GEOTECTICA
SOMOS CONSULTORES DE LA TIERRA

recepcion@geotectica.com
8343-4204
www.geotectica.com
350 mts Sur del BCR. San Rafael de Heredia. Código Postal 40504

"AVANCE COMPILADO, DISEÑO, PLANOS, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL REEMPLAZO DEL PASO DE ALCANTARILLA EN CALLE RAMIRITOS Y ESTUDIO E HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO Y GESTIÓN DEL RIESGO DE LA QUEBRADA COYOTE"

PREPARADO PARA

MUNICIPALIDAD DE SANTA ANA.

ABRIL, 2021

GEOTECTICA
SOMOS CONSULTORES DE LA TIERRA

recepcion@geotectica.com
8343-4204
www.geotectica.com
350 mts Sur del BCR. San Rafael de Heredia. Código Postal 40504

Heredia, martes 27 de abril, 2021.
GT-INF-2021-402

Señores:

Municipalidad de Santa Ana
Estimados señores:

Mediante la siguiente nota quiero hacer constar que el presente informe denominado **"AVANCE COMPILADO, DISEÑO, PLANOS, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL REEMPLAZO DEL PASO DE ALCANTARILLA EN CALLE RAMIRITOS Y ESTUDIO E HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA COYOTE"** es responsabilidad profesional y autoría en su totalidad de GEOTÉCTICA S.A., quien le corresponde realizar la investigación.

El estudio posee el objetivo de determinar las condiciones hidrológicas de la microcuenca de la quebrada Coyote, así como cuantificar los riesgos y amenazas naturales sobre la Urbanización de Calle Ramiritos.

El estudio se encuentra basado en los procedimientos y metodologías técnicas y profesionalmente conocidas y recomendadas por Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) y el Colegio de Geólogos de Costa Rica

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

CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS (FIRMA)
Firmado digitalmente por CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS (FIRMA)
Fecha: 2021.04.29 08:37:35 -06'00'

Carlos Alonso Vargas Campos
Geólogo geotecnista / Hidrogeólogo
CGCR 271
SETENA CI 81-2002

HUGO OVIEDO CHACON (FIRMA)
Firmado digitalmente por HUGO OVIEDO CHACON (FIRMA)
Fecha: 2021.04.29 09:45:13 -06'00'

Ing. Hugo Oviedo Chacón
Ingeniero civil
CFIA IC-23617
SETENA CI 042-2018

CONTENIDO

1- INTRODUCCIÓN 5
- Objetivos Generales 5
- Objetivos específicos 5
- Sitio de Estudio 6
- Metodología 6

2- ASPECTOS HIDROLÓGICOS 9
2.1.1. Características de la cuenca 9
- Hidrografía 11
- Aspectos Climáticos 11
- Precipitación 11
- Temperatura 11
- Humedad relativa del aire. 12
- Viento 12
- Heliofanía 12

2.1.2. Cálculos Hidrológicos 15
- Factor de Forma 15
- Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (Kc) 16
- Cálculo del caudal de avenida máxima 16
- Cálculo de la intensidad máxima de la lluvia (I) 17
- Cálculo de la pendiente del cauce principal (S) 18
- Tiempo de concentración Fórmula de Kirpich 21
- Cálculo del coeficiente de escorrentía (C) 22

3- MODELACIÓN HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA COYOTE 29
3.1.1. Análisis mediante H-canales 30
3.1.1. Análisis mediante el HEC-RAS 5.0.7 34
3.1.2. Análisis de socavación 38
3.1.3. Socavación 40
3.1.4. Análisis de socavación general: 40
3.1.5. Análisis de socavación local en pilas y bastiones: 42
3.1.6. Análisis de socavación en curvas o meandros: 42
3.1.7. Medidas de protección contra socavación y puentes. 42

4- ANÁLISIS DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOFISICO 43
Nivel de agua 45
Capacidad de soporte admisible neta del subsuelo 45
Licuefacción bajo sismos 45
Cimentaciones de estructuras 46
Estabilidad local de las obras 46

5- ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILAD A DESLIZAMIENTOS 49
- Parámetro de pendiente 51
- Parámetro de susceptibilidad litológica 53
- Geología regional 53
- Parámetro de humedad 61
- Parámetro de susceptibilidad geomorfológica 62
- Disparo por lluvia 63

- Disparo por sismicidad 67
- Susceptibilidad al deslizamiento 75

6- ÁNALISIS DE RIESGOS NATURALES EN EL ÁREA DEL PROYECTO 78

- Amenaza de deslizamiento 80
- Amenaza de Inundación 81
- Amenaza de Alud Torrencial 84
- Amenaza Volcánica 86
- Amenaza Sísmica 87
- Valoración de amenaza 89
- Vulnerabilidad o Severidad 89
- Matriz de riesgo 90
- Escenario de riesgo 91
- Aplicación de matriz de riesgo 91
- Descripción de problemáticas en cada área de análisis interna 92
- Descripción de problemáticas en cada área de análisis externa 94
- Medidas de mitigación para reducir el riesgo en el escenario Interno 95
- Medidas de mitigación para reducir el riesgo en el escenario externo 97

7- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 105

8- REFERENCIAS 109

9- ANEXOS 112

1- INTRODUCCIÓN

El desarrollo de cualquier actividad realizada por el ser humano debe ser ambientalmente aceptable, intentando generar el menor impacto posible en su entorno.

