiento El Picadero, campaña de estudios técnicos del año 2015.....	42
a) Estudio: Reconocimiento geofísico del terreno mediante el método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW).....	42
b) Estudio: Geotécnico y de Mecánica de Suelos. Deslizamiento de un terreno que se localiza en Santa Ana, San José.....	43
c) Estudio: Caracterización Geológica del Deslizamiento El Picadero, Santa Ana, San José.....	45
d) Estudio: Análisis de estabilidad de taludes del deslizamiento “El Picadero”, sobre el río Corrogres, Santa Ana.....	46
e) Estudio: Contratación de especialista en hidráulica fluvial y transporte de sedimentos de carga de fondo con énfasis en procesos erosivos y depositación para realizar un estudio topográfico, geológico y geotéctonico del deslizamiento “El picadero” Componente 1.....	47
f) Estudio: Contratación de especialista en hidráulica fluvial y transporte de sedimentos de carga de fondo con énfasis en procesos erosivos y depositación para realizar un estudio topográfico, geológico y geotéctonico del deslizamiento “El picadero” Componente 2: Análisis de los escenarios de riesgo hacia aguas abajo como consecuencia de bloqueo del río Corrogres por el deslizamiento y valoración de posibles medidas de mitigación.....	51
g) Estudio: Evaluación geotécnica y propuesta conceptual de soluciones, Deslizamiento El picadero.....	59
VIII. REACTIVACIÓN DEL DESLIZAMIENTO EL PICADERO EN EL 2020.....	69
• Contexto del deslizamiento El Picadero.....	69
• Causas de la reactivación del deslizamiento El Picadero en el año 2020.....	79
Medidas tomadas en el sitio.....	82
• Perfiles de refracción sísmica en el Deslizamiento El Picadero.....	87
Perfil de refracción sísmica 1.....	87
Perfil de refracción sísmica 2.....	90
Perfil de refracción sísmica 3.....	93
• Estimación del volumen que compone el Deslizamiento El Picadero.....	96
IX. CONCLUSIONES.....	99
X. RECOMENDACIÓN.....	101
XI. REFERENCIAS.....	102
XII. ANEXOS.....	105

## **CARACTERIZACIÓN DE LA REACTIVACION DEL DESLIZAMIENTO EL PICADERO, CALLE PILAS, SAN RAFAEL DE SANTA ANA, SAN JOSÉ**

### **I. INTRODUCCIÓN**

Costa Rica es un país geológicamente activo, de clima tropical y por lo tanto con fuertes procesos erosivos, lo cual se traduce en numerosas zonas propensas a deslizamientos. Esto puede generar daños importantes en las infraestructuras que se localicen sobre o en las áreas cercanas y afectación a las personas que habitan allí, por lo que resulta de suma importancia estudios técnicos en el área de interés para el adecuado uso de terrenos expuestos a un potencial movimiento de masas.

Los estudios de Riesgos Naturales requieren de la ejecución de técnicas diversas, para la identificación de impactos, principalmente las que puedan evidenciar o tengan registros en épocas recientes. Mientras que para la evaluación de ocurrencia es necesario conocer mediante inspección de campo y recopilación bibliográfica las condiciones geológicas, geomorfológicas y climatológicas de una región.

El trabajo se realizó mediante inspección, mapeo, trabajo de campo y análisis de la información recopilada, junto con información bibliográfica adicional, para así lograr una integración de la información y enriquecer el estudio técnico realizado.

De acuerdo con los procedimientos y normativa establecidos, se realiza el presente estudio técnico que comprende el análisis y caracterización geológica en general junto con aspecto climatológicos, para el análisis de amenaza/riesgo por deslizamiento en el sector de Calle Pilas, San Rafael de Santa Ana, San José.

#### **• Objetivo General**

Caracterizar cualitativamente y cuantitativamente el deslizamiento El Picadero ubicado en Calle Pilas, San Rafael de Santa Ana, San José.

#### **• Objetivos específicos**

1. Describir la geología regional y local en los alrededores del área de estudio.
2. Detallar las principales fallas geológicas cercanas al proyecto, así como la sismicidad asociada a ellas.
3. Describir las principales geoformas a escala regional y local en los alrededores del deslizamiento.
4. Caracterizar el modelo hidrogeológico imperante en el área del deslizamiento y cercana a este.
5. Caracterizar el contexto hidrológico en los alrededores del área del deslizamiento.
6. Recopilar información sobre los estudios previos encargados de caracterizar el deslizamiento El Picadero.
7. Analizar la reactivación del deslizamiento El Picadero en el 2020.

#### **• Metodología**

El estudio consiste en caracterizar desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo un deslizamiento que involucra la descripción de las condiciones geológicas, tectónicas, geomorfológicas, hidrogeológicas e hidrológicas, e integrar todas estas aristas para

precisamente lograr su caracterización. La metodología y el proceso de elaboración de este informe consiste en cuatro actividades principales, las cuales son: la búsqueda de información bibliográfica en bases de datos, levantamiento de información en campo, ejecución de ensayos y muestreos en el sitio de estudio y realización de mapas y redacción del informe.

A continuación, una explicación más detallada de las principales actividades.

### **Metodología del análisis geológico, tectónico y geomorfológico**

Primeramente, se debe recopilar información regional en bibliografía existente correlacionada con lo identificado localmente mediante mapeo de campo. Complementando dicha información mediante la realización de mapas temáticos.

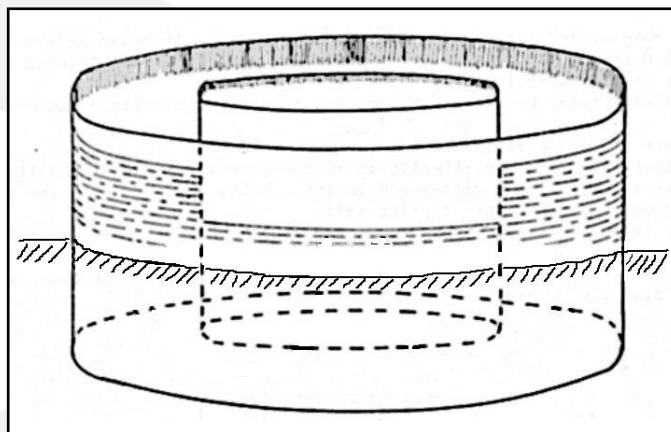
### **Metodología del análisis hidrogeológico e hidrológico**

Igualmente, se debe recopilar información regional en bibliografía existente correlacionada con lo identificado localmente mediante mapeo de campo, así como consultar las bases de datos de SENARA y Dirección de Aguas, en cuanto a informe de perforación de pozos y concesiones alrededor del área. Complementando dicha información mediante la realización de mapas temáticos y diversas pruebas in situ, tales como:

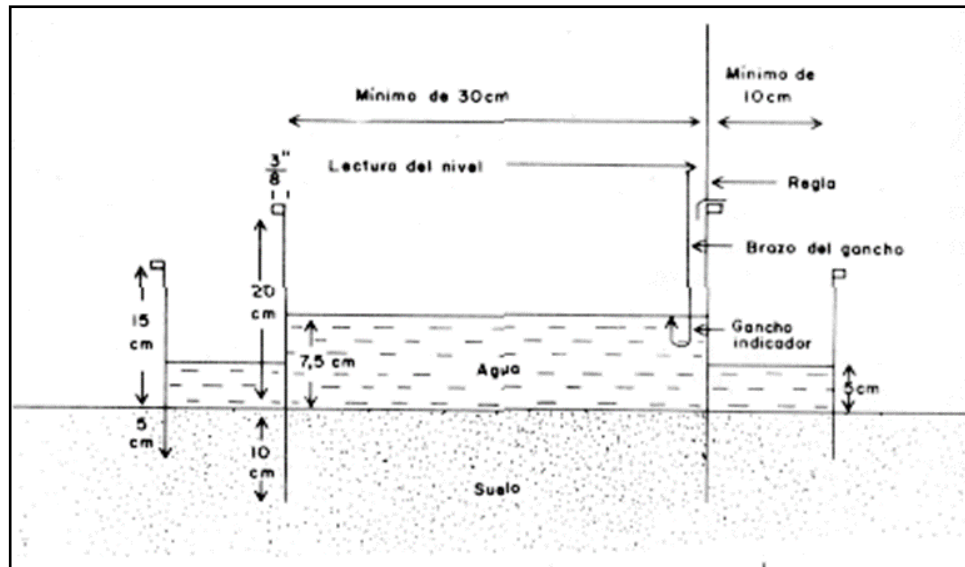
#### Pruebas de infiltración (Metodología Doble anillo)

La metodología para la definición de la conductividad hidráulica del suelo es el método del doble anillo. El método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos midiendo la diferencia del nivel del agua en el cilindro interior.

Este método fue originalmente desarrollado por Munz y consolidado por Kostiakov con la idea de que colocados los dos anillos y obtenida la situación de saturación, la diferencia de nivel del agua ( $H$ ) en el anillo interior provoca un flujo laminar de agua. La tasa de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente la expresamos en mm/h y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado. Cuando la variación de la infiltración se homogeniza la velocidad de infiltración y conductividad hidráulica se igualan con la permeabilidad. Los anillos utilizados pueden ser de hierro o de acero, con diámetros para el cilindro pequeño entre 0,28 y 0,32 metros por 0,4 de altura y para el cilindro metálico grande un diámetro entre 0,53 y 0,57 con una altura de 0,30 metros (Figura N° 1). Las condiciones mínimas para el uso del método del doble anillo se presentan en la Figura N° 2.



**Figura N° 1. Diagrama de colocación del doble anillo.**



**Figura N° 2. Esquema optimizado del ensayo doble anillo.**

El tiempo que transcurra hasta alcanzarse las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y la estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua, y la altura del agua en el anillo interior.

### Pruebas de porosidad

La porosidad de una roca puede estar formada por los intersticios que dejan los granos, por cavernas, o por grietas/fracturas, que llegan a intercomunicarse, algunas veces a largas distancias. Las formaciones o unidades geológicas pueden poseer una porosidad constituida por una o varios de los tipos mencionados. La porosidad se refiere al volumen de vacíos que posee la roca, y la porosidad efectiva, a la relación del porcentaje de esos vacíos que poseen conexión.

La porosidad efectiva se calcula mediante la selección de muestras de suelo, los cuales son secados en horno a 104° C, y luego saturados con inyección de volúmenes de agua conocidos.

Calculando por las dimensiones de cada sección de núcleo de roca, se puede calcular la porosidad. Si posteriormente se deja drenando el agua inyectada y se puede cuantificar la misma, se logra determinar la retención específica y con esta se deriva la porosidad efectiva.

### Tránsito de contaminantes

Para determinar los tiempos de tránsito de los flujos de agua a través del subsuelo se utilizó "Normas para el cálculo de tiempo de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de agua subterránea" del AyA (Rodríguez, 1994)

Estas normas establecen los siguientes supuestos:

- El tiempo de residencia máxima de las bacterias en el subsuelo es de 70 días (Lewis, Foster y Drassar, 1982 en Rodríguez, 1994).
- Cuando el medio este constituido por brechas lávicas o fisuras se considera una porosidad de 0.1
- Si en la zona saturada el flujo es predominantemente fisural (lavas), el tiempo total (vertical en la zona no saturada más el horizontal en la zona saturada) mínimo requerido para el análisis es de 100 y no de 70 días.

Por lo tanto, los tiempos de tránsito para la eliminación de bacterias en las zonas saturada y no saturada dependen del espesor de los mantos rocosos y sus características hidráulicas y litológicas. El tiempo de tránsito del flujo vertical ( $t$ ) en la zona no saturada, bajo condiciones de carga hidráulica se determina con la fórmula:

$$t = (b * \theta) / k$$

Donde:

$b$  = espesor de la zona no saturada en metros

$\theta$  = porosidad efectiva en la zona no saturada

$k$  = conductividad hidráulica vertical

La norma dada por el Departamento de Recursos Hídricos del AyA para la eliminación de bacterias en la zona saturada establece que si los tiempos de tránsito verticales demuestran que las bacterias alcanzan el nivel freático, se debe utilizar la siguiente fórmula para definir el desplazamiento horizontal en el acuífero:

$$T = \frac{d * \theta}{k * i}$$

Donde:

$d$  = corresponde a la distancia horizontal de desplazamiento de las bacterias

$\theta$  = valor de la porosidad

$k$  = conductividad hidráulica del acuífero

$i$  = gradiente hidráulica

### Balance hídrico

La recarga se trata del movimiento del agua a través del suelo, la cual desde la zona no saturada o de zonas preferenciales (fracturas, fallas, ríos, quebradas, lagos, drenajes u otras), llega a formar parte del flujo de agua subterráneo.

Las áreas donde ocurre el proceso de recarga principalmente es lo que se denomina como área de recarga acuífera, la cual involucra muchos aspectos relacionados con la geología, la geomorfología, climatología y las características físicas-biológicas de los suelos y rocas.

La recarga potencial a nivel puntual se determina mediante la metodología de balance de humedad se suelos desarrollado por Schosinsky (2006). Las cuales se pueden clasificar en al menos tres categorías de recarga (alta, media, baja) y dependen de las características de cada zona.

La definición de nivel de recarga acuífera para un sitio específico, se designa según los siguientes parámetros.

**Alta recarga:** Cuando el valor de la recarga potencial en el sitio del proyecto corresponde a un valor > de 25 % de la precipitación media anual de la zona.

**Media recarga:** Cuando el valor de la recarga potencial para el sitio corresponde a valores entre 10 % y 25 % de la precipitación media anual de la zona.

**Baja recarga:** Cuando el valor de la recarga potencial para el sitio corresponde a valores < a 10% de la precipitación media anual de la zona.



## Metodología para la caracterización del deslizamiento

Como parte de la toma de datos para establecer el modelo de activación del deslizamiento, se realiza un monitoreo de control milimétrico de desplazamiento mediante estaciones de control, se lleva control de la precipitación mediante una estación pluviométrica, se lleva un historial de los niveles freáticos en dos piezómetros construidos por el residencial Solaris y se realizan perfiles topográficos y geofísicos en el área del deslizamiento. La metodología de los perfiles geofísicos se detalla a continuación.

### Prospección geofísica

La prospección por refracción sísmica permite interpretar la estratigrafía del subsuelo gracias al uso del principio físico del fenómeno de la refracción total de una onda sísmica que incide sobre una interfase localizada entre dos cuerpos con diferentes propiedades mecánicas, (horizonte de refracción). La condición fundamental para llevar a cabo estudios de sísmica por refracción es que la sucesión de los estratos a investigar se caracterice por velocidades sísmicas crecientes al aumentar la profundidad. De este modo se pueden evaluar hasta 4 ó 5 horizontes de refracción diferentes.

Los ensayos se basan en la medición de los tiempos de recorrido de las ondas elásticas para las cuales, suponiendo amplias superficies de separación con respecto a la longitud de onda o en todo caso con una débil curvatura, los frentes de onda se representan por medio de los relativos rayos sísmicos. El análisis se basa en el principio de Fermat y en la ley de Snell.

El principio de Fermat establece que el rayo sísmico recorre la distancia entre la fuente y el receptor siguiendo el trayecto para el cual el tiempo empleado de recorrido es mínimo. En este principio, dado un plano que separa dos medios con diferentes características mecánicas, el rayo sísmico es el que se extiende a lo largo de un plano perpendicular a la interfase que contiene tanto la fuente como el receptor.

La ley de Snell es una fórmula que describe los tipos de refracción de un rayo sísmico en la transición entre dos medios caracterizados por diferentes velocidades de propagación de las ondas o, equivalentemente, por diferentes índices de refracción. El ángulo formado entre la interfase y el rayo se denomina ángulo de incidencia  $\theta_i$ , mientras que el formado entre el rayo refractado y la superficie normal se denomina ángulo de refracción  $\theta_r$ . La fórmula matemática es:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Donde  $v_1$  y  $v_2$  son las velocidades de los dos medios separados por la interfase.

Cuando  $v_1 > v_2$  se tiene que  $\theta_i > \theta_r$  y por lo tanto la sísmica por refracción nos es factible ya que el rayo refractado se inclinaría hacia abajo. Cuando  $v_1 < v_2$  se tiene que  $\theta_i < \theta_r$  y existe un ángulo crítico de incidencia por lo que  $\theta_r = 90^\circ$  y el rayo refractado viaja paralelamente a la interfase. La expresión que define el ángulo crítico es:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

La forma más sencilla de analizar los datos de refracción es construyendo un gráfico tiempo-distancia cuyo origen corresponda a la fuente de generación de las ondas elásticas. En el eje de las abscisas se representan las posiciones de los geófonos y en las ordenadas los tiempos de primera llegada. A los geófonos más cercanos a la fuente llegan primero los impulsos que han seguido el recorrido directo en un tiempo  $T$  dado por la relación.

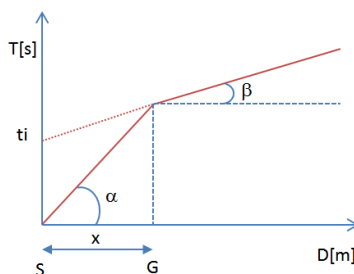
$$T = x_i / V_1$$

Donde  $x_i$  es la distancia entre el punto de disparo y el punto de detección.

La ecuación anterior representa una recta que pasa por el origen de los ejes tiempos-distancias y su coeficiente angular permite calcular la velocidad  $V_1$  del primer medio como.

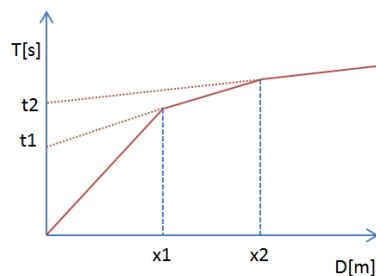
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

Los tiempos de llegada de los rayos refractados en el diagrama tiempos-distancias se disponen según una recta que tendrá una inclinación menor a la de las ondas directas.



La curva tiempos-distancias tiende a un comportamiento regular según una polilínea cuyos vértices se denominan codos, los cuales representan, físicamente, la condición donde se da la llegada contemporánea de las ondas directas y la refractadas. Por lo tanto, para cada uno de los segmentos se determina el tiempo de retraso  $t_i$  que representa la diferencia entre el tiempo que el rayo sísmico emplea en recorrer un tramo a la velocidad propia del estrato en el cual se transmite y el tiempo que emplearía para viajar a lo largo del componente horizontal de ese tramo a la máxima velocidad alcanzada en toda la trayectoria de refracción.

Gráficamente el tiempo de retraso está dado por la intersección de la recta que comprende un segmento de la curva tiempo-distancia con el eje de los tiempos.

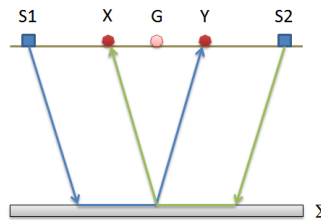


Entonces, conociendo los tiempos  $t_i$  es posible obtener los espesores de los refractores mediante la relación:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left( t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

En situaciones morfológicamente complejas, como método de elaboración se puede utilizar el Método de reciprocidad generalizada (Generalized Reciprocal Method) examinado por Palmer en 1980.

Este método se basa en la búsqueda de una distancia virtual XY entre geófonos tal que los rayos sísmicos que parten de puntos de disparo simétricos respecto al tendido, lleguen al geófono colocado en la posición X y al colocado en la posición Y, proviniendo desde un mismo punto del refractor.

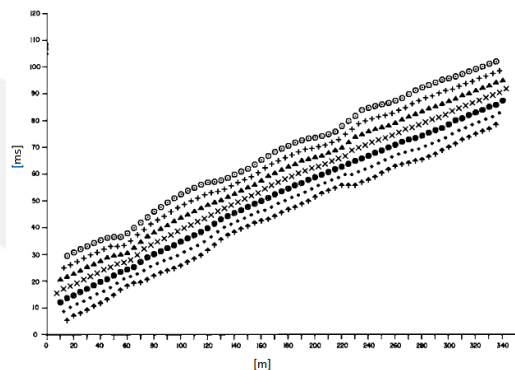


El primer paso operativo es construir un diagrama tiempos-distancias identificando en los sismogramas obtenidos con los datos de campo, las primeras llegadas de las ondas sísmicas.

Para determinar la distancia óptima XY es necesario considerar varios puntos de disparo, tanto de los extremos como del interior del tendido. Esto hace posible identificar con más precisión los tiempos relativos de un mismo refractor que sirven para caracterizar las dromocronas, las cuales son fundamentales para la interpretación. En las interpretaciones multi estratos, para generar las dromocronas se puede aprovechar las técnicas de phantoming y así superar la falta de datos de algunos refractores.

Partiendo de la construcción de las dromocronas es posible determinar la función velocidad según la ecuación:

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



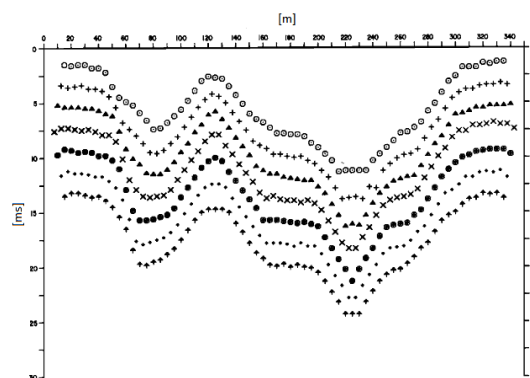
Donde TS1Y y TS2X son los tiempos de recorrido de los rayos sísmicos para llegar, respectivamente, de la fuente S1 a X y de la fuente S2 a Y, mientras que TS1S2 es el tiempo de recorrido entre dos puntos de disparo S1 y S2, externamente simétricos con respecto al tendido. Tv es el tiempo calculado en un geófono G puesto entre X y Y, no necesariamente coincidente con la posición de un geófono del tendido.

El cálculo de la función Tv se lleva a cabo para cada valor de XY comprendido entre cero y la mitad del tendido con variación igual a la distancia real entre los geófonos del tendido. La mejor recta de regresión de las funciones de velocidad obtenidas, permite determinar el XY óptimo y la velocidad del refractor que se obtiene del coeficiente angular.

Mediante la función tiempo-profundidad es posible encontrar la profundidad del refractor expresada en unidad de tiempo. Dicha función se expresa con:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left( T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Donde Vn es la velocidad del refractor.



De la misma manera que con la función velocidad, se determinan varias funciones tiempo-profundidad para el conjunto de los valores XY en estudio. Entre las funciones encontradas, la que presente la mayor articulación compete al valor óptimo de XY.

Finalmente, es posible determinar el espesor del refractor en las correspondientes posiciones de los geófonos G mediante la relación:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

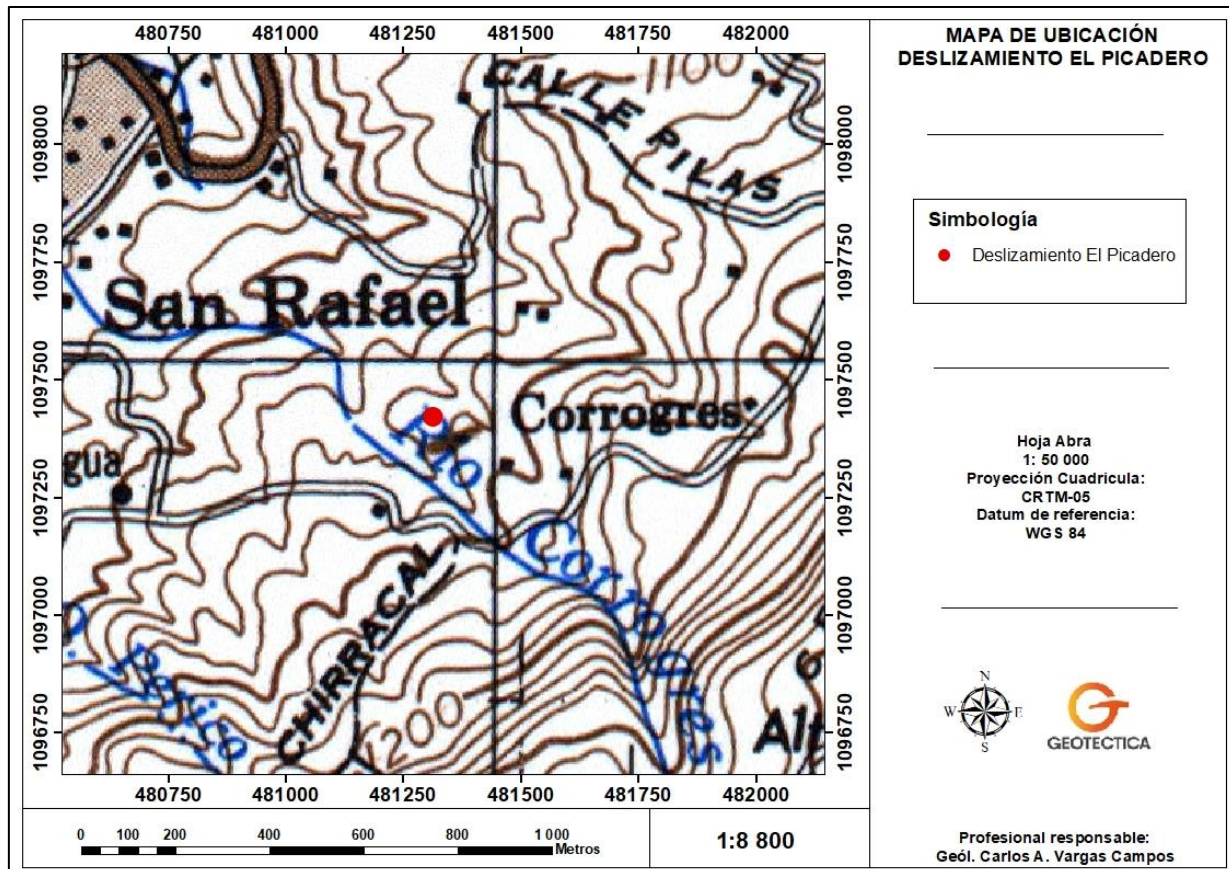
h representa la profundidad mínima desde el geófono G por lo tanto la morfología del refractor se define con la envolvente de las semicircunferencias de rayo h.

Una de las principales ventajas del G.R.M. es que el factor de conversión de la profundidad es relativamente insensible a las pendientes hasta aproximadamente 20°.

- **Sitio de Estudio**

El terreno de estudio se ubica en el distrito de San Rafael, cantón de Santa Ana, provincia de San José, en la localidad conocida propiamente como Calle Pilas. Cartográficamente, se localiza en la hoja Abra del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:50 000. Se

encuentra aproximadamente a 1053 msnm y se está rodeado por zonas con pendientes medias a altas. El acceso al sitio se puede realizar por la ruta de la Calle Pilas. En la figura N° 3 se observa la ubicación del terreno de estudio.



**Figura N° 3. Ubicación cartográfica del deslizamiento El Picadero.**

## II. CONTEXTO GEOLÓGICO

- **Geología Regional.**

La geología del área de estudio se encuentra constituida por materiales de los periodos Terciario y Cuaternario, predominando las rocas volcánicas. De acuerdo con Denyer y Arias (1991), el sitio de estudio se localiza en un sector del Valle Central con una secuencia constitutiva que inicia en la parte inferior con la Formación Pacacua, sobreyaciendo o en algunos sectores como el basamento la Formación Grifo Alto y los depósitos aluviales y coluviales del cuaternario en la parte superior, las cuales serán descritas a continuación y se muestran en la figura N° 4.

### a) Formación Pacacua

Descrita y denominada por Castillo (1969), en una sección tipo localizada en el flanco norte del Cerro Pacacua, la define como una secuencia compuesta por interestratificaciones de conglomerados brechosos y areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas y lutitas. Rivier

(1979) indica una datación del Mioceno Medio temprano y propone que la formación constituye un equivalente lateral de las formaciones Turrúcares, San Miguel y Coris.

Denyer & Arias (1991) describen la formación Pacacua como una secuencia de volcanoclastitas de granulometría diversa dispuestas como estratificaciones decimétricas hasta métricas de areniscas vulcanoclasticas finas, gruesas y guijarrosas; además se asocian con esta formación tobas, tobitas y brechas finas y gruesas con contacto por fragmentos por matriz. Los colores predominantes de estas rocas son rojos y morados, aunque el verde es llamativo apareciendo aisladamente. Se reportan espesores entre 1200 m y 2000 m para esta unidad y una forma tabular. Según la información geológica de la municipalidad de Santa Ana, esta formación se encuentra ubicada entre el cerro Coyote y el sector suroeste del poblado Matinilla, y de este último hasta el cerro Mesas; así como en el sector aledaño al cerro Mina.

#### **b) Formación Grifo Alto**

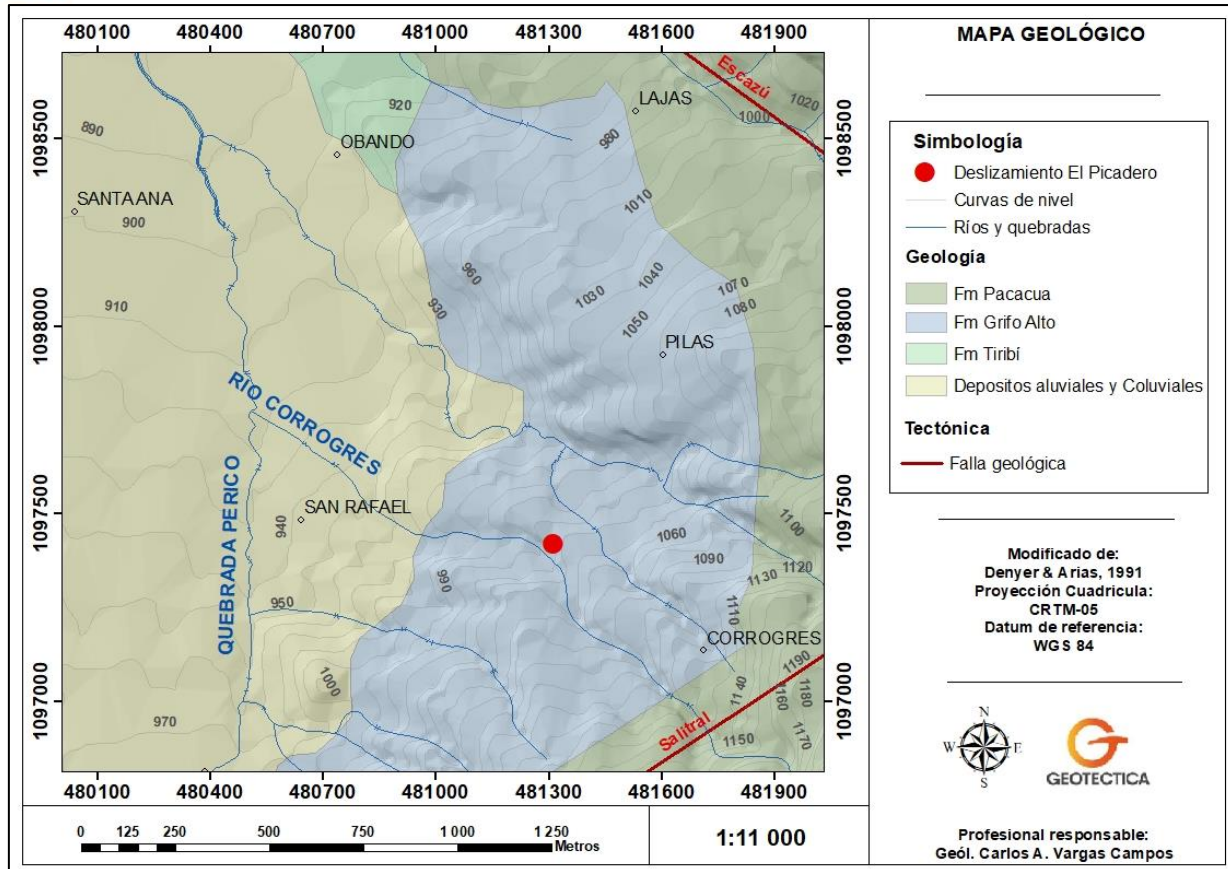
Corresponde con una serie de rocas volcánicas andesíticas y piroclásticas que cubrieron secuencias sedimentarias y volcánicas, se determina un vulcanismo más explosivo que los procesos que dieron origen a la Formación La Cruz. Las lavas andesíticas se encuentran compuestas por augita e hipersteno, son rocas de tonos grisáceos, los flujos piroclásticos son de matriz gruesa y contienen bloques lávicos y escoráceos. Se le asigna un espesor de más de 1000 m y una edad de Plioceno – Pleistoceno (Denyer & Arias, 1991). Sobreyace discordantemente a la Fm. La Cruz y Fm. Coris y además sobreyacida por las lavas Intracañón (Fm. Colima) y los Depósitos de Avalancha Ardiente (Fm. Tiribí).

#### **c) Depósitos Aluviales y Coluviales**

Los depósitos aluviales están constituidos principalmente por bloques lávicos andesíticos, intrusivos y semi consolidados, generalmente bien redondeados y poco meteorizados en algunos sectores, estos habitualmente no poseen grandes espesores. Para el Valle Central los coluvios están formados por materiales sedimentarios, ígneos y metamórficos (menos frecuentes), provenientes de los cerros localizados al sur, estos aumentan su espesor hacia los bordes del Valle Central, principalmente en las localidades de: Tres Ríos, Desamparados, Alajuelita, Escazú y Santa Ana. Para el cantón de Santa Ana estos depósitos provienen de los principales ríos que recorren la zona. Sobresalen los abanicos coluvio-aluviales bordeando groseramente los cerros de Escazú. Dentro de los cuales destaca el formado por el río Uruca y sobre el cual se asienta la población de Santa Ana.

#### **• Geología Local**

Según los autores Denyer & Arias (1991) en el área circundante al terreno de estudio se encuentra aflorando rocas de origen volcánico correspondientes con la Fm. Grifo Alto, descritas como lavas andesíticas. Sin embargo, en los alrededores se observan rocas sedimentarias de la Fm. Pacacua, las cuales corresponden con el basamento local de la secuencia de rocas en el área, así como depósitos coluviales y aluviales en la parte superior.



**Figura N° 4. Mapa geológico regional.**

En correlación con la geología regional y basados en afloramientos observados en campo cerca del sitio del deslizamiento, se efectúa un análisis geológico local describiendo las rocas presentes en los alrededores del sitio de análisis.

#### a) Lutitas de color morado (Formación Pacacua)

En el lindero del condominio Solaris, en las mallas de seguridad, justamente en el lugar donde se presentó el movimiento de tierra del año 2017, se observa el afloramiento 8 de 2 m de ancho por 3 m de alto aproximadamente, figura N° 32, una roca sedimentaria tipo lutita de color morado, sin evidencia de estratificación y mediano grado de meteorización. Además, se observan líticos milimétricos de material volcánico, así como de una lutita de grano más fino color negro o morado muy oscuro inmersos en la matriz en un 40 % con respecto a esta. Este afloramiento se encuentra topográficamente debajo del área del deslizamiento y según mencionan los autores citados anteriormente, se correlaciona con la Formación Pacacua, ya que coincide con la descripción de formación rocosa basal en la zona, la cual como se puede observar en el mapa de la figura N° 4, aflora en el sector oeste del mapa, subyaciendo la unidad Grifo Alto.



**Fotografía N° 1. Lutitas color morado (481320 E / 1097362 N), fuente propia.**

**b) Lava andesítica de matriz color gris claro (Formación Grifo Alto)**

Aguas arriba del río Corrogres, a 164 m del afloramiento anterior, en el flanco izquierdo del cauce, se observa el afloramiento 6, figura N° 32, de 20 m de ancho por 5 m de alto de una lava andesítica de aspecto masivo muy fracturada, matriz (85 %) color gris claro con fenocristales de plagioclasa (10 %) y anfíboles (5 %). Este afloramiento se correlaciona con la Formación Grifo Alto, la cual según la secuencia estratigráfica de la zona sobreyace a la Formación Pacacua descrita en el afloramiento anterior.



**Fotografía N° 2. Lava andesítica (481376 E / 1097220 N), fuente propia.**

**c) Depósitos coluviales**

Cerca y subyaciendo o en contacto lateral a lo observado en el afloramiento anterior, aguas arriba y caminos aledaños al río Corrogres, se observan afloramientos de un coluvio medio a grueso de matriz limo arenosa color café con ligera tonalidad gris en algunos sectores, con líticos desde milimétricos a métricos, siendo los de tamaño decimétrico los más comunes, de lavas andesíticas de matriz (85 %) de color gris claro con fenocristales de plagioclasa principalmente y anfíboles, característicos de la formación Grifo Alto. Otra característica



importante de rescatar es que en la mayoría de los afloramientos la matriz arenosa se encuentra poco compactada, mientras que en otros está se encuentra cementada por sílice, observándose en algunos afloramientos cristales de zeolita inmersos en la matriz.

Esta unidad puede ser asociada tanto a la Fm. Grifo Alto donde según Denyer & Arias (1991), la describen litológicamente en ciertos sitios como parte de flujos piroclásticos conteniendo bloques lávicos y escoriáceos, decimétricos y angulares, con un sostén brindado por una matriz lodosa, como también depósitos coluviales con aporte volcánico de esta unidad, los cuales se forman por el contexto de erosión en el piedemonte provocado por la falla Salitral, siendo esta última génesis la que se propone en el presente estudio según los afloramientos vistos en el cauce del río Corrogres, tal y como lo muestra la figura N° 32.



**Fotografía N° 3. Coluvio aflorante en el río Corrogres  
(481522 E / 1097117 N), fuente propia.**

Sobreyaciendo esta unidad, en algunos tractos de los flancos del río Corrogres, se puede observar claramente en los cortes un estrato conformado por material aluvial y bloques meteorizados de la unidad Grifo Alto y retrabajo de los coluvios, que van disminuyendo en porcentaje, mientras aumenta el contenido de suelo al acercarse a la superficie.

#### **d) Depósitos Aluviales**

Si bien regionalmente, no se observa aflorante la unidad de Depósitos Aluviales y Coluviales en la zona de estudio, localmente se observa material aluvial de matriz limo arenosa con bloques decimétricos y algunos centimétricos. Los cuales son subredondeados hasta angulares, de lavas andesíticas. Esto es producto del material depositado por el río Corrogres, el cual nace en el sector de Salitral, específicamente en el cerro Alto Granadilla, en donde aflora la Formación Pacacua, pero conforme el cauce sigue su curso, aguas abajo cerca del sector de Corrogres, la formación rocosa aflorante corresponde con la Formación Grifo Alto. Razón por la cual, aguas abajo en el sector de análisis, exista un aluvión conformado por bloques de roca ígnea principalmente. En el afloramiento 4 de 3 m de alto aproximadamente, figura N° 32, se puede observar un afloramiento producto de la acción fluvial del río Corrogres; en este ocurre una disminución en la granulometría de abajo hacia arriba, en la parte inferior se observan líticos decimétricos y métricos inmersos en la matriz, mientras que en el medio se observan líticos centimétricos en contacto por punto y finalmente en la parte superior el

material limo arenoso con escasa presencia de líticos, tal y como se observa en la fotografía N° 4.

A nivel cantonal, es posible observar materiales depositados por los diferentes ríos, y estos presentan granulometrías diversas dependiendo de la parte de la cuenca donde se observen o con respecto a la cercanía a los cauces. En la cuenca alta se observa un depósito de matriz limo arcillosa y poca selección en los bloques, en la cuenca media con un ancho variable a cada lado de los flancos de los ríos e igualmente de espesor variable, se observan bloques mayoritariamente decimétricos; por el contrario, en la cuenca baja o conforme más nos alejamos de los cauces lateralmente, se observa igualmente un depósito limoso arcilloso a limo arenoso en la matriz pero con mayor selección en los bloques, siendo la mayoría de tamaño centimétrico.

Al observar la ubicación del sitio de análisis con respecto a la cuenca del río Corrogres, este se encuentra en una transición entre la cuenca media y baja, por lo que tiene sentido la matriz limo arenosa y los bloques mayoritariamente decimétricos, con algunos centimétricos ocasionales, observados en los afloramientos cercanos al sitio de estudio.