El entorno ambiental donde se pretende realizar una actividad debe poseer las condiciones necesarias para realizar esa actividad específica; por lo tanto, en lo que corresponde a la dinámica de precipitación, cambios de uso de suelo y generación de escorrentía superficial, se debe obtener un conocimiento más detallado de los aspectos relacionados con la hidrología, tales como la topografía, geomorfología, índice de precipitación y las cuencas hidrográficas circundantes que por la acción misma del proyecto, puedan recibir un cambio perceptible en su dinámica hídrica con el ambiente.

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 y trabajo de campo; además de búsqueda de información adicional en la bibliografía existente. De acuerdo con la normativa y procedimientos establecidos se realiza un análisis físico en detalle que comprende la definición de las condiciones básicas de la hidrología para la microcuenca de la quebrada Coyote y su zona de aporte pluvial, además de su relación con la Calle Ramiritos de Santa Ana.

- **Objetivos Generales**

Determinar las condiciones hidrológicas y de riesgos naturales, para el replanteo del puente sobre Calle Ramiritos, mediante las metodologías hidrológicas Mac-Math y Racional, además de la aplicación de la matriz de Riesgos Naturales, avalada por la Municipalidad de Santa Ana.

Analizar las condiciones hidráulicas de la quebrada Coyote mediante el uso de softwares, para la implementación de las obras estructurales y no estructurales que mitigaran los eventos de inundación y desbordes.

- **Objetivos específicos**

Realizar un modelo hidrológico y del comportamiento superficial del agua de escorrentía generada ante un evento de precipitación.

Definir las características hidrológicas e hidráulicas de la zona de aporte pluvial de la microcuenca de la quebrada Coyote.

Definir el contexto tectónico local del sector donde se pretenden desarrollar el proyecto.

Zonificar las condiciones de estabilidad de laderas en el área de estudio y alrededores mediante el modelo geológico-geomorfológico Mora-Vahrson-Mora (MVM).

.

- **Sitio de Estudio**

El lugar de estudio se trata de la Calle Ramiritos de Santa Ana, además del análisis completo de la zona de aporte pluvial de la quebrada Coyote". El lugar se localiza específicamente en el distrito de Pozos, del cantón de Santa Ana de la provincia de San José. Cartográficamente, el sitio se ubica sobre la hoja Abra (3345-I), escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Específicamente la propiedad se encuentra sobre las coordenadas centrales 1099705 N / 479987 E Proyección CRTM-05 (Figura N°1 Y 2).

- **Metodología**

Las actividades realizadas para lograr el objetivo del estudio consisten en búsqueda de información existente, visita de campo, mapeo geomorfológico, identificación de estructuras de drenaje cercanas, delimitación de usos de suelo, pendiente y textura del suelo predominante en las cercanías del proyecto, así como la aplicación de cálculos matemáticos por medio de las metodologías hidrológicas Mac-Math y Racional, para corroborar las condiciones hidrológicas del sitio en análisis, en distintos periodos de retorno, así como la modelación hidráulica por medio de los softwares; HEC-RAS 5.0.7 y H-Canales.

Para el reconocimiento y detalle las Amenazas y Riesgos Naturales sobre el sitio en estudio, se trata de un análisis compuesto por cinco elementos de discretización, que combina varias ensayos y pruebas en campo con evaluaciones de parámetros cualitativos y cuantitativos, para lo cual se aplicara en forma conjunta la Metodología Mora-Vahrson-Mora, y la Matriz de Riesgos desarrollada por la Ingeniera Emilia Jiménez quien es parte del equipo profesional de la Municipalidad de Santa Ana. En relación con las amenazas se identifican y cuantifican según Metodología de Análisis de Amenazas Naturales para proyectos de Inversión en Etapa de Perfil, realizada por el convenio interministerial de; el Ministerio de Agricultura y Ganadería, y el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.

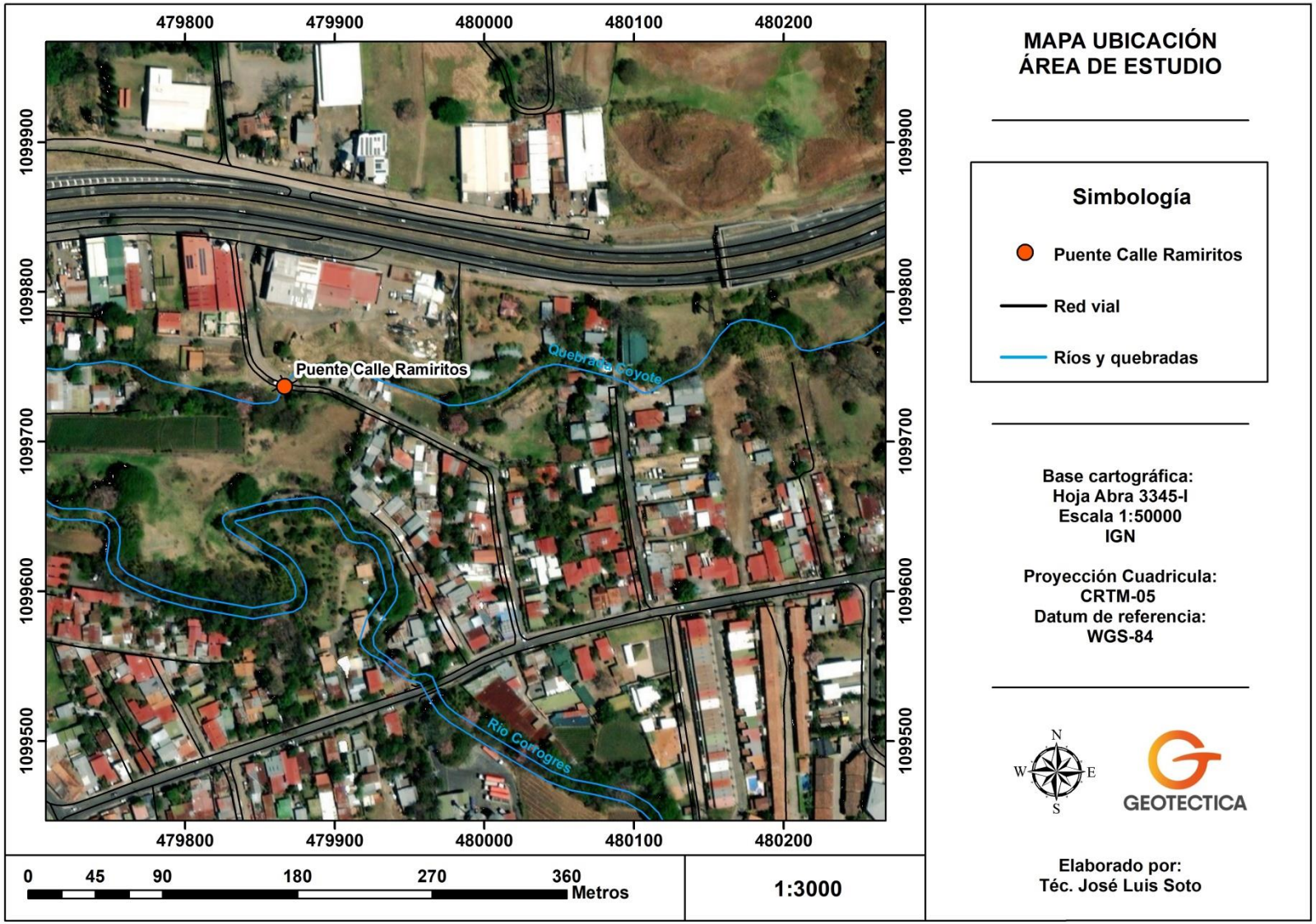

Figura N°1. Ubicación cartográfica de la zona de estudio en Calle Ramiritos de Santa Ana.