**Fotografía N° 4. Depósitos Aluviales seleccionados por acción fluvial del río Corrogres (481501 E / 1097127 N), fuente propia.**

### III. CONTEXTO TECTÓNICO

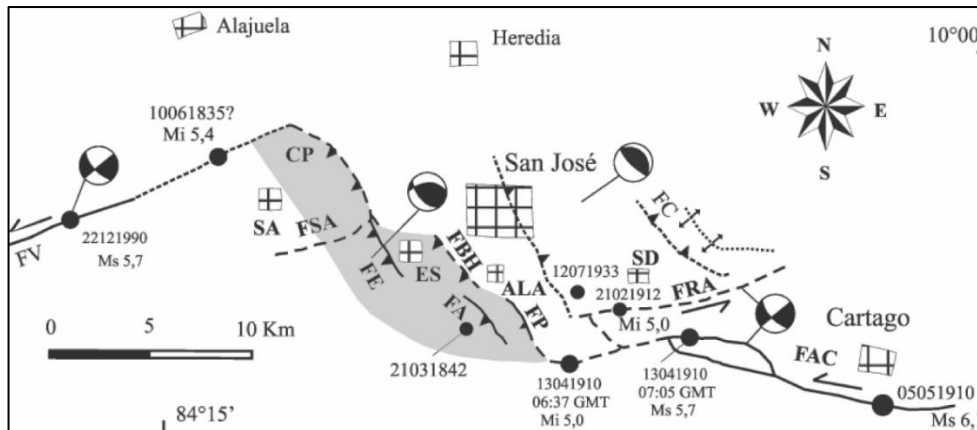
En la parte sur del Valle Central de Costa Rica, zona donde se encuentra ubicado el deslizamiento en estudio, se encuentra regionalmente el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR), el cual constituye un sistema ancho de fallas y pliegues activos, el cual define el límite oeste entre la placa Caribe y la microplaca Panamá. Entre las fallas activas del CDCCR se encuentra la Falla Agua Caliente, con la cual se asocian diversos terremotos históricos de magnitudes intermedias ( $5,0 < M_s < 6,5$ ) (Montero et al., en prensa). Entre las secuencias sísmicas más dañinas asociadas con esta falla se encuentra la ocurrida entre 1910 y 1912, en la que destaca el desastroso terremoto del 4 de mayo ( $M_s 6,1$ ), que destruyó la ciudad de Cartago y otros poblados cercanos y el cual se ubicó unos kilómetros al sur de la ciudad mencionada (Montero & Miyamura, 1981).

La falla Aguacaliente ha sido relacionada con actividad sísmica desde el trabajo de Dóndoli & Torres (1954). Geomorfológicamente, la Falla Aguacaliente se ha caracterizado por el alineamiento de promontorios truncados, valles lineales, ríos y quebradas desplazadas y adaptadas, alineamiento de fuentes termales y mineralizaciones sulfurosas (en los valles de Coris y de El Guarco y Desamparados), escarpes y sillars de falla (Woodward & Clyde, 1993; Fernández & Montero, 2002; Montero et al., 2006).

La falla se considera de desplazamiento predominante sinistral (Fernández & Montero, 2002; Montero et al., en prensa). La traza de la Falla Aguacaliente en general tiene una forma sinuosa con un rumbo variable entre ENE y WNW. Al sur de San José, el trazo principal de la falla pasa del lado sur de la loma Salitral y continúa hacia el este con un rumbo cercano al E-W hasta salir al valle de Coris. El sector suroeste del Valle Central (Cerros de Escazú y alrededores) ha sido un área muy activa (Montero et al 2005), debido al relevo compresivo que efectúa la Falla Agua Caliente cambiando su rumbo E-W a NW con la presencia de las fallas Escazú, Bello Horizonte, Aserri y Patalillo de movimiento, preferiblemente, inverso.

Denyer et al (2003) describen el final de la Falla Agua Caliente en su encuentro con la Falla Frailes en el sector de Escazú y colocan una falla dextral al Sur de Santa Ana; sin embargo, los estudios más recientes (Montero 2001, Montero et al 2005) indican la existencia de relevos compresivos asociados de esta falla formando el sistema Bello Horizonte –Escazú (Figura N° 5). El sistema Escazú-Bello Horizonte - Aserri – Jericó fue propuesto por Montero (2001) como un sistema de fallas con rumbo NW que combina desplazamientos dextrales con levantamientos, a los cuales también se les atribuye actividad sísmica importante; además junto a este sistema de fallas propone la existencia de la Falla Virilla e infiere la presencia de la Falla Salitral.

Por otro lado, Montero et al (2005) describen este sistema como una serie de relevos compresivos de la Falla Agua Caliente, y detallan las características específicas de cada una de las fallas, no obstante, mantienen la clasificación de la Falla Salitral como inferida. La Falla Escazú ha sido definida desde los primeros mapas de amenaza realizados (Woodward & Clyde, 1993) para el Valle Central; sin embargo, hasta la fecha se mantiene algunas dudas respecto a su comportamiento. Montero et al (2005) la han descrito como una falla inversa en dirección NW-SE producto de un relevo compresivo de la falla Agua Caliente. Los mapas más recientes obtenidos de la Comisión de Emergencias indican la existencia de la Falla Escazú; sin embargo, no es posible concretar las condiciones de la falla como su actividad neotectónica, fuerza sísmica, capacidad sismológica y elementos morfológicos asociados.



**Figura N° 5: Sistema de fallas Aguacaliente, al W se observan las principales fallas asociadas al sistema compresivo de Escazú-Belo Horizonte (tomado de Montero et al, 2005).**

A continuación, a partir del análisis de fotografías aéreas del proyecto Terra (1998), análisis de fotografías satelitales tomadas de la base de datos de Google Earth e investigación bibliográfica sobre fallas geológicas existentes en las cercanías del sitio de estudio, esto en un radio de 6 km del sitio de interés. Se describen las principales fallas según los autores Denyer & Arias, (1991) y Montero et al, (2005), además en la figura N° 7 se muestran las estructuras descritas y su distribución en las cercanías del área de estudio.

- **Falla Salitral**

Entorno al deslizamiento El Picadero, existen referencias bibliográficas de tectonismo local en la zona. Originalmente en el Mapa geológico de la hoja Abra (Denyer & Arias, 1990) proponen la Falla Pacacua, la cual se encuentra ubicada en el sector central y oeste del área de investigación con una longitud superior a los 12 km de tipo desplazamiento de rumbo con componente normal.

Por su parte, Montero et al (2005), el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica y para fines de este estudio, se hace referencia a la falla Salitral. La cual se puede observar en el mapa de amenazas naturales de la CNE para el cantón de Santa Ana. Se trata de una estructura oculta cuyas expresiones topográficas son difíciles de apreciar al NW y centro del área de estudio, se observan buenas características de esta a escasos 700 m del Alto Raicero en la cuenca del río Corrogres. Presenta un rumbo SW-NE con una extensión cercana a los 12 km y una leve curvatura hacia el NNE en la zona del Cerro Las Palomas, cortando los cerros Pacacua, Minas y Las Palomas.

El Laboratorio de Ingeniería Sísmica menciona que la falla Salitral posee una longitud de 5 a 7 km aproximadamente con un rumbo ENE, y que, al asumir una longitud de ruptura de 6 km, se pueden generar sismos de Mw 5.5 con aceleraciones de 0.1 g – 0.2 g en las cercanías del epicentro y al sur de Alajuela, Ciudad Colón y oeste de San José, así como intensidades en la escala de Mercalli Modificada entre VI-VIII en Ciudad Colón.

Geomorfológicamente la Falla Salitral presenta un fuerte alineamiento y escarpe en el sector NW del cantón de Escazú en el límite con Santa Ana, cerca del Alto Raicero en la localidad de Corrogres. También se observa una geoforma denominada lomo en gancho en el Cerro Minas ubicado 1 km al W de la ciudad de Salitral, entre los ríos Oro y Uruca, el escarpe de

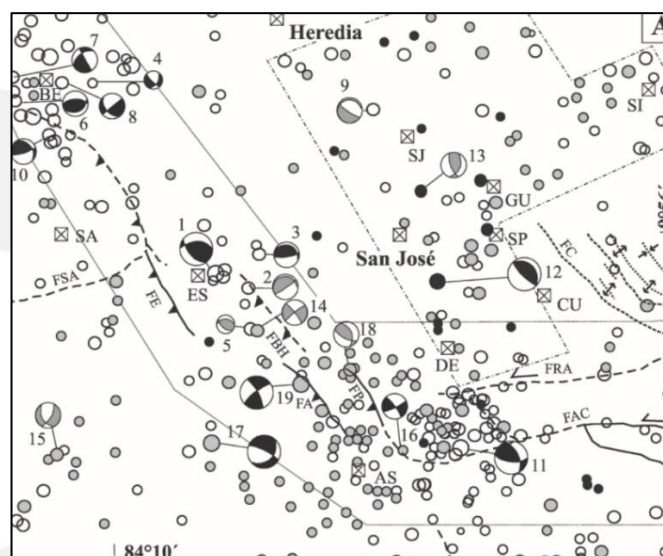
falla se extiende desde el NE de la ciudad de Salitral hasta Jaboncillo con una longitud de 2 km y una altura de 100 m aproximadamente.

Esta falla se asocia con un movimiento de desplazamiento de rumbo con componente inversa según Montero et al (2005), según las interpretaciones esta se encuentra cortada o limitada por la falla Escazú y presenta una traza que se extiende al menos 4,5 km con dirección SW.

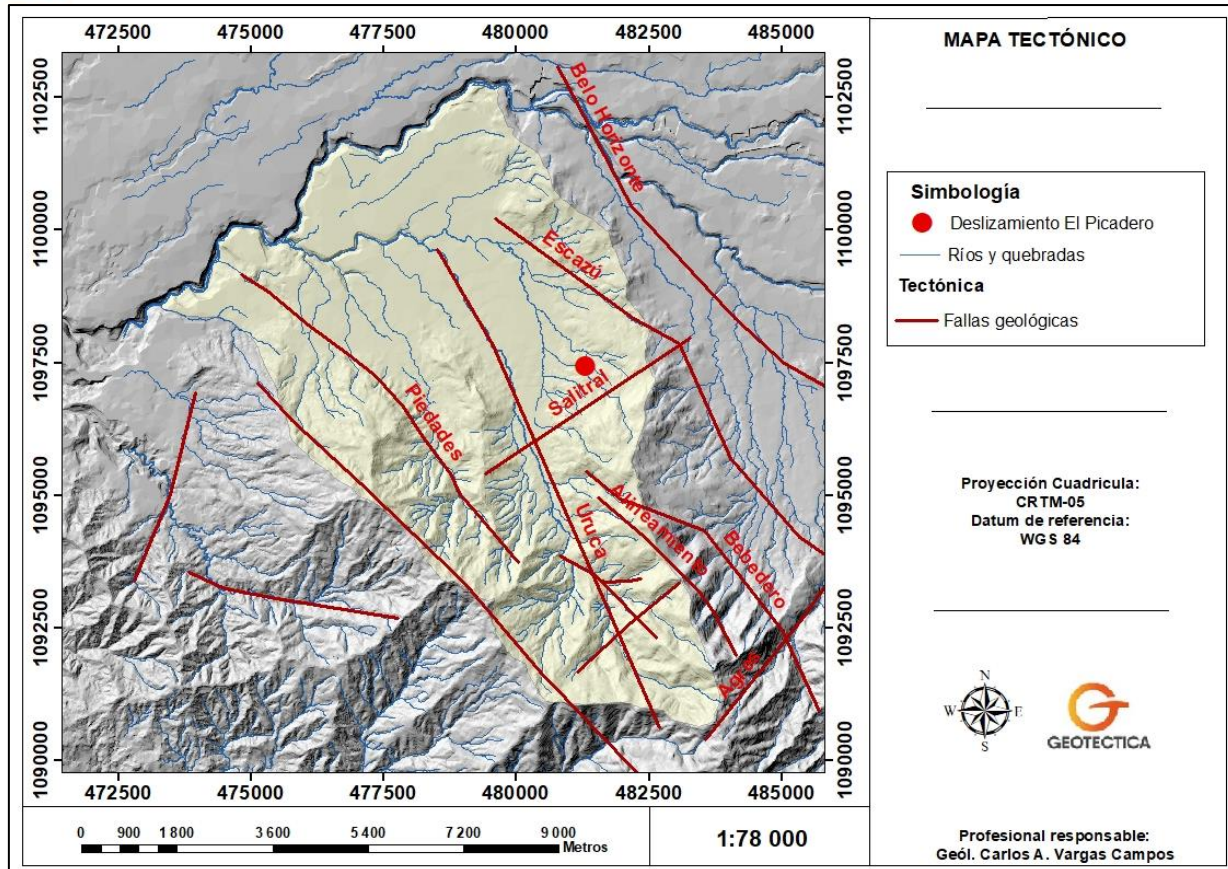
Asociado a la Falla Salitral se encuentra un alineamiento importante sobre la cuenca del Río Uruca con dirección predominante al N20°W y con una extensión de 7,9 km desde la parte alta de la cuenca del Río Uruca hasta el poblado de Santa Ana. Tal alineamiento no ha sido descrito anteriormente, pero se puede observar una relación importante con la Falla Salitral, tal asociación se puede interpretar como un posible par conjugado entre ambas fallas, dada la relación simétrica que poseen.

Ahora bien, con respecto al modelo geotectónico actualizado del cantón de Santa Ana planteado en el estudio neotectónico del cantón, se plantea que debido a la similitud de la falla Virilla con las características del sistema de falla Aguacaliente, esta es la continuación más clara de este sistema. Sin embargo, al mencionar la teoría que en estos contextos tectónicos coexisten simultáneamente esfuerzos de cizalla y compresivos, al demostrarse lo anterior en la figura N° 6, tomada de Montero et al (2005) en donde se aprecia que, si bien la mayoría de mecanismos focales son inversos, hay excepciones como los mecanismos focales 14 y 19 que son claramente de rumbo y que la falla salitral se encuentra en la finalización de la estructura en flor positiva hacia el noroeste, dividiendo en dos tramos la última falla inversa observada del lado noreste en la estructura, la falla Escazú, cuyo último tramo a partir de dicha división se infiere como activo.

Se interpreta que la falla salitral (figura N° 7) es una continuación inicial y menor de la falla Aguacaliente hacia el final de la estructura en flor, la cual responde a una combinación de esfuerzos de cizalla y compresivos, que se ve comprobado definitivamente en el movimiento de desplazamiento con componente inverso de la misma y su paralelismo con el rumbo de la falla Virilla hacia el noroeste, siendo esta última la continuación final y principal del sistema de falla Aguacaliente con un movimiento netamente de rumbo.



**Figura N° 6: Mayoría de mecanismos focales inversos, exceptuando los mecanismos 14 y 19 que son claramente de rumbo (tomado de Montero et al, 2005).**



**Figura N° 7. Fallas y alineamientos identificados en el cantón de Santa Ana.**

- **Falla Escazú**

Estudiada previamente por Montero et al. (1989), Woodward & Clyde (1993), Fernández & Montero (2002) y Montero et al. (2005). Presenta un rumbo noroeste y se considera parte del sistema de falla predominantemente inverso. Su trazo se divide en dos sectores de con extensión de ~2 km cada uno. Uno se ubica al W y SW de Escazú, donde presenta un prominente escarpe de falla con rumbo entre NNW y NW. Localmente, el escarpe es ligeramente curvado hacia el WSW y tienen alturas variables superiores a los 150 m con respecto a la topografía más suave que se localiza al este. El escarpe muestra facetamiento triangular y rectangular con varias generaciones de facetas. En algunos sectores este escarpe se muestra bastante disectado y con entrantes, y podría tener un desplazamiento de rumbo izquierdo (Cuadro N°1).

- **Falla Aserrí**

Estudiada previamente por diversos autores como Denyer & Arias (1990), Arias & Denyer (1991), Woodward & Clyde (1993) y Fernández & Montero (2002). Sin embargo, Montero et al. (2005) presentan un trazo diferente a los anteriores autores, con un rumbo entre NW y E-W, además interpretan que esta estructura presenta un movimiento predominante inverso. Su trazo se extiende por unos ~8 km. Esta falla se caracteriza por mostrar un prominente escarpe a lo largo de su trazo, que corta rocas de las formaciones Pacagua, Coris, aluviones y coluvios recientes. El escarpe en los materiales recientes es de menor altura que el que presenta cuando corta las formaciones de Coris y Pacagua. Este escarpe está facetado y mira hacia el

norte. La falla, al cruzar la divisoria topográfica entre San Antonio y Poás, se expresa morfológicamente por una silla de falla y origina su aparente movimiento dextral (Cuadro N°1).

- **Falla Belo Horizonte**

Fue estudiada previamente por Montero et al. (1989), Woodward & Clyde (1993), Fernández & Montero (2002) y Montero et al. (2005). Es una falla de corta extensión, con una longitud de ~3 km. Se encuentra localizada al pie de los cerros que se encuentran entre el oeste de Alajuelita y Bello Horizonte. Esta falla se caracteriza por presentar un cambio fuerte de pendiente y escarpes que presentan facetamiento triangular y rectangular, que miran hacia el noreste. Presenta un contraescarpe con un cambio de altura importante. Además, es distintiva la presencia de ríos descabezados, desviados o desplazados (Cuadro N°1).

**Cuadro N° 1. Lista de fallas comprobadas ubicadas en los alrededores del área de estudio, fuente propia.**

Falla	Tipo (según literatura)	Referencia	Cercanía al terreno de estudio (m)
Salitral	Sinistral con componente inversa	Montero et al (2005)	650
Escazú	Inversa	Montero et al (2005)	1250
Belo Horizonte	Inversa	Denyer et al (2003)	2680

- **Sismicidad histórica**

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.

**a) 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.

**b) 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, 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.

**c) Enjambre de noviembre de 1997**

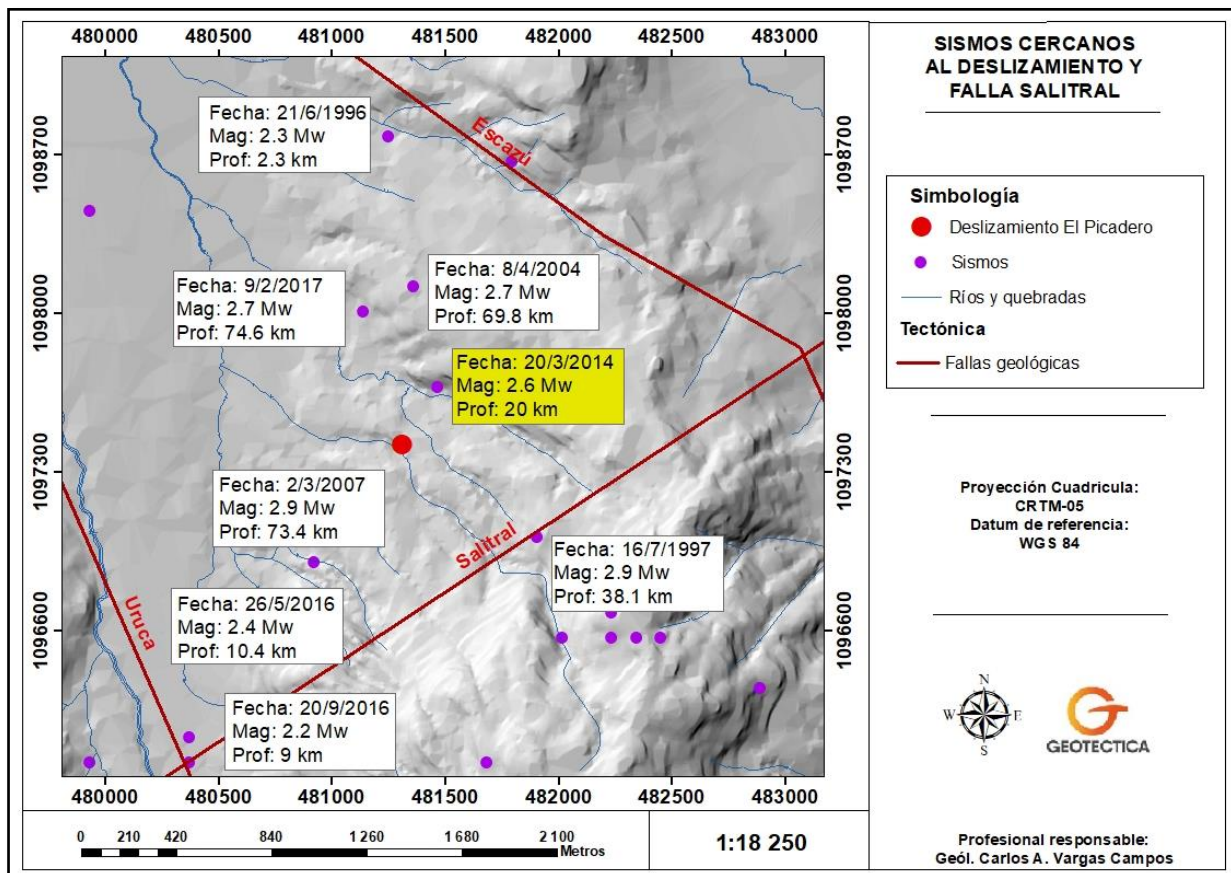
El 13 de noviembre de 1997 se registró un evento de magnitud 3,7 cerca de la intersección de las fallas Jericó y Aguacaliente; se localizó a 11 km de profundidad. Ocasionando 2 réplicas con magnitud mayor de 3,0 y más de 40 con magnitudes menores a 3,0. Los epicentros de estos temblores se ubican cerca de las fallas Jericó y Agua Caliente.

**d) 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.

**e) Actividad sísmica reciente**

Destaca el sismo ocurrido el 20 de marzo del 2014, con una magnitud de 2.6 Mw y una profundidad de 20 m, debido a su profundidad somera y a la cercanía con el sitio del deslizamiento, el cual ocurrió a inicios del año 2014.



**Figura N° 8. Sismos cercanos al deslizamiento y la Falla Salitral.**

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,



determinando 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.

Este enjambre de sismos se ha caracterizado por magnitudes (Mw) 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, con una profundidad de 9 km a 3 km al Sur de Santa Ana, San José.

Más recientemente, entre los años 2018 y 2021, se muestran en el siguiente cuadro los sismos ocurridos en el cantón de Santa Ana, algunos de ellos cercanos a la traza de la falla Salitral, tal y como lo muestra la figura N° 38, según información del Observatorio Vulcanológico y sismológico de Costa Rica de la Universidad Nacional de Costa Rica y la Red Sismológica Nacional y el Laboratorio de Ingeniería Sísmica, ambos de la Universidad de Costa Rica.

**Cuadro N° 2. Sismos recientes en el cantón de Santa Ana.**

Sismo Fecha	Características		Ubicación
	Magnitud (Mw)	Profundidad (km)	
30-11-2018	2.9	7.9	2.5 km al SO de Salitral de Santa Ana
09-05-2019	3.3	8.8	3.2 km al SO de Pozos de Santa Ana
29-10-2019	4.3	67.5	3.1 km al ENE de Colón de Mora
22-01-2020	2.9	9	2 km al O de Piedades de Santa Ana
23-01-2020	2.4	10	4 km al SO de Santa Ana
24-01-2020	2.7	9	1 km al SE de Piedades de Santa Ana
26-01-2020	2.3	8	Piedades de Santa Ana
26-01-2020	1.5	15	1.5 km al S de Piedades de Santa Ana
06-07-2020	1.86	9	3.5 km al O de San Antonio de Escazú
07-07-2020	2.7	6.9	0.6 km al SO de Salitral de Santa Ana
08-07-2020	2.6	11	3 km al S de Santa Ana
08-07-2020	2.2	7	1 km al O de San Antonio de Escazú
08-07-2020	2.5	11	3 km al sur de Santa Ana
08-07-2020	2.6	11	3 km al sur de Santa Ana
08-07-2020	2.8	9	1 km al N de Piedades de Santa Ana
21-07-2020	2.1	11	2.6 km SSE de Salitral de Santa Ana
21-07-2020	2.1	10	4.4 km SSE de Santa Ana
03-08-2020	2.4	11	Piedades de Santa Ana
15-08-2020	2	10	0.5 km al SE de Piedades de Santa Ana
01-09-2020	2	12	3 km al SO de Salitral de Santa Ana
02-09-2020	2.2	9	3 km al SO de Santa Ana
07-09-2020	2	11.5	4 km al este de Ciudad Colón
09-09-2020	1.8	12	2.8 km al SO de Salitral de Santa Ana
14-09-2020	1.7	8	2.2 km al SE de Piedades de Santa Ana
26-09-2020	2.9	7.8	3.1 km al O de Salitral de Santa Ana
05-10-2020	2.5	6	2 km al S de Piedades de Santa Ana
11-10-2020	2.9	13.7	3.2 km al SO de Salitral de Santa Ana
03-12-2020	1.5	8	2 km al O de Santa Ana
28-02-2021	2.7	6.0	2 km al S de Piedades de Santa Ana

#### IV. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

Se elabora el análisis geomorfológico en los alrededores del área del deslizamiento y en ella se identifican siete unidades geomorfológicas. Tal caracterización se realiza basándose en el análisis de imágenes aéreas, mapas e información cartográfica reciente y se clasifican las unidades mediante el sistema ITC de Holanda, el cual es ampliamente usado en el país. A continuación, se describen estas unidades y en la figura N° 9 se observa su distribución en las cercanías del sitio.

- **Unidades de origen denudacional**

- a) **Laderas denudacionales de baja pendiente (<8°)**

Esta unidad se localiza en la parte noroeste del cantón, cerca del río Virilla y corresponde con zonas planas, tales poseen una litología correspondiente con rocas de la Fm. Pacacua y rocas volcánicas de la Fm. Tiribí, es así que se relacionan con un relleno del evento volcánico que dio origen a las segundas, sin embargo, debido a las etapas de levantamiento por fallamiento en la zona, tal sitio se ha mantenido aislado del resto de zonas con presencia de tales rocas, prefiriendo de esta manera separarla de tales morfologías y agrupándola únicamente como una zona de baja pendiente.

- b) **Laderas denudacionales de moderada pendiente (8° - 35°)**

Según el mapa geomorfológico planteado para el cantón de Santa Ana, el deslizamiento en estudio se encuentra dentro de esta unidad, la cual presenta una extensión considerable dentro del cantón. Se sitúan en zonas donde se observa una disectación media del terreno por parte de cursos de agua, tal y como se observa en las cercanías del poblado de San Rafael y Corroges en el distrito de Santa Ana.

Corresponden con zonas de transición a depósitos coluviales en las partes bajas y/o sitios correspondientes con depósitos de deslizamientos en la parte alta-media de las diferentes cuencas hidrográficas del cantón. También se pueden relacionar con algunos rasgos de fallamiento, esto dado que diferentes movimientos en las fallas pueden generar zonas relativamente planas o inclusive bermas de falla con pendientes moderadas. Se conforman por bloques de roca y materiales colapsados en el caso de depósitos de deslizamientos y zonas aplanadas por erosión y relación con rasgos tectónicos. Se puede observar un patrón de drenaje subdendrítico con un desarrollo moderado.

- c) **Laderas denudacionales de alta pendiente**

Corresponden con la unidad más extendida por el cantón, localizadas principalmente al S. Comprenden toda la parte de la zona protectora de los cerros de Escazú, cercanías de la localidad de Matinilla, así como laderas de las partes altas y medias de las cuencas de los ríos Uruca y Oro. Poseen pendientes fuertes que van desde los 35° hasta los 90° de inclinación, se encuentran fuertemente disectadas, presentan en su mayoría drenaje dendrítico (característica de sitios con alta denudación) a subparalelo (influencia estructural) en algunas zonas cercanas a la localidad de Matinilla. Es importante destacar que esta zona, debido a los altos valores de pendiente, se encuentra sumamente susceptible a la ocurrencia de deslizamientos, en el mapa geomorfológico se pueden observar la relación de las coronas de deslizamiento con un valor alto de pendiente y la localización de los depósitos con un valor de pendiente media. Es importante destacar que esta morfología no se asocia directamente

con una única litología, presentándose en rocas sedimentarias de la Fm. Pacacua, Fm Peña Negra, Cornubianitas Escazú, Fm. Grifo Alto e Intrusivo Escazú, pero si siendo más recurrente en rocas blandas (susceptibles a la erosión) como la Fm. Peña Negra y rocas duras (poco susceptibles a la erosión) como las Cornubianitas Escazú.

#### **d) Movimientos en masa**

Se encuentran localizados en las cercanías del terreno del proyecto y corresponden con deslizamientos inactivos caracterizados por otros autores (Soto et al, 2012) y corroborados mediante el análisis de fotointerpretación. Corresponden con los deslizamientos de Alto Carrizal y Alto Raicero localizados al S y al NE del sitio de estudio respectivamente.

- **Unidades de origen fluvial**

#### **a) Abanico aluvial**

Esta unidad se encuentra localizada en la parte central del cantón de Santa Ana, corresponde con una secuencia de flujos de detritos depositados tras la pérdida de energía por el cambio de pendiente por los principales ríos en el área tales como el río Uruca en la zona central de Santa Ana. Se puede encontrar un tamaño de grano variable para los detritos, observándose desde bloques métricos a centimétricos de distintas litologías, hasta partículas del tamaño arcilla y limos, así como depósitos arenosos típicos de la actividad erosiva de los ríos en el área. En el caso del abanico aluvial sobre el que se encuentra el centro de Santa Ana, se pueden observar características de longitud tales como 4.6 km de eje largo y 1.6 km en su eje corto. El abanico sobre el río Uruca presenta mayor madurez, teniendo varios lóbulos y aportes los cuales marcan diferentes etapas erosivas y denudacionales en la parte alta del cantón, así como un espesor de materiales cercano a los 20 m en el centro de Santa Ana (según información de pozos). Tales morfologías presentan un patrón de drenaje dicotómico característico de este tipo de depósitos. Es importante mencionar que tales morfologías son cambiantes con el tiempo y muestran una dinámica importante relacionada con deslizamientos y la estación lluviosa, así como también se pueden ver alteradas por efectos antrópicos.

- **Unidades de origen estructural**

#### **a) Escarpes**

Se pueden observar varios escarpes prominentes con pendientes cercanas a los 60° de inclinación y cambios significativos en el relieve. Se han descrito en este apartado los escarpes de las fallas Salitral (cerca de Corrogres) y los escarpes localizados al S del cantón, correspondientes con rasgos prominentes en la parte montañosa, tales como los escarpes relacionados con la falla Bebedero (dentro de la cuenca del río Uruca) y el escarpe de la falla Uruca (foto N° 21). A continuación se describen tales morfologías por separado:

- **Escarpe falla Salitral:** se observan pendientes fuertes con una inclinación que van desde los 18° hasta los 55° y una extensión del escarpe de 1.6 km por 170 m de altura y una dirección predominante hacia el NE.
- **Escarpe de la falla Bebedero,** se encuentra dentro de la parte montañosa y al este de la localidad de Matinilla, tal tiene dimensiones de 1 km de largo por 220 m de altura (medido desde la base del curso de agua que genera hasta el cambio de pendiente en la parte alta),

presenta pendientes fuertes que van desde los 37° hasta los 58° de inclinación y una dirección hacia el NW.

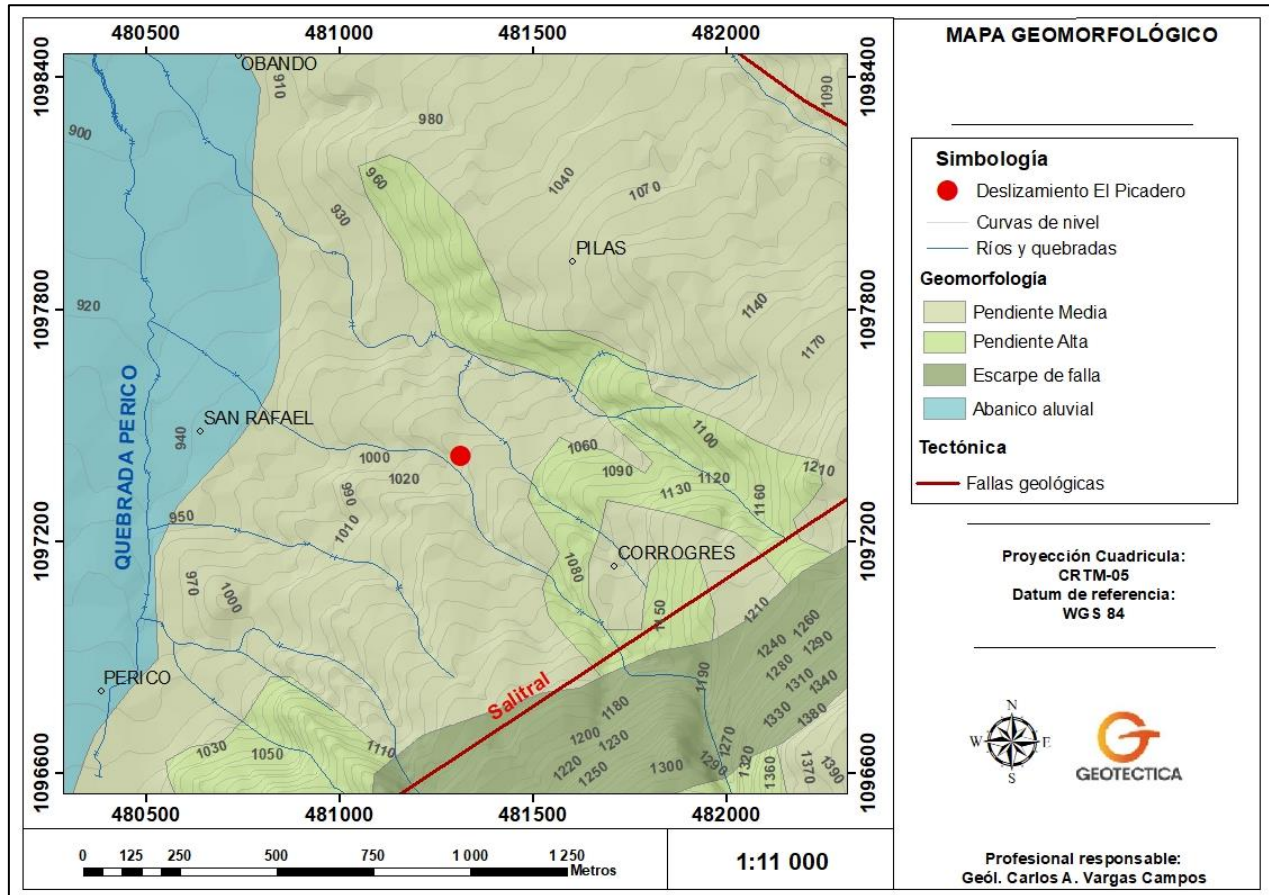
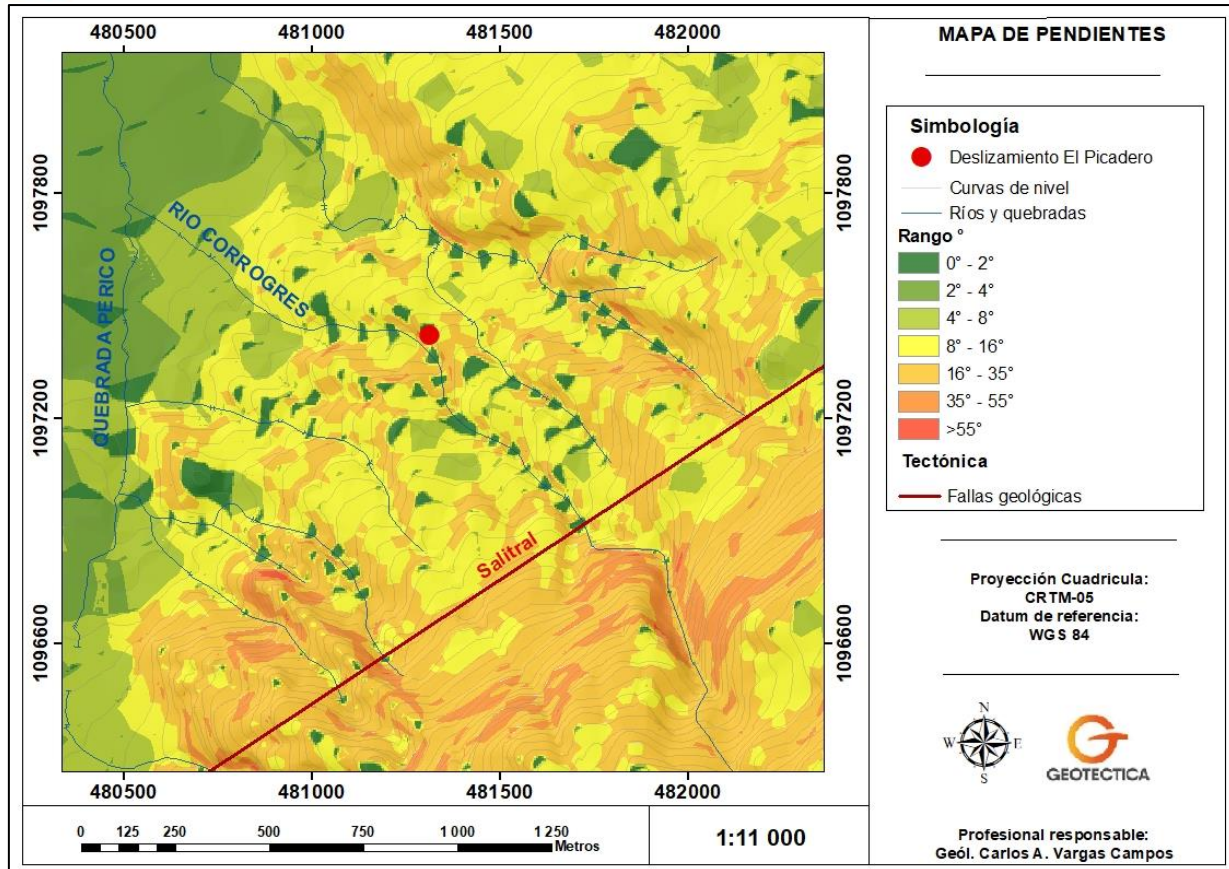


Figura N° 9. Mapa geomorfológico.

- **Pendientes alrededor del área del deslizamiento**

Con respecto al mapa de pendientes, figura N° 10, este se generó a través de la elaboración de un modelo de elevación digital (MED), construido utilizando curvas de nivel establecidas cada 10 metros, escala 1:25 000. El mapa de pendientes muestra específicamente que el área de estudio se encuentra en una zona con pendientes entre 0°-2°, correspondiente a un pequeño sector relativamente plano que se forma precisamente al estar rodeado de amplias zonas con mayor pendiente, hacia el sector norte y este se observan pendientes entre 8°- 16° que responden tal y como muestran la forma de las curvas de nivel a la disectación que forman pequeños cuerpos de agua afluentes al río Corrogres, mientras que hacia el suroeste y oeste, se observan pendientes mayores entre 16°- 35°, e inclusive se observa una pequeña área con pendientes entre 35°- 55°, que reflejan precisamente el cambio de pendiente al llegar al río, es decir, corresponden al flanco derecho aguas abajo del río Corrogres en el sector.



**Figura N° 10. Mapa de pendientes.**

Otra característica geomorfológica importante de mencionar, la cual se abordará de forma más amplia en el apartado del contexto hidrológico, es que el área del deslizamiento, según la distribución de las curvas de nivel y los ríos aledaños, el río Corrogres hacia el oeste y un cuerpo de agua sin nombre hacia el este, se encuentra cerca de la divisoria de aguas entre estos dos cuerpos de agua superficial, aunque es notable la inclinación mayoritaria hacia el río Corrogres. Lo anterior toma relevancia, ya que al ser la divisoria de agua el punto de mayor altura que divide la escorrentía y formación de cuerpos de agua hacia un lado o el otro, el fenómeno mencionado anteriormente de disectación media del terreno por parte de cursos de agua se ve potenciado por su ubicación geográfica.

## V. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

En la figura N° 11, así como el cuadro N° 3, se pueden observar los pozos más cercanos al área del deslizamiento.

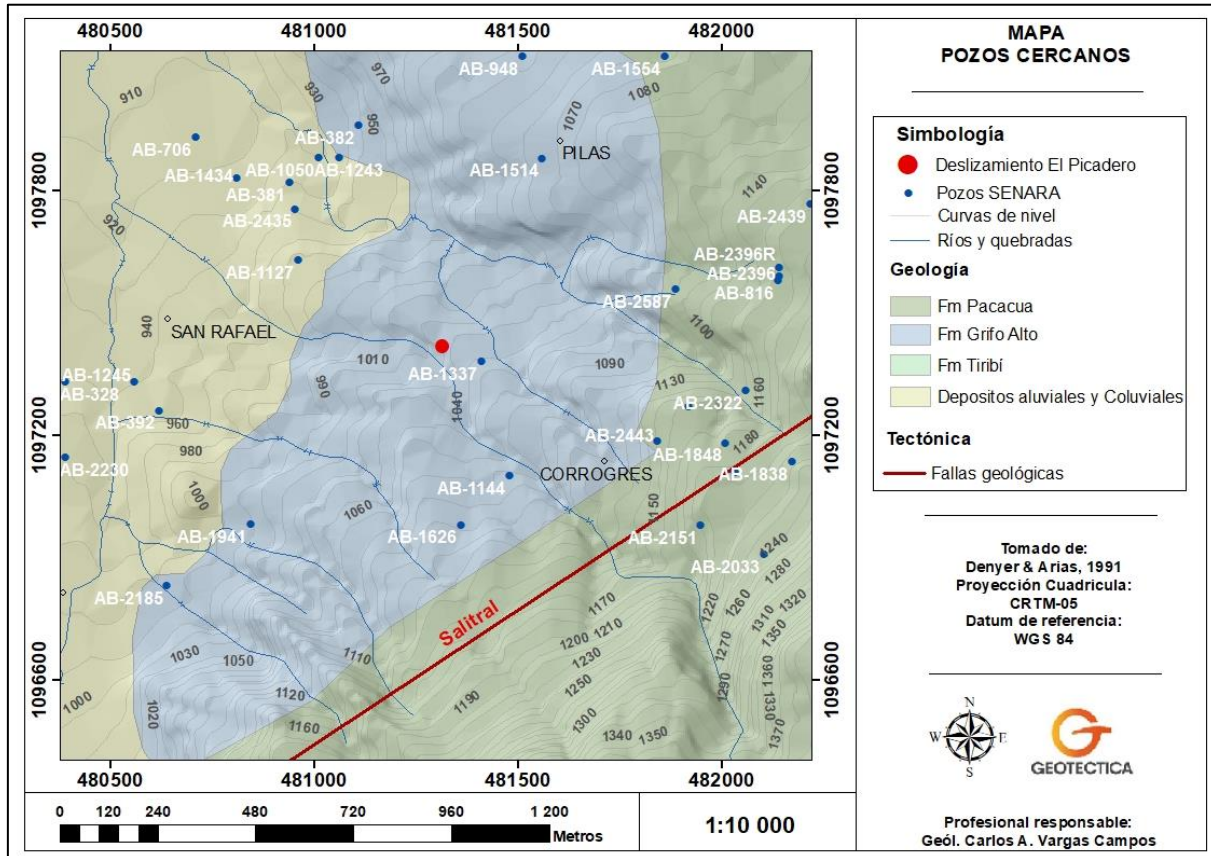


Figura N° 11. Mapa pozos cercanos.