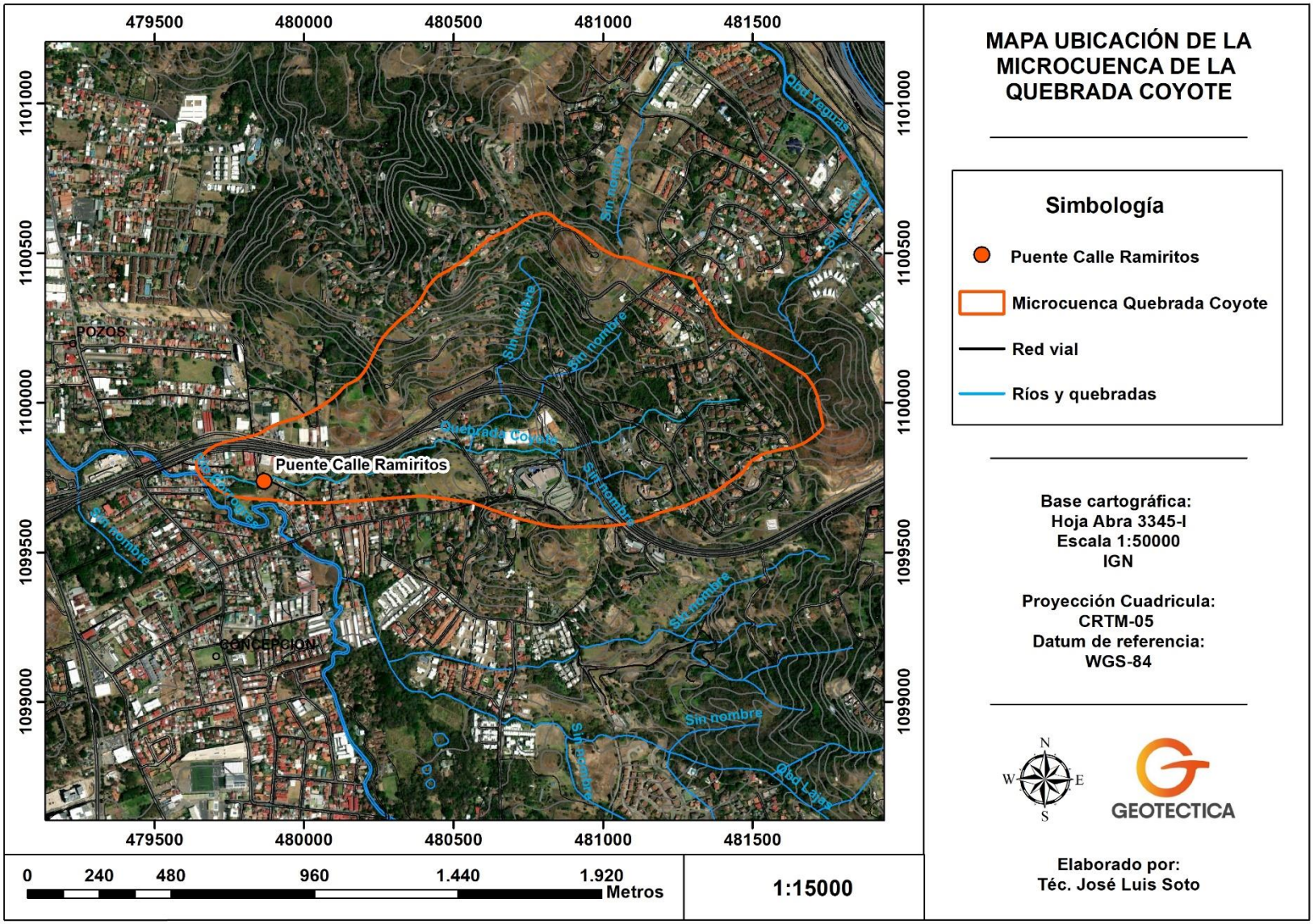

Figura N°2. Ubicación cartográfica del sitio del proyecto y la microcuenca de la quebrada Coyote.

2- ASPECTOS HIDROLÓGICOS

2.1.1. Características de la cuenca

El sitio de estudio se localiza sobre la microcuenca de la quebrada Coyote que aguas abajo tributa y forma parte de la cuenca del río Corrogres, esta se caracteriza especialmente por encontrarse inmersa en una zona urbana. Específicamente, la microcuenca dentro de la cual se ubica el área del proyecto (AP), corresponde con la zona de drenaje que cuenta con la quebrada Coyote como cauce principal, siendo esta la receptora del desfogue pluvial que genera la Calle Ramiritos de Santa Ana.

La zona de aporte pluvial, que incluye la calle Ramirito, posee un área estimada de 1.17583 km^2 o 117.58 ha.

Con el objetivo de estimar el caudal de desfogue del proyecto, se calculará este mediante la aplicación del Método Racional. La determinación de este valor establece que el cuerpo receptor de la escorrentía será la quebrada Coyote que traza la Calle Ramiritos de Santa Ana que concuerda con el área del proyecto (AP).

De esta forma, debido al tamaño de la zona hidrológica de influencia del sitio en análisis, los tiempos de concentración son pequeños, lo que predice una concentración de fluidos que se disipan al llegar al cuerpo de agua colector con mayor envergadura en el cauce; esto debido a que el uso de suelo en las partes altas corresponde a bosque secundario; mientras que en las partes bajas se obtiene un aumento en la cobertura correspondiente a densidad urbana.

Para determinar el caudal efluente producido por la Urbanización de Calle Ramiritos de Santa Ana, es necesario calcular la intensidad máxima de lluvia en el sector y el tiempo de concentración en la zona hidrográfica de influencia directa.

A continuación, se presenta en forma de mapa la zona de aporte pluvial de la microcuenca de la quebrada Coyote que traza la urbanización de Calle Ramiritos de Santa Ana, que será analizada a detalle para definir las condiciones hidrológicas en mención, esta fue delimitada en color negro y se observa en la Figura N°3.

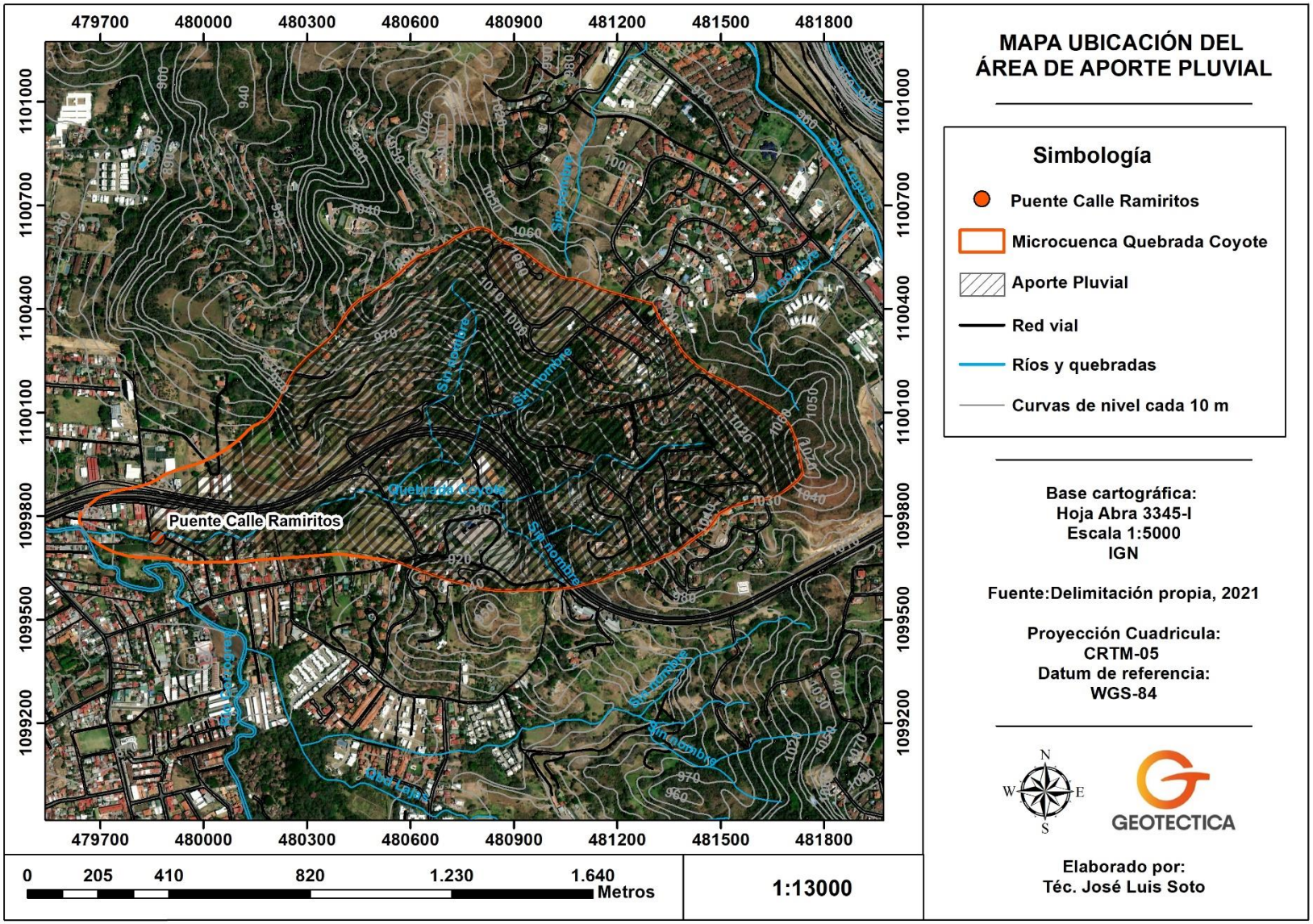

Figura N°3. Mapa área de aporte pluvial dentro de la microcuenca de la quebrada Coyote.

- **Hidrografía**

El sistema fluvial del cantón de Santa Ana corresponde a la Vertiente del Pacífico, el cual pertenece a la cuenca del río Grande de Tárcoles. Principalmente el cantón es drenado por el río Uruca, junto con el río Corrogres, mismo al que tributan las quebradas: Rodríguez y Lajas. Otros cauces importantes del cantón son: el río Oro, las quebradas; Navajas, Coyote, Canca, La Cruz, San Marcos y Muerte. Estos cuerpos de agua nacen principalmente al noroeste de los cerros de Escazú y finalizan su curso en el Río Virilla, siendo este el más importante en la región.

La quebrada Coyote que traza la urbanización de Calle Ramiritos, nace al este del poblado conocido como Pozos, aproximadamente a 1500 m del área del proyecto, esto sobre el distrito de Pozos, el mismo presenta un rumbo preferencial Sur 81° Oeste, hasta que tributa en el río Corrogres, siendo este cauce el más importante en la zona.

- **Aspectos Climáticos**

Los datos climáticos recuperados corresponden con las estaciones climatológicas: Belén 84119 y Santa Ana - Guachipelín 84199, localizada en las coordenadas geográficas latitud 09° 58` Norte / Longitud 84º 11` Oeste, y 09° 56` Norte / Longitud 84º 09`respectivamente, estas se localizan a menos de 3.9 km del área del proyecto (Gráfico N°1, Gráfico N°2 y Anexo I).

- **Precipitación**

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 del proyecto 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.

- **Temperatura**

La temperatura media mensual presenta poca variación de un mes a otro, esta se mantiene normalmente en los 23.8 grados Celsius, destacándose los meses de marzo, abril y mayo como los que sobrepasan esta media anual y siendo estos los más cálidos, o al menos donde se registran las temperaturas medias más altas, las cuales son: 24.3°C (marzo y mayo) y 25.0 °C (abril).

- **Humedad relativa del aire.**

La humedad relativa durante los meses más secos alcanza un valor promedio de 63.38 % estos son enero, febrero, marzo y abril. La humedad sube a 82.15% durante los meses más lluviosos del año, siendo estos septiembre y octubre.

- **Viento**

En La zona de estudio el viento posee una dirección hacia el sureste, siendo esta predominante durante el año, la velocidad promedio anual del viento es de 16.5 km/h, el mes de enero presenta una elevación pico de 28.6 km/h, aumentando 12.1 km/h de la media anual. Mientras que el mes con menor velocidad en el año es octubre con 8.6 km/h, reduciendo 7.9% del promedio anual.

- **Heliofanía**

El brillo solar varía en distintas fechas del año, Para los meses de enero, febrero y marzo la luz solar se mantiene 8.2 horas aproximadamente.

Los meses de septiembre y octubre disminuyen gradualmente sus horas de luz, el día dura 32 minutos menos aproximadamente. Respecto a los demás meses del año desde noviembre hasta febrero los días mantienen horas luces constantes, en promedio las horas de sol se mantienen 5.7 horas.