Cuadro N° 3. Pozos cercanos al área del deslizamiento, SENARA (2021).

Número de Pozo	Coordenada X	Coordenada Y	Dist. (m)	Nivel estático
AB-1337	517750	212000	102.32	56 m
AB-1144	517820	211720	358.26	-
AB-1626	517700	211600	440.31	-
AB-1514	517900	212500	522.94	-
AB-1941	517185	211600	642.45	19 m

El pozo más cercano ubicado a 102.32 m y con información, el AB-1337 indica en su informe de perforación que toda la columna geológica descrita corresponde a la formación Pacacua, a continuación, su descripción.

**Cuadro N° 4. Litología descrita en el informe de perforación del pozo AB-1337, SENARA (2021).**

Profundidad	Litología
0 – 4 m	Suelo de textura limosa
4 – 15 m	Lava color gris oscuro a claro. Se encuentra totalmente alterada. Permeabilidad aparente baja.
15 – 43 m	Lutita color morado, medianamente consolidada. Con la presión del aire comprimido de la máquina, se desprendían bloques. Se encuentra interestratificada con lavas sana (diques). Permeabilidad aparente baja.
43 - 64 m	Lava afanítica, densa, muy dura. De color gris oscuro. Presenta muchas vetillas blancas silíceas. Permeabilidad aparente muy baja.
64 – 71 m	Lutitas color morado, homogéneas. Permeabilidad aparente muy baja.
71 – 127 m	Lavas, lutitas y brechas sedimentarias, en este tramo se alternan los materiales anteriores. Por lo general se encuentra una fracturación importante. Se observan vetillas silíceas, cuarzo y pirita. Permeabilidad aparente baja a media de tipo secundaria, por fracturas.

Respecto al contexto hidrogeológico, el informe del pozo AB-1337 menciona que, durante la perforación de los primeros metros, se detectó un nivel de agua subterránea somero, que cedía un caudal aproximado de 0.5 l/s. Al continuarse perforando se mantuvo un nivel a 32 m hasta que se perforó por debajo de los 95 m, penetrando un acuífero de tipo fisural, de tipo confinado, con un nivel piezométrico a 55.90 m de profundidad y un caudal superior a los 4 l/s. Indicando en las conclusiones del mismo que el pozo alcanzó el objetivo de captar un acuífero profundo en rocas consolidadas de la formación Pacacua.

El informe de INSUMA (2017) interpreta la descripción anterior como diques o sills de Grifo Alto intruyendo a la formación Pacacua. Además de indicar que las coordenadas según SENARA, el pozo estaría cerca de la base del edificio hacia el Picadero, pero que esto no es así, ya que en realidad el mismo es muy fácilmente localizable en el sitio y se ubica cerca del acceso al puente que a la fecha se encontraba en construcción sobre la quebrada sin nombre, detrás de la casa club.

Sin embargo, la información brindada por el informe de perforación y al seguir siendo el punto de referencia más cercano al sitio de interés, nos permite corroborar la presencia de depósitos sedimentarios con aporte importante volcánico, de la Formación Pacacua. Así como, desde el punto de vista hidrogeológico, al mencionarse la presencia de un nivel piezométrico, interpretando un acuífero confinado o semiconfinado cubierto por capas meteorizadas de la misma unidad junto con material volcánico (lavas) interestratificadas de la formación Grifo Alto.

También, nos permite corroborar el hecho de que la presencia de la capa saturada somera identificada en el deslizamiento, no corresponde con el acuífero productivo de la zona mucho más profundo, superior a los 95 m de profundidad, según el informe de perforación; si no posiblemente, con el nivel de agua subterránea somero, en los primeros metros de perforación, en donde se encuentran materiales de la formación Pacacua, lutita medianamente consolidada con desprendimiento de bloques, así como lava interestratificada, ambos con un comportamiento de permeabilidad aparente baja.

Por lo tanto, según la forma de las capas y su distribución en el deslizamiento, la presencia de este flujo de agua subsuperficial, se convierte en un “tobogán” por donde se desliza el

material superior. El proceso de establecimiento del flujo subsuperficial, está relacionado con la infiltración de agua de lluvia que al ingresar al suelo se forma inicialmente un frente húmedo que avanza en sentido vertical, el cual satura los suelos a su paso eliminando la succión o cohesión aparente que producía el estado de no-saturación. El frente húmedo avanza a una velocidad que depende la porosidad y permeabilidad, además del estado inicial de saturación o sea que la eliminación de la succión ocurre a medida que avanza el tiempo de una lluvia, que al chocar verticalmente con un medio poco permeable (roca) obliga al agua a concentrarse sobre esta capa y comenzar a fluir de acuerdo con la pendiente de la misma, provocando una fuerza hidráulica de conexión del flujo en los poros que transforma esa capa en un medio móvil sobre el que fluye toda la masa.

Lo anterior se ve reflejado en los resultados de los diferentes ensayos geofísicos descritos en el apartado de la reseña histórica del deslizamiento, los cuales presentan claramente esta capa saturada, dentro de la cual se genera el flujo subsuperficial.

## VI. CONTEXTO HIDROLÓGICO

Como anteriormente se mencionó, el área del deslizamiento El Picadero se encuentra muy cerca de la divisoria de aguas entre una microcuenca de una quebrada sin nombre (área delimitada de color naranja en la figura N° 12) y la microcuenca del río Corrogres (área delimitada de color rojo en la figura N° 12), aunque si es notable que la totalidad del área del deslizamiento se encuentra del lado de la microcuenca del río Corrogres, y al ser la cuenca tan angosta, el deslizamiento se encuentra muy cerca del cauce.



**Fotografía N° 5. Tramo del cauce del Río Corrogres: Fuente: propia.**

Cabe aclarar que esta última microcuenca descrita corresponde a un río afluente con el mismo nombre del cauce principal, ya que ambas microcuencas tributan en el río Corrogres, como cauce principal; mismo que forma parte de la cuenca del río Virilla. Ambos cauces afluentes se caracterizan por ser de orden uno en el patrón de drenaje del río Corrogres principal y encontrarse inmersos en una zona urbana. A continuación, se caracterizarán ambas microcuencas según su forma.



- **Factor Forma**

El factor de forma es una variable que intenta evaluar la elongación de una cuenca de drenaje y fue introducida por Magette en 1976 (Jardí, 1985). Este valor es adimensional y expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud.

Dada la fórmula:

$$F1 = \frac{B}{L}$$

Donde:

B= Ancho (km)

L= Longitud (Km)

Ahora bien, suponiendo que la cuenca es de forma rectangular, tenemos una elongación del patrón de drenaje, los cuales se comparan entre sí dando como resultado la siguiente fórmula.

$$F2 = \frac{A}{L^2}$$

Donde

A= Área de la Cuenca (Km<sup>2</sup>)

L= Longitud de la cuenca (Km)

Los resultados de estas ecuaciones describen que, si la forma de la cuenca es aproximadamente circular, entonces el valor de Ff se acercará a uno. Mientras que, las cuencas más alargadas, tendrán un Ff menor. Observar el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 5. Rangos aproximados del Factor de Forma.**

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Pérez, 1979.

a) **Microcuenca de quebrada sin nombre**

Para la microcuenca de la quebrada sin nombre los valores son: ancho promedio de 0.63 Km, una longitud de 2.42 km y un área de 1.53 Km<sup>2</sup>.

A partir de estos valores se tiene:

$$F1 = \frac{0.63 \text{ Km}}{2.42 \text{ Km}} = 0.26$$

$$F2 = \frac{1.53 \text{ Km}^2}{(2.42 \text{ Km})^2} = 0.26$$

Para la microcuenca de la quebrada sin nombre se tiene un factor de forma en relación con el ancho y con relación al área de 0.26, resultados según al Cuadro N° 5 de rangos aproximados del Factor Forma (Pérez, 1979) como una cuenca de forma alargada.

**b) Microcuenca del río Corrogres (afluente)**

Para la microcuenca del río Corrogres los valores son: ancho promedio de 0.37 Km, una longitud de 2.83 km y un área de 1.02 Km<sup>2</sup>.

A partir de estos valores se tiene:

$$F1 = \frac{0.37 \text{ Km}}{2.83 \text{ Km}} = 0.13$$

$$F2 = \frac{1.02 \text{ Km}^2}{(2.83 \text{ Km})^2} = 0.13$$

Para la microcuenca del río Corrogres se tiene un factor de forma en relación con el ancho y con relación al área de 0.13, resultados según al Cuadro N° 5 de rangos aproximados del Factor Forma (Pérez, 1979) como una cuenca de forma muy alargada.

• **Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (Kc)**

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca. En los casos donde el valor de coeficiente de compacidad se acerque a 1 (sin que pueda llegar a ser menor que la unidad), se suponen cuencas con formas casi circulares; caso contrario, conforme aumenta el valor de Kc, se asumen formas más elongadas. Su expresión matemática corresponde a:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde

P es el perímetro (Km)

A el área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

**a) Microcuenca de quebrada sin nombre**

De esta forma, la estimación de este valor para esta microcuenca es la siguiente:

P=5.86 Km

A= 1.53 Km<sup>2</sup>

$$Kc = 0.28 \frac{5.86 \text{ Km}}{\sqrt{1.53 \text{ Km}^2}} = 1.33$$

Por lo tanto, el valor Kc es de 1.33, lo que indica una forma general de la cuenca relativamente alargada.

**b) Microcuenca del río Corrogres (afluente)**

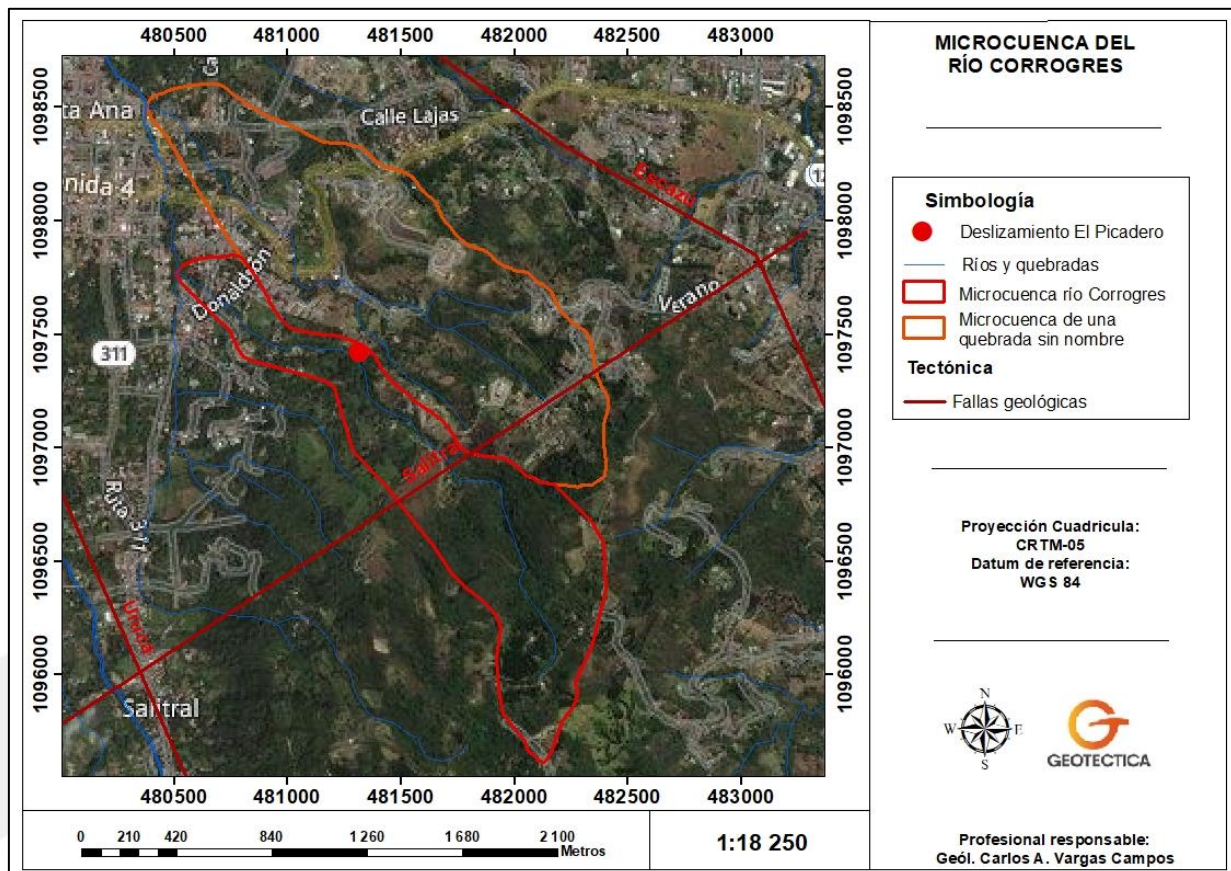
De esta forma, la estimación de este valor para esta microcuenca es la siguiente:

P=6.38 Km  
A= 1.02 Km<sup>2</sup>

$$Kc = 0.28 \frac{6.38 \text{ Km}}{\sqrt{1.02 \text{ Km}^2}} = 1.77$$

Por lo tanto, el valor Kc es de 1.77, lo que indica una forma general de la cuenca muy alargada.

En conclusión, se demuestra que en ambas microcuencas las descargas son de menor volumen debido a que el cauce principal es más largo que los cauces secundarios y los tiempos de concentración para eventos de precipitación son distintos, lo que reduce de forma significativa las posibilidades de tener una tormenta sobre toda la extensión de la microcuenca.



**Figura N° 12. Mapa de la Microcuenca del Río Corrogres.**

- **Aspectos climáticos**

Ahora bien, información climática de interés con respecto a la estabilidad de los deslizamientos es la precipitación que se da en la zona como posible mecanismo de disparo del mismo.

**a) Precipitación**

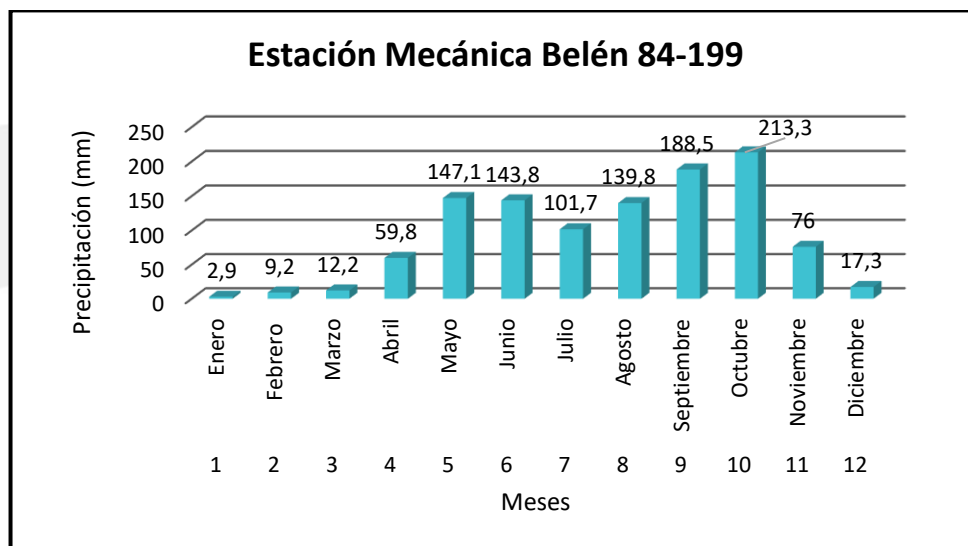
Los datos climatológicos, específicamente de precipitación, se tomaron de las estaciones climatológicas: Belén 84119 y Santa Ana - Guachipelín 84199, localizada en las coordenadas geográficas latitud 09° 58` Norte / Longitud 84° 11` Oeste, y 09° 56` Norte / Longitud 84° 09` respectivamente, estas se localizan a menos de 5 km del área de análisis (Gráfico N° 1 y 2, Anexo 3).

Para la estación Belén 84199, la precipitación registrada es de 1111.4 mm anuales aproximadamente. Los meses de agosto, setiembre y octubre suelen ser los más lluviosos, aportando el 48.73% de la precipitación promedio anual. La estación seca se extiende hasta abril, los meses dentro del periodo seco, en promedio registran lluvias desde los 2.9 hasta 59.8 mm aproximadamente, siendo el mes de enero el que presenta menor precipitación.

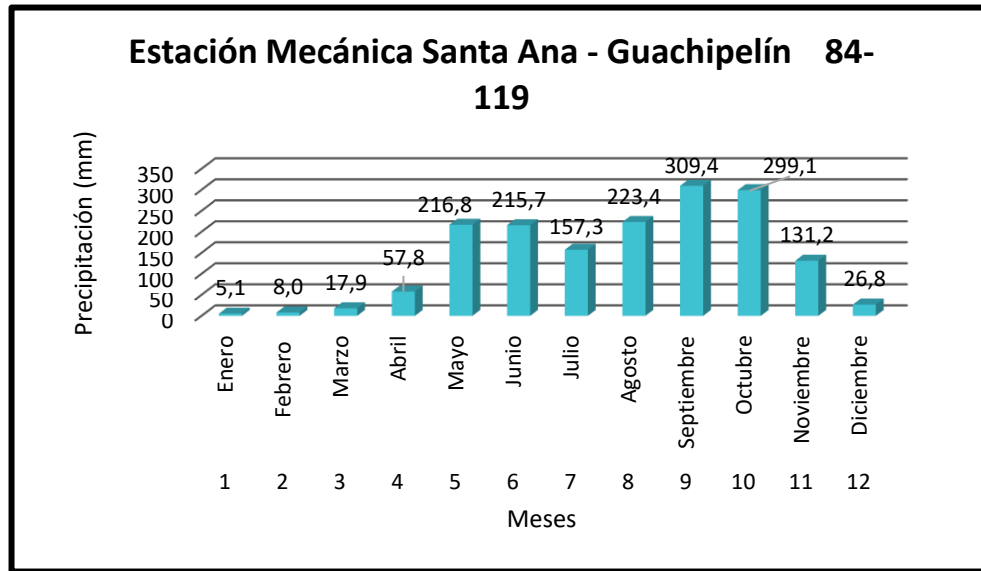
Mientras que para la estación Santa Ana, Guachipelín 84119, la precipitación anual registrada es de 1168.5 mm. Los meses con mayores precipitaciones son: agosto, setiembre y octubre (aportando el 49.86% de la precipitación anual), además la época seca concuerda con los meses: enero, febrero y abril, fenómeno que coincide con la estación de Belén 81199.

Para la estación de Belén se presenta un promedio anual de 153.9 días con lluvia, mientras que para estación de Santa Ana Guachipelín el promedio de días con lluvia es de 152.

Al correlacionar el área en análisis con las estaciones mencionadas anteriormente, se puede deducir que el valor máximo absoluto de un aguacero registrado se da en el mes de setiembre con un valor entre los 309.4 mm.



**Gráfico N° 1. Registro mensual acumulado de precipitación para estación Belén 84-199. (Fuente: IMN, 2020).**

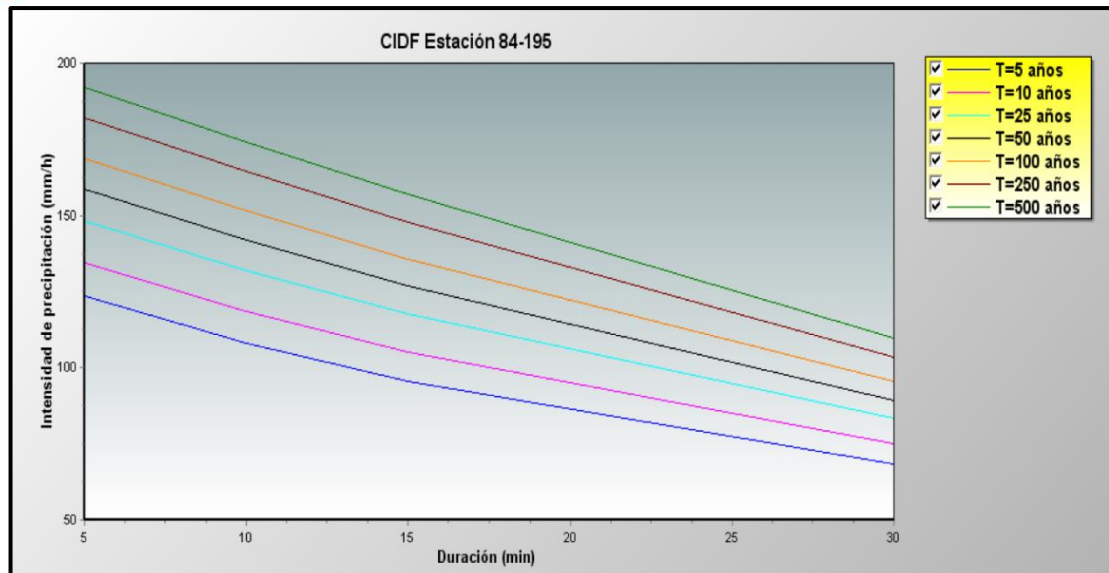


**Gráfico N° 2. Registro mensual acumulado de precipitación para estación Santa Ana, Guachipelín 84-199. (Fuente: IMN, 2020).**

#### b) Intensidad máxima de lluvia

La metodología supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración ( $t_c$ ); esta situación indica que, para la obtención del valor de la intensidad de lluvia, se requiere el dato de tiempo de concentración y la utilización de la curva de intensidad-duración-periodo de retorno (Curva IDF).

Para el caso de la microcuenca del río Corrogres (afluente), se tomó como referencia la curva de intensidad-duración-periodo de retorno de la estación meteorológica más cercana, la estación de Pavas (Rojas, 2011). Dicha estación se localiza aproximadamente a 7 km al noreste del área de análisis.



**Figura N° 13. Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno para la estación de Pavas. (Fuente: Rojas, 2011.)**

En el cuadro N° 6 se muestran los resultados de la aplicación de la distribución de Gumbel para la determinación de las intensidades máximas de precipitación para la estación de Pavas 84-195, para duraciones de precipitación de 5, 10, 15 y 30 minutos, por periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 250 y 500 años.

**Cuadro N° 6. Estación de Pavas 84-195, intensidades de precipitación máxima (mm/h) por duración y período de retorno.**

Duración (min)	Intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno (mm/hr)						
	T 5	T 10	T 25	T 50	T 100	T 250	T 500
5	123.64	134.53	148.29	158.49	168.62	181.96	192.04
10	107.88	118.46	131.82	141.73	151.57	164.52	174.30
15	95.53	105.29	117.62	126.77	135.85	147.81	156.84
30	67.73	74.31	82.62	88.78	94.90	102.96	109.04

**Fuente: Rojas, 2011.**

### c) Actividad climática entre julio y octubre del 2017

El año 2017 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 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 Maria, 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. N°6.1.1). Las fechas de influencia y la categoría alcanzada como huracanes de los principales eventos ciclónicos se observa en el cuadro N° 7.

**Cuadro N° 7. Fecha 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
Maria	16/09 al 30/09	5
Nate	04/10 al 06/10	4

### **Precipitaciones en el Valle Central entre julio y octubre del 2017**

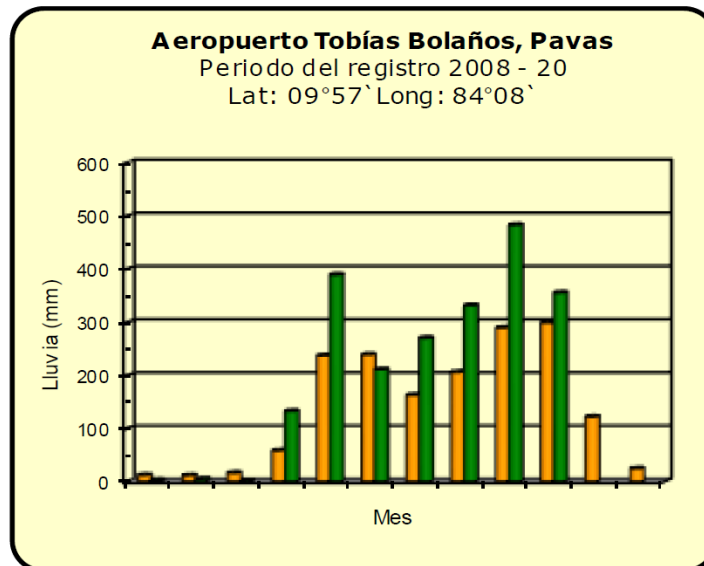
En el mes de julio el clima del país está influenciado por la ocurrencia del fenómeno conocido como Canícula, el cual se trata de un aumento en las precipitaciones en la zona Norte y Atlántica del país y una disminución en el Valle Central y las regiones restantes; sin embargo, para el año anterior, 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, 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 productos 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 300-700 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 400-500 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 (Fig. N°11), que solamente presentó la tormenta Nate como suceso extraordinario.



**Figura N° 14. Datos comparativos de precipitación promedio mensual y la precipitación del 2017 en la estación Tobías Bolaños (Naranja, 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 y 40 mm y el día 11 de setiembre los montos fueron cercanos a los 100 mm.

### **Tormenta Tropical Maria**

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 a 80 mm en 24 horas. Las precipitaciones

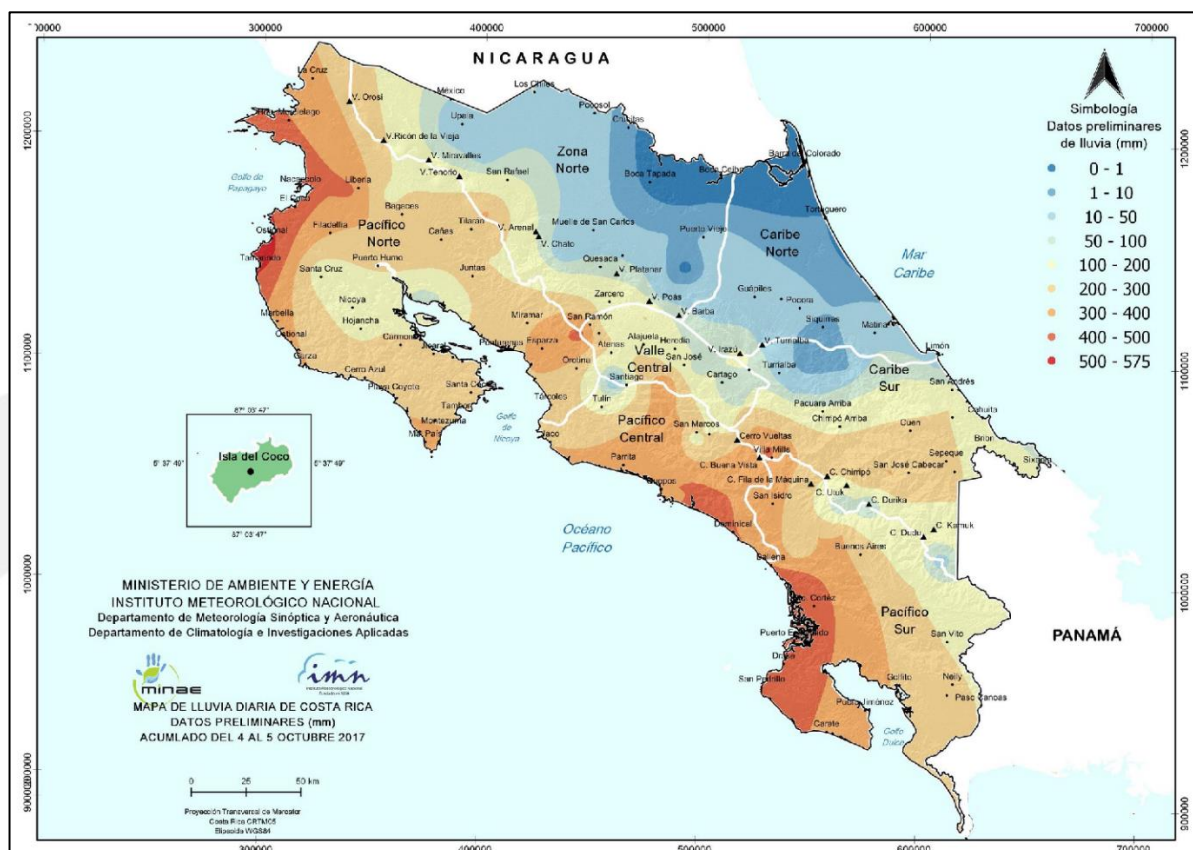


comenzaron pasadas el medio día y se extendieron hasta altas horas de la noche. Las lluvias iniciaron en el Valle Central, extendiéndose hacia el del Pacífico y Zona Norte. Ambas ondas tropicales afectaron directamente al país, siendo relacionadas con la ocurrencia en el Caribe de la tormenta tropical María.

### Tormenta tropical Nate

Se trata de un proceso de lluvia durante los días 4 al 6 de octubre del 2017 donde el territorio nacional se vio afectado por uno de los temporales más severos ocurridos en los últimos tiempos. Se estima que su formación se dio 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, 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 N° 15 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.

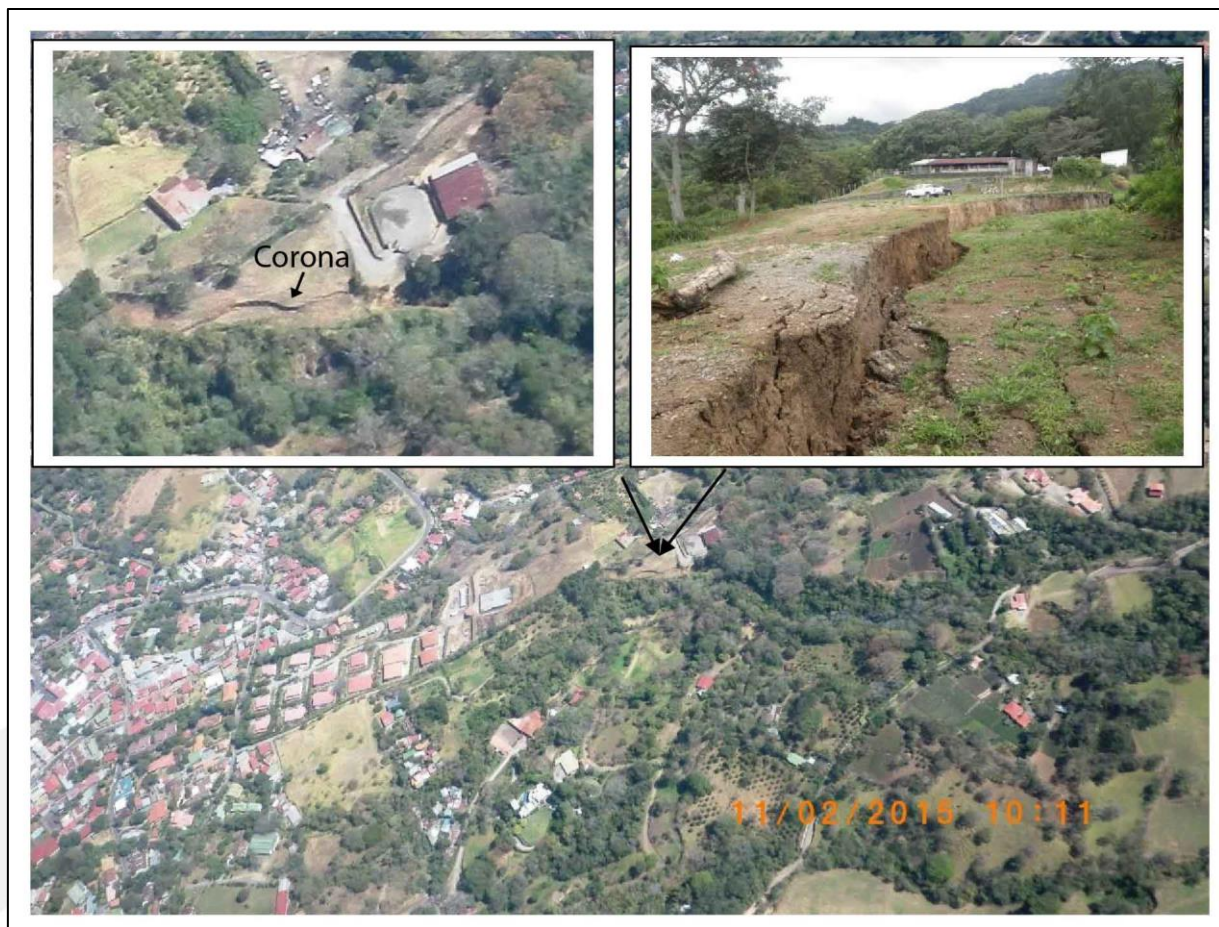


**Figura N° 15. Mapa de lluvia diaria acumulada del 4 al 5 de octubre (IMN, 2017).**

## VII. ANÁLISIS DEL DESLIZAMIENTO EL PICADERO

- **Reseña histórica del deslizamiento El Picadero**

Tal y como lo mencionan diversos estudios entre el 2014 y 2015 respecto al inicio del deslizamiento, este se dio en el mes de noviembre del año 2014 en la margen derecha del río Corrogres y presento inicialmente 80 metros de largo. En un primer informe de evaluación técnica por parte de la Comisión Nacional de Emergencias (Madrigal, 2015) se menciona la amenaza de desprenderse el material del deslizamiento y trasladar el material hacia los cauces que drenan estas áreas, pudiendo generar una importante emergencia por flujo de detritos o avalancha que afectaría a la población de varias comunidades que se encuentran a orillas de estos ríos, donde en los últimos años han generado serios problemas por erosión lateral y desbordamiento, así como infraestructura vehicular a lo largo del cauce.



**Figura N° 16. Corona del deslizamiento El Picadero, tomado de Madrigal (2015).**

Madrigal (2015) establece las pautas a seguir por parte del Comité Municipal de Emergencias de Santa Ana en cuanto al seguimiento y vigilancia del deslizamiento, requiriendo por parte de profesionales la elaboración de estudios técnicos específicos. A continuación, se mostrarán los principales aportes de estos estudios realizados en el 2015, en cuanto a la caracterización del deslizamiento El Picadero.

- **Caracterización del deslizamiento El Picadero, campaña de estudios técnicos del año 2015**

- a) **Estudio: Reconocimiento geofísico del terreno mediante el método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)**

Cordero (2015) menciona que los trabajos de campo se realizaron el 23 de mayo del 2015 y el estudio tuvo como objetivo ayudar en la determinación de la distribución y espesor de los principales estratos geotécnicos, y determinar el espesor de la zona deslizada, extendiendo para ello el reconocimiento hasta una profundidad de 30 metros por debajo del nivel actual del terreno.

El método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW por sus siglas en inglés) es uno de los métodos de reconocimiento sísmico que evalúan la condición elástica (rigidez) del terreno para propósitos de ingeniería geotécnica. El método MASW permite medir las ondas sísmicas superficiales generadas a partir de varios tipos de fuentes sísmicas, entre ellas martillos o mazos, analizar las velocidades de propagación de estas ondas superficiales y, finalmente, la deducción de la variación en profundidad de la velocidad de onda cortante ( $V_s$ ) debajo del perfil ensayado. La velocidad de onda cortante es una de las constantes elásticas y está relacionada estrechamente con el módulo de Young. Bajo la gran mayoría de circunstancias, la velocidad de onda cortante es un indicador directo de la resistencia del terreno (rigidez) y, por ende, comúnmente utilizada para derivar capacidades de soporte. Luego de un procedimiento relativamente sencillo, la información de  $V_s$  se puede presentar en formatos 1-D, 2-D y 3-D. Se realizaron en total treinta ensayos con el método MASW para cinco perfiles longitudinales: un perfil paralelo al río Corrogres (perpendicular a la dirección de movimiento del deslizamiento) de 88,1 metros de largo, y cuatro perpendiculares al río (en dirección al movimiento del deslizamiento, con longitudes variando entre los 27,0 y 47,0 metros), para un total de 231,2 metros de perfil.

Cada ensayo consistió en la implantación sísmica de 12 geófonos verticales de baja frecuencia (4,5 Hz) distribuidos regularmente a intervalos de 1 metro para los perfiles perpendiculares al río, y de 2 metros para el perfil paralelo al río, cubriendo por tanto una longitud de 11 y 22 metros, respectivamente. Mediante la traslación de esta unidad básica (implantación) a lo largo del perfil se cubrió toda la longitud total requerida para cada uno de ellos. La separación de 1 y 2 metros entre los geófonos tiene por objeto conformar implantaciones con la longitud suficiente para alcanzar la profundidad de investigación necesaria, que en este caso es de 30 metros, y también para registrar las altas frecuencias y con ello incrementar la resolución vertical a profundidades someras. En cada implantación, se hicieron 3 registros independientes con el fin de asegurar que las señales fueran lo suficientemente buenas, eligiendo, durante la etapa de procesamiento de los datos, el que se consideró como de mejor calidad y en algunos casos el resultante de la ponderación de algunos o todos los registros.

Se consideraron distancias fuente-geófonos de 4 metros para los perfiles perpendiculares al río, y de 10 metros para el perfil paralelo al río. Se utilizó para esto un equipo de producción italiana modelo DoReMi, marca Sara Electronic Instruments S.R.L. Como fuente se utilizó un mazo de 4,5 kilogramos y una placa de disparo.

La interpretación de las anomalías geofísicas se describe a continuación:

1. Los valores de  $V_s$  que varían entre 150 m/s a 200 m/s, corresponden con suelos residuales

de consistencia medio compacta.

2. Los valores de Vs entre 200 m/s y 300 m/s corresponden con suelos residuales de consistencia compacta a muy compacta.
3. Los valores de Vs entre 300 m/s y 500 m/s corresponden con suelos residuales de consistencia muy dura (zona de transición).
4. Los valores de Vs mayores a 500 m/s corresponden con el basamento local, cuyas velocidades varían de 500 m/s a 1800 m/s, dependiendo del nivel de meteorización de la unidad, la cual se correlaciona con los productos volcánicos de la Formación Grifo Alto.
5. El perfil MASW-1 muestra que el contacto con el basamento es de aproximadamente 20 metros (zona deslizada).
6. Los perfiles MASW-2, MASW-3, MASW-4 y MASW-5, muestran que el espesor de la zona deslizada aumenta hacia el NW (MASW-2/MASW-3), con 20 metros, mientras que hacia el SE el espesor se reduce a unos 5 metros (MASW-5).
7. El tipo de superficie de deslizamiento que se observa en los perfiles es circular, y se da cerca del contacto con la zona de transición o el basamento.

**b) Estudio: Geotécnico y de Mecánica de Suelos. Deslizamiento de un terreno que se localiza en Santa Ana, San José.**

Por parte de la empresa Geo-Técnicas Fernández, Fernández (2015) realizó un estudio geotécnico y de mecánica de suelos en el área del deslizamiento El Picadero a cargo del Ing. José A. Fernández Sibaja. En el siguiente cuadro se menciona la estratigrafía descrita en este informe.

**Cuadro N° 8. Estratigrafía detectada y descripción del suelo S.U.C.S., Fernández (2015).**

Estratigrafía		Espesores (m)		
		Perforación P-1	Perforación P-1A	Perforación P-2
<b>Estrato A</b>	Relleno artificial heterogéneo de suelo orgánico con zacate picado	0 – 0.50	0 – 0.60	0 – 0.60
<b>Estrato B</b>	Arena limosa (SM) de color café amarillento con pintas grises, café y negras, de media y muy compacta compacidad relativa, ( $N_{SPT}$ entre 10 y 65), y no plástica.	0.50 – 3.30	0.60 – 2.25	0.60 – 2.70
<b>Estrato C</b>	Arena limosa (SM), de color gris con pintas amarillas, naranja y negras, de media y compacta compacidad relativa, ( $N_{SPT}$ entre 10 y 45), y no plástica.	-	-	2.70 – 6.45

A continuación, en los siguientes cuadros se muestran parámetros calculados para los diferentes estratos descritos anteriormente.

**Cuadro N° 9. Clasificación unificada de suelos, Fernández (2015).**

<i>Clasificación Unificada de Suelos</i>				
Propiedad	Símbolo	Unidad	Estrato B	Estrato C
Límites de Atterberg: ASTM D-4318				
Límite Líquido	LL	%	25	34
Límite Plástico	LP	%	22	31
Índice de plasticidad	IP	%	3	3
Análisis Granulométrico: ASTM D-1140 B				
Tamiz # 4	---	% pasando	69	82
# 40	---	% pasando	39	49
#200	---	% pasando	30	38
Clasificación unificada: ASTM D-2487	S.U.C.S.	---	SM	SM
Clasificación unificada: ASTM D-3282	AASHTO	---	A-2-4	A-2-4

**Cuadro N° 10. Parámetros de los suelos, Fernández (2015).**

<i>Parámetros de los suelos</i>				
Parámetro	Símbolo	Material Granular	Estrato B	Estrato C
Peso Unitario Húmedo (t/m <sup>3</sup> )	γ <sub>m</sub>	2,00	1,68	1,70
Angulo de fricción interno a futuro estimado	φ	30°	25°	25°
Coefficiente de presión activa	K <sub>A</sub>	0,33	0,41	0,41
Coefficiente de presión pasiva	K <sub>P</sub>	3,00	2,46	2,46
Coefficiente de fricción suelo-placa	δ	0,40	0,40	0,40

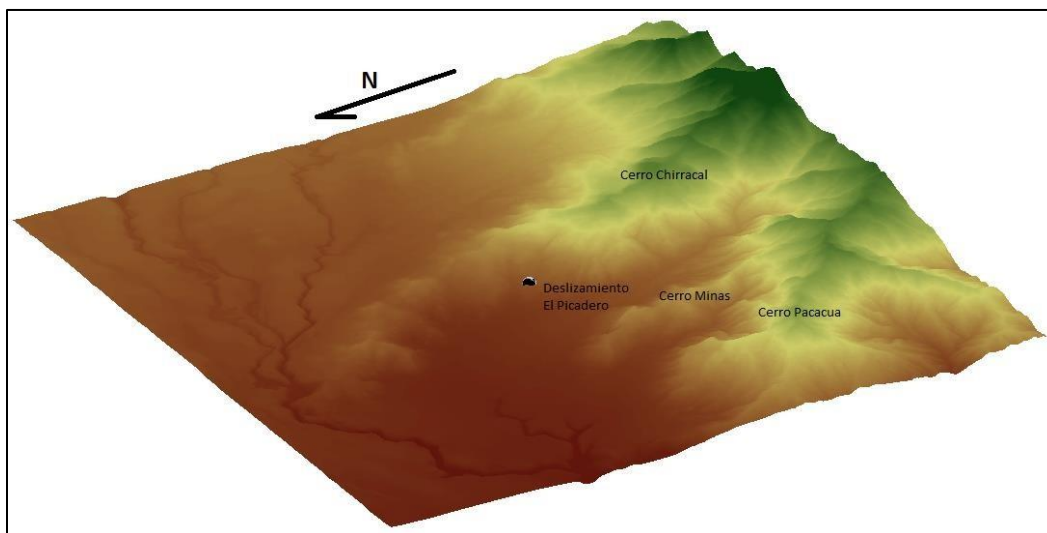
**Cuadro N° 11. Ángulos de fricción de los estratos del estrato B, Fernández (2015).**

<i>Ángulos de Fricción Estimados de los estratos del estrato B:</i>					
Estratos	N <sub>SPT</sub> prom	Norma Japonesa de Puentes	Norma Japonesa de Ferrocarriles	Tabla de Terzaghi y Peck	Angulo Promedio
P-1	17	19	25	32	25
	41	21	32	39	30
P-1A	46	21	33	39	31
P-2	13	18	25	31	24
	33	20	29	37	29

**c) Estudio: Caracterización Geológica del Deslizamiento El Picadero, Santa Ana, San José.**

El estudio fue realizado por Chaves (2015), en este se indica que El deslizamiento El Picadero, ubicado sobre la margen derecha del río Corrogres, presenta un movimiento en dirección suroeste. A simple vista, en el sitio de estudio propiamente, el movimiento de masa se asemeja a un modelo de deslizamiento por bloques. En el sitio se observa un hundimiento principal que consta de una corona principal seguida de un hundimiento localizado y posteriormente hay varias terrazas pequeñas sobre la margen derecha del río Corrogres.

Geomorfológicamente, el sitio donde se ubica el deslizamiento corresponde con una colina denudacional que forma parte del cerro Chirracal. Dicho cerro tiene una forma alargada en dirección norte - sur y laderas de moderadas a fuertes. Hacia el pie del deslizamiento atraviesa el río Corrogres.



**Figura N° 17. Ubicación del deslizamiento con respecto al cerro Chirracal, tomada de Chávez (2015).**

El deslizamiento ocurre en una ladera de pendiente fuerte localizada en el escarpe oeste del cerro, compuesta de materiales volcánicos muy alterados, que se correlacionan con los depósitos de la Formación Grifo Alto. En el terreno se observan actualmente grietas de tensión que evidencian un movimiento progresivo del deslizamiento, además de haber movimiento de masas desde el suroeste de la corona actual.

Además, menciona que los suelos areno arcillosos, limo arcillosos, limo arenosos y limo arenosos con clastos desarrollan incisión erosiva del terreno y por lo tanto los suelos arenosos tienden a desarrollar deslizamientos. Según la descripción hecha por el Ing. José A. Fernández Sibaja en los sondeos SPT, los materiales son limo-arenosos, y las observaciones de campo revelan la existencia de bloques sanos dentro de una matriz limosa, por lo que las condiciones del material son propicias para el desarrollo de deslizamientos.

También se advierte la presencia de un estrato menos competente en los sondeos geotécnicos, a una profundidad de 2.7 a 6.45 m. Con esta misma tendencia pueden existir materiales en las capas inferiores, que sean los responsables del movimiento.

Finalmente, de acuerdo con las condiciones geológicas, los resultados de los sondeos geofísicos y la topografía existente en el sitio del deslizamiento, concluye que los mecanismos de falla más probables consisten en un movimiento local por bloques y un mecanismo de falla local y regional de tipo rotacional, que podría culminar en el colapso del macizo hacia el río Corrogres.

**d) Estudio: Análisis de estabilidad de taludes del deslizamiento “El Picadero”, sobre el río Corrogres, Santa Ana.**

Este estudio fue realizado por Valerio (2015). En él se evalúa la estabilidad del talud contemplando el movimiento de tierra (corte en terrazas) realizado por la Municipalidad de Santa Ana como medida de primer impacto, ya que lo realizado en sitio responde a una solución temporal de mitigación en un sector del talud.

Los resultados muestran que la sección 2 (MASW 3) es crítica aún con el corte en terrazas realizado. No alcanza los valores mínimos requeridos por la normativa nacional (CCCR-2009), cuadro N° 12. Se evalúa una segunda aproximación de estabilización mediante la colocación de gaviones y Terramesh al pie del talud con relleno compactado en su trasdós (mismo material de sitio, compactación controlada) y apenas logra alcanzar la admisibilidad en el factor de seguridad para la condición estática; no así para la condición pseudoestática, pero alcanza un equilibrio físicamente aceptable (>1.0). Mientras que para el caso de la sección 4 (MASW 5) se concluye que la solución de corte y terrazas es adecuada para garantizar la estabilidad mínima requerida.

Por lo tanto, el sector de terreno donde se ubica la sección 2 es de especial atención, ya que en una condición de sismo (magnitud considerable), sobre todo luego de épocas de lluvia, podría provocar el deslizamiento de un volumen de material hacia el pie del talud. Una estimación burda del posible volumen de material a deslizarse sería de 7,400 m<sup>3</sup>.

El control de aguas pluviales es de vital importancia dada la alta meteorización que sufre el material presente en el sitio. Se debe de garantizar el corte de las terrazas con pendiente superior a un 5% para que las aguas escurran rápidamente del talud. Sin embargo, debe de incluirse un control de erosión, en toda la superficie expuesta, con mantos biodegradables y una vegetación que sea densa y que contenga raíces semiprofundas (30 cm mín). Lo importante es que la superficie esté revestida y reducir el tiempo de infiltración de las aguas de lluvia.

**Cuadro N° 12. Factores de seguridad (Fs) obtenidos, Valerio (2015).**

Sección	Escenario	Condición	Fs	Fs adm
Sec 2	Terraza	Estático	1.013	1.5
		Pseudoestático	0.875	1.3
	Gavión	Estático	1.475	1.5
		Pseudoestático	1.062	1.3
Sec 4	Terraza	Estático	1.712	1.5
		Pseudoestático	1.238	1.3

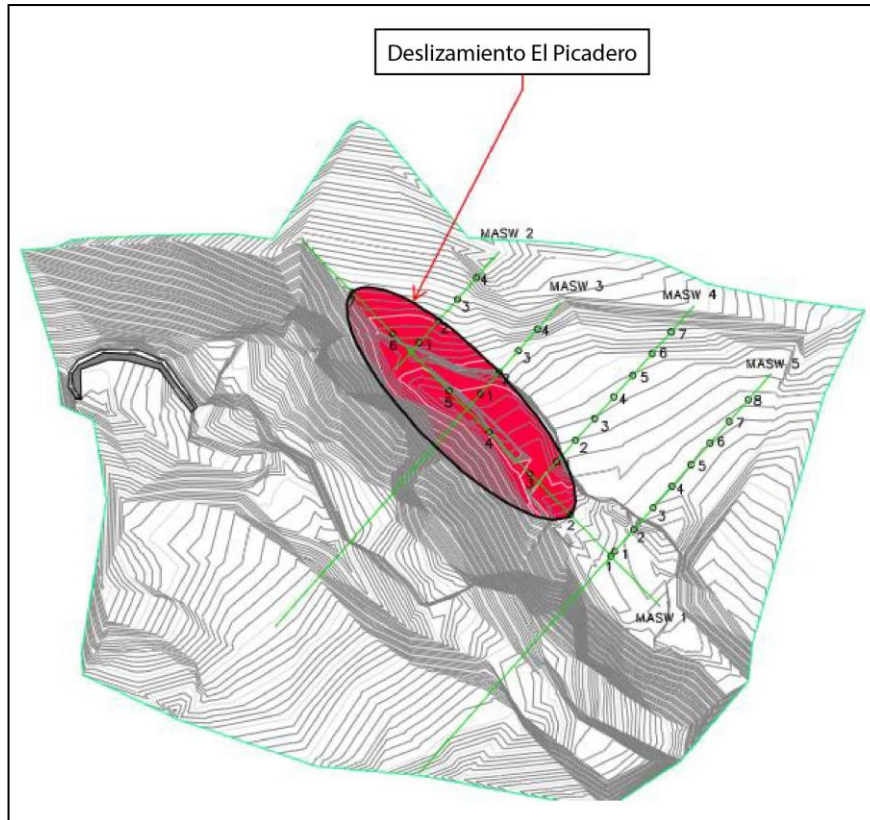


Figura N° 18. Ubicación del deslizamiento y los perfiles geofísicos equivalentes, tomada de Valerio (2015).

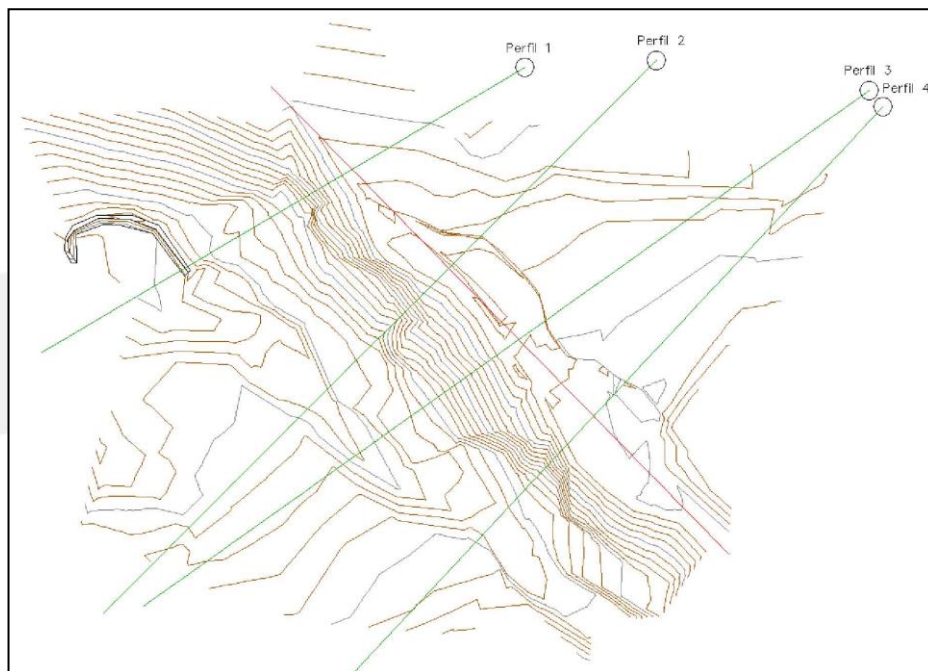


Figura N° 19. Ubicación de las secciones (talud) analizadas, tomada de Valerio (2015).

- e) Estudio: Contratación de especialista en hidráulica fluvial y transporte de sedimentos de carga de fondo con énfasis en procesos erosivos y depositación para realizar un estudio tipográfico, geológico y geotéctonico del deslizamiento “El picadero”



## Componente 1

Este estudio fue realizado por el ingeniero Masís (2015a) por parte de la empresa River-Ing de Costa Rica S.A. En este se muestra un registro fotográfico con las condiciones del sitio del deslizamiento en noviembre del 2014 y mayo del 2015, antes de entrar de lleno en la época lluviosa.

La fotografía N° 6 muestra la condición inicial de la zona del deslizamiento en noviembre del 2014, en las cuales se nota claramente una grieta en tensión que demarca la zona inestable. Mientras que las fotografías N° 7, 8 y 9, muestran la condición del deslizamiento para mayo del 2015, en donde se mantiene la falla perimetral y un mayor descenso en la zona deslizada, más de 1.5 m en menos de 4 con respecto a la condición inicial, además nuevas grietas y más profundas, y desecación con evidente pérdida de la vegetación en la zona.



**Fotografía N° 6. Zona del deslizamiento, noviembre del 2014, tomado de Masís (2015a).**



**Fotografía N° 7. Zona del deslizamiento, mayo del 2015, tomado de Masís (2015a).**



**Fotografía N° 8. Vista de las grietas generadas, en dirección casi paralela al cauce, hacia el noroeste, tomado de Masis (2015a).**



**Fotografía N° 9. Vista de las grietas generadas, en dirección casi paralela al cauce, hacia el sureste, tomado de Masis (2015a).**

De modo que, según las condiciones descritas anteriormente, el informe prevé un aceleramiento del proceso e incluso colapso inminente durante la época lluviosa si no se aplican medidas urgentes. De hecho, el análisis de estabilidad del talud en el apartado anterior concluye que el deslizamiento es inestable debido básicamente a los siguientes factores: el espesor de suelo de 6.5 m de espesor, la muy alta pendiente y en general la “esbeltez” de la masa inestable, estimando que podría caer un volumen de aproximadamente 7500 m<sup>3</sup> en el

cauce, lo cual es más que suficiente para obstruirlo y generar escenarios de riesgo muy serios hacia aguas abajo, de modo que aun considerando soluciones de estabilización como gaviones y geomesh, los factores de seguridad para la condición pseudo-estática (sismo) no cumplen con los valores mínimos exigidos por la normativa vigente.

A raíz de lo anterior, el informe propuso dos tipos de contramedidas: las inmediatas y las mediatas. Las primeras con el objetivo de evitar que el deslizamiento colapsara con la entrada de la época lluviosa en ese momento y permitiera ganar tiempo para planear e implementar las medidas mediatas y permanentes de solución y así eliminar el altísimo riesgo del colapso. Por lo tanto, con la gran certeza de que la entrada de agua de escorrentía en grandes cantidades durante los meses lluviosos siguientes en ese momento iba a significar la lubricación y aumento del peso del deslizamiento, provocando el disparo del colapso sobre el río Corrogres, se recomendó a la Municipalidad de Santa Ana la implementación de un sistema de terrazas en la zona del deslizamiento, con el fin de quitar peso a la masa del deslizamiento y buscar una condición temporal de equilibrio.

Se definieron tres terrazas, de aproximadamente 6 m de altura, con ángulos de talud con inclinación entre 45° y 50°, y en la parte superior entre 10° y 15° hacia el interior. Estas fueron trabajadas de manera tal que el agua escurra hacia el pie del talud y con un desnivel hacia el fondo de la propiedad de manera que desagüe de forma rápida y evitar excesos de agua en la zona. Adicionalmente se cubrió la superficie con plástico negro, como película impermeabilizante para proteger de exceso de infiltración que pueda provocar mayor inestabilidad.



**Fotografía N° 10. Proceso de terraceo realizado por la Municipalidad de Santa Ana en la zona del deslizamiento, tomado de Masis (2015a).**



**Fotografía N° 11. Proceso de terraceo realizado por la Municipalidad de Santa Ana en la zona del deslizamiento, tomado de Masis (2015a).**



**Fotografía N° 12. Proceso de terraceo realizado por la Municipalidad de Santa Ana en la zona del deslizamiento, tomado de Masis (2015a).**

Como medida mediata y permanente se propone una presa de gaviones, escalonada en la cara aguas abajo, que iría colocada en el cauce del Río Corrogres en la zona exactamente aguas abajo del sitio del deslizamiento. Además, incluye un cerramiento perimetral de gaviones de 2 m de altura sobre la margen izquierda del río, sector sur opuesto al deslizamiento, para evitar derrames de lodos y detritos hacia dicho sector. Con un material que permita el paso de agua, pero que a la vez cumpla la función de retener la mayor parte del material deslizado (suelo, rocas, palos), lavando paulatinamente el exceso de sedimentos sin generar descargas súbitas de materiales hacia aguas abajo.

- f) **Estudio: Contratación de especialista en hidráulica fluvial y transporte de sedimentos de carga de fondo con énfasis en procesos erosivos y depositación para realizar un estudio tipográfico, geológico y geotéctonico del deslizamiento “El picadero”**  
**Componente 2: Análisis de los escenarios de riesgo hacia aguas abajo como consecuencia de bloqueo del río Corrogres por el deslizamiento y valoración de posibles medidas de mitigación**

Este estudio corresponde a una segunda entrega del informe anterior, realizado por Masis (2015b). En este estudio se estudió el tramo del río Corrogres aguas abajo del deslizamiento, para lo cual se hicieron levantamientos topográficos del cauce, análisis hidráulicos, de transporte de sedimentos, así como de erosión-depositación con el fin de evaluar la evolución morfológica del lecho del río tomando en cuenta los obstáculos que se hallan en el cauce como puentes, caminos y viviendas. Esta condición corresponde con el peor escenario en el cual los materiales del deslizamiento caen al río en gran cantidad y en un intervalo de tiempo muy corto, por lo que el río es sujeto a una súbita carga de sedimentos. El fin es identificar y determinar si hay sitios críticos que puedan ser afectados en caso de la ocurrencia del bloqueo y posterior colapso de los materiales deslizados.

A continuación, se presenta una descripción por medio de fotografías del tramo de estudio: Iniciando desde el extremo aguas abajo hacia aguas arriba, en el sitio del puente 2, que se muestra en las fotografías N° 13, 14 y 15, se observa en primer lugar la poca profundidad del río del lado aguas arriba del puente, mientras que del lado aguas abajo hay una caída y gran cantidad de erosión. Así mismo se observa una reducida capacidad hidráulica del puente (en realidad consiste en una alcantarilla de cuadro) con cambios abruptos en la dirección y afectado adicionalmente por la obstrucción parcial del cauce por el bambú.

Las fotografías N° 13B, 14B y 15B evidencian la altísima vulnerabilidad en ambas márgenes de viviendas en caso de un evento de avalanchas, por la poca diferencia de nivel con respecto al fondo de la quebrada.

La fotografía N° 16 caracterizan el tramo intermedio entre los puentes 1 y 2. En esta zona se considera que hay un riesgo bajo para las personas.



**Fotografía N° 13. A) límite inferior del tramo bajo estudio; B) vista margen derecha aguas arriba del puente 2, tomadas de Masis (2015b).**



**Fotografía N° 14. A) entrada al puente 2 con la obstrucción de los bambúes y la limitada capacidad hidráulica; B) vista margen derecha aguas arriba del puente 2, tomadas de Masis (2015b).**



**Fotografía N° 15. A) erosión a la salida del puente 2; B) vista de margen izquierda 15 m aguas arriba del puente 2, tomadas de Masis (2015b).**



**Fotografía N° 16. A) condición de cauce 30 m aguas arriba del puente 2; B) se evidencia la degradación del cauce, tomadas de Masis (2015b).**



**Fotografía N° 17. puente 1 visto desde aguas abajo y aguas arriba, nótese la depositación de detritos antiguos del lado aguas arriba, tomadas de Masis (2015b).**

Las fotografías N° 17 y 18 muestran las condiciones del puente 1 aguas arriba en donde no hay confinamiento por viviendas en las cercanías del puente, pero presenta idénticas condiciones de limitada capacidad hidráulica con acumulación de material proveniente del deslizamiento del lado aguas arriba y erosión y degradación del cauce en el cruce propiamente y aguas abajo.

La fotografía N° 19 muestra el inicio del tramo de estudio en donde el cauce presenta una pendiente mayor y edificaciones con protecciones de gran altura.

De este último sitio hasta la base del deslizamiento existe un puente peatonal que se considera no sería afectado por el evento debido a que se encuentra a suficiente altura y el cauce tiene muy buena pendiente y capacidad hidráulica. Finalmente, a escasos 50 m del deslizamiento hay una construcción similar a una cabelleriza que se encuentra bajo riesgo.



**Fotografía N° 18. Entrada al puente 1 de limitada capacidad hidráulica, nótese la degradación socavación del lecho por contracción de la sección, tomadas de Masis (2015b).**



**Fotografía N° 19. Condiciones del cauce aguas arriba del puente 2, tomadas de Masis (2015b).**

Por medio del análisis realizado se ha determinado que el tramo considerado efectivamente es un cuello de botella que no tiene la capacidad hidráulica para manejar el evento de 20 años de periodo de retorno, ni el transporte de grandes cantidades de detritos en caso de colapso de una presa natural sobre el río Corrogres como consecuencia del derrumbe de materiales del deslizamiento El Picadero.

La presencia de viviendas en especial en las cercanías del puente 2 (aguas abajo) supone una muy alta vulnerabilidad a inundaciones, y un daño mucho mayor en el caso del arribo de detritos.

La figura N° 20 delimita la infraestructura y áreas que podrían resultar afectadas por transporte de detritos si no se toman acciones inmediatas correctivas.



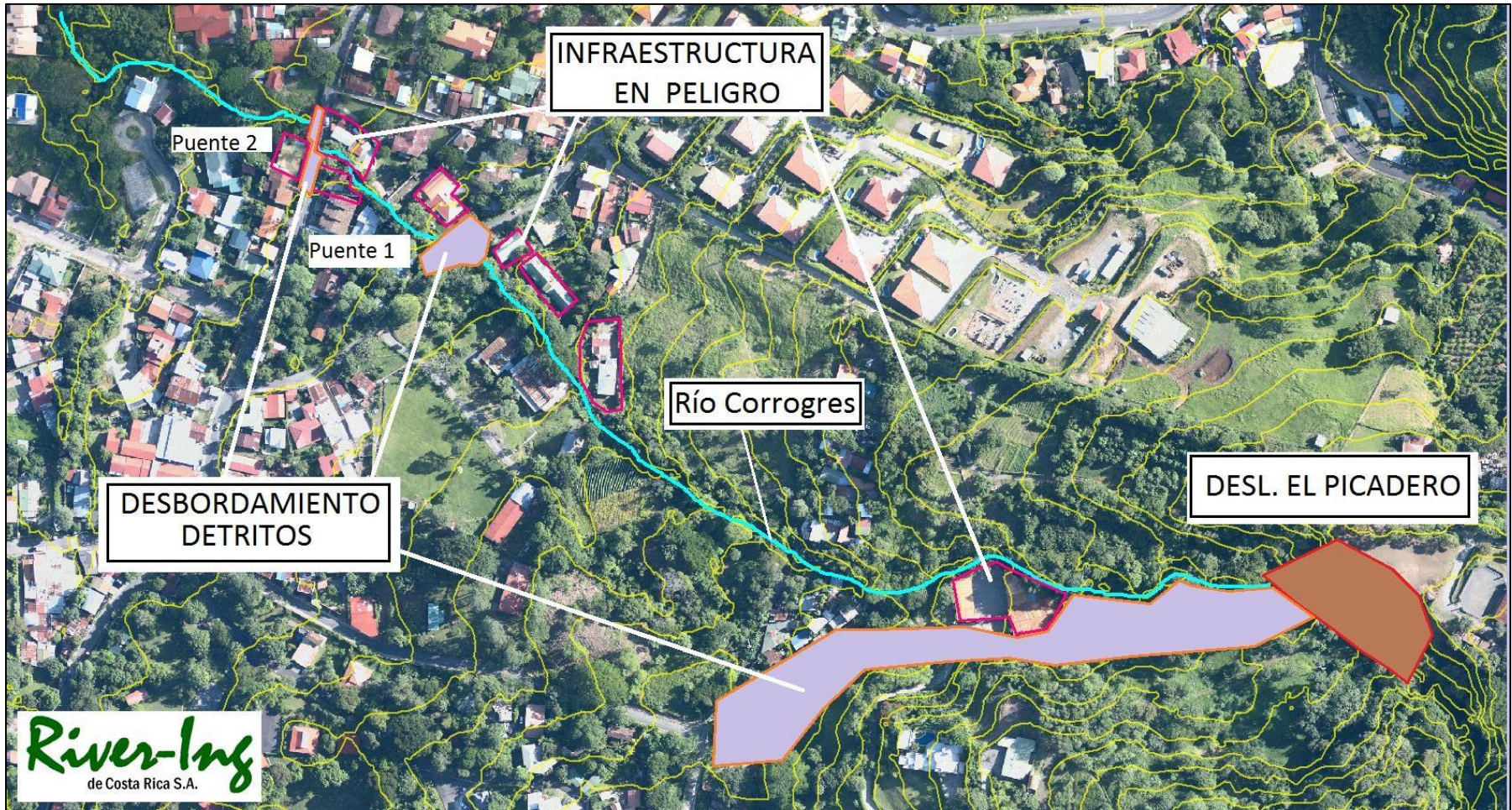


Figura N° 20. Condiciones del cauce aguas arriba del puente 2, tomadas de Masis (2015b).

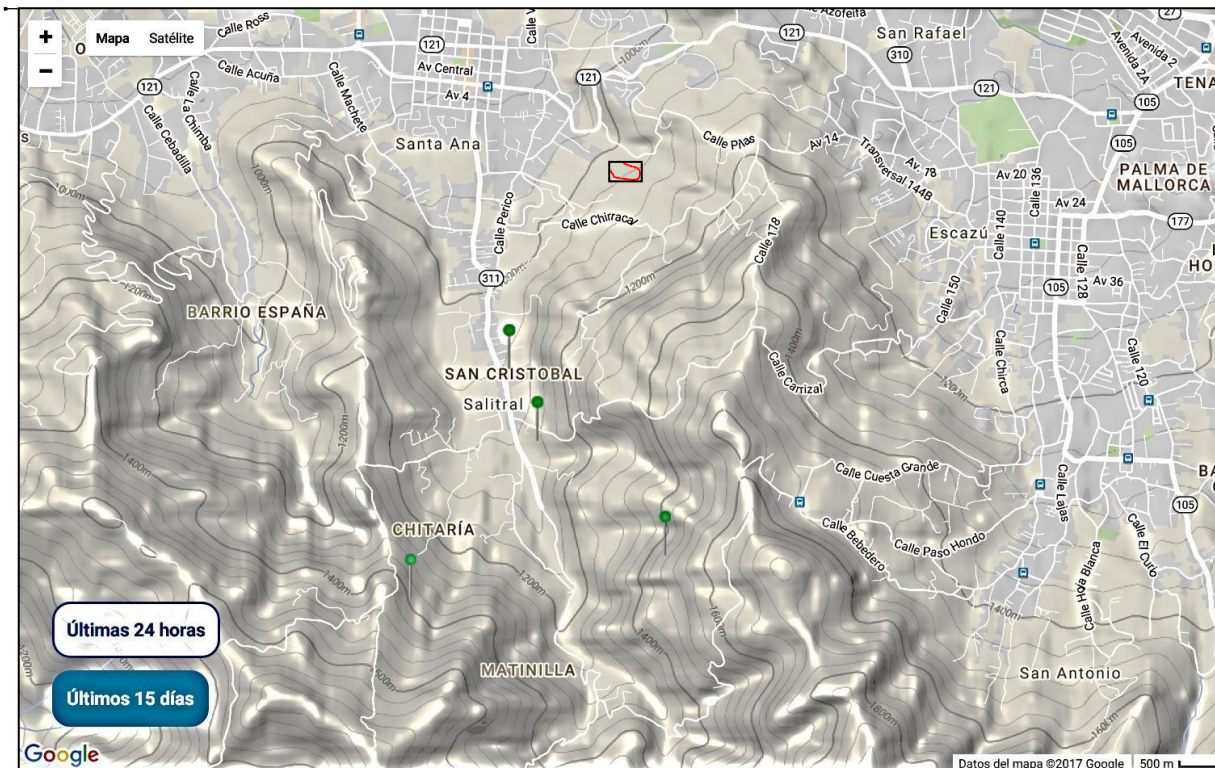
Continuando con el análisis, en el informe técnico IAR-INF-0910-2017 de la Comisión Nacional de Emergencias, realizado por el geólogo Sánchez (2017), este menciona que debido a las fuertes e intensas lluvias en los alrededores de la zona evaluada, en combinación con la alta susceptibilidad al deslizamiento que presentan las rocas del sitio, el sábado 16 de setiembre del 2017 se da un intenso agrietamiento y deslizamiento sobre la margen derecha del cauce del río Corrogres, el cual obstruyo parcialmente con material y árboles, además sobre la margen izquierda ocurrió un importante agrietamiento y basculamiento de un sector.

Como causas de la inestabilidad del terreno, aparte de las intensas lluvias antes mencionadas, se menciona que en las últimas semanas antes del deslizamiento, ocurrieron sismos en las cercanías del sitio evaluado, los cuales podrían haber generado mayor inestabilidad del terreno debido a las aceleraciones del suelo. Estos se muestran en el siguiente cuadro y en la figura N° 21, tomada del informe de la CNE.

**Cuadro N° 13. sismos localizados en los alrededores de la zona del deslizamiento, tomado de Sánchez (2017).**

Fecha	Magnitud	Profundidad	Ubicación
03-09-2017 12:38 am	2.5 Mw	5.3 km	4 km al Sur de Santa Ana, San Jose.
04-09-2017 1:08 am	2.3 Mw	7.2 km	3 km al Oeste de San Antonio, Escazú
05-09-2017 5:50 am	3.4 Mw	9.2 km	3 km al Sur de Santa Ana, San Jose
11-09-2017 2:23 am	2.6 Mw	8.5 km	3 km al Sur de Santa Ana, San Jose

Todos estos eventos sísmicos son asociados a fallamiento local y deformación interna de la placa, por lo cual presentan poca profundidad, y magnitudes entre 2.5 y 3.5 (Mw), los efectos de estas sacudidas son muy localizados.



**Figura N° 21. Ubicación de sismos en los alrededores de la zona de inestabilidad, tomado de Sánchez (2017).**

El informe concluye que de acuerdo a la inspección realizada sobre la margen derecha del río Corrogres, se nota una evidente inestabilidad del terreno en una franja aproximada de 260 m de largo y un ancho máximo de 70 metros. En esta zona conocida como El Picadero, ocurre un movimiento que desliza cerca de dos hectáreas de terreno, con grandes deformaciones, agrietamientos, basculamiento y asentamientos verticales en el orden máximo de hasta 8 m, el volumen aproximado que se encuentra inestable y movilizándose es de unos 100 000 m<sup>3</sup>. Con respecto a la margen izquierda, la franja inestable aproximada posee 200 m de largo y un ancho máximo de 90 m, la sección deslizada afecta unos 12 000 m<sup>2</sup>, y el volumen aproximado es de unos 35 000 m<sup>3</sup>.

En conjunto, ambos deslizamientos remueven la capa orgánica del suelo y un espesor variable de areniscas muy meteorizadas y poco cohesivas, y fueron posiblemente favorecidos por un manejo no óptimo de las aguas de escorrentía superficial que discurren por las laderas, la alta pendiente, la sobresaturación del suelo debido a lluvias presentadas en los últimos meses y semanas al deslizamiento que generaron una alta acumulación de agua, el tipo y uso de suelo que existe con una cobertura en su mayoría de pastos, eventos sísmicos locales y superficiales registrados entre el 3 y 11 de setiembre y los eventos extremos de precipitación en periodos cortos que descargan montos elevados de lluvia.

**g) Estudio: Evaluación geotécnica y propuesta conceptual de soluciones, Deslizamiento El picadero**

A raíz del deslizamiento nuevamente sobre la margen derecha del río Corrogres, el día sábado 16 de setiembre del 2017, cuya corana de deslizamiento afectó parte de la propiedad donde se ubica el Condominio Solaris, llegando muy cerca de uno de los edificios de 6 pisos en proceso de construcción, la empresa Insuma S.A. Ingenieros & Geólogos Consultores realizó en octubre del 2017 un estudio para evaluar las posibles razones por las cuales se reactivó el deslizamiento y la seguridad con que se cuenta para la zona del condominio, así como proponer medidas para garantizar la estabilidad de la zona durante su vida útil (Rodríguez et al., 2017).



**Fotografía N° 20. Reactivación del deslizamiento El Picadero 2017, tomadas de (Rodríguez et al., 2017).**

El estudio caracteriza geológicamente el deslizamiento y la base del edificio con la presencia de la formación Pacacua, en donde predominan las areniscas finas y las brechas con líticos y pómez aislados. Indicando que se observa muy fracturada y es difícil ver las direcciones de buzamiento, debido a su alto grado de fracturamiento en al menos 3 o 4 direcciones diferentes. Los materiales presentes en la zona del edificio, en los alrededores del deslizamiento y en sitios cercanos corresponden a coluvios muy empaquetados y rocas muy fracturadas de Pacacua, que incluyen brechillas, y que además están meteorizadas y acaban dando arcillas muy plásticas, conformando la capa C según la interpretación geofísica, la cual aparece en la base de una trinchera exploratoria excavada en el sector sur del deslizamiento (extremo noreste del edificio).



Fotos N° 37 y 38: Detalle de Coluvios bien empaquetados (Capa B según Geofísica) y roca muy fracturada y meteorizada (Capa C). 21/09/2017.

Fotografía N° 21. Geología aflorante cercana al área del deslizamiento, tomadas de (Rodríguez et al., 2017).

Desde el punto de vista geotécnico, se destaca la presencia de dos tipos de materiales. La capa A (material deslizado, suelos y coluvios) corresponde con limos arcilloso color café con bloques y presenta una consistencia variable entre blanda y media, mientras que la capa B (coluvios o roca muy meteorizada) trata de limos arenosos y/o arena limosa café y posee una consistencia variable entre media y muy dura. Siendo esta última la asociada a los coluvios y/o roca muy meteorizada identificados en la interpretación geofísica como la capa B.

Por su parte, la investigación geofísica con el método MASW, clasifica las capas según el siguiente cuadro.

Cuadro N° 14. Correlación geológica según los perfiles sísmicos MASW, tomado de (Rodríguez et al., 2017).

Capa	Correlación Geológica	Velocidad (m/s)	Espesor de Capa (m)				
			MASW 1	MASW 2	MASW 3	MASW 4	MASW 5
A	Material deslizado, suelos y coluvios	100-200	0 - 7	3 - 7	-		1 - 5
B	Coluvios o roca muy meteorizada	200-350	2 - 10	2 - 15	0 - 10,5	5,5 - 9,5	0 - 12,5
C	Roca meteorizada	350-450	4 - 15,5	5,5 - 11	6 - 18	3 - 9	7 - 22
D	Roca fracturada	450-650	5 - 19,5	8 - 13	4,5 - 11,5	16,5 - 20,5	2 - 15,5
E	Roca poco fracturada	650-850	5 - 19	8,5 - 23,5	9,5 - 23	8 - 13	-
F	Roca sana	>>850	-	-	-	-	

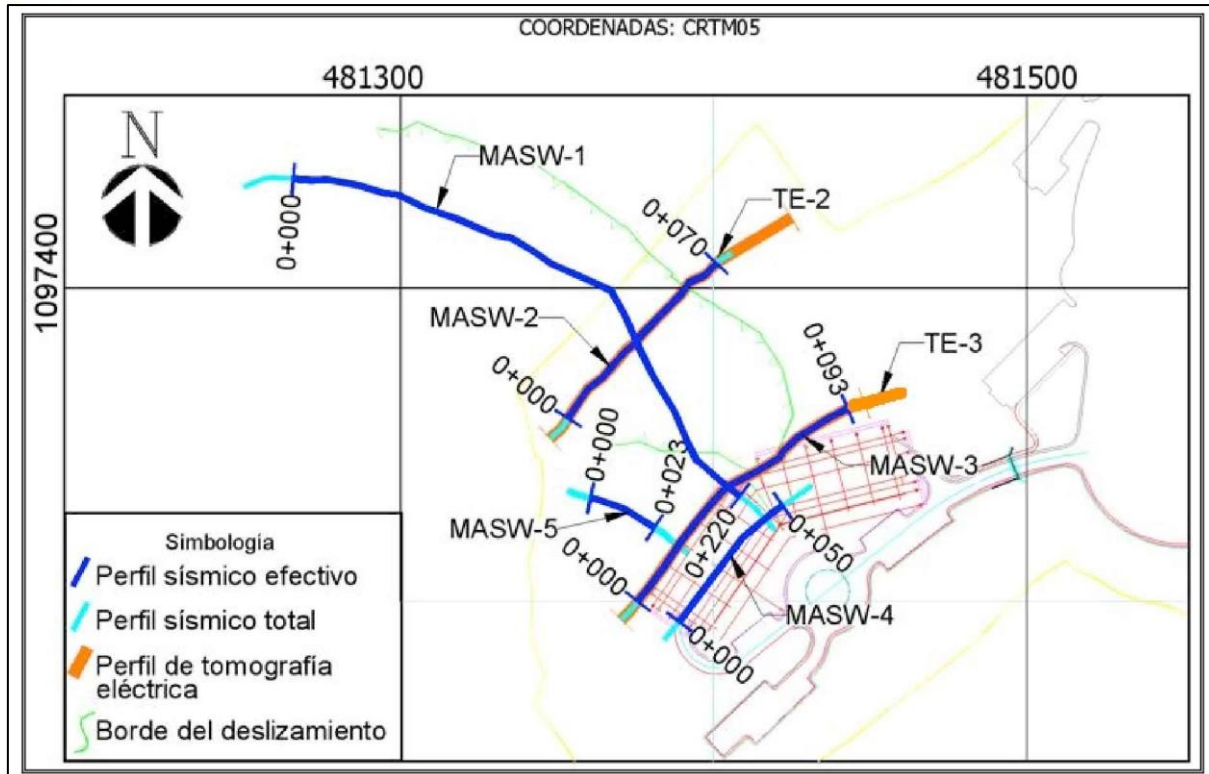


Figura N° 22. Ubicación de los estudios geofísicos, tomado de (Rodríguez et al., 2017).

Observando la figura N° 23, la capa A del perfil MASW-1 corresponde con los materiales deslizados que disminuyen hacia la corona del deslizamiento y se aprecia además que bajo el área de construcción el cimiento está fundado sobre la capa B. Mientras que las capas C y D conforman los materiales más firmes.

Con respecto al perfil MASW-2, el cual es transversal al eje del deslizamiento y paralelo al límite de la propiedad en su flanco noroeste, la característica más relevante es el espesor máximo de 7 m del material deslizando, figura N° 24.