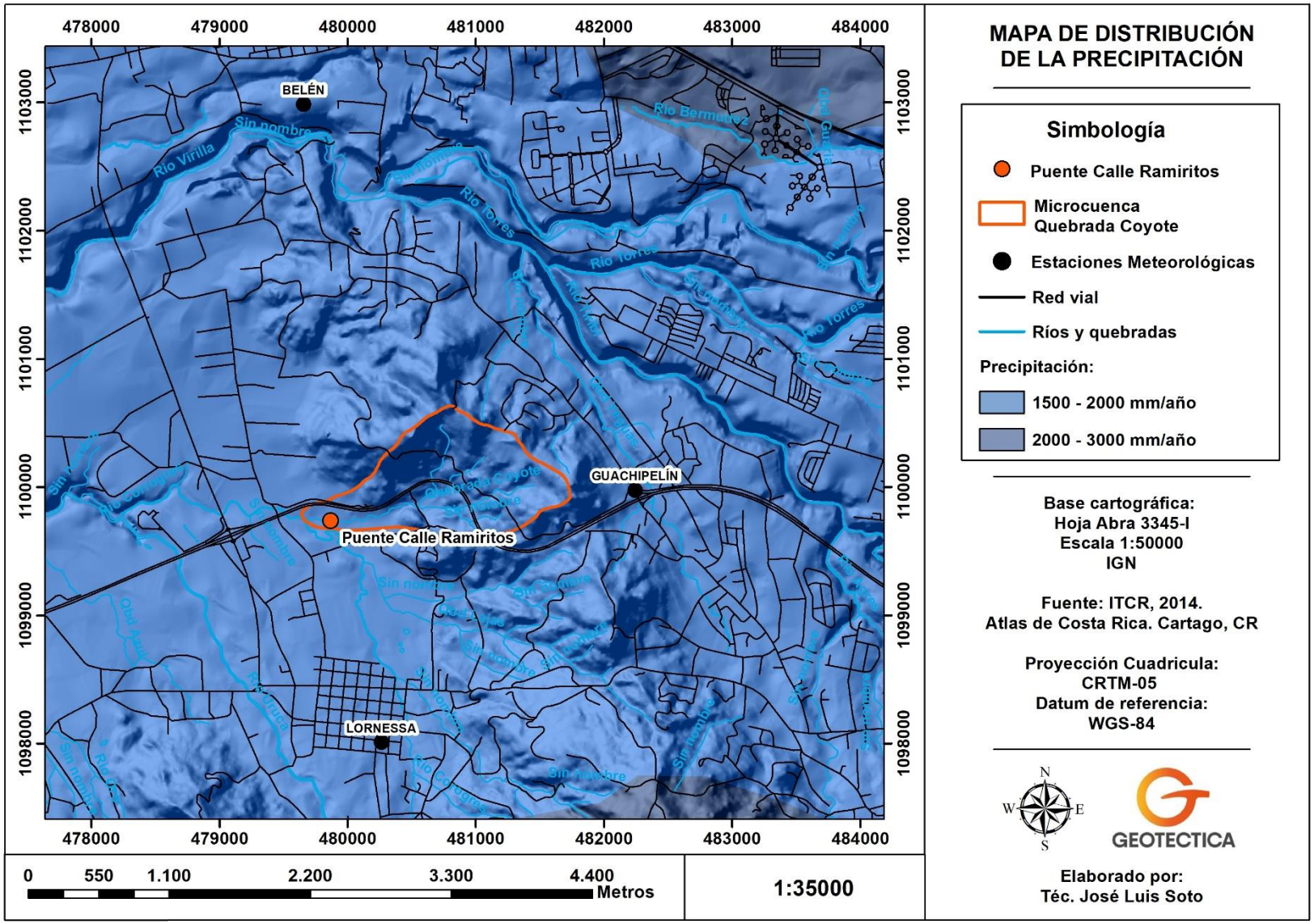

Figura N° 4. Mapa de distribución de precipitación anual. (Fuente: ITCR, 2014.)

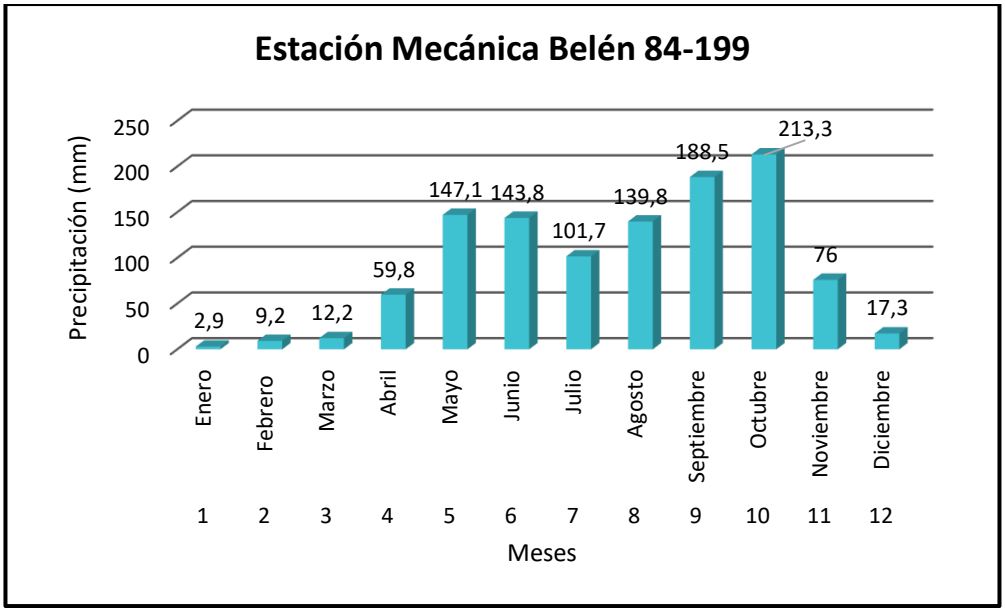

Grafico N° 1. Registro mensual acumulado de precipitación para estación Belén 84-199. (Fuente: IMN, 2020).