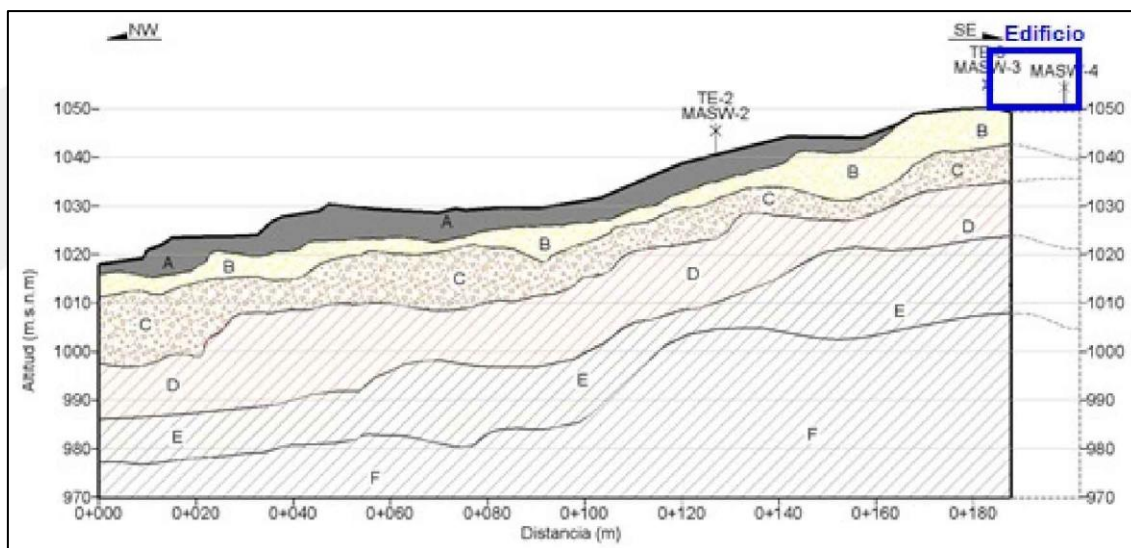
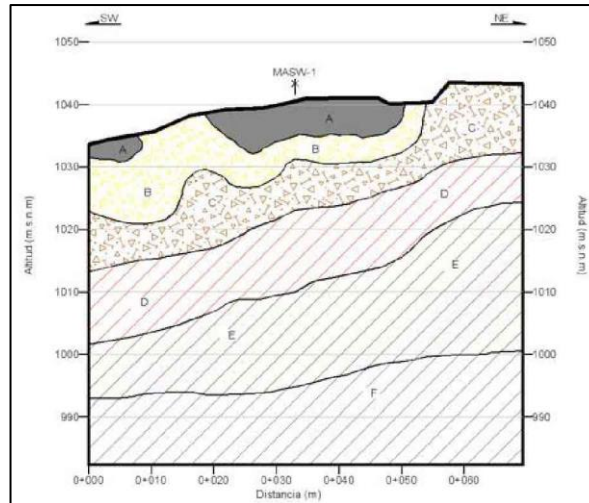
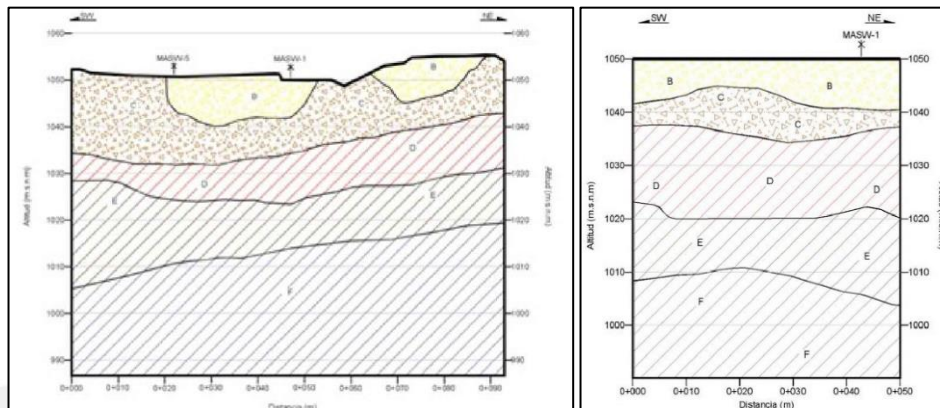


Figura N° 23. Perfil sísmico MASW-1, tomado de (Rodríguez et al., 2017).



**Figura N° 24. Perfil sísmico MASW-2, tomado de (Rodríguez et al., 2017).**

Por su parte el perfil MASW-3, cuyo trazo se encuentra entre la corona y el edificio, no muestra materiales blandos típicos de la capa A, sino lentes someros de la capa B y un piso general tipo C. Situación similar ocurre en el perfil MASW-4, el cual verifica que las placas del edificio están fundadas en la capa B y algunas posiblemente cercanas a la capa C, figura N° 25. Lo anterior se explica debido a que la excavación de la terraza donde se apoyó el edificio Solaris, eliminó los materiales superiores de mala calidad en el perfil de suelos.



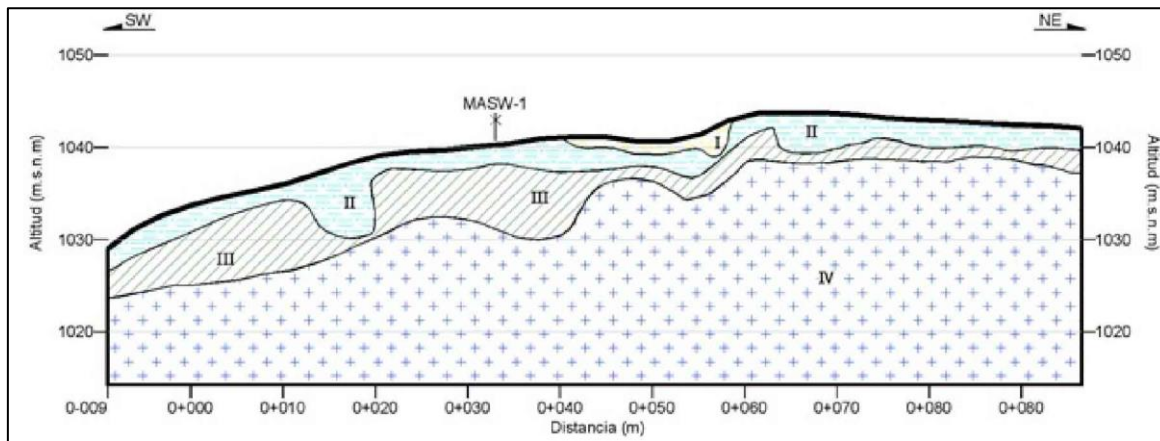
**Figura N° 25. Perfiles sísmicos MASW-3 y MASW-4, tomado de (Rodríguez et al., 2017).**

Los perfiles de Tomografía Eléctrica se realizaron en la parte superior cercana a la corona, y con base en los resultados se establece una estratigrafía común para ambos, tal y como lo muestra el cuadro N° 15.

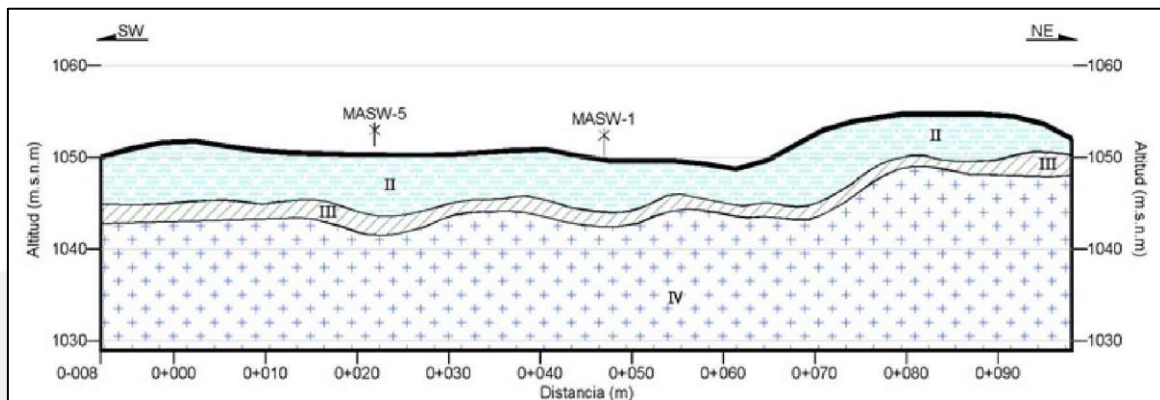
En el perfil eléctrico TE-2, la roca meteorizada está relativamente somera a unos 4 m de profundidad en el flanco noreste y hasta 10 metros de profundidad en la parte central y flanco opuesto, también se identifica una zona de saturación (capa III) muy homogénea en todo el perfil. El perfil eléctrico TE-3 presenta igualmente una zona muy bien definida de saturación en la transición a la roca meteorizada, esta capa tiene un espesor promedio de 2 a 2,5 m. La capa II corresponde con coluvios compactos y la capa basal que es muy conductora, correlacionable con la roca meteorizada, lo anterior se muestra en las siguientes figuras.

**Cuadro N° 15. Correlación geológica según los perfiles eléctricos, tomado de (Rodríguez et al., 2017).**

Capa	Correlación Geológica	Resist. (Ω -m)	Espesor de Capa (m)	
			TE-2	TE-3
I	Rellenos / material deslizado / suelos blandos drenados	8 - 35	0 - 3	-
II	Suelos / coluvios sub saturados	>> 30	0,5 - 8	1,5 - 7
III	Coluvios compactos y arcillosos (zona de saturación) transición a roca meteorizada	10 - 40	0,5 - 7,5	1 - 2,5
IV	Posible roca meteorizada	1 - 15	-	-



**Figura N° 26. Perfil eléctrico TE-2, tomado de (Rodríguez et al., 2017).**



**Figura N° 27. Perfil eléctrico TE-3, tomado de (Rodríguez et al., 2017).**

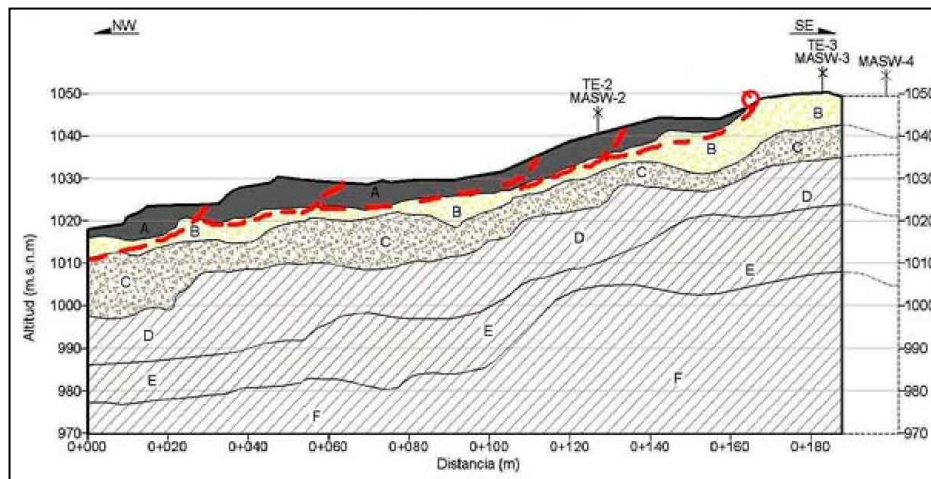
A raíz de lo expuesto anteriormente, se concluye que existen a nivel superficial suelos movilizados y zonas de coluvios, los suelos varían entre 1 y 7 m de espesor y los coluvios entre 2 y 15 m como máximo. Subyaciendo a los coluvios aparece una roca meteorizada y bajo ella van mejorando las capas.

El análisis realizado en este estudio menciona que la capa D, sería una roca sedimentaria meteorizada y que este nivel podría ser el de referencia para comparar los sitios de ruptura de la roca, que darían los deslizamientos, entre 8-10 m de profundidad. Si los niveles de



ruptura son adecuados y certeros, entonces el nivel más profundo, es el que se encuentra junto al río, y quizás uno superior disparado hacia arriba, conforme se ha desestabilizado el nivel inferior junto al río, y este ha ido migrando hacia arriba. Es decir, al presentarse deformaciones basculares en el pie del deslizamiento, se mueve un bloque y desestabiliza la masa ubicada por encima, esto va generando un movimiento progresivo hacia arriba de la ladera.

Ahora bien, tal y como lo menciona el informe este movimiento progresivo ascendente encontró una especie de barrera con la excavación y fundación del edificio del Condominio Solaris al eliminarse la capa de materiales de mala calidad, de modo que la falla del deslizamiento se vio interrumpida en la corana con materiales de mejor calidad. En la figura N° 28 se esquematiza la mecánica de movimiento comentada.



**Figura N° 28. Mecánica de movimiento propuesta para el deslizamiento El Picadero, tomado de (Rodríguez et al., 2017).**

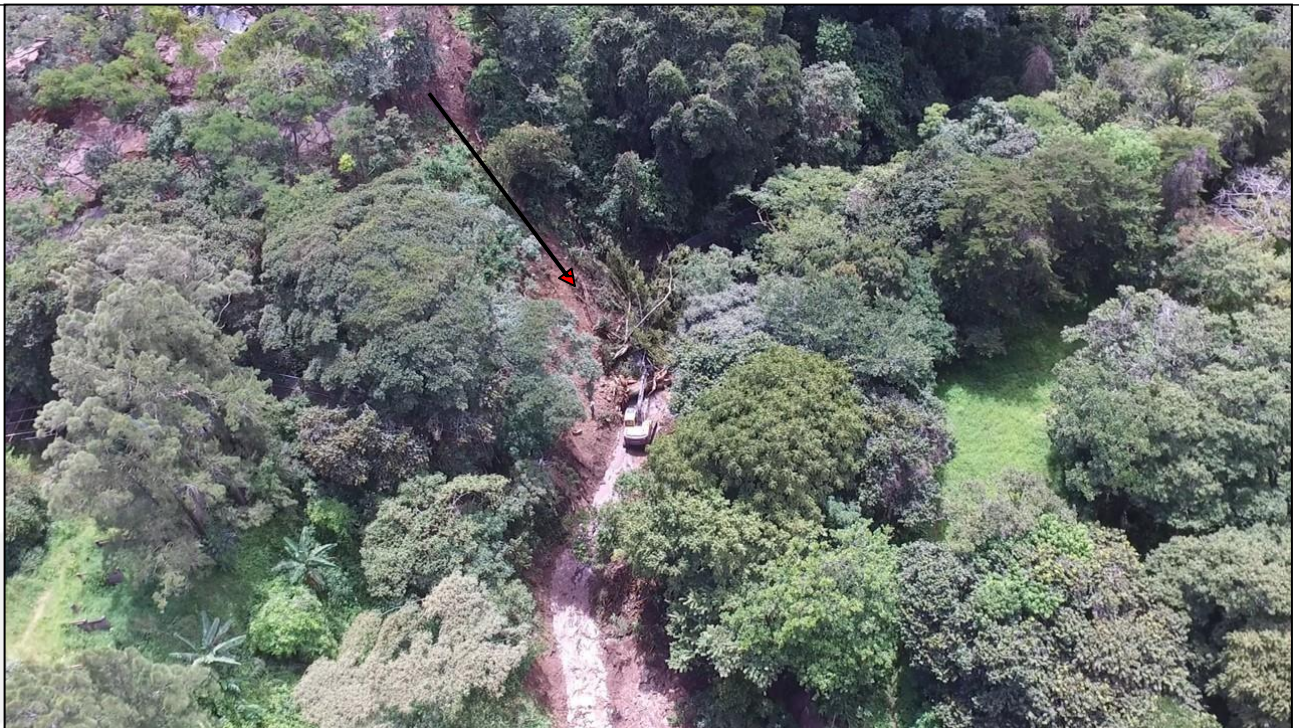
Por lo tanto, con respecto a la reactivación del deslizamiento, el estudio concluyó que se debe a causas estrictamente naturales, asociadas a dos factores muy negativos en la estabilidad de laderas como son los sismos y la saturación de los suelos. Con respecto al primer factor, el informe de la CNE por parte del Geól. Blas Sánchez, anteriormente descrito, menciona que varios sismos se presentaron en zonas muy cercanas al sitio de interés entre el 3 y 11 de setiembre y en cuanto al segundo factor, es conocido ya por el mismo informe y otros, que a inicios del mes de setiembre del 2017 se presentaron intensas lluvias, con volúmenes de descarga de agua excesivos con respecto a lo que ha sido habitual en la época. Además, se menciona que la reactivación del deslizamiento se dio también por erosión de la base del mismo por fuertes caudales del río Corrogres, intrínsecamente ligado al contexto climático expuesto anteriormente.

Además, al conocer que subyaciendo al material deslizado (capa I, según TE) aparece una zona de subsaturación con espesores de entre 0.5 y 8.0 m (capa II), la cual propicia la existencia de un nivel colgado en el techo de la Fm. Pacacua, y bajo esta capa una franja de materiales saturados, asociados a coluvios compactos y/o a la transición a la roca meteorizada (capa III) con espesores que oscilan entre 0.5 y 7.5 m. Las lluvias torrenciales descritas anteriormente recargaron este nivel colgado, incrementando el nivel freático con un flujo paralelo a la barrera de manera rápida, logrando saturar los suelos y reducir la resistencia al corte de los materiales por el aumento en la presión de poro, disminuyendo el factor de seguridad del talud y por ende que se produjera la falla del mismo. Este actuar de fuerzas en

un deslizamiento traslacional, como es este caso, supone que la superficie potencial de ruptura es paralela a la superficie del talud y está ubicada a una profundidad que es pequeña con respecto a la longitud del talud.

Finalmente, con respecto a las medidas a tomar propuestas en el informe, se considera primordial confinar adecuadamente el edificio, ya que al estar tan cerca la corana del movimiento, por efectos de lluvias y falta de confinamiento se pueden generar desplazamientos. Además, considerando el problema que genera las lluvias y específicamente las aguas infiltradas, se debe poner énfasis en el control de aguas superficiales mediante contracunetas, cunetas, canales y trata de interceptar las aguas en el contacto coluvio-Pacacua con una trinchera de drenaje transversal al deslizamiento, ubicada en el sitio donde el espesor de coluvio y suelo deslizado sea menor, aprovechando esta para cimentar un muro que puede ser de gaviones o de tipo tierra armada para garantizar la estabilidad de la capa superior. Por último, se recomienda colocar mojones de concreto en sitios donde no se dañen, para que estos sirvan como base o referencia de un monitoreo futuro.

Cabe rescatar que el día de la inspección por parte de la CNE, en el cauce del río Corrogres se generó la caída importante de material desde la margen derecha, lo cual propicio una obstrucción parcial del caudal, con una cantidad importante de árboles y suelo.



**Figura N° 29. Cauce del río Corrogres con material depositado en el cauce, tomado de (Sánchez, 2017).**

Por tal motivo y debido a la posibilidad de que la masa deslizada bloquee el curso del agua en el río Corrogres y genere inundaciones o flujos de lodo en las comunidades e infraestructura vial aguas abajo, la empresa Carbón Ingeniería S.A. realizó un análisis del río Corrogres, en el que se estimaron caudales para diferentes períodos de retorno, se corrieron modelos hidráulicos para estimar niveles y condiciones de flujo y se plantearon modificaciones

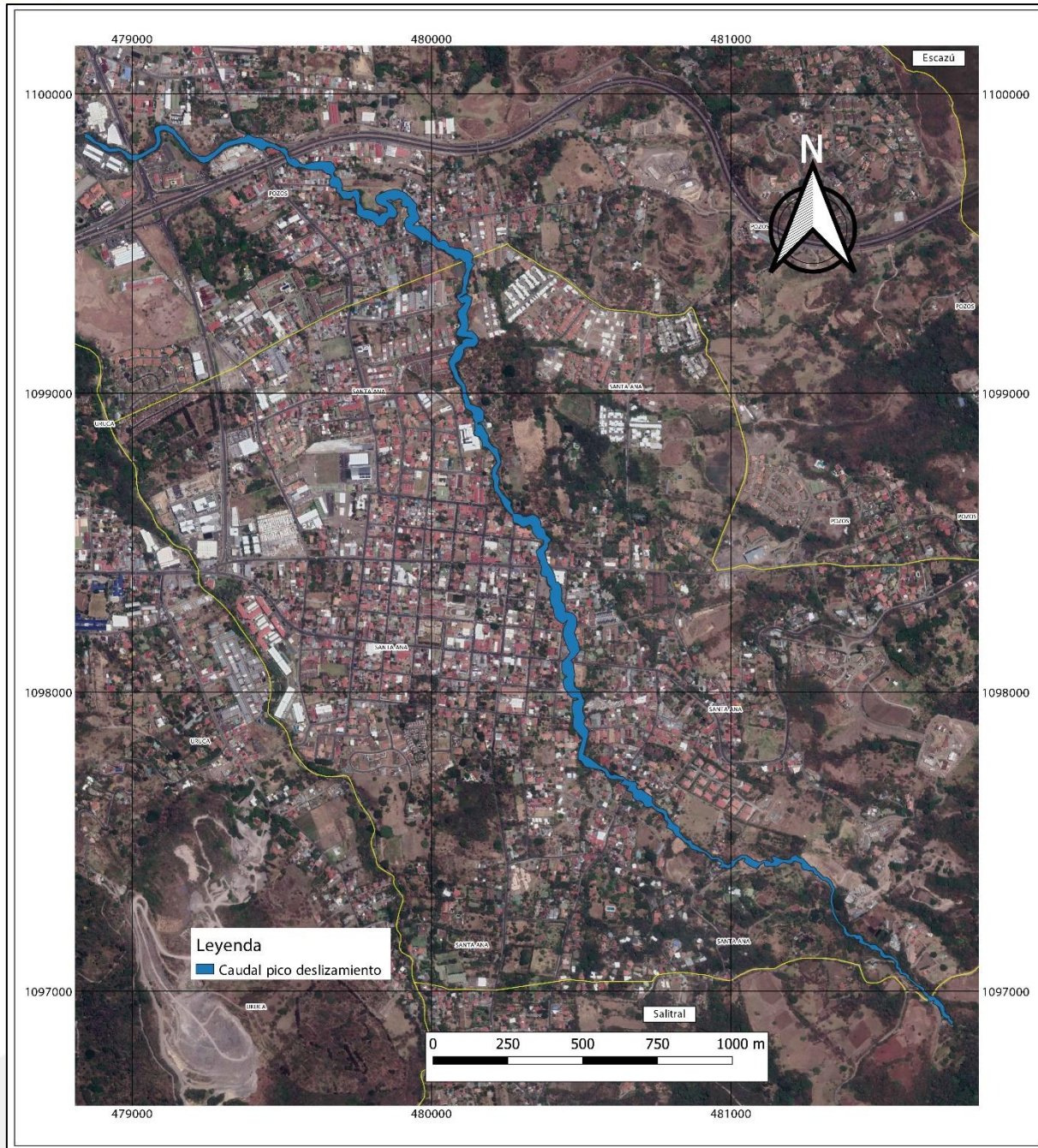
geométricas para solventar los problemas de capacidad hidráulica y propensión a inundación detectados en las simulaciones (Chacón & Porras, 2019).

En este estudio, a lo largo del tramo analizado del río se presentan problemas de capacidad hidráulica tanto en los alrededores de algunas de las estructuras existentes como en zonas del cauce natural sin influencia externa, estos problemas se presentan para los caudales correspondientes a las lluvias de corta duración y para períodos de retorno a partir de los 5 años. Los sitios más críticos corresponden a los alrededores del puente en el sector de la Clínica Bíblica, los dos puentes vehiculares ubicados en los barrios conocidos como Calle Los Mora y Calle González, el puente en el sector conocido como La Soya, un puente peatonal dentro de la propiedad privada del Condominio Santa Ana Park, zonas del cauce natural en las cercanías al Cen-Cinai y la Delegación de la Fuerza Pública, puentes en el centro de Santa Ana en los alrededores del Oficentro del Río, las estructuras ubicadas en la propiedad privada del Restaurante Ceviche del Rey y las inmediatamente aguas arriba del restaurante, y finalmente la alcantarilla del sector conocido como Calle Chirracal.

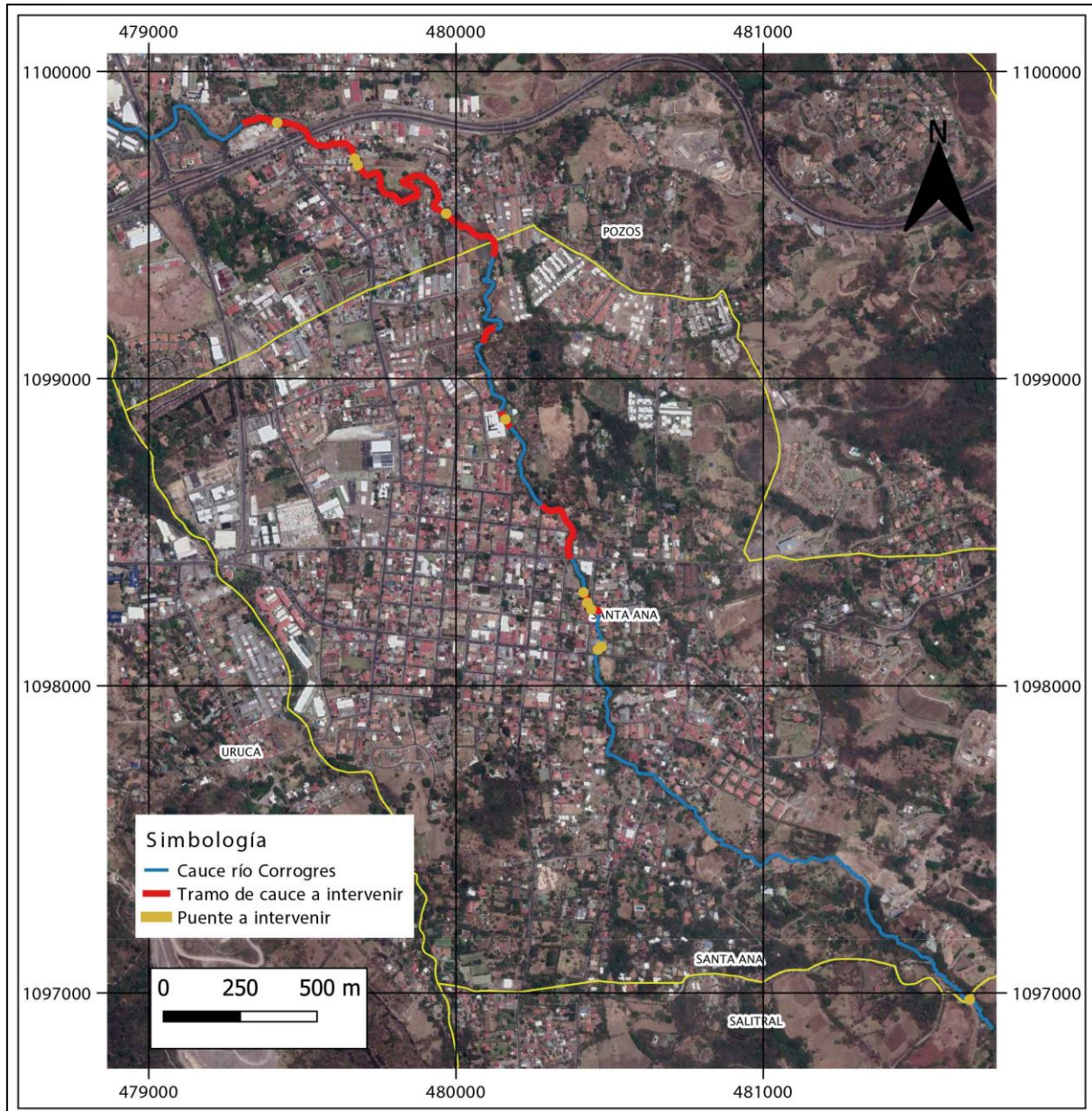
Para el caudal pico estimado en caso de deslizamientos, el 80 % de las estructuras (20 de 24) presentan problemas de desbordamiento, así como gran variedad de sectores del cauce natural a lo largo del tramo en estudio.

Ahora bien, con la geometría modificada propuesta tanto en el cauce natural del río como en las estructuras presentes a lo largo del mismo, en el caso de la avenida por tormenta corta y período de retorno de 100 años se presentan mejorías respecto a la condición actual del río, sin embargo, debido a restricciones de niveles de las vías, presencia de estructuras y condiciones naturales del mismo no factibles de modificar, algunas zonas aún presentan problemas de desbordamiento. En particular se presentan problemas en el puente del sector La Soya y el puente de la Clínica Bíblica.

Con respecto, al evento de caudal por deslizamiento se presentan mejorías aisladas respecto a la condición actual, pero debido a la magnitud de dicho caudal, no es posible resolver en su totalidad el riesgo de inundaciones. Recomendando implementar medidas de prevención y mitigación del riesgo, como la generación de mapas de las zonas urbanas afectadas, la implementación de sistemas de alerta con monitoreo geotécnico y meteorológico, la capacitación a los miembros de la comunidad en planes de evacuación y el diseño y colocación de barreras de retención para materiales deslizados a lo largo del tramo del río Corrogres más cercano a las zonas inestables y propensas a deslizamientos.



**Figura N° 30. Mapa de inundación del tramo en estudio del río Corrogres, simulaciones de caudal pico producto de deslizamiento en la zona alta de la cuenca, tomado de chacón & Porras (2019).**

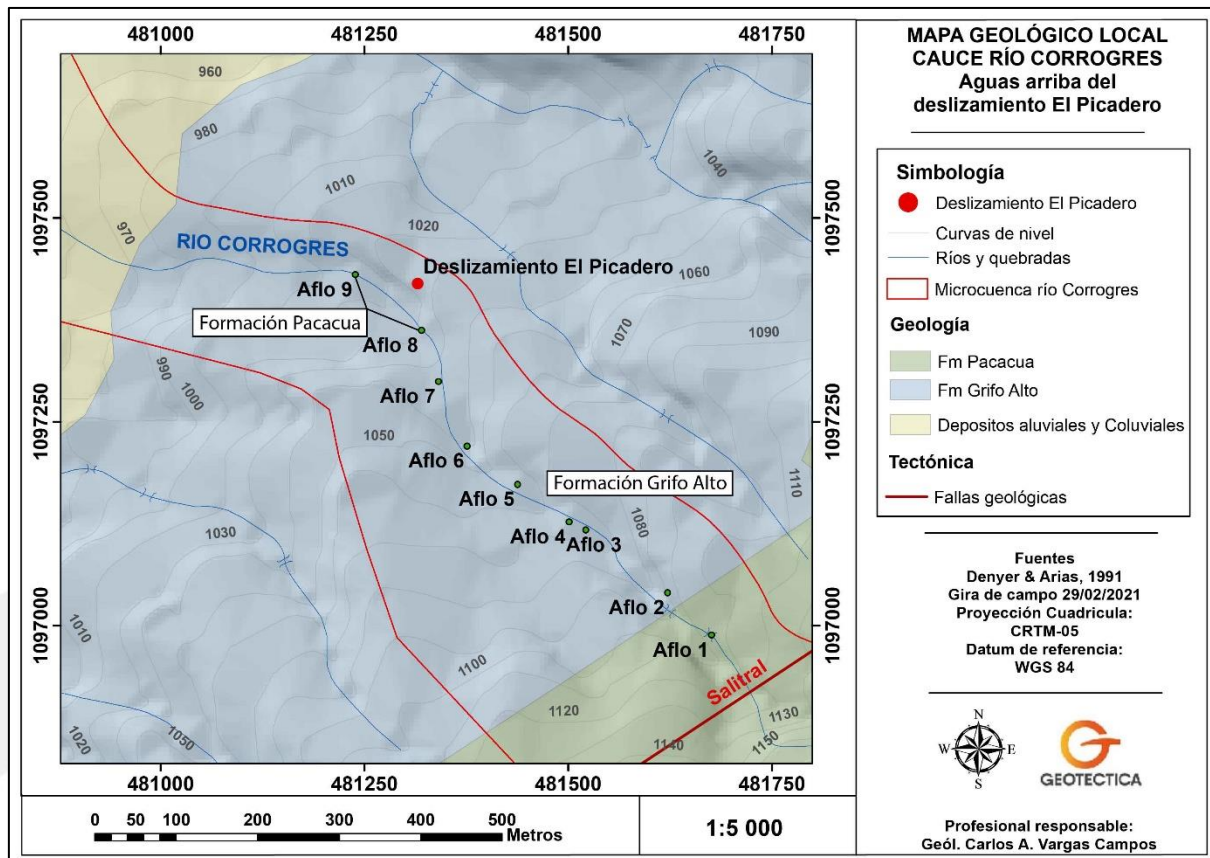


**Figura N° 31. Mapa resumen de intervenciones en el área de estudio, tomado de chacón & Porras (2019).**

## VIII. REACTIVACIÓN DEL DESLIZAMIENTO EL PICADERO EN EL 2020

### • Contexto del deslizamiento El Picadero

Dentro de las causas que han generado el deslizamiento en un principio y sus siguientes reactivaciones, se va a analizar primeramente la parte geológica local. En la figura N° 32, anexo N° 1 y en el apartado de geología local del presente estudio, se puede observar como desde el afloramiento 1 hasta el afloramiento 7 aflora la formación Grifo Alto en dos distintas litologías, la primera consiste en una lava andesítica de aspecto masivo, aunque con múltiples fracturas, como en el afloramiento 6, fotografía N° 2 y la segunda, un coluvio con aporte de material volcánico de esta formación, como el afloramiento 3, fotografía N° 3. Lo cual coincide con el mapa geológico planteado por Denyer & Arias (1991). Sin embargo, en campo se pudo observar que en los afloramientos 8 y 9, fotografía N° 1, aflora la formación Pacacua en su forma característica de lutitas color morado y como estos afloramientos se encuentran justamente en el área del deslizamiento, a nivel del cauce del río, corroborando según los autores anteriores su característica de basamento local en el área. Lo cual, nos indica una clara relación entre el contacto litológico o el cambio de litología en el subsuelo y la ubicación del deslizamiento justo en esta zona.



**Figura N° 32. Mapa geológico local cauce río Corrogres.**

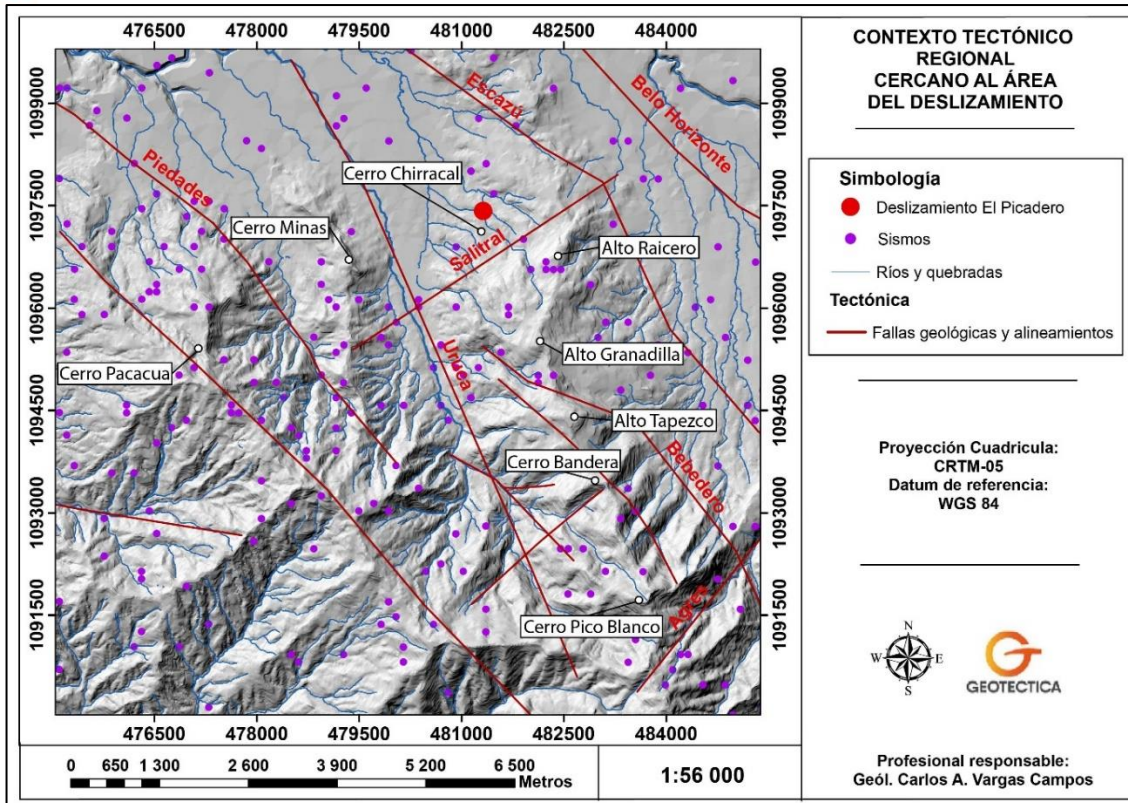
Con respecto a lo anterior, tal y como lo mencionan distintos autores, el más reciente Rodríguez et al. (2017), el área alrededor del deslizamiento se caracteriza por la presencia de diferentes capas en cuanto a grado de meteorización de la formación Pacacua, predominando las areniscas finas y las brechas líticas. Tal y como lo muestran los perfiles sísmicos realizados

por los mismos autores, en la figura N° 23 el primer estrato (Capa A) corresponde con limos arcillosos color café con bloques, la cual presenta 7 m máximos de espesor detectado y coincide con el material deslizado. La Capa B subyacente consiste en limos arenosos y/o arena limosa café, asociada a los coluvios y/o roca muy meteorizada con 15 m máximos de espesor detectado. Por último, los coluvios muy empaquetados y rocas muy fracturadas de Pacacua, que incluyen brechillas, y que se encuentran muy meteorizados, conformarían la Capa C, la cual presenta 22 m máximo de espesor, según su interpretación. Además, los perfiles describen la Capa D como roca fracturada, la Capa E como roca poco fracturada y la capa F como roca sana, está última cercana a los 50 m de profundidad, según interpretación del perfil sísmico MASW-1, figura N° 23, pertenecientes igualmente a la formación Pacacua.

Si bien, Rodríguez et al. (2017) engloba tanto los coluvios como la roca sana a profundidad como parte de la formación Pacacua, el presente informe hace la diferenciación de que estos coluvios serían parte de la formación Grifo Alto o un retrabajo de esta por su claro aporte en los líticos que los componen y la parte basal si sería característica de la formación Pacacua, sin embargo, litológica y estratigráficamente las capas son coincidentes entre ambos estudios.

Otro aspecto importante de mencionar dentro del modelo es la relación de la ubicación del deslizamiento con respecto al contexto tectónico regional y local que lo rodea. Tal y como lo muestra Chavez (2015) en la figura N° 17, el deslizamiento se ubica en una colina denudacional del cerro Chirracal, el cual caracteriza de forma alargada en dirección norte-sur y con laderas moderadas a fuertes.

En la figura N° 33, se puede observar claramente como el cerro Chirracal, junto con el Alto Raicero, el Alto Granadilla, el Alto Tapezco, el Cerro Bandera y el Cerro Pico Blanco, así como el Cerro Minas y el Cerro Pacacua al noroeste, se ubican en dirección noroeste-sureste en respuesta al contexto tectónico regional observado. Específicamente el cerro Chirracal en conjunto con las otras geoformas, se encuentran enmarcados por la falla Agres al norte, la falla Bebedero y Escazú al este, la falla Uruca al oeste, la falla Salitral al norte y varios alineamientos dentro del mismo en dirección igualmente noroeste-sureste como el que pasa por el Cerro Bandera, además de la gran densidad de sismos corticales en el área. Por lo que es evidente, al existir cerca del Alto Tapezco un deslizamiento con el mismo nombre, así como el área donde se encuentra el deslizamiento El Picadero, la respuesta del relieve ante la afectación tectónica.



**Figura N° 33. Contexto tectónico regional cercano al área del deslizamiento.**

Ahora bien, en las figuras N° 33, 34 y 35, se puede identificar una franja sísmica, cuyos sismos se describen en la figura N° 8, en el apartado del contexto tectónico del presente estudio. Esta franja se encuentra en un área entre el cruce de las fallas Uruca y Salitral hasta el trazo de la falla Escazú, formando un área triangular limitada por los tres trazos de falla y es justamente el área donde se encuentra el deslizamiento El Picadero. Por lo tanto, es claro la interacción de esfuerzos en esta zona y como estos pueden influir en fenómenos de inestabilidad y movimientos de tierra.

En relación a lo anterior, igualmente desde el punto de vista geomorfológico, llama la atención la elevación inicial del relieve en este sector, lo cual se observa igualmente muy bien en el contraste de pendientes entre el rango de  $0^\circ - 8^\circ$ , propias del abanico aluvial, y las pendientes con rango de  $8^\circ - 16^\circ$ , propias de las laderas denudacionales de pendiente media, característica propia también del piedemonte producido por la falla activa Salitral y su claro escarpe en el modelo de elevación digital, así como en el contraste de pendientes al tener un rango de  $16^\circ - 55^\circ$ .