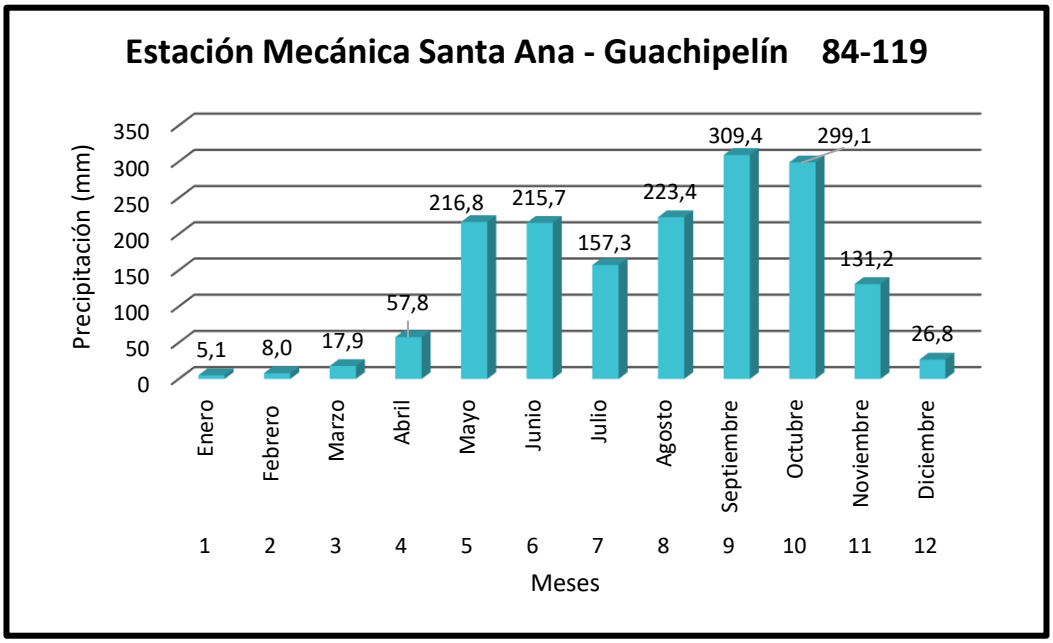

Grafico N° 2. Registro mensual acumulado de precipitación para estación Santa Ana, Guachipelín 84-199. (Fuente: IMN, 2020).

2.1.2. Cálculos Hidrológicos

- **Factor de 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.

Tal y como se mencionó anteriormente en el apartado de aspectos hidrológicos, para estimar el valor de caudal de desfogue del proyecto y el caudal de avenida máxima se procedió a establecer el cálculo para la microcuenca la quebrada Coyote (cuerpo receptor de las aguas pluviales generadas por la urbanización de calle Ramiritos), a continuación, se muestran los valores estimados para la microcuenca.

De esta forma, indicado lo anterior, para la microcuenca de la quebrada Coyote, tenemos valores de ancho promedio de 0.572 Km, una longitud de 2.094 km y un área de microcuenca de 1.23 Km^2.

Dada la fórmula:

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

Dónde:

B= Ancho (0.572Km)
L= Longitud (2.094 Km)
Se tiene:

$$F1 = \frac{0.572\ Km}{2.094Km} = 0.273$$

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.

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

Donde
A= Área de la Cuenca (1.23 Km^2)
L= Longitud de la cuenca² (2.094 Km)

Por lo tanto:

$$F2 = \frac{1.23\ Km^2}{(2.094Km)^2} = 0.280$$

Para la microcuenca de la de la quebrada Coyote, de forma en relación con el ancho y el área presenta el mismo resultado, el cual corresponde a 0.280, definiendo de acuerdo con el Cuadro N°1 de rangos aproximados del Factor Forma (Pérez, 1979) como una cuenca de forma alargada.

Cuadro N°1. 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.

- **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 con mayores tiempos de concentración asociados en la cuenca. Su expresión matemática corresponde a:

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

Donde P es el perímetro (Km) y A el área de la cuenca (Km^2).

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

P=4.983 Km
A= 1.23 Km^2

$$Kc = 0.28\,\frac{4.983Km}{\sqrt{1.23\ \ Km^2}} = 1.25$$

Por lo tanto, el Kc de la quebrada Coyote tiene un valor de 1.25, lo que indica una forma general de la cuenca relativamente alargada, con tiempos de concentración definidos como bajos o cortos, lo que influye directamente en las probabilidades de que se genere un evento de precipitación con la capacidad de cubrir toda la microcuenca.

- **Cálculo del caudal de avenida máxima**

Para establecer el cálculo del caudal máximo de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Coyote que traza la calle Ramiritos de Santa Ana se ha utilizado el método Mac-Math, el cual es derivado del método racional, por lo cual mantiene las premisas del mismo. Este método supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia se produce cuando

la duración de ésta es igual al tiempo de concentración (tc). Cuando así ocurre, toda la cuenca contribuye con el caudal en el punto de salida (Villón, 2004).
Las descargas máximas para las microcuencas o áreas que componen el área total de drenaje que escurre hacia las quebradas se determinó mediante la fórmula de Mac Math, cuya expresión, para el sistema métrico, es la siguiente:

$$Q = 0.0091CIA^{4/5}S^{1/5}$$

Dónde:

Q= caudal máximo con un periodo de retorno de T años, en m³/s.
C= factor de escorrentía de Mac-Math representa las características de la cuenca.
I= intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración (tC), y un periodo de retorno de T años, mm/h.
A= área de la cuenca, en Ha.
S= pendiente promedio del cauce principal, en %.