Por lo tanto, se interpreta que la zona donde se encuentra el deslizamiento es frágil ante estos fenómenos de movimiento de tierra no solamente por el hecho que se encuentre en una ladera denudacional de mediana pendiente, sino también porque se encuentra en una zona tectónicamente frágil, ya que se infiere según el modelo propuesto más adelante, una falla normal, que se extiende perpendicularmente desde la falla Salitral en dirección noroeste-sureste, al igual que las fallas y los alineamientos que se observan a lo largo del cerro chirracal, con un trazo muy cercano a la divisoria de aguas de la microcuenca y que pasaría por la corona del deslizamiento El Picadero, lo anterior según el contexto tectónico local y la interacción de esfuerzos que este genera, cerca del deslizamiento. Esta falla inferida se puede observar en las figuras N° 34 y 35.



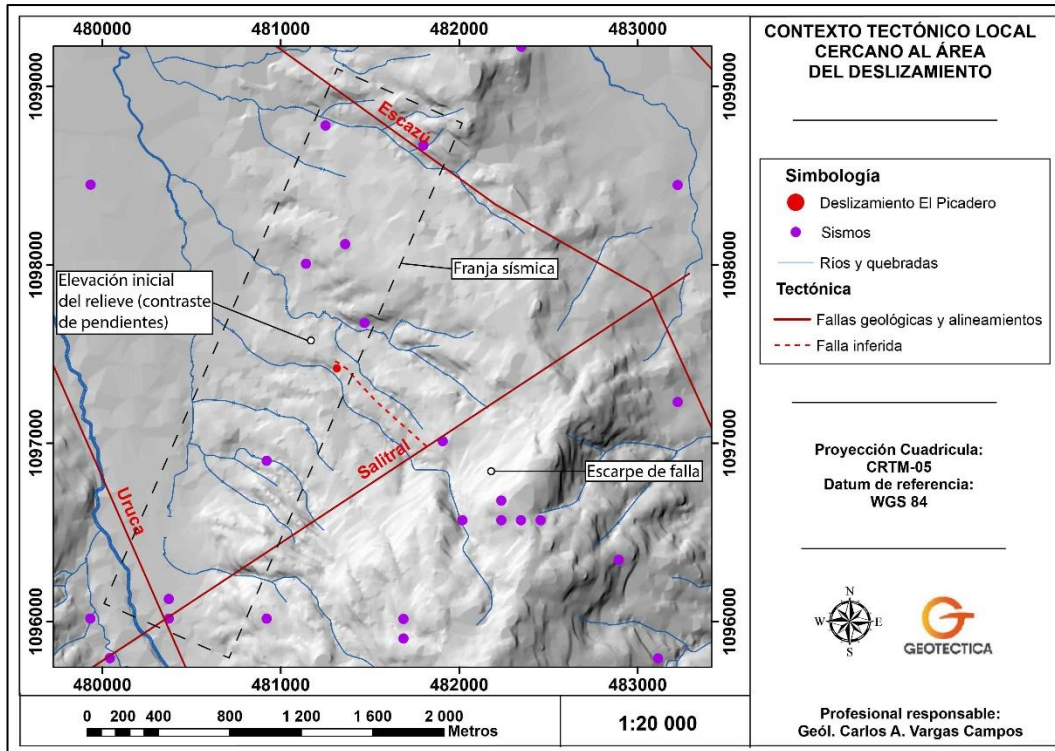


Figura N° 34. Contexto tectónico local cercano al área del deslizamiento.

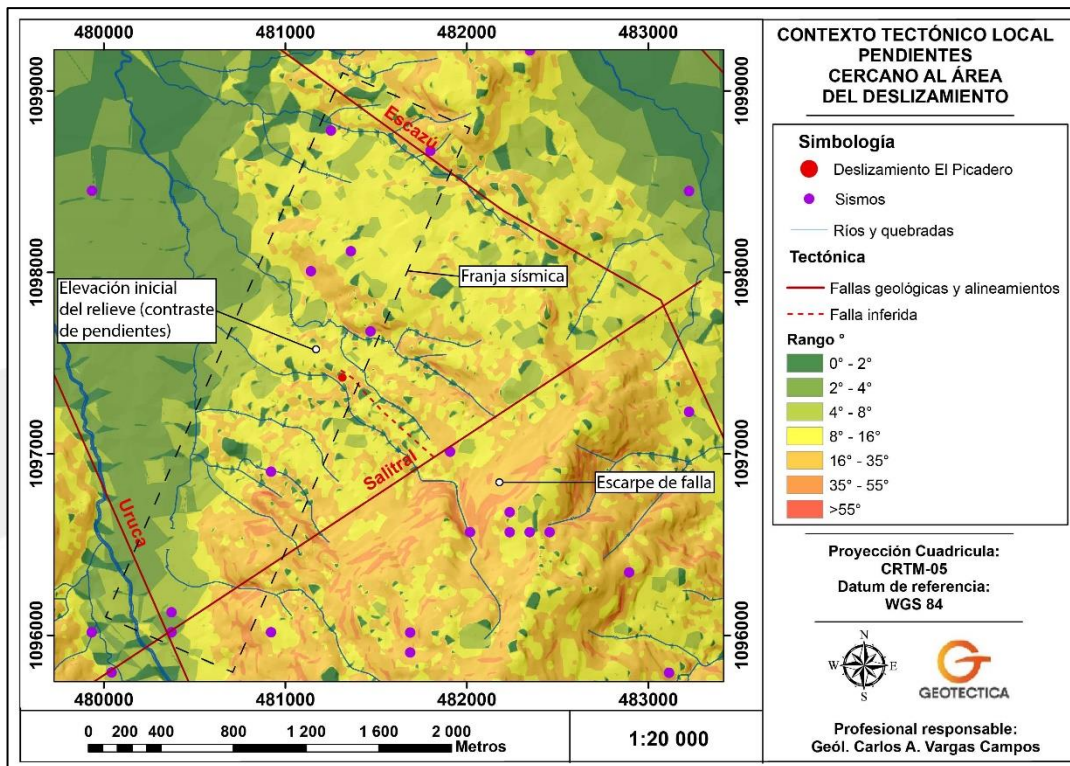


Figura N° 35. Contexto tectónico local, junto a las pendientes, cercano al área del deslizamiento.

Ahora bien, desde el punto de vista hidrogeológico a nivel regional, las capas superficiales, principalmente el coluvio por estar poco compactado y poseer una matriz limo arenosa, además de ser la litología que coincide con el material deslizado, y en menor medida las lavas de aspecto masivo, pero muy fracturadas (porosidad secundaria), influyen en ser materiales muy permeables que se comunican hidráulicamente al estar sobreyaciendo o en contacto lateral la primera litología con respecto a la segunda, propiciando la recarga en el área. Esto lo podemos corroborar localmente con las pruebas realizadas en el área del deslizamiento sobre el coluvio, las cuales mostraron un valor de conductividad hidráulica de 3,551 m/d, y un valor de porosidad de 52,81 %, ambos catalogados como muy altos, anexo N° 2. Por el contrario, la litología basal correspondiente a la formación Pacacua presenta un comportamiento poco permeable, ya que según ensayos de laboratorio (SUCS) por parte de la empresa Consultoría IGSA, Gamboa (2021), en muestras tomadas de los afloramientos 8 y 9, la roca se caracteriza por ser una arcilla de baja a mediana plasticidad (CL), anexo N° 2.

Igualmente, la anterior descripción geológica, concuerda con lo expuesto en el capítulo del contexto hidrogeológico, en el cual se indica que el acuífero de importancia en la zona es muy profundo, superior a los 95 m de profundidad, logrando captar rocas consolidadas de la formación Pacacua, siendo esta descripción comparable con la Capa D, roca sana, detectada por los estudios geofísicos realizados por Rodríguez et al. (2017) a partir de los 50 m de profundidad. Por lo tanto, se concluye que efectivamente, la presencia de la capa saturada somera en el deslizamiento, detectada igualmente por los perfiles de tomografía eléctrica realizados por los mismos autores, figura N° 26, la Capa II, suelos y coluvios sub saturados de 8 m máximos de espesor, no corresponde con el acuífero productivo, sino con un nivel de agua somero intrínsecamente relacionado al agua de lluvia que infiltra desde la capa más superficial.

Partiendo del cálculo que se realiza en un estudio hidrogeológico para el tránsito de contaminantes, en el área se obtiene que según las características del coluvio en el deslizamiento, este tiene una capacidad de infiltración de 3,551 m/d y una porosidad de 52,81 %, y tomando en cuenta que el nivel de referencia según estudios geofísicos para comparar los sitios de ruptura de la roca se encuentran entre los 8 y 10 m de profundidad, serían necesarios 1,49 días para alcanzar esta profundidad, por lo que una condición lluviosa durante algunos días, como ocurre con tormentas tropicales, sería suficiente para empezar a generarse el flujo subsuperficial en el techo de la formación Pacacua, descrito en el apartado hidrogeológico del presente estudio. A continuación, el cálculo en la zona no saturada.

**Ecuación**       $t_1 = \frac{b \cdot \theta}{k \cdot i}$

Donde:

*b*: es el espesor de la zona no saturada observado (ZNS)

*θ*: es la porosidad obtenida en los ensayos de laboratorio (*n*)

*k*: es la conductividad hidráulica de la ZNS con base en la prueba de infiltración de doble anillo realizada en el sitio del deslizamiento

*i*: gradiente hidráulico = 1 (flujo vertical)

El resultado del tiempo de tránsito vertical se presenta en el Cuadro N° 16.

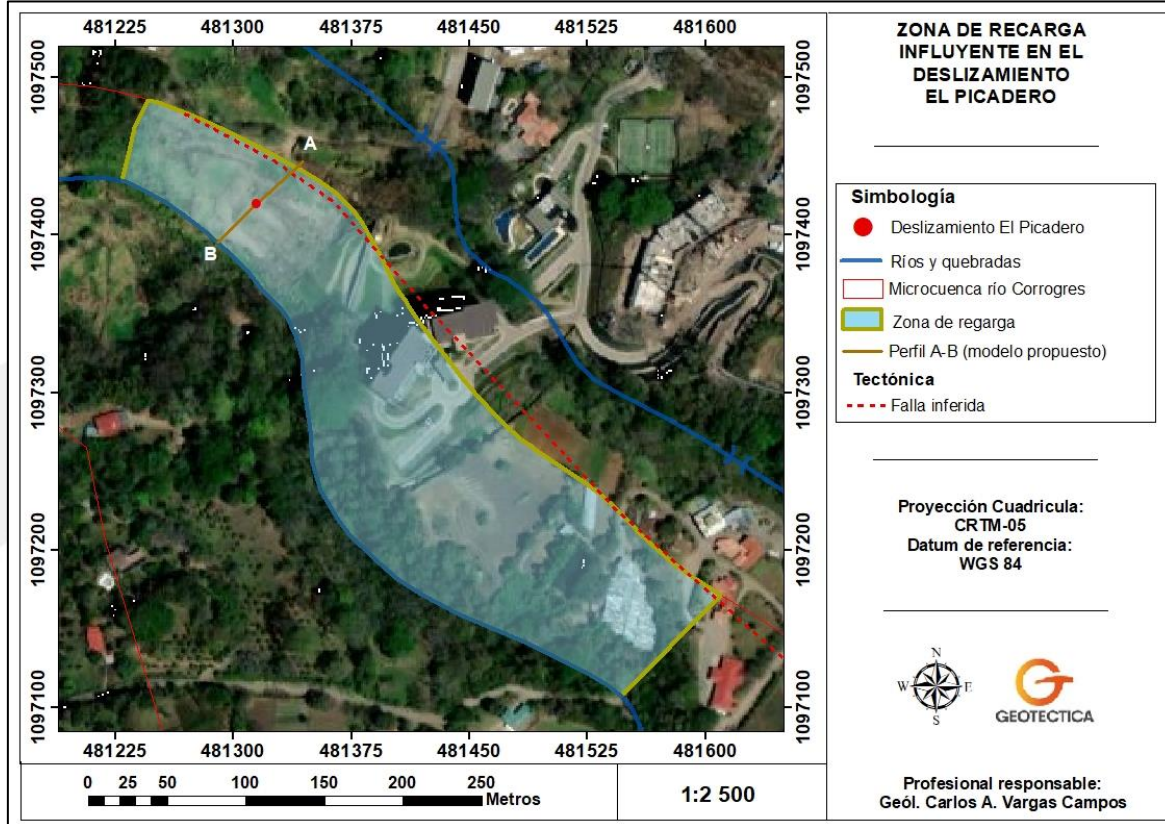
**Cuadro N° 16. Resultados de tiempos de tránsito vertical zona no saturada, fuente propia.**

Estudio	Espesor ZNS [b] (m) *	n (% porosidad decimal)	k [pruebas de doble anillo] (m/d)	t [tiempo de tránsito vertical] (días)
Deslizamiento El Picadero	10	52,81	3,551	1,49

*Nota: \*espesor observado mediante estudios geofísicos.*

Intrínsecamente relacionado con el contexto hidrogeológico, se encuentra el contexto hidrológico y la zona de recarga que ocurre entorno al deslizamiento El Picadero. Como se mencionó en el apartado hidrológico del presente estudio, el deslizamiento se encuentra muy cerca de la divisoria de aguas entre una microcuenca de una quebrada sin nombre (área delimitada de color naranja en la figura N° 12) y la microcuenca del río Corrogres (área delimitada de color rojo en la figura N° 12), aunque si es notable que la totalidad del deslizamiento se encuentra del lado de la microcuenca del río Corrogres, y al ser la cuenca tan angosta, este limita y deposita el material deslizado en el cauce del mismo, como se ha observado en el movimiento inicial y sus posteriores reactivaciones.

Por otra parte, la zona de recarga que influye en el deslizamiento, la cual se muestra en la figura N° 36, se ha delimitado por la margen derecha del río Corrogres al oeste, la divisoria de aguas al este, la falla inferida al norte y las unidades sobreyacente de Grifo alto (coluvios y lavas fracturadas) al sur, aguas arriba del condominio Solaris. Esta zona se caracteriza por un uso de suelo mixto, ya que cuenta con zonas de viviendas, suelo descubierto y moderada vegetación.



**Figura N° 36. Zona de recarga influyente en el deslizamiento El Picadero.**

El cálculo aproximado de la recarga se obtuvo utilizando la metodología del balance hídrico, esta metodología plantea que en una cuenca o en una zona arbitraria de la cuenca, es casi imposible determinar la evapotranspiración de la vegetación, debido a la gran variedad de vegetación y grado de desarrollo de las plantas existentes en una cuenca o en una zona de la misma. Por este motivo, es conveniente asumir una evapotranspiración, que se estime como promedio de la cuenca, la cual se asumirá igual a la evapotranspiración potencial (ETP) (Schosinsky, 2006). Debido a que para el cálculo de la evapotranspiración potencial existen una serie de ecuaciones que requieren datos que pocas estaciones meteorológicas tienen, se utilizara la ecuación de Blaney & Criddle (ONU, 1972).

$$ETP \left( \frac{mm}{mes} \right) = (8.10 + 0.46T) P_s$$

Donde:

*ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes).*

*T = Temperatura media mensual (°C).*

*P<sub>s</sub> = Porcentaje de horas de luz solar mensual, con respecto al año (%).*

**Cuadro N° 17: Porcentaje de horas sol mensual, respecto al año, en la latitud 10° Norte (Calvo, 1999).**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
%	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10

Los datos de temperatura media mensual se tomaron de la estación meteorológica con más registro en el tiempo y cercana al sitio de estudio, la estación de Belén, anexo N° 3. A continuación, el cálculo de la evapotranspiración mensual.

**Cuadro N° 18: Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual (ETP), fuente propia.**

N° dato	Mes	Temperatura C°	Ps (%)	ETP (mm/mes)
1	Enero	23.3	8.13	152.99
2	Febrero	23.7	7.47	89.54
3	Marzo	24.3	8.45	102.55
4	Abril	25	8.37	104.36
5	Mayo	24.3	8.81	106.58
6	Junio	24	8.6	103.04
7	Julio	24	8.86	105.91
8	Agosto	23.8	8.71	103.46
9	Septiembre	23.7	8.25	98.04
10	Octubre	23.1	8.34	96.72
11	Noviembre	23	7.91	91.79
12	Diciembre	23.21	8.1	94.58

Para el cálculo del balance hídrico se utilizó el registro de datos de lluvia, de 1986 a 2014, de la estación meteorológica Santa Ana, Guachipelín, anexo N° 3, por su cercanía al sitio en estudio y su amplio registro de datos, además se corroboraron los siguientes valores:

El valor de capacidad de infiltración superficial, según la prueba de permeabilidad tipo doble anillo realizada en el coluvio, es de 3,551 m/día (3551 mm/día).

- El valor por pendiente ( $K_p$ ) es de 0.06, al ser el terreno de fuerte pendiente (>7%).
- El valor por cobertura vegetal ( $K_v$ ) es de 0.21, al ser la cobertura con zacate mayor al 75%.
- La profundidad de raíces (PR), es de 0.3 m.
- El valor promedio del valor de capacidad de campo es de 41.33 %, mientras que el valor promedio de punto de marchitez es de 38 %.
- La densidad aparente del suelo en el área de estudio tiene un valor promedio de 1.093 g/ml.

Según el cálculo realizado, el área de recarga entorno al deslizamiento El Picadero se clasifica como de recarga moderada, ya que la recarga potencial de 271,81 mm representa el 24,45 % de 1111,60 mm correspondientes a la precipitación anual. En el siguiente cuadro, se presenta el cálculo realizado para el área de estudio.

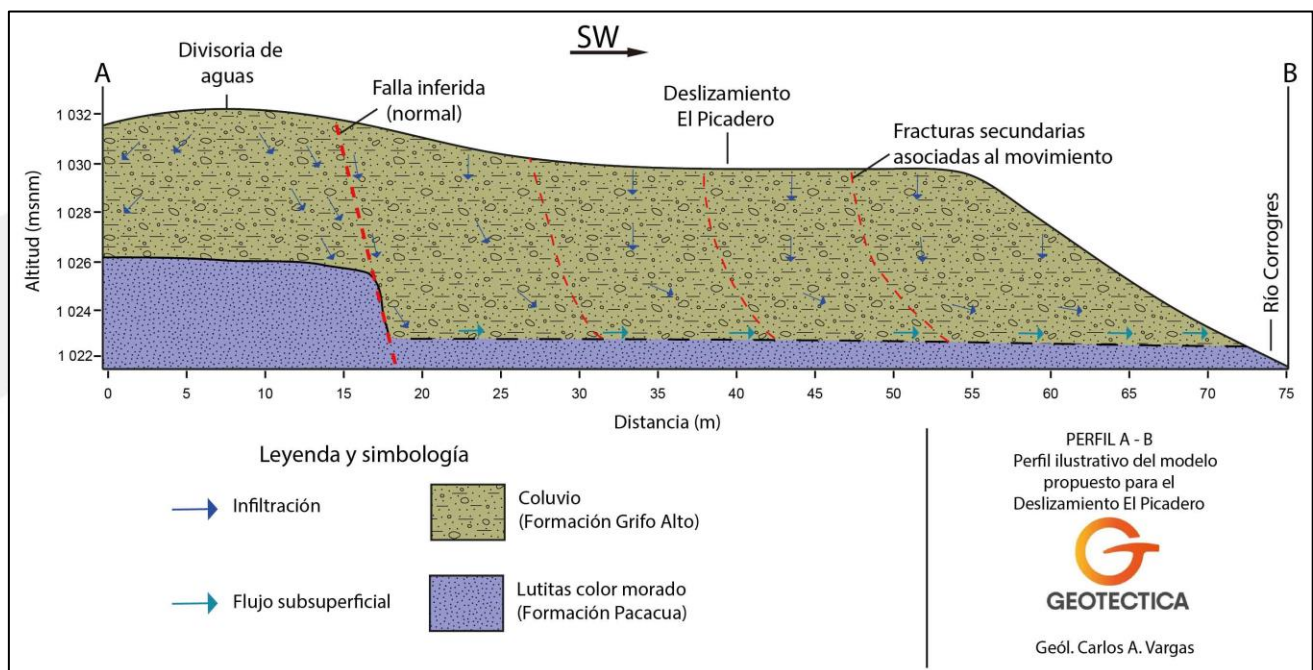
**Cuadro N° 19: Cálculo del Balance hídrico para la zona de estudio, fuente propia.**

BALANCE HIDRICO DE SUELOS													
Gunther Schosinsky													
<b>Zona de Estudio:</b>	Deslizamiento El Picadero, Santa Ana												
<b>Fecha:</b>	#####												
<b>Textura de Suelo:</b>	Coluvio												
Simbología													
fc: Capacidad de Infiltración.							P: Precipitación Media Mensual.						
I: Infiltración.							Pi: Precipitación que infiltra.						
CC: Capacidad de Campo.							ESC: Escorrentía Superficial						
PM: Punto de Marchitez.							ETP: Evapotranspiración Potencial.						
PR: Profundidad de Raíces.							ETR: Evapotranspiración Real.						
(CC-PM): Rango de Agua Disponible.							HSi: Humedad de Suelo Inicial.						
DS: Densidad de Suelo.							HD: Humedad Disponible						
C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR							HSf: Humedad de Suelo Final.						
C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR							DCC: Déficit de Capacidad de Campo.						
Kp: Factor por pendiente ( ver léame)							Rp: Recarga Potencial						
Kv: Factor por vegetación ( ver léame)							NR: Necesidad de Riego.						
Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración							Ret: Retención de Iluvia						
fc [mm/d]	3551.00												
Kp [0.01%]	0.06												
Kv [0.01%]	0.21												
Kfc [0.01%]	1						por peso						
I [0.01%] =	1						(%)						
DS (g/cm <sup>3</sup> ):	1.09						(mm)						
PR (mm)	300.00						CC 41.33 135.52						
HSi (mm)	135.52						PM 38.00 124.60						
Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12?	11						(CC-PM) 3.33 10.92						
Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.1	0.12												
<b>Concepto</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
P (mm)	2.90	9.20	12.20	59.80	147.10	143.80	101.70	139.80	188.50	213.30	76.00	17.30	1111.60
Ret [mm]	2.90	5.00	5.00	7.18	17.65	17.26	12.20	16.78	22.62	25.60	9.12	5.00	146.30
Pi (mm)	0.00	4.20	7.20	52.62	129.45	126.54	89.50	123.02	165.88	187.70	66.88	12.30	965.30
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	152.99	89.54	102.55	104.36	106.58	103.04	105.91	103.46	98.04	96.72	91.79	94.58	1249.56
HSi (mm)	124.60	124.60	124.60	124.60	125.05	135.52	135.52	135.52	135.52	135.52	135.52	135.52	
C1	0.00	0.38	0.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	4.20	7.20	52.62	129.89	137.46	100.42	133.94	176.80	198.62	77.80	23.22	
ETR (mm)	0.00	4.20	7.20	52.18	106.58	103.04	52.96	103.46	98.04	96.72	45.90	23.22	693.49
HSf (mm)	124.60	124.60	124.60	125.05	135.52	135.52	135.52	135.52	135.52	135.52	135.52	124.60	
DCC (mm)	10.92	10.92	10.92	10.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.92	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	12.39	23.50	36.54	19.56	67.84	90.98	20.98	0.00	271.81
NR (mm)	163.91	96.26	106.27	62.66	0.00	0.00	52.96	0.00	0.00	0.00	45.90	82.28	610.22

Por lo tanto, tomando en cuenta las diferentes aristas anteriormente descritas con respecto a la caracterización del deslizamiento El Picadero, el modelo explicativo que se propone en el presente informe como causante del movimiento inicial y sus posteriores reactivaciones, plantea que la infiltración del agua de lluvia desde la divisoria de aguas se ve favorecida según las características ambientales e hidrometeorológicas locales, por una recarga catalogada como moderada entorno al área del deslizamiento, una permeabilidad y porosidad muy alta en los coluvios, litología superficial aflorante en el área, que a su vez genera un tránsito del agua infiltrada muy corto, 1,49 días al contacto con el techo de la formación Pacacua, siendo esta la zona de ruptura del material deslizado por su comportamiento impermeable.

Esta infiltración además se ve favorecida por el gradiente de la microcuenca, ya que las unidades que afloran aguas arriba del deslizamiento, figura N° 36, son coluvios y lavas fracturadas de la formación Grifo Alto, las cuales se catalogan como muy permeables debido a su porosidad intrínseca y secundaria respectivamente, lo que ocasiona un aporte de agua infiltrada al área del deslizamiento desde estas unidades que sobreyacen y están en contacto lateral con los coluvios presentes superficialmente en el área del deslizamiento. Sumado al hecho de que el movimiento del agua infiltrada desde la divisoria de aguas se ve mayormente favorecido por la porosidad secundaria que propicia el plano inclinado hacia el suroeste de la falla inferida de movimiento normal, la cual permite un contacto hidráulico más rápido y directo de esta agua infiltrada con el techo de la formación Pacacua, la cual, por su comportamiento impermeable, se crea un flujo superficial, tal y como lo muestra la figura N° 37.

Es importante recalcar que, al existir este modelo hidrogeológico en el área, eventos de precipitación máxima con intensidades de lluvia superiores al promedio normal en la zona, debido a tormentas tropicales u otros fenómenos meteorológicos, serían un mecanismo disparador. Por otra parte, la falla inferida propicia la inestabilidad como mecanismo disparador igualmente, ya que como ha ocurrido en reactivaciones pasadas, sismos corticales previos de baja magnitud en fallas aledañas influenciaron el movimiento principal. Por lo tanto, cada uno o en conjunto serían mecanismos disparadores, tal y como ocurrió en la reactivación del deslizamiento en el 2017, en donde actuaron en conjunto.

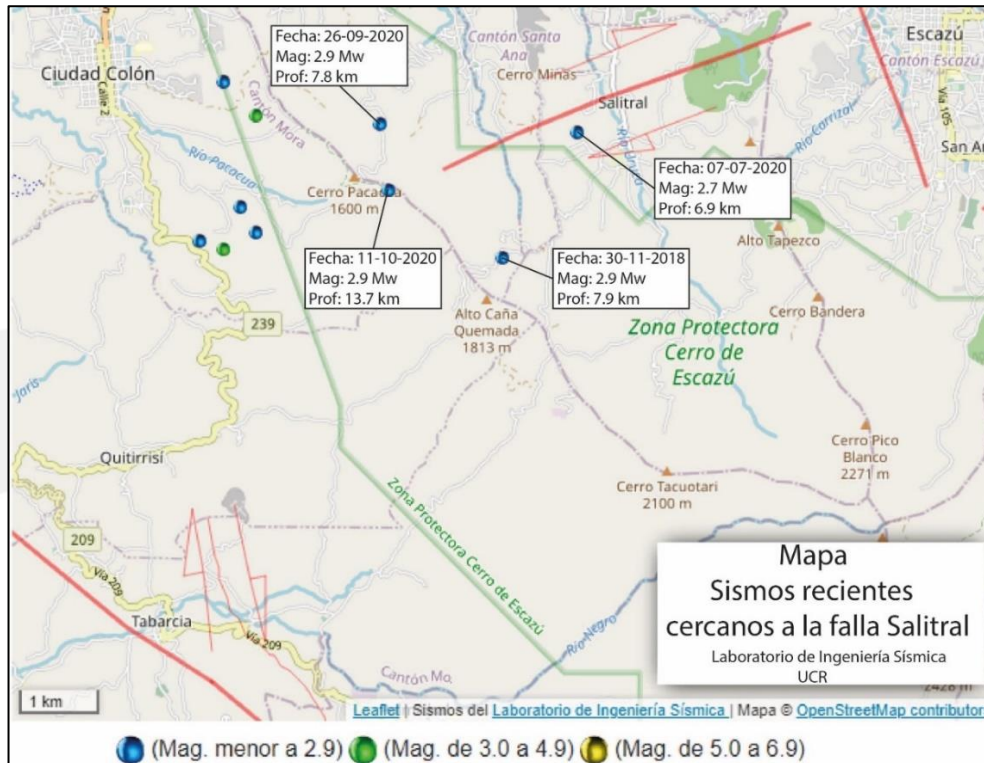


**Figura N° 37. Perfil ilustrativo del modelo propuesto.**

Por consiguiente, según la anterior caracterización de las posibles causantes del deslizamiento El Picadero, se reafirma lo expuesto en el apartado de hidrogeología del presente informe, en el sentido que las características del área contribuyen a la creación de un flujo de agua subsuperficial en el techo de la capa correspondiente a la formación Pacacua, provocando que este se convierta en un “tobogán” por donde se desliza el material superior, ya que al infiltrar el agua de lluvia al suelo inicialmente se forma un frente húmedo que avanza en sentido vertical, saturando los suelos a su paso y eliminando la succión o cohesión aparente al no estar saturados. El frente húmedo avanza dependiendo de la porosidad, permeabilidad y tiempo de lluvia, de modo que al chocar verticalmente con un medio poco permeable (roca), que en este caso sería la Capa III, descrita por Rodríguez et al. (2017) como coluvios compactos y arcillosos (zona de saturación), transición a roca meteorizada de la formación Pacacua; obliga al agua a concentrarse sobre esta capa y comenzar a fluir (flujo subsuperficial) de acuerdo a la pendiente. Provocando una fuerza hidráulica de conexión del flujo en los poros que transforma la capa en un medio móvil sobre el que fluye toda la masa, según lo muestra la figura N° 37.

- **Causas de la reactivación del deslizamiento El Picadero en el año 2020**

En relación a lo anteriormente descrito, en el transcurso del año 2020, ocurrieron 3 sismos cercanos a la falla Salitral, en julio, septiembre y octubre respectivamente. Estos se pueden observar en la figura N° 38 y en el cuadro N° 2. Estos sismos se interpretan intraplaca, ya que poseen magnitudes de 2.7 Mw y 2.9 Mw respectivamente y las profundidades fueron de 6.9 km, 7.8 km y 13.7 km el más profundo. Lo que demuestra que localmente el contexto tectónico se encuentra activo, específicamente en los alrededores de la falla Salitral, y este es de importancia debido a la cercanía de esta falla con el área deslizada.



**Figura N° 38. Mapa de sismos recientes cercanos a la falla Salitral, tomado del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2021).**



Por otra parte, a finales de septiembre del año 2020 se observaron algunos rasgos de actividad dentro del material deslizado, después del sismo de baja magnitud (2.9 Mw) registrado ese mes, el 26 de septiembre (Figura N° 38), y de algunas lluvias. Sin embargo, el mayor movimiento se registró después de las lluvias del día 7 de octubre, siendo el día sábado 10 cuando se registró el inicio de fuertes agrietamientos y algunos desplazamientos. Cabe rescatar que el día siguiente 11 de octubre ocurrió nuevamente un sismo de baja magnitud (2.9 Mw igualmente).

Posteriormente, debido a las lluvias más fuertes por la tormenta ETA que comenzaron el día 2 de noviembre, superando el día 5 un acumulado a los 50 mm (Cuadro N° 20), momento en el que se empezaron a ver los desplazamientos más fuertes en los sitios de control 1, 3 y 5; mientras que para ese mismo momento el control 6, asociado a una grieta antigua, por el contrario, comenzó a cerrarse. De igual forma se pudo observar, debido al contexto lluvioso imperante durante esos días, que los niveles freáticos incrementaron (Cuadro N° 20) dos días antes de verse los desplazamientos más fuertes. En las fotografías N° 22 y 23, se puede ver la evolución de una grieta desde el 12 de octubre al 5 de noviembre del 2020.



**Fotografía N° 22. Grieta observada el 12 de octubre del año 2020. Fuente: Propia.**



**Fotografía N° 23. Misma grieta observada en la fotografía anterior, el 5 de noviembre del presente año 2020. Fuente: Propia.**

Por lo tanto, a raíz de lo mencionado anteriormente en los apartados de reseña histórica y el contexto del deslizamiento El Picadero, las lluvias extraordinarias y los sismos intraplaca de baja magnitud vuelven a ser los mecanismos disparadores del movimiento en masa, de forma similar a la reactivación del deslizamiento el 16 de septiembre del 2017, para el cual Rodríguez et al. (2017) en su informe concluyen que este se debió a causas estrictamente naturales, asociadas a dos factores muy negativos en la estabilidad de laderas como son los sismos y la saturación de los suelos, y probablemente al inicio del mismo en noviembre del 2014, durante la época lluviosa. Se interpreta a manera de conclusión, que el deslizamiento El Picadero es cíclico en relación a su movimiento en cuanto ocurran estos factores naturales.

Lo anterior lo podemos observar de igual forma en la reactivación del deslizamiento en el año 2017, para la cual el informe de la CNE por parte del Geól. Blas Sánchez, menciona que varios sismos se presentaron en zonas muy cercanas al sitio de interés entre el 3 y 11 de setiembre, y en cuanto al factor lluvia, en el apartado del contexto hidrológico del presente informe, se describe como el mes de setiembre e inicios de octubre del 2017 presento intensas lluvias, con volúmenes de descarga excesivos con respecto a lo habitual para la época, debido a las tormentas y huracanes, Harvey, Irma, José, Katia, Lee, María y Nate (Cuadro N° 7).

### Medidas tomadas en el sitio

A partir del sábado 10 de octubre del presente año 2020, día en que se registró el inicio de fuertes agrietamientos y algunos desplazamientos, se comenzaron a llevar controles de desplazamientos en las grietas por medio de varillas, como sistema de control, comenzando a detectar algunos desplazamientos hasta el día 15 de octubre.

A partir del 1 de noviembre se instaló un sistema de monitoreo con control milimétrico de desplazamientos, con seis estaciones de control, una en la corona lateral del deslizamiento y otras cinco en grietas secundarias dentro de la masa deslizante (fotografía N° 24). Además, debido a que para esa fecha ya se tenía conocimiento del impacto en el país de la tormenta ETA, que se transformaría en Huracán antes de llegar a costas centroamericanas, y que por lo tanto produciría precipitaciones que podrían acelerar el movimiento del deslizamiento, se comenzó a llevar control de la precipitación, en una estación pluviométrica colocada en las instalaciones de EMAI en Santa Ana centro, y de los niveles freáticos en dos piezómetros construidos por el residencial Solaris en los linderos de la propiedad dentro de la masa deslizante (fotografía N° 25).

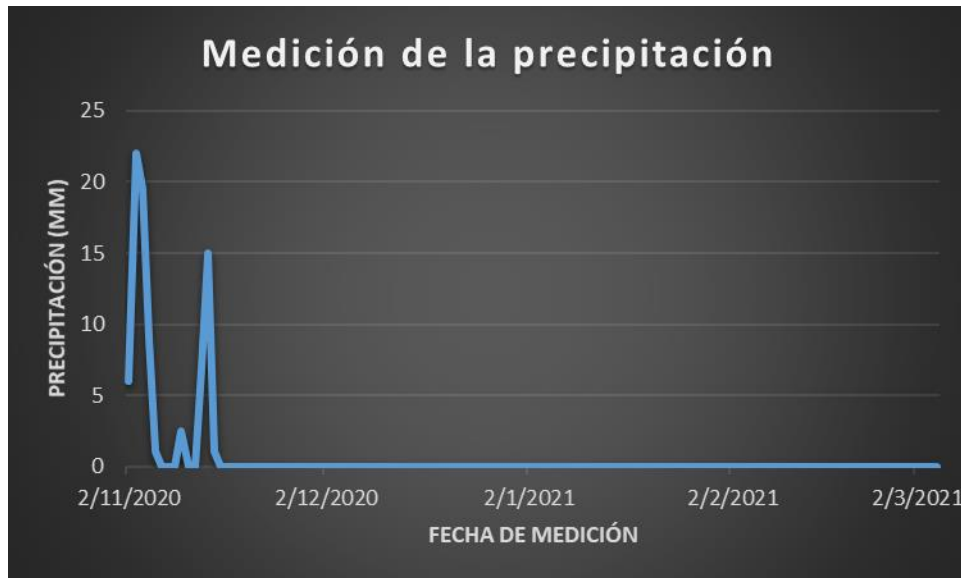


**Fotografía N° 24. Puesto de control N°3, dentro del deslizamiento El Picadero. Fuente: Propia.**



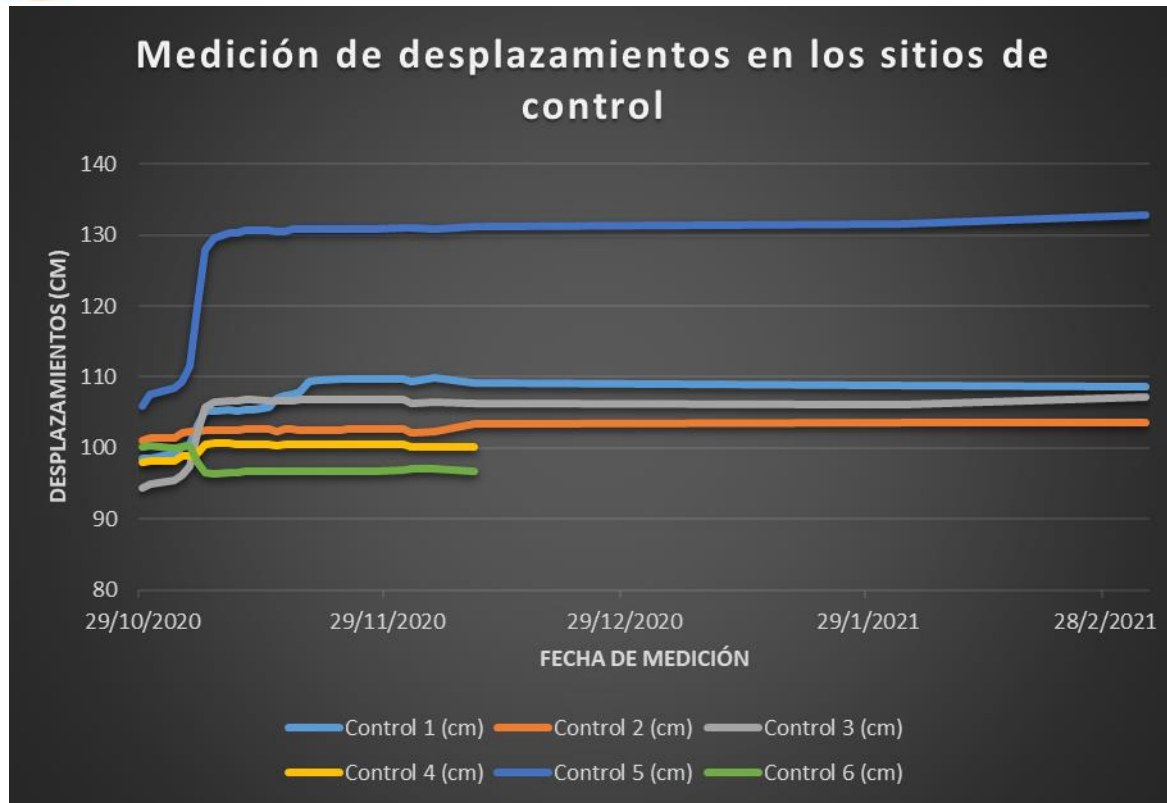
**Fotografía N° 25. Piezómetro 1, dentro del deslizamiento El Picadero. Fuente: Propia.**

Los resultados demuestran que las lluvias más fuertes por la tormenta ETA comenzaron el día 2 de noviembre y se extendieron hasta el 5 de noviembre, registrando valores de 6, 22, 19,5 y 9 mm, acumulando durante estos 4 días 50 mm (Cuadro N° 20).



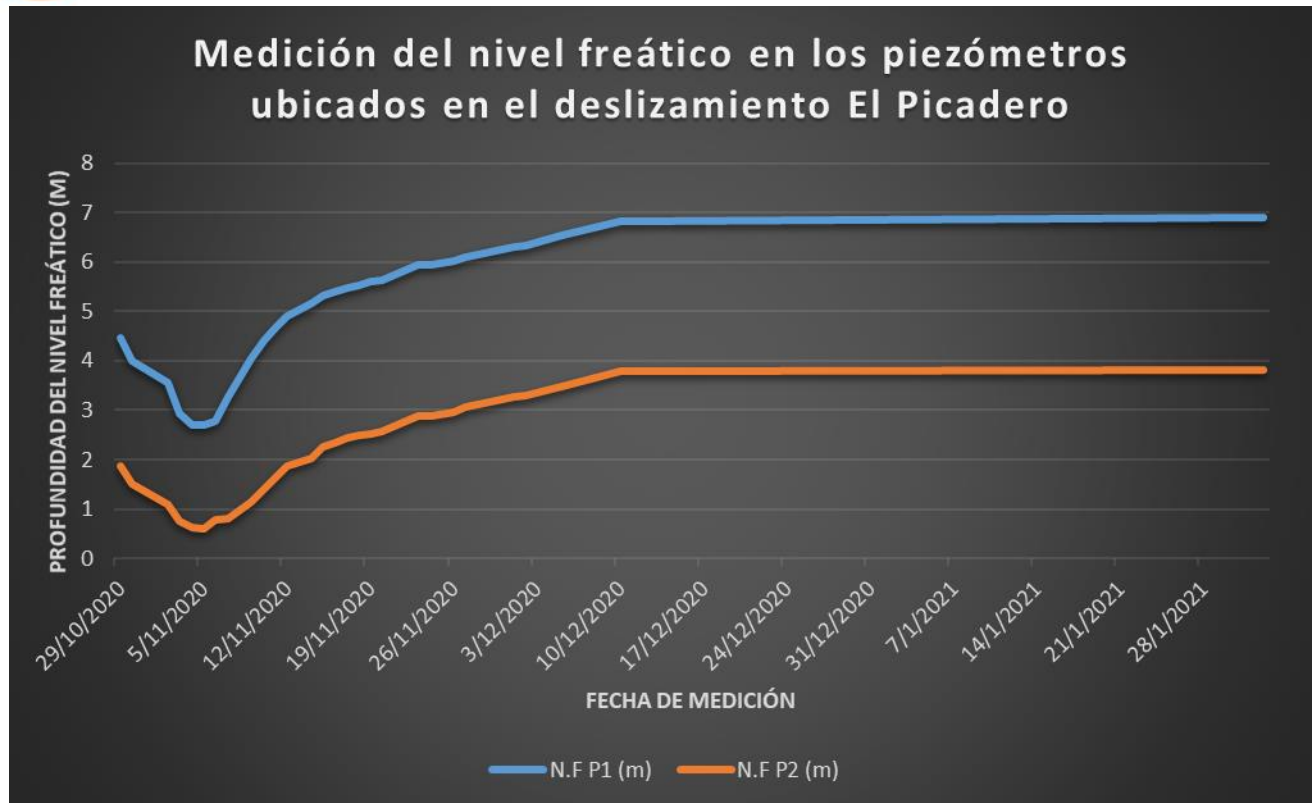
**Gráfico N° 3. Medición de la precipitación durante el mes de noviembre del 2020, fuente propia.**

Específicamente, el día 5 de noviembre se empezaron a ver los desplazamientos más fuertes en los sitios de control 1, 3 y 5. El control 1 marco desplazamiento al cambiar de 100,6 cm a 103,2 cm, lo cual siguió incrementando hasta el 20 de noviembre con un valor de 109,6 cm, el control 3 cambio de 97,5 cm a 102,1 cm, e igualmente continuo incrementando hasta el valor de 106,8 cm y el control 5 marco una gran diferencia al pasar de 111,5 cm a 120 cm y fue el que tuvo mayor incremento hasta llegar a una valor de 130,8 cm. Por el contrario, para ese mismo momento el control 6 empezó a cerrarse, el valor de distancia inicial fue de 100,2 cm y terminó con un valor de 96,7 cm, presentándose el cambio más importante y manteniendo una tendencia en el valor igualmente a partir del 5 de noviembre, asociando el sitio de control con una grieta antigua y a un proceso de contracción dentro del deslizamiento.



**Gráfico N° 4. Medición de desplazamientos en los sitios de control, fuente propia.**

Con respecto al control de los niveles freáticos en los piezómetros, en ambos se pudo observar un incremento en los mismos, en relación directa con el incremento en la precipitación, dos días previos a verse los desplazamientos más fuertes descritos anteriormente. El piezómetro 1 cambio el 3 de noviembre de una profundidad de 3,55 m a 2,94 m, en los primeros dos días de lluvia, de forma que para el 7 de noviembre aún se encontraba más somero que la medición antes de las lluvias, con una profundidad de 3,26 m. Con respecto al piezómetro 2, este en la misma fecha que el anterior, cambio de una profundidad de 1,1 m a 0,76 m y continuo somero hasta una profundidad de 0,8 m, igualmente para el 7 de noviembre. Esto se puede observar en la disminución de la profundidad del nivel freático en el gráfico N° 5, precisamente entre el 3 y 7 de noviembre.



**Gráfico N° 5. Medición del nivel freático en los piezómetros ubicados en el deslizamiento El Picadero, fuente propia.**

Con los datos anteriores, podemos concluir que el aumento en la precipitación es directamente proporcional al aumento en el nivel freático dentro de la masa deslizante, y como esta relación ocurre en pocos días, aproximadamente 4 días según los datos observados. Lo anterior se puede deducir según lo descrito en el apartado, contexto del deslizamiento El Picadero, en donde se describió que partiendo del aporte de agua infiltrada durante periodos de lluvia desde las unidades de la formación Grifo Alto aguas arriba de la microcuenca, coluvios y lavas fracturadas, y de las características del coluvio aflorante en el deslizamiento, capacidad de infiltración de 3,551 m/d y una porosidad de 52,81 %, con las que serían necesarios solamente 1,49 días, un tiempo muy corto, para alcanzar el nivel de referencia, 8 a 10 m de profundidad, que, de acuerdo a estudios geofísicos, es la profundidad de ruptura del deslizamiento y es donde se genera el flujo subsuperficial. Por lo tanto, la precipitación, las características físicas de la microcuenca y de la litología aflorante, así como la variación del nivel freático, en el área del deslizamiento, de forma concatenada; propician el movimiento del deslizamiento en un periodo de tiempo muy corto (días), evidenciado en los desplazamientos observados en los sitios de control, específicamente en los sitios 1, 3 y 5 entre el 5 y 10 de noviembre del 2020, tal y como lo muestra el cuadro N° 20.

**Cuadro N° 20. Control de valores, desplazamientos, precipitación y niveles freáticos, en el deslizamiento el Picadero. Fuente: Propia (2021).**

Tecnico	Fecha	Control 1 (cm)	Control 2 (cm)	Control 3 (cm)	Control 4 (cm)	Control 5 (cm)	Control 6 (cm)	Prec. (mm)	N.F P1 (m)	N.F P2 (m)
C.Vargas	29/10/2020	98.5	101	94.3	97.9	105.9	100.2	-	4.47	1.86
M. Rodrig.	30/10/2020	98.6	101.4	94.9	98.1	107.5	100.3	-	4	1.51
M. Rodrig.	2/11/2020	99.3	101.5	95.4	98.2	108.5	100	6	3.55	1.1
C.Vargas	3/11/2020	100.1	102.2	96.2	98.9	109.3	100.2	22	2.94	0.76
M. Rodrig.	4/11/2020	100.6	102.3	97.5	98.9	111.5	100.3	19.5	2.7	0.63
C.Vargas	5/11/2020	103.2	102.3	102.1	99.3	120	98	9	2.69	0.61
C.Vargas	6/11/2020	105.2	102.5	105.8	100.5	128	96.6	1	2.79	0.77
C.Vargas	7/11/2020	105.2	102.5	106.4	100.7	129.6	96.4	0	3.26	0.8
C.Vargas	9/11/2020	105.4	102.5	106.7	100.7	130.3	96.5	0	4.04	1.15
C.Vargas	10/11/2020	105.2	102.5	106.7	100.5	130.3	96.5	2.5	4.41	1.41
C.Vargas	11/11/2020	105.4	102.6	106.8	100.6	130.6	96.7	0	4.68	1.65
C.Vargas	12/11/2020	105.4	102.7	106.8	100.6	130.7	96.7	0	4.9	1.86
	13/11/2020							7		
C.Vargas	14/11/2020	105.7	102.6	106.7	100.5	130.6	96.7	15	5.17	2.03
C.Vargas	15/11/2020	107	102.4	106.7	100.4	130.5	96.7	1	5.31	2.26
C.Vargas	16/11/2020	107.3	102.7	106.7	100.5	130.5	96.7	0	5.39	2.33
C.Vargas	17/11/2020	107.6	102.7	106.7	100.5	130.8	96.7	0	5.48	2.44
C.Vargas	18/11/2020	108	102.5	106.8	100.5	130.8	96.7	0	5.52	2.48
C.Vargas	19/11/2020	109.3	102.5	106.8	100.5	130.8	96.7	0	5.6	2.53
C.Vargas	20/11/2020	109.6	102.5	106.8	100.5	130.8	96.7	0	5.63	2.58
C.Vargas	23/11/2020	109.7	102.5	106.8	100.5	130.9	96.7	0	5.93	2.88
C.Vargas	24/11/2020	109.8	102.6	106.8	100.5	130.9	96.7	0	5.93	2.88
C.Vargas	26/11/2020	109.8	102.6	106.8	100.5	130.9	96.7	0	6.02	2.97
C.Vargas	27/11/2020	109.8	102.6	106.8	100.5	130.9	96.7	0	6.1	3.06
C.Vargas	1/12/2020	109.8	102.6	106.8	100.5	131.1	96.9	0	6.3	3.26
C.Vargas	2/12/2020	109.4	102.2	106.2	100.2	131.1	97	0	6.33	3.29
C.Vargas	5/12/2020	109.9	102.4	106.4	100.1	130.9	97	0	6.53	3.49
C.Vargas	10/12/2020	109.1	103.4	106.2	100.1	131.2	96.7	0	6.83	3.78
C.Vargas	2/2/2021	108.9	103.5	106.1	Dañado	131.5	Perdido	0	6.91	3.82
C.Vargas	5/3/2021	108.7	103.5	107.2	Dañado	132.8	Perdido	0	-	-

- **Perfiles de refracción sísmica en el Deslizamiento El Picadero**

En el siguiente cuadro se muestra la posición de los geófonos en los tres perfiles realizados en el deslizamiento.

**Cuadro N° 21. Geometría de los geófonos en los tres perfiles realizados, fuente propia.**

	Posición X (m)	Posición Z (m)
1	0	0
2	5	
3	10	
4	15	
5	20	
6	25	
7	30	
8	35	
9	40	
10	45	
11	50	

**Perfil de refracción sísmica 1**

Datos de impactos

Impacto 1

Posición fuente x = -5 m

Posición fuente z = 0 m

**Cuadro N° 22. Datos de impacto 1, fuente propia.**

Posición geófono (m)	Tiempo (ms)
0	23,6157
5	37,3280
10	47,2314
15	60,9437
20	74,6560
25	79,9886
30	92,1773
35	95,9863
40	102,8425
45	105,8897
50	107,4132



Impacto 2  
Posición fuente x = 23 m  
Posición fuente z = 0 m

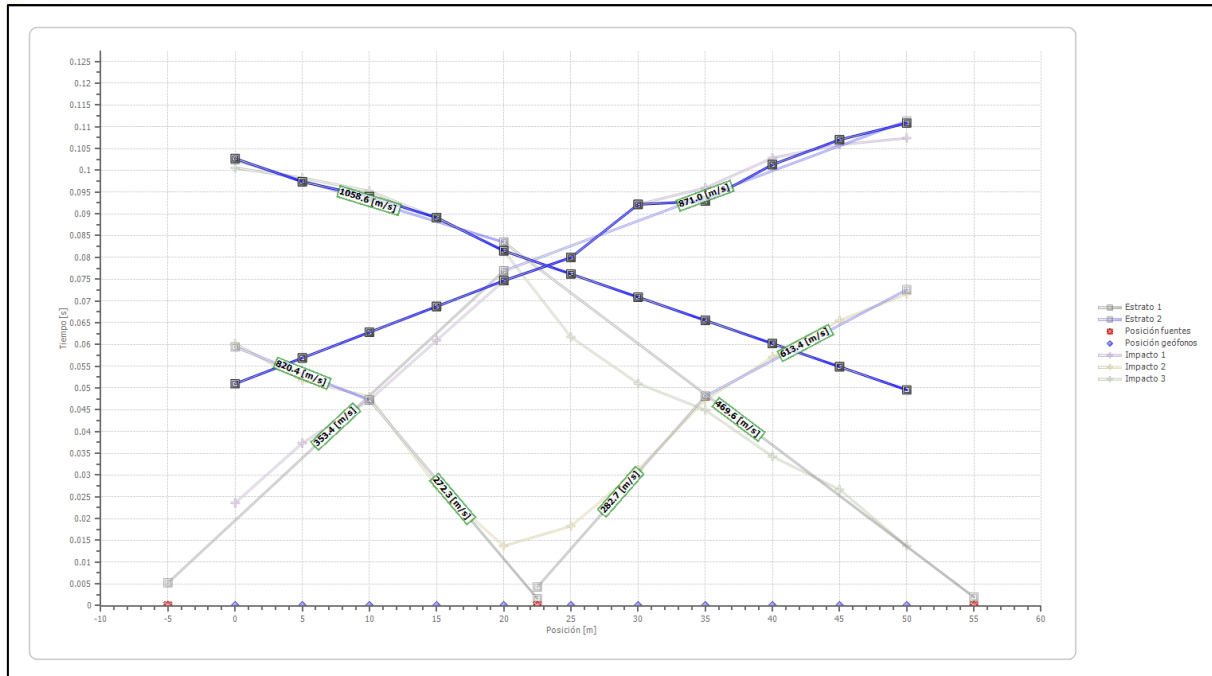
**Cuadro N° 23. Datos de impacto 2, fuente propia.**

Posición geófono (m)	Tiempo (ms)
0	60,1819
5	51,8021
10	47,9932
15	27,4247
20	13,7123
25	18,2831
30	31,2336
35	47,2314
40	57,1347
45	65,5145
50	71,6088

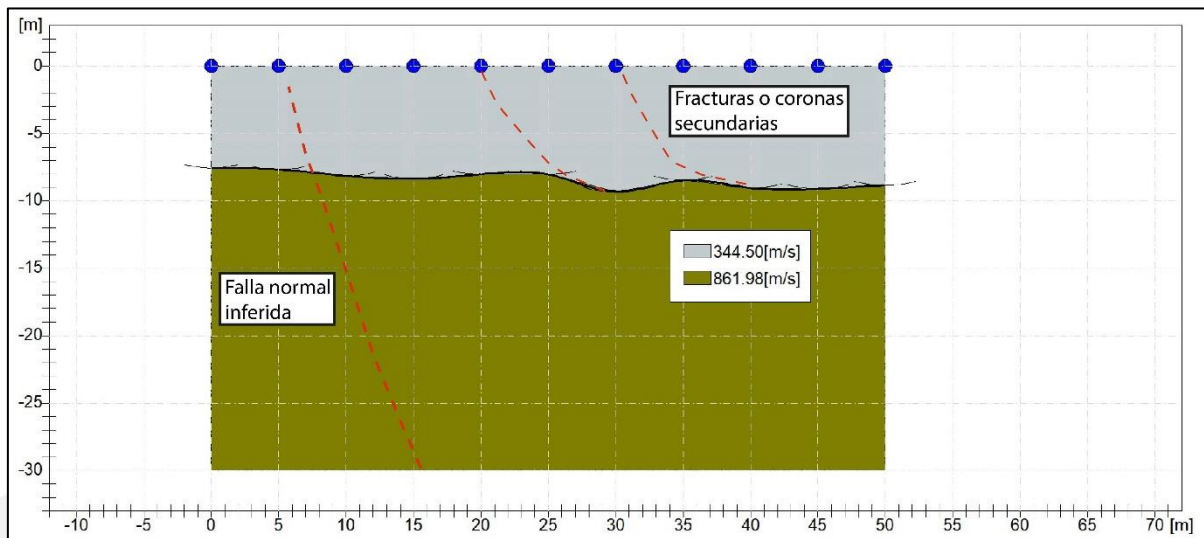
Impacto 3  
Posición fuente x = 55 m  
Posición fuente z = 0 m

**Cuadro N° 24. Datos de impacto 3, fuente propia.**

Posición geófono (m)	Tiempo (ms)
0	100,5571
5	98,2717
10	95,2245
15	89,1301
20	81,5122
25	61,7055
30	51,0403
35	44,9460
40	34,2808
45	26,6629
50	13,7123



**Figura N° 39. Dromocronas elaboradas para el perfil 1, fuente propia.**



**Figura N° 40. Interpretación del perfil 1 con el método G.R.M., fuente propia.**

**Cuadro N° 25. Otros parámetros geotécnicos, fuente propia.**

	<b>Estrato 1</b>	<b>Estrato 2</b>
<b>Coefficiente Poisson</b>	0,35	0,35
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1800	1800
<b>Vp (m/s)</b>	344,50	861,98
<b>Vs (m/s)</b>	165,49	414,08
<b>Módulo de deformación al corte G0 (MPa)</b>	49,30	308,64
<b>Módulo edométrico Ed (MPa)</b>	213,63	1337,43
<b>Módulo de compresibilidad volumétrica M0 (MPa)</b>	164,33	1028,79
<b>Módulo de Young Ey(MPa)</b>	133,11	833,32

### Perfil de refracción sísmica 2

Datos de impactos

Impacto 1

Posición fuente x = -5 m

Posición fuente z = 0 m

**Cuadro N° 26. Datos de impacto 1, fuente propia.**

<b>Posición geófono (m)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
0	29,7100
5	46,4696
10	57,8965
15	68,5616
20	73,1324
25	84,5594
30	89,8919
35	93,7009
40	98,2717
45	103,6043
50	108,9368

Impacto 2  
Posición fuente x = 23 m  
Posición fuente z = 0 m

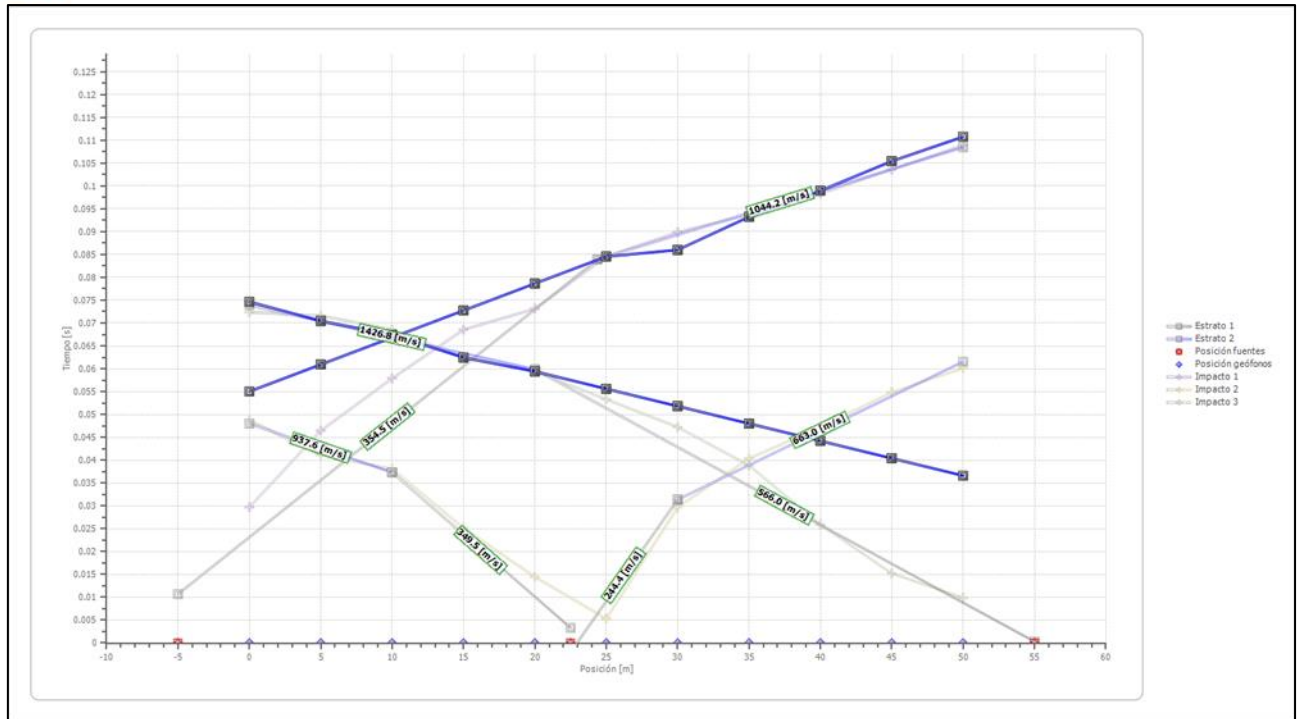
**Cuadro N° 27. Datos de impacto 2, fuente propia.**

Posición geófono (m)	Tiempo (ms)
0	48,7549
5	41,1370
10	38,0898
15	25,1393
20	14,4741
25	5,3326
30	29,7100
35	40,3752
40	47,2314
45	54,8493
50	60,1819

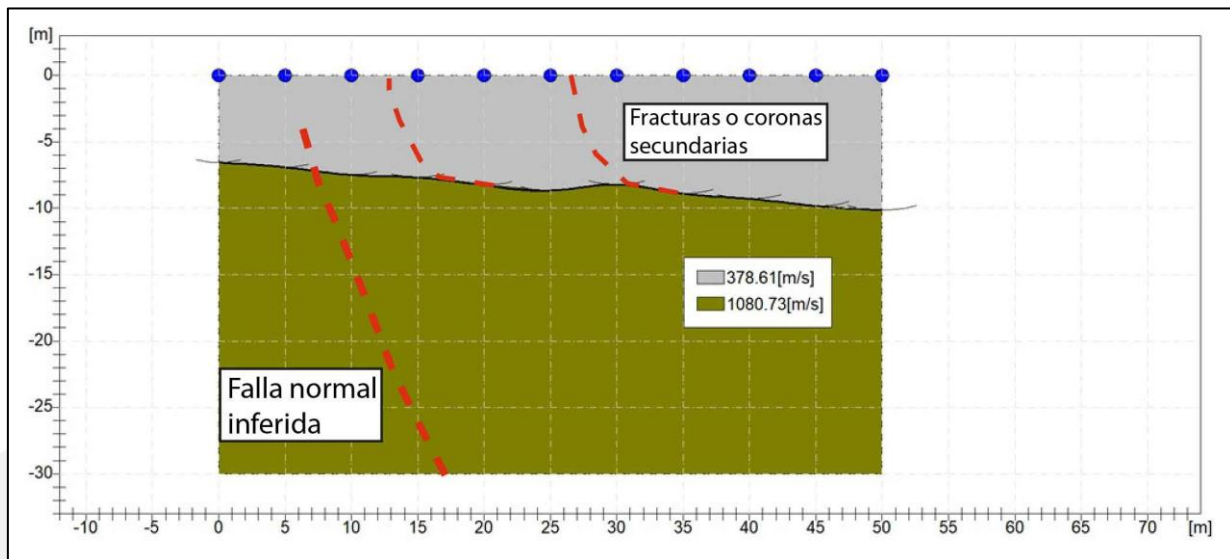
Impacto 3  
Posición fuente x = 55 m  
Posición fuente z = 0 m

**Cuadro N° 28. Datos de impacto 3, fuente propia.**

Posición geófono (m)	Tiempo (ms)
0	72,3706
5	71,6088
10	68,5616
15	62,4673
20	59,4201
25	53,3257
30	47,2314
35	38,8516
40	25,9011
45	15,2359
50	9,9033



**Figura N° 41. Dromocronas elaboradas para el perfil 2, fuente propia.**



**Figura N° 42. Interpretación del perfil 2 con el método G.R.M., fuente propia.**

**Cuadro N° 29. Otros parámetros geotécnicos, fuente propia.**

	<b>Estrato 1</b>	<b>Estrato 2</b>
<b>Coefficiente Poisson</b>	0,35	0,35
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1800,00	1800,00
<b>Vp (m/s)</b>	378,61	1080,73
<b>Vs (m/s)</b>	181,88	519,17
<b>Módulo de deformación al corte G0 (MPa)</b>	59,54	485,16
<b>Módulo edométrico Ed (MPa)</b>	258,02	2102,36
<b>Módulo de compresibilidad volumétrica M0 (MPa)</b>	198,48	1617,20
<b>Módulo de Young Ey(MPa)</b>	160,77	1309,93

**Perfil de refracción sísmica 3**

Datos de impactos

Impacto 1

Posición fuente x = -5 m

Posición fuente z = 0 m

**Cuadro N° 30. Datos de impacto 1, fuente propia.**

<b>Posición geófono (m)</b>	<b>Tiempo (ms)</b>
0	30,4718
5	35,8044
10	44,9460
15	53,3257
20	57,8965
25	62,4673
30	64,7527
35	69,3234
40	72,3706
45	73,1324
50	77,7032

Impacto 2  
Posición fuente x = 23 m  
Posición fuente z = 0 m

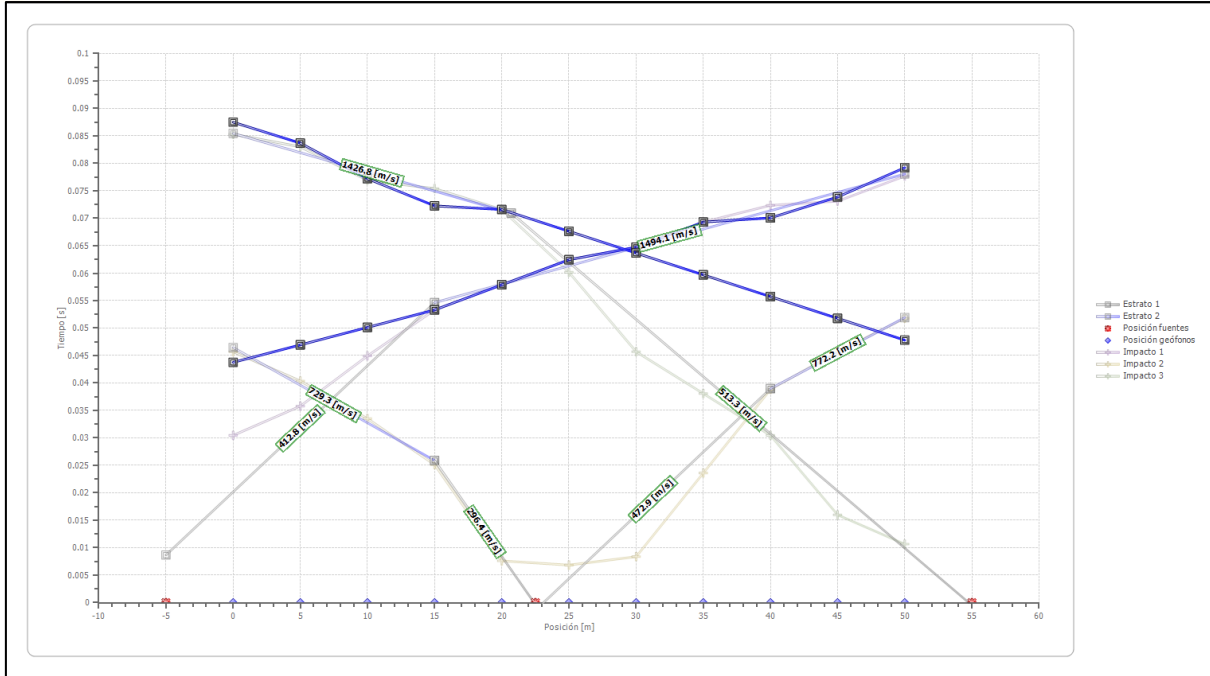
**Cuadro N° 31. Datos de impacto 2, fuente propia.**

Posición geófono (m)	Tiempo (ms)
0	45,7078
5	40,3752
10	33,5190
15	25,1393
20	7,6180
25	6,8562
30	8,3798
35	23,6157
40	38,8516
45	45,7078
50	51,8021

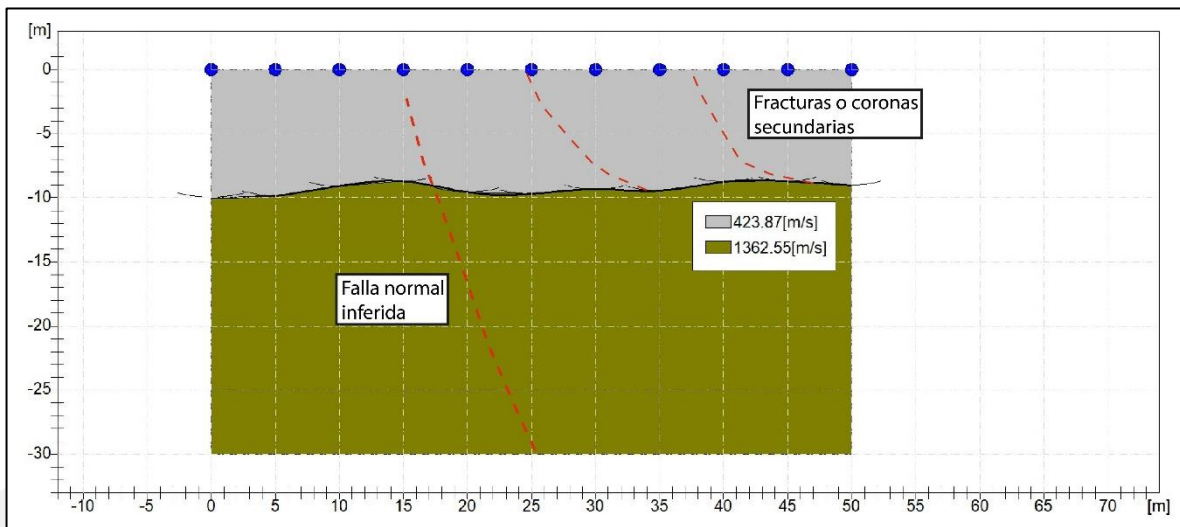
Impacto 3  
Posición fuente x = 55 m  
Posición fuente z = 0 m

**Cuadro N° 32. Datos de impacto 3, fuente propia.**

Posición geófono (m)	Tiempo (ms)
0	85,3212
5	83,0358
10	76,9414
15	75,4178
20	71,6088
25	60,1819
30	45,7078
35	38,0898
40	30,4718
45	15,9977
50	10,6651



**Figura N° 43. Dromocronas elaboradas para el perfil 3, fuente propia.**



**Figura N° 44. Interpretación del perfil 3 con el método G.R.M., fuente propia.**



**Cuadro N° 33. Otros parámetros geotécnicos, fuente propia.**

	<b>Estrato 1</b>	<b>Estrato 2</b>
<b>Coefficiente Poisson</b>	0,35	0,35
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1800,00	1800,00
<b>Vp (m/s)</b>	423,87	1362,55
<b>Vs (m/s)</b>	203,62	654,55
<b>Módulo de deformación al corte G0 (MPa)</b>	74,63	771,18
<b>Módulo edométrico Ed (MPa)</b>	323,40	3341,79
<b>Módulo de compresibilidad volumétrica M0 (MPa)</b>	248,77	2570,61
<b>Módulo de Young Ey(MPa)</b>	201,50	2082,20

Los perfiles de refracción sísmica recientes realizados en el deslizamiento El Picadero, figuras N° 38, 40 y 42, muestran un cambio de estratos entre los 8 y 10 m de profundidad, lo cual es coincidente con los ensayos geofísicos descritos en el apartado de la reseña histórica del deslizamiento, los cuales describen igualmente este rango de profundidad para hacer referencia a la zona donde ocurre la ruptura del deslizamiento y donde se genera el flujo subsuperficial. Además, los cambios de relieve en el techo del estrato dos en los perfiles, muestran más hacia la corona del deslizamiento, lo que podría ser la expresión morfológica de la falla inferida normal, así como fracturas o coronas secundarias dentro de la masa deslizante, estrato uno, las cuales se representan en los perfiles mediante líneas rojas punteadas.

- **Estimación del volumen que compone el Deslizamiento El Picadero**

Para el cálculo del volumen se utilizó el método de los perfiles o secciones. Este método consiste en trazar líneas sobre el plano topográfico del área en estudio, las cuales representan perfiles, utilizados para determinar el área del material en cada uno. Para esto, se trazaron 4 perfiles, diferenciados con el nombre (Perfil I) hasta (Perfil IV), los cuales están distribuidos entre sí a lo largo de toda el área afectada por el deslizamiento (Figuras N° 44, 45, 46 y 47). Antes, es necesario indicar que se ha tomado como referencia base el río Corrogres, para definir la cota máxima del área susceptible a deslizarse.

Retomando la metodología de cálculo para el volumen, se determinó el área que corresponde a cada uno de los perfiles trazados en el área de estudio (Anexo 4). Una vez obtenido este valor, se utilizó la siguiente fórmula para determinar el volumen parcial entre todas las secciones.

$$Volumen (m^3) = \left( \frac{\text{Área Perfil I (m}^2\text{)} + \text{Área Perfil II (m}^2\text{)}}{2} \right) * \text{Distancia entre perfiles (m)}$$

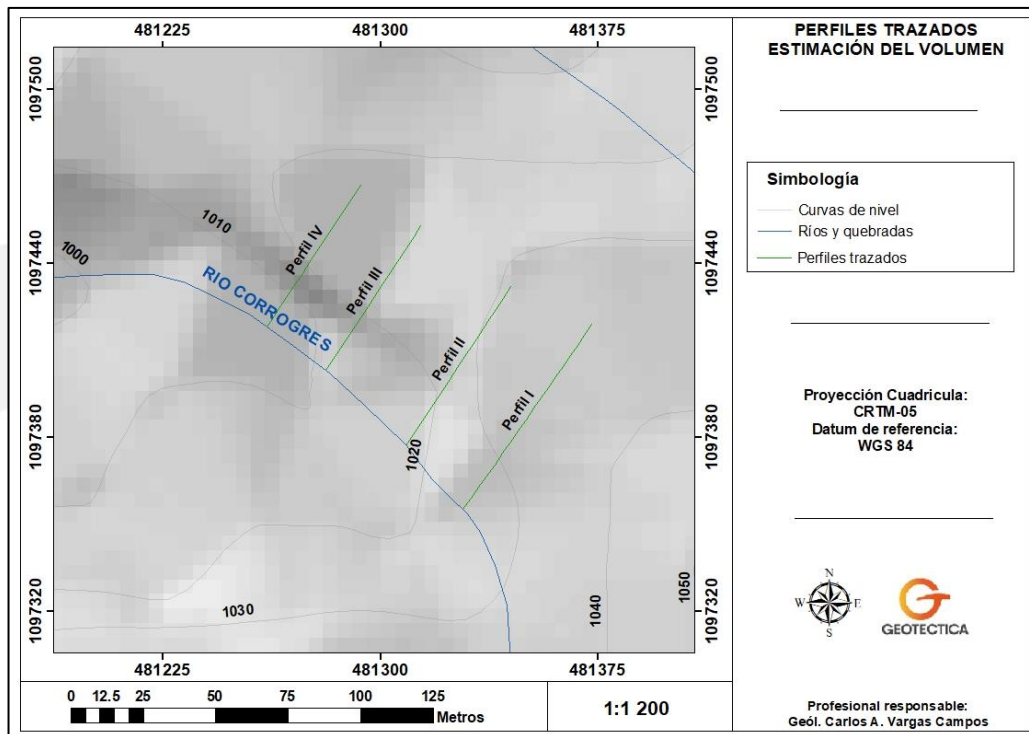
Una vez logrados todos los volúmenes, estos se suman para obtener un volumen total aproximado. En el siguiente cuadro, se muestra el cálculo de las áreas de cada uno de los perfiles desarrolladas en el área analizada.

**Cuadro N° 34. Resultados del cálculo de áreas de los perfiles transversales trazados sobre el terreno, fuente propia.**

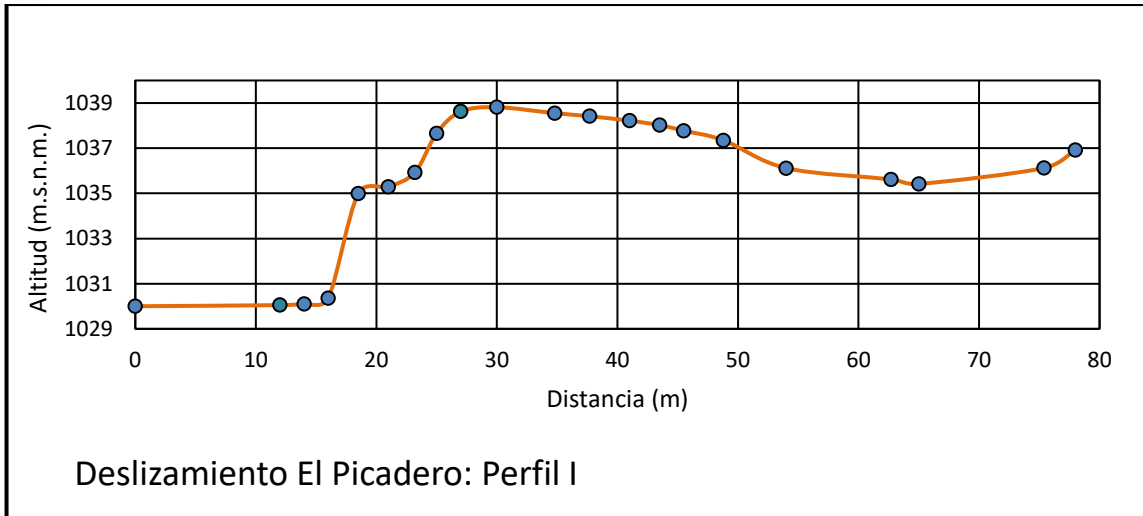
Perfil	Área calculada (m <sup>2</sup> )	Distancia entre perfiles (m)
Perfil I	440	29.90
Perfil II	220	
Perfil III	900	37.39
Perfil IV	480	25.17

**Cuadro N° 35. Determinación de los volúmenes entre los perfiles transversales trazados sobre el terreno, fuente propia.**

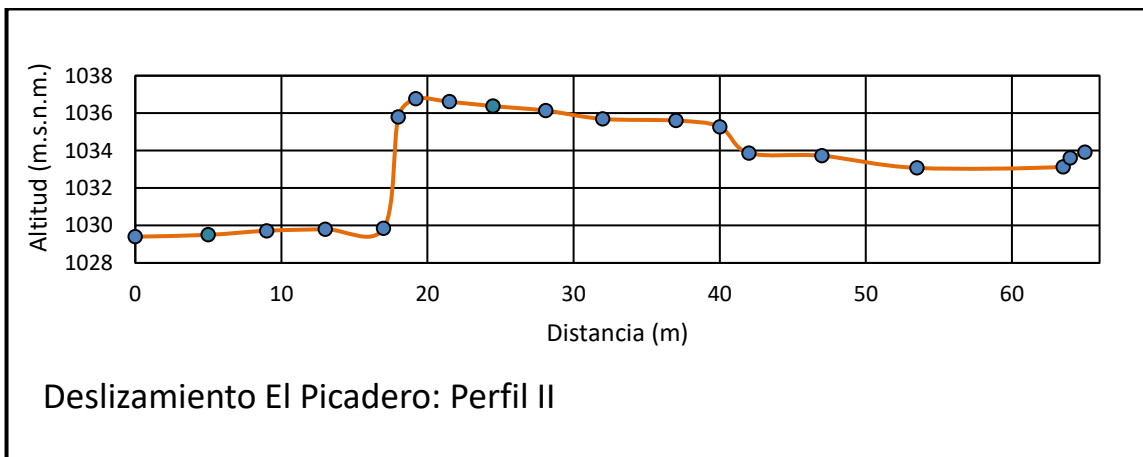
Volumen de Reservas (m <sup>3</sup> )	
Volumen entre perfiles I y II	9867
Volumen entre perfiles II y III	20938.4
Volumen entre perfiles III y IV	17367.3
<b>Total</b>	<b>48172.7</b>



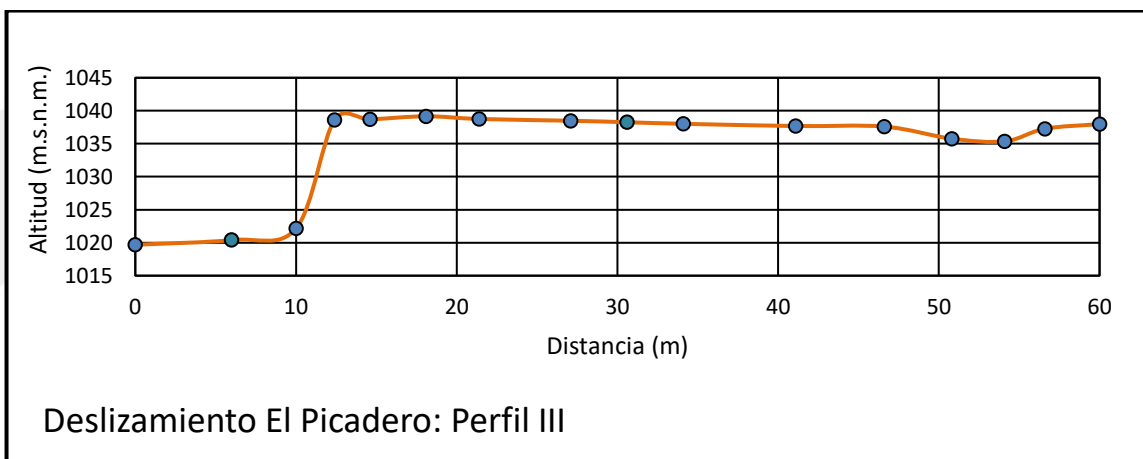
**Figura N° 45. Vista en planta de los perfiles trazados en el deslizamiento.**



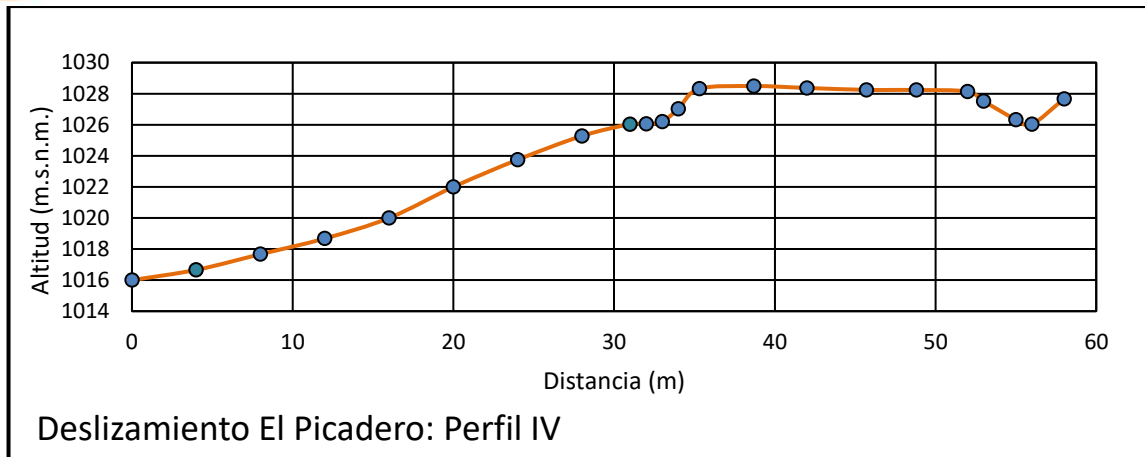
**Figura N° 46. Perfil I, fuente propia.**



**Figura N° 47. Perfil II, fuente propia.**



**Figura N° 48. Perfil III, fuente propia.**



**Figura N° 49. Perfil IV, fuente propia.**

El cuadro N° 35 muestra la sumatoria de los volúmenes calculados entre los perfiles trazados en el terreno, mostrando que el deslizamiento El Picadero tendría un volumen aproximado de 48 172.7 m<sup>3</sup>. En comparación, la campaña de estudios durante el 2015 a raíz del inicio del movimiento en el 2014, indican volúmenes menores entre 7 400 m<sup>3</sup> y 7 500 m<sup>3</sup> (Valerio, 2015; Rivier-Ing, 2015). Mientras que, en el informe de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) realizado en el 2017, a raíz de la reactivación en este periodo, se indica un volumen aproximado de 100 000 m<sup>3</sup>, el cual es mayor. Ahora bien, aunque se considera que el volumen podría ser mayor al estimado en el presente informe por el método de perfiles debido a su metodología, se considera que la aproximación de la CNE es a gran escala considerando el máximo volumen posible, por lo que el valor aproximado propuesto de 48 172.7 m<sup>3</sup> se considera representativo del material que compone al deslizamiento El Picadero.

## IX. CONCLUSIONES

- Desde el punto de vista geológico local, se puede observar que aguas arriba del deslizamiento en el río Corrogres aflora la formación Grifo Alto en dos distintas litologías, una lava andesítica de aspecto masivo fracturada y un coluvio sobreyaciendo o en contacto lateral con la litología anterior, cuyo aporte de material volcánico proviene de esta formación. Sin embargo, en campo se pudo observar que, en el área del deslizamiento, a nivel del cauce del río, aflora la formación Pacacua en su forma característica de lutitas color morado, evidenciando su característica de basamento local en el área.
- La relación de la ubicación del deslizamiento con respecto al contexto tectónico regional, este se encuentra en la colina denudacional del cerro Chirracal, el cual se encuentra enmarcado por la falla Agres al norte, la falla Bebedero y Escazú al este, la falla Uruca al oeste, la falla Salitral al norte y varios alineamientos dentro del mismo, sumado a la gran densidad de sismos corticales en el área.
- Tectónicamente, se puede identificar de forma local una franja sísmica, cuyos sismos se encuentran en un área entre el cruce de las fallas Uruca y Salitral hasta el trazo de la falla Escazú, formando un área triangular limitada por estos tres trazos, siendo justamente donde se encuentra el deslizamiento, por lo que es claro la interacción de esfuerzos en esta zona y el cómo influye en los fenómenos de inestabilidad.

- La zona donde se encuentra el deslizamiento es propensa a estos fenómenos no solamente por el hecho que se encuentre en una ladera denudacional de mediana pendiente, sino también porque se encuentra en una zona tectónicamente frágil. Según el contexto tectónico local se infiere una falla normal, que se extiende perpendicularmente desde la falla Salitral en dirección noroeste-sureste, al igual que las fallas y los alineamientos que se observaron a lo largo del cerro Chirracal, con un trazo muy cercano a la divisoria de aguas de la microcuenca y que pasaría por la corona del deslizamiento.
- Según las características hidrogeológicas de las capas superficiales, el coluvio por estar poco compactado y poseer una matriz limo arenosa, y en menor medida las lavas de aspecto masivo, pero muy fracturadas (porosidad secundaria), son materiales muy permeables que se comunican hidráulicamente propiciando la recarga en el área. Sumado al hecho que el valor de conductividad hidráulica y porosidad en el material deslizado se catalogan como muy altos. En contraposición, con el comportamiento poco permeable de la litología basal correspondiente a la formación Pacacua, la cual se clasifica según clasificación SUCS como una arcilla de baja a media plasticidad.
- El contexto hidrogeológico anterior igualmente se ve reflejado, partiendo del cálculo del tránsito de contaminantes, el cual según las características hidrogeológicas de las capas superficiales y la profundidad de referencia de ruptura entre los 8 y 10 m de profundidad, serían necesarios 1,49 días para alcanzar esta profundidad.
- Ligado a lo anterior, el contexto hidrológico muestra que el deslizamiento se encuentra muy cerca de la divisoria de aguas en el sitio, y que, al ser la microcuenca tan angosta, el deslizamiento limita y deposita el material en el cauce del río Corrogres. Además, la recarga entorno al deslizamiento se clasifica como moderada, ya que la recarga potencial en el área de 271,81 mm representa el 24,45 % de 1111,60 mm de la precipitación anual.
- El modelo explicativo en este informe como causante del movimiento inicial y sus reactivaciones, plantea que la infiltración del agua de lluvia desde la divisoria de aguas se ve favorecida por una recarga moderada entorno al área del deslizamiento, una permeabilidad y porosidad muy alta en los coluvios, que a su vez genera un tránsito del agua infiltrada muy corto al contacto con el techo de la formación Pacacua, siendo esta la zona de ruptura del material deslizado por su comportamiento impermeable. Además, que esta infiltración se ve favorecida por el aporte de agua de las unidades de la formación Grifo Alto, coluvios y lavas fracturadas, aguas arriba de la microcuenca del río Corrogres y la porosidad secundaria que propicia el plano inclinado hacia el suroeste de la falla inferida de movimiento normal, la cual permite un contacto hidráulico más rápido y directo de este flujo con el techo de la formación Pacacua, que por su comportamiento impermeable crea un flujo subsuperficial.
- El mecanismo de ruptura expone la existencia de un flujo de agua subsuperficial que se activa como una especie de tobogán que se desplaza sobre materiales arcillosos moraduzcos de la formación Pacacua. Este flujo aumenta la presión de poro y el peso de la masa, provocando el hinchamiento de la capa de arcilla y una fuerza lateral que desplaza el material provocando el incremento de la apertura de la corona principal, las grietas y coronas secundarias.
- Las precipitaciones acumuladas en días continuos superiores a 40 mm y los sismos intraplaca de baja magnitud entre 2,5-3,5, son los mecanismos disparadores del movimiento en masa en el 2020, de forma similar a la reactivación del deslizamiento el 16 de septiembre del 2017 y probablemente al inicio del mismo en noviembre del 2014. Por lo tanto, el deslizamiento El Picadero es cíclico en relación a su movimiento en cuanto ocurran estos factores naturales.

- El movimiento de masa ocurriría con desprendimientos pequeños hacia el talud del río Corrogres. No se prevé un desplazamiento completo de la masa que obstruya el cauce del río y pueda generar un represamiento y un posterior flujo de lodos.
- El deslizamiento el Picadero posee un movimiento rotacional – traslacional transformado a flujo regolítico, que presenta un comportamiento cíclico que se reactiva cada 2-3 años, por la combinación de dos factores en conjunto que son los sismos de baja magnitud (2.5-3.5 Mg) y la precipitación acumulada continua mayor a 40 mm de precipitación, con un lapso de tiempo entre el inicio de las precipitaciones y la activación del movimiento de 30 horas, con cuatro días críticos en el intervalo de la tormenta, en los que el material estaría con riesgo a transformarse en flujo de lodos y comenzar a desprenderse al lecho del río.
- Los perfiles de refracción sísmica recientes realizados en el deslizamiento El Picadero, muestran un cambio de estratos entre los 8 y 10 m de profundidad, lo cual es coincidente con los ensayos geofísicos descritos en el apartado de la reseña histórica del deslizamiento, los cuales describen igualmente este rango de profundidad para hacer referencia a la zona donde ocurre la ruptura del deslizamiento y donde se genera el flujo subsuperficial.
- El deslizamiento El Picadero tendría un volumen aproximado de 48 172.7 m<sup>3</sup>. En comparación, la campaña de estudios durante el 2015 a raíz del inicio del movimiento en el 2014, indican volúmenes menores entre 7 400 m<sup>3</sup> y 7 500 m<sup>3</sup>; mientras que, en el informe de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) realizado en el 2017, a raíz de la reactivación en este periodo, se indica un volumen aproximado de 100 000 m<sup>3</sup>, el cual es mayor.

## **X. RECOMENDACIÓN**

- Se debe generar un plan de monitorio del deslizamiento que contemple la colocación de una estación pluviométrica en un radio de 1 km del deslizamiento y la colocación de sistemas de control de desplazamientos para las épocas de invierno o épocas donde el IMN indique presencias de sistemas de baja presión, ondas tropicales o zonas de influencia tormentas y huracanes con pronósticos de que las lluvias en el Valle Central van a sobrepasar los 40 mm.
- Se recomienda efectuar más investigaciones geológicas que reafirmen el modelo geólogo, tectónico e hidrogeológico, que indica la presencia de la fractura que condiciona la presencia del deslizamiento y la recarga directa del agua de lluvia y las recargas laterales de las otras unidades geológicas más permeables que la lutita moraduzca de la formación Pacacua.

## XI. REFERENCIAS

- ARIAS, O., & DENYER, P., 1991: Estructura geológica de la región comprendida en las hojas topográficas Abra, Caraigres, Candelaria y Río Grande, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 12: 61-74.
- CHACON, M. & PORRAS, J., 2019: Estudio hidrológico e hidráulico del río Corrogres, Santa Ana.- Carbón ingeniería, Consultores en ingeniería (Informe interno).
- CHAVES, L., 2015: Caracterización geológica, Deslizamiento El Picadero.- (Informe interno).
- CHINCHILLA, G., 2017: Resumen Meteorológico Mensual Setiembre 2017. – Boletín Meteorológico Mensual, IMN, San José. Costa Rica.
- COMISION NACIONAL DE EMERGENCIAS, 2018: Mapa de amenazas y peligros naturales del cantón de Santa Ana. - [https://www.cne.go.cr/reduccion\\_riesgo/mapas\\_amenzas/mapas\\_de\\_amenez\\_a/san\\_jose/SantaAna.pdf](https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenzas/mapas_de_amenez_a/san_jose/SantaAna.pdf) (Consultado el 19 de noviembre del 2020).
- CORDERO, D.A., 2015: Reconocimiento geofísico del terreno mediante el método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW), Deslizamiento “El Picadero”, sobre el río Corrogres, Santa Ana, San José.- 23 págs (Informe interno).
- 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.
- FERNANDEZ, J., 2015: Estudio Geotecnico y de mecánica de suelos, Deslizamiento en un terreno que se localiza en Santa Ana, San José.- (Informe interno).
- 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.
- GAMBOA, J. A., 2021: Informe de resultados de ensayos de laboratorio, caracterización de suelos, deslizamiento Santa Ana.- 3 págs. Consultoría IGSA.
- MADRIGAL, J., 2015: Deslizamiento activo denominado El Picadero margen derecha del río Corrogres.- CNE (Informe técnico).
- MASIS, J., 2015a: Contratación de especialista en hidráulica fluvial y transporte de sedimentos de carga de fondo con énfasis en procesos erosivos y depositación para realizar un estudio topográfico, geológico y geotéctonico del deslizamiento “El Picadeo” Componente 1.- 37 págs (informe interno).

- MASIS, J., 2015b: Contratación de especialista en hidráulica fluvial y transporte de sedimentos de carga de fondo con énfasis en procesos erosivos y depositación para realizar un estudio topográfico, geológico y geotéctonico del deslizamiento “El Picadeo” Componente 2, Análisis de los escenarios de riesgo hacia aguas abajo como consecuencia de bloqueo del río Corrogres por el deslizamiento y valoración de posibles medidas de mitigación.- 21 págs (informe interno).
- MONTERO, W., 1994: Neotectonics and related stress distribution in a subduction-collisional zone: Costa Rica. - Profil, 7:125-141, Stuttgart.
- MONTERO, W., 2001: Neotectónica de la región central de Costa Rica: frontera oeste de la microplaca de Panamá. - Revista Geológica de América Central, 24:29-56.
- MONTERO, W., 2010: El terremoto de Cartago del 4 de mayo de 1910: Aspectos sísmológicos y neotectónicos. En: Peraldo, G. & Acevedo, B. (eds.): Efemérides de la destrucción de la ciudad de Cartago cien años después (1910-2010), San José: Ediciones Perro Azul, 37-47.
- MONTERO, W. & DEWEY, J., 1982: Shallow-focus seismicity, composite focal mechanism and tectonic of the Valle Central de Costa Rica. – Seis. Soc. Amer. Bull. 72: 1611-1626.
- MONTERO, W. & MIYAMURA, S., 1981: Distribución de intensidades y estimación de los parámetros focales de los terremotos de Cartago de 1910, Costa Rica, América Central. Inf. Sem. IGN, 1981 (2): 9-34.
- 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., BARAHONA, M., ROJAS, W. & TAYLOR M., 2005: Los Sistemas de falla Agua Caliente y río Azul y Relevos Compresivos asociados, Valle Central de Costa Rica –Revista Geológica de América Central, 33: 9-27.
- 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.
- SANCHEZ, B., 2017: Valoración de riesgo de terreno en San Rafael de Santa Ana, San José, por deslizamiento e inestabilidad de laderas.- CNE (Informe técnico).
- POLEO, D.A., 2017:, Resumen Meteorológico Mensual Agosto 2017. – Boletín Meteorológico Mensual, IMN, San José. Costa Rica.
- RED SISMOLOGICA NACIONAL, 2018: Falla Aguacaliente. - <https://rsn.ucr.ac.cr/component/content/article/57-sismologia/fallas->



activas2/2147-falla-aguacaliente?Itemid=225 (Consultado el 18 de noviembre del 2020).

RODRIGUEZ, J. A., LAPORTE, G. & LÓPEZ, J. R., 2017: Evaluación geotécnica y propuesta conceptual de soluciones, Deslizamiento El Picadero, San Rafael, Cantón Santa Ana, provincia de San José.- 84 págs. INSUMA S.A. (Informe interno).

RUIZ, P. & SOTO, G., 2014: Preparación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos utilizando imágenes líder en los Cerros de Escazú, cantones Aserrí, Desamparados, Alajuelita, Santa Ana y Escazú, Costa Rica. – Informe final, consultoría CNE.

VALERIO, C., 2015: Informe de análisis de estabilidad de taludes del deslizamiento “El Picadero”, sobre el río Corrogres, Santa Ana.- 19 págs (Informe interno).

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.

## **XII. ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**Descripción de afloramientos observados aguas**  
**arriba del deslizamiento El Picadero en el cauce del**  
**río Corrogres**

### Afloramiento 1

Coordenadas 481676 E / 1096988 N

Afloramiento en corte de camino, 5 m de ancho por 4 m de alto aproximadamente. Se observa una matriz arenosa color café claro, con un bloque metrico ocasional, el cual consiste con una lava de composición andesítica, con matriz (80 %) gris oscuro con fenocristales de plagioclasa, anfíboles y piroxenos. Se correlaciona con el coluvio de la Fm. Grifo Alto.



### Afloramiento 2

Coordenadas 481622 E / 1097040 N

Afloramiento en corte de camino, 10 m de ancho por 3 m de alto aproximadamente. Se observa una matriz limo arenosa café grisácea (80 %) con líticos centimétricos en su mayoría, con algunos decimétricos, de forma sub angular, con contacto por matriz. Los líticos son de lava andesítica, matriz gris con fenocristales alterados de plagioclasa. A pocos metros se encuentra otro afloramiento con una matriz igual pero con líticos metricos ocasionales. Se correlaciona con el coluvio de la Fm. Grifo Alto.



### Afloramiento 3

Coordenadas 481522 E / 1097117 N

Afloramiento en el cauce del río Corrogres. Se observa una matriz igualmente limo arenosa café grisácea (70 %) con líticos milimétricos, centimétricos, decimétricos y métricos, los primeros en mayor cantidad y disminuyen según aumenta su tamaño. Los líticos igualmente son lavas andesíticas. Se correlaciona con el coluvio de la Fm. Grifo Alto.



### Afloramiento 4

Coordenadas 481501 E / 1097127 N

Afloramiento en el cauce del río Corrogres de 15 m de ancho por 4 m de alto aproximadamente. Se observa una lava andesítica de aspecto masiva, color gris oscuro con fenocristales de plagioclasa. Se correlaciona con la Fm. Grifo Alto.



En el mismo punto pero en la margen derecha aguas abajo, se observa la secuencia típica de material seleccionado por acción fluvial, lo cual se diferencia del coluvio observado en los afloramientos anteriores, los cuales consisten en un retrabajo principalmente de la meteorización de la Fm. Grifo Alto. En la secuencia se puede observar en la parte inferior presencia de líticos métricos, seguido por una capa de líticos centimétricos con contacto por punto en dirección del flujo y en la parte superior líticos milimétricos inmersos en la matriz. La gradación normal en la granulometría y la matriz arenosa fina son indicadores de la acción fluvial como agente de depositación de este afloramiento, el cual se correlaciona con aluvión reciente del río Corrogres.



### Afloramiento 5

Coordenadas 481438 E / 1097173 N

Afloramiento en el cauce del río Corrogres. Se observa en la parte superior, aproximadamente 10 cm de espesor, un coluvio de matriz limo arenosa café grisácea (80%) con líticas centimétricas y decimétricas de lavas andesíticas. Subyaciendo en el lecho del río, aproximadamente 50 cm de espesor, se observa una lava andesítica fracturada color gris. A pocos metros aguas abajo del punto anterior se observa un afloramiento, de 6 m de ancho por 4 m de alto aproximadamente, sano aunque fracturado de una lava andesítica. Por lo tanto se observa tanto un contacto horizontal como lateral entre ambas litologías descritas en la zona pertenecientes al a Fm. Grifo Alto.



### Afloramiento 6

Coordenadas 481376 E / 1097220 N

Afloramiento en el flanco derecho aguas abajo del río Corrogres de 15 m de ancho por 5 m de alto aproximadamente. Se observa una lava de aspecto masiva, fractura en multiples direcciones, de color gris claro, correlacionable con la Fm. Grifo Alto.



### Afloramiento 7

Coordenadas 481341 E / 1097299 N

Afloramiento de 15 m de ancho por 4 m de alto aproximadamente. Se observa un coluvio de matriz limo arenosa café grisácea (85 %) con líticos decimétricos mayoritariamente de una lava andesítica de matriz color gris con fenocristales alterados de plagioclasa. Se correlaciona con el coluvio de la Fm. Grifo Alto.





### **Afloramiento 8**

Coordenadas 481320 E / 1097362 N

Afloramiento en el cauce del río Corrogres, en el lindero del Condominio solaris, delimitado por las mallas de seguridad, muy cerca del lugar en donde se presentó el movimiento del año 2017, se observa una lutita a arenisca fina color morado, correlacionable con la Fm. Pacacua. Por lo que se puede ver el contacto horizontal difuso entre las litologías que se venían observando de la Fm. Grifo Alto, a lo largo del cauce del río Corrogres aguas arriba del lugar del deslizamiento y justamente al llegar al lugar el cambio litológico en el área.



### **Afloramiento 9**

Coordenadas 481239 E / 1097430 N


Lutita a arenisca fina color morado con líticos (30 %) milimétricos y centimétricos, esporádicos, de material volcánico (andesítico) y lutita color negro o morado oscuro. Se correlaciona con la Fm. Pacacua.

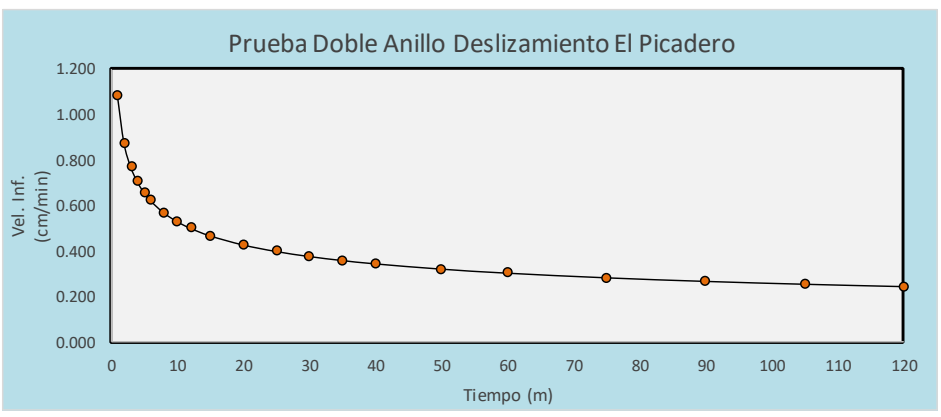
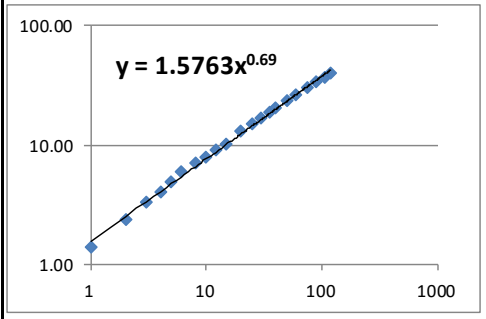


## **ANEXO 2**

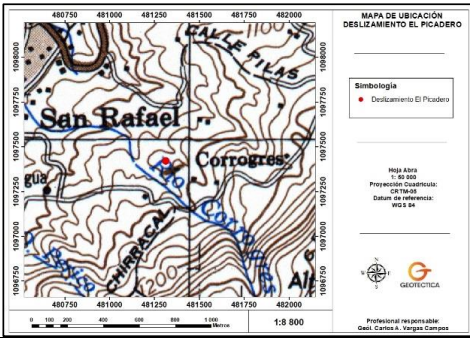


### **Prueba de infiltración, porosidad y SUCS realizadas en el área del Deslizamiento El Picadero**

## Prueba de infiltración del coluvio superior en el deslizamiento

 <p><b>GEOTECTICA</b> SOMOS CONSULTORES DE LA TIERRA</p> <p>www.geotectica.com gerencia@geotectica.com Tel: 4081-3922 Heredia, Costa Rica.</p>	<b>Deslizamiento El Picadero</b>			
	<b>SOLICITANTE</b>	Municipalidad de Santa Ana	<b>Coordenadas Proyección CRTM-05</b>	
<b>Código de prueba:</b>	Prueba Deslizamiento	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	
<b>Fecha de realización:</b>	19/2/2021	1097418	481322	
<b>Hora de realización:</b>	09:30:00 a. m.	<b>Altitud (m.s.n.m.)</b>	1033.0	
<b>Operador:</b>	Josué Hernández Sancho	<b>Estado del tiempo</b>	Soleado	
<b>Procesador:</b>	Josué Hernández Sancho	<b>Cobertura del suelo</b>	Zacate	
<b>Profesional responsable:</b>	Hidrogeólogo Carlos Alonso Vargas C.			
<b>Prueba de infiltración</b>		<b>Ecuación de tendencia</b>		
<i>Método de doble anillo</i>		Perspectiva de la prueba de infiltración realizada		
<b>Datos</b>				
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Prof. Acum. (cm)</b>	<b>Vel. (cm/min)</b>	<b>Vel. (m/día)</b>	
0	0.00	0.00	0.000	
1	1.40	1.088	15.662	
2	2.40	0.877	12.634	
3	3.30	0.774	11.141	
4	4.00	0.708	10.191	
5	5.00	0.660	9.510	
6	6.00	0.624	8.987	
8	7.00	0.571	8.220	
10	8.00	0.533	7.671	
12	9.00	0.503	7.249	
15	10.20	0.470	6.765	
20	13.00	0.430	6.188	
25	15.20	0.401	5.774	
30	16.90	0.379	5.457	
35	18.90	0.361	5.202	
40	20.70	0.347	4.991	
50	23.70	0.323	4.658	
60	26.20	0.306	4.402	
75	30.20	0.285	4.108	
90	33.90	0.270	3.882	
105	36.40	0.257	3.701	
120	39.70	0.247	3.551	
150				
180				
210				
240				
<b>RESULTADOS</b>				
<b>Conductividad Hidráulica k (m/día)=</b>		3.551		
<b>Clasificación de la conductividad hidráulica=</b>		Muy alta		



## Prueba de porosidad del coluvio superior en el deslizamiento

<p><b>GEOTECTICAS.A</b></p> <p>www.geotectica.com</p> <p>recepcion@geotectica.com</p> <p>Tel: 4081-3922, 8343-4204</p> <p>San Rafael, Heredia, Costa Rica</p>		<p><b>ESTIMACIÓN DE DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD</b></p>	
<p><b>PROFESIONAL RESPONSABLE:</b> Carlos Alonso Vargas Campos</p>		<p><b>PROYECTO:</b> Deslizamiento El Picadero</p>	
<p><b>LABORATORISTA:</b> Josué Hernández Sancho</p>		<p><b>SOLICITANTE:</b> Municipalidad de Santa Ana</p>	
<p><b>TECNICO:</b> Josué Hernández Sancho</p>		<p><b>LOCALIDAD:</b> Santa Ana</p>	
<p><b>FECHA :</b> 19/2/2021</p>		<p><b>UBICACIÓN:</b> Calle Pilas, Río Corrogres</p>	
<p><b>HORA:</b> 9:30 a.m</p>		<p><b>CROQUIS / UBICACIÓN</b></p> 	
<p><b>MUESTRA:</b> Muestra 1</p>			
<p><b>NORTE (CRTM-05):</b> 1097418</p>			
<p><b>ESTE (CRTM-05):</b> 481322</p>			
<p><b>ALTURA:</b> 1033</p>			
<p><b>PROFUNDIDAD:</b> 0.3 m</p>			
<p><b>Datos de masa y volumen</b></p>			
<p>Suelo húmedo (g) 127.600</p>			
<p>Suelo seco (g) 112.800</p>			
<p>Agua Almacenada (g) 14.800</p>			
<p>Masa del Cilindro (g) 245.180</p>			
<p>Suelo Saturado (g) 167.100</p>			
<p>Volumen total de la muestra (ml) 99.278</p>			
<p>Volumen de sólidos (ml) 64.6</p>			
<p>Volumen de Perdido (ml) 17.8</p>			
<p>Volumen de vacíos (ml) 34.7</p>			
<p>Volumen de vacíos Total (ml) 52.4</p>			
<p><b>Resultados</b></p>			
<p>Densidad del agua (g/ml) 0.9970</p>			
<p>Peso unitario seco (KN/m3) 11.15</p>			
<p>Peso unitario humedo (KN/m3) 12.61</p>			
<p>Humedad (%) 13.12</p>			
<p>Densidad aparente (g/ml) 1.14</p>			
<p>Porosidad total (%) 52.81</p>			
<p>Densidad real (g/ml) 2.41</p>			
<p>Relacion de vacios 0.54</p>			
<p><b>Geología Local: Coluvio</b></p>			
<p><b>Descripción del suelo</b></p>		<p>Suelo limo arenoso</p>	
<p><b>Firma Profesional Responsable</b></p>			
<p>Ensayos según normas ASTM C29 y C29-M, D2216-10, D7263-09 y D7481-09</p>			

## Clasificación SUSCS de las muestras tomadas de la Formación Pacacua



### Informe de resultados de ensayos de laboratorio Caracterización de Suelos



Informe Número: I19-026-21

San José, 16 de febrero del 2021.

Proyecto:

“Estudios Deslizamiento San Ana”

Cliente: Geotectica  
Ingeniero(a): Ana Araya Salazar  
Cargo: Ingeniero

Estimado Ingeniero(a):

Me permito presentar de acuerdo a lo solicitado los resultados de los ensayos realizados a materiales de suelos.

Número de muestra	24-003-21
Lugar de muestreo:	San Ana
Condiciones ambientales del muestreo:	No indica
El laboratorio realizó el muestreo:	Aportada
Descripción:	Varios
Lugar de realización del ensayo:	Laboratorio 01
Condición de la muestra:	Buena
Fecha de muestreo:	N/A
Fecha de recepción de la muestra:	2021-02-18
Fecha de realización del ensayo:	2021-02-18
Desviaciones aplicadas:	Ninguna
Observaciones:	N/A

Aprobado por:



Ing. José Andrés Gamboa G.  
Gerente Técnico IGSA





**Informe de resultados de ensayos de laboratorio  
Caracterización de Suelos**



**Informe Número: I19-026-21**

**PIC A**

Ensayo realizado	Resultado
------------------	-----------

SUCS

Arcilla de baja plasticidad (CL)

**PIC B**

Ensayo realizado	Resultado
------------------	-----------

SUCS

Arcilla de media plasticidad (CL)

**Ensayos realizados:**

Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad AASHTO T90 y T89  
Granulometría y lavado de agregados ASTM C117 y C136  
Clasificación SUCS ASTM D 2487

**Acreditado**

| \*  
| \*  
| \*\*

**Notas**

Nota 1: El informe presente NO puede ser reproducido en forma parcial, únicamente en forma total y con la aprobación del Gerente General de IGSA.

Nota 2: Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.

Nota 3: La incertidumbre de los resultados se expresa a un 95 % de confianza.

Nota 4: La incertidumbre se calcula según lo establecido en el instructivo "Estimación de la Incertidumbre" (I-51) y se reporta en el formulario "Incertidumbre" (I-51-R-01).

Nota 5: Los ensayos identificados en este documento con un asterisco (\*) al lado del nombre del ensayo, son todos aquellos que estén "Acreditados", y con dos asteriscos (\*\*) al lado del nombre del ensayo son todos aquellos que no estén acreditados. El símbolo de acreditación se utilizará en este registro únicamente si se incluyen resultados de ensayos dentro del alcance de la acreditación de nuestro laboratorio. Si desea conocer el alcance del laboratorio puede visitar el sitio web del ECA [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)

Nota 6: El símbolo de acreditación se utilizará en este registro únicamente si se incluyen resultados de ensayos dentro del alcance de la acreditación de nuestro laboratorio.

Nota 7: Las incertidumbres al 95 % de confianza de los resultados emitidos son custodiadas por el Laboratorio IGSA, en caso de ser necesarias se le podrán solicitar en cualquier momento al Gerente Técnico.

## **ANEXO 3**

### **Estaciones meteorológicas cercanas al área del proyecto.**





**INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE INFORMACION**  
**PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS**  
(estaciones automáticas)

ESTACION: 84 199 BELEN

Latitud: 09 ° 58 ' N Longitud: 84 ° 11 ' O Altitud. 926 m.s.n.m

Elementos	Períodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
LLUVIA	2005	2014	2.9	9.2	12.2	59.8	147.1	143.8	101.7	139.8	188.5	213.3	76.0	17.3	<b>92.6</b>	<b>1111.4</b>
TEM.MAX.	2005	2014	27.6	28.6	29.6	30.4	29.2	28.7	28.6	28.6	28.7	27.4	27.2	27.3	<b>28.5</b>	
TEM.MIN.	2005	2014	18.9	18.7	19.1	19.6	19.3	19.2	19.5	19.0	18.7	18.7	18.8	18.9	<b>19.0</b>	
TEM.MED.	2005	2014	23.3	23.7	24.3	25.0	24.3	24.0	24.0	23.8	23.7	23.1	23.0	23.1	<b>23.8</b>	
HUMEDAD	2005	2014	62.6	61.2	61.8	67.9	77.1	79.4	76.1	78.1	81.4	82.9	76.2	67.7	<b>72.7</b>	
VIENTO VEL.	2005	2014	28.6	26.5	24.6	17.1	11.3	10.6	13.6	11.0	9.2	8.6	15.4	22.2	<b>16.5</b>	
RADIACION	2005	2014	18.3	20.3	21.4	12.7	13.0	13.9	14.5	14.4	14.4	13.5	12.4	15.9	<b>15.4</b>	

VIENTO DIR. PREDOMINANTE	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
Promedio días con lluvia >= 0.1 mm.	1	2	3	8	18	19	18	20	22	23	14	5			<b>152</b>	<b>Total</b>

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m<sup>2</sup>. Radiación Solar global en Megajulios (MJ/m<sup>2</sup>)  
Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).  
VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste, 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable  
Brillo Solar en horas y décimas de horas. Presión hPa.

**INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE INFORMACION**  
**PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS**  
(estaciones mecánicas)

ESTACION : 84 119 SANTA ANA, GUACHIPELIN      Latitud: 09 ° 56 ' N Longitud: 84 ° 09 ' O      Altitud. 983 m.s.n.m

Elementos	Períodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
	1986	2014														
LLUVIA			5.1	8.0	17.9	57.8	216.8	215.7	157.3	223.4	309.4	299.1	131.2	26.8	139.0	1668.5
VIENTO DIR. PREDOMINANTE																
Promedio dias con lluvia >= 0.1 mm.			1	1	3	7	17	19	17	21	24	25	14	6	153.9	Total.

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m<sup>2</sup>. Radiación Solar global en Megajulios (MJ/m<sup>2</sup>)  
Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).  
VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste , 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable  
Brillo Solar en horas y décimas de horas.

**ANEXO 4**  
**Perfiles trazados en el área del deslizamiento El**  
**Picadero para estimación de su volumen.**





FECHA: 30/10/20  
HORA: 9:00 a. m.  
NORTE (m): 1097390  
ESTE (m): 481353  
ALTITUD (m.s.n.m): 1041.00  
ALTURA DEL NIVEL  
ÓPTICO (m): 1.41

**CLIENTE**

Municipalidad  
de Santa Ana

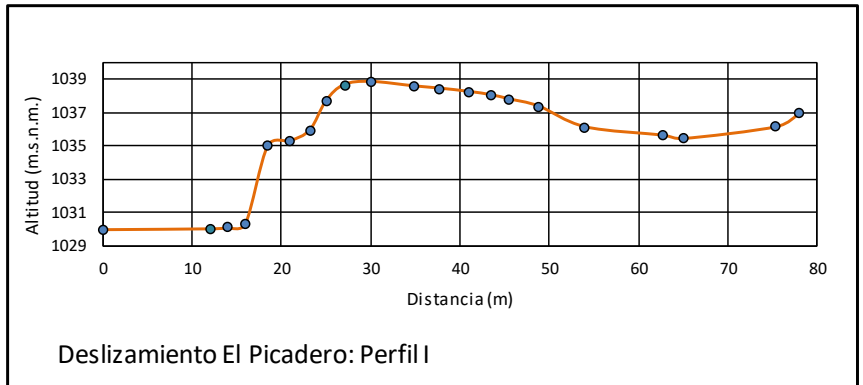
**PROYECTO**

Reactivación del Deslizamiento El Picadero

LOCALIDAD:   
PROVINCIA:   
CANTON:   
DISTRITO:

**DATOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

Altitud del nivel óptico (m.s.n.m.)	Distancia (m)	Profundidad corregida (m)
1039.59	0	1030.00
	12	1030.05
	14	1030.10
	16	1030.35
	19	1034.99
	21	1035.29
	23	1035.93
	25	1037.66
	27	1038.62
	30	1038.82
	35	1038.55
	38	1038.42
	41	1038.22
	44	1038.02
	46	1037.78
	49	1037.35
	54	1036.12
63	1035.62	
65	1035.42	
75	1036.13	
78	1036.93	





FECHA: 30/10/20  
HORA: 10:00 a. m.  
NORTE (m): 1097400  
ESTE (m): 481324  
ALTITUD (m. s. n. m): 1039.00  
ALTURA DEL NIVEL  
ÓPTICO (m): 1.31

**CLIENTE**

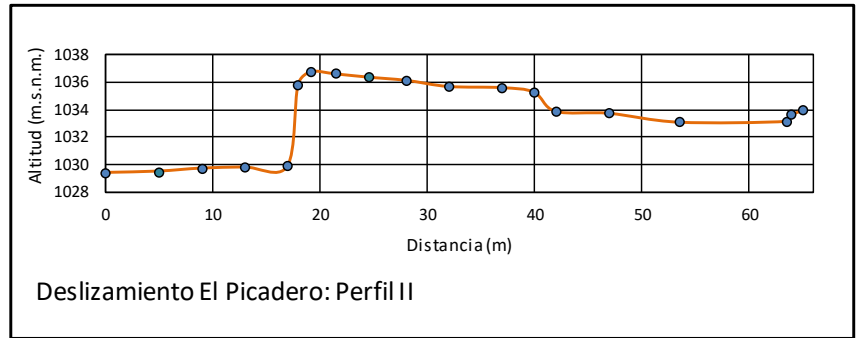
Municipalidad  
de Santa Ana

**PROYECTO**

Reactivación del Deslizamiento El Picadero

LOCALIDAD:   
PROVINCIA:   
CANTON:   
DISTRITO:

DATOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO		
Altitud del nivel óptico (m. s. n. m.)	Distancia (m)	Profundidad corregida (m)
1037.69	0	1029.40
	5	1029.50
	9	1029.72
	13	1029.80
	17	1029.85
	18	1035.80
	19	1036.77
	22	1036.61
	25	1036.38
	28	1036.14
	32	1035.69
	37	1035.60
	40	1035.27
	42	1033.87
	47	1033.73
	54	1033.08
	64	1033.14
	64	1033.61
	65	1033.93





**FECHA:** 30/10/20  
**HORA:** 11:00 a. m.  
**NORTE (m):** 1097430  
**ESTE (m):** 481299  
**ALTITUD (m. s. n. m):** 1041.00  
**ALTURA DEL NIVEL ÓPTICO (m):** 1.38

**DATOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

Altitud del nivel óptico (m. s. n. m.)	Distancia (m)	Profundidad corregida (m)
1039.62	0	1019.68
	6	1020.40
	10	1022.15
	12	1038.63
	15	1038.69
	18	1039.16
	21	1038.75
	27	1038.49
	31	1038.26
	34	1038.02
	41	1037.68
	47	1037.60
	51	1035.76
	54	1035.36
	57	1037.27
	60	1037.98

**CLIENTE**

Municipalidad de Santa Ana

**PROYECTO**

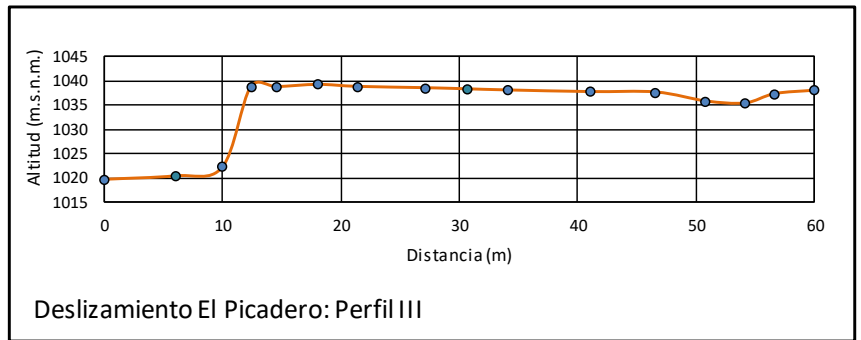
Reactivación del Deslizamiento El Picadero

**LOCALIDAD:**

**PROVINCIA:**

**CANTON:**

**DISTRITO:**





**FECHA:** 30/10/20  
**HORA:** 1:00 p. m.  
**NORTE (m):** 1097444  
**ESTE (m):** 481278  
**ALTITUD (m.s.n.m):** 1031.00  
**ALTURA DEL NIVEL ÓPTICO (m):** 1.31

**CLIENTE**

Municipalidad de Santa Ana

**PROYECTO**

Reactivación del Deslizamiento El Picadero

**LOCALIDAD:**

**PROVINCIA:**

**CANTON:**

**DISTRITO:**

**DATOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

Altitud del nivel óptico (m.s.n.m.)	Distancia (m)	Profundidad corregida (m)
1029.69	0	1016.00
	4	1016.66
	8	1017.67
	12	1018.68
	16	1020.00
	20	1022.00
	24	1023.75
	28	1025.28
	31	1026.04
	32	1026.06
	33	1026.21
	34	1027.03
	35	1028.32
	39	1028.49
	42	1028.37
	46	1028.25
	49	1028.24
	52	1028.14
	53	1027.52
	55	1026.34
56	1026.04	
58	1027.67	