- **Cálculo de la intensidad máxima de la lluvia (I)**

A partir de la observación de las variables que se incluyen en la fórmula de Mac-Math, es necesario establecer una serie de cálculos previos para obtener el caudal de avenida máxima. Dentro de los valores que se tienen que determinar, tenemos:

I = intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración (tc) y un periodo de retorno de T años, mm/h.
A = área de la cuenca, en Ha.
S = pendiente promedio del cauce principal, en %.
C = factor de escorrentía de Mac-Math (representa las características de la cuenca).

La aplicación del método 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).

En este caso para la microcuenca, se utilizará la curva de intensidad-duración-periodo de retorno de la estación meteorológica más cercana con información relevante para el sitio de análisis. Para el cálculo de la Intensidad Máxima de Lluvia (I) se consultaron las curvas IDF y ecuaciones correspondientes a la estación automática del Aeropuerto de Pavas (Rojas, 2011). Dicha estación se localiza a 5.9 km al noreste de la Calle los Ramiritos

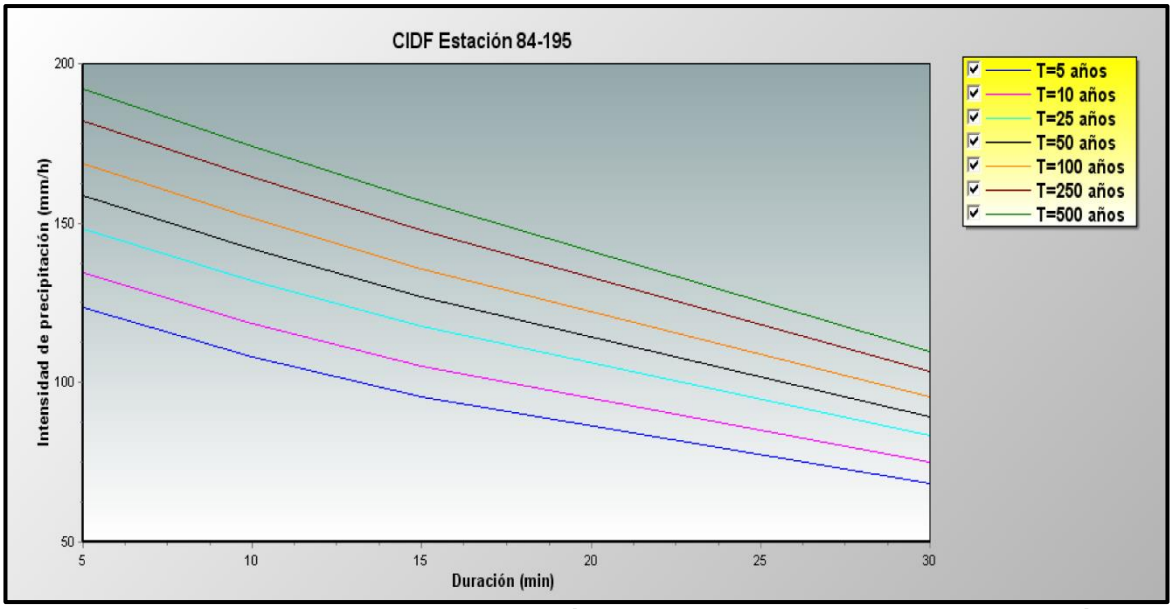

Grafico N° 3. Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno para la estación de Pavas. (Fuente: Rojas, 2011.)

- **Cálculo de la pendiente del cauce principal (S)**

Como se estableció anteriormente, para calcular la pendiente promedio de la quebrada Coyote, se ha utilizado la Ecuación de Taylor y Schwarz (Villón, 2002), dada la longitud e irregularidad de su cauce.

Dentro de las posibilidades que ofrece la ecuación de Taylor y Schwarz, está la opción de definir los tramos del cauce de la quebrada de igual o diferente longitud, según la disposición del terreno y la información encontrada; en este caso, la ecuación aplicada corresponde a la determinación de tramos de diferente longitud, dado el dato de distancia generado a partir de la división del cauce según las curvas de nivel establecidas cada 10 metros, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{s_i^{\frac{1}{2}}}} \right]$$

Dónde:

S =pendiente media del cauce.
Li = Longitud del tramo i.
Si =pendiente del tramo i.

Para este caso, como se mencionó anteriormente, se considera que la quebrada está formada por ***n*** tramos de diferente longitud, cada uno de ellos con pendiente variable; de tal manera que cada tramo posee un valor de pendiente determinado a partir del cociente de la diferencia de alturas y el tramo de longitud constante en el cauce, tal y como se logra visualizar en el Cuadro N°2.

Cuadro N°2. Valores para la pendiente de la quebrada Coyote.

Alturas	Longitud (m)	S	$L/\sqrt{s}$
849	0	0	0
850,00	85,70	0,0117	793,4
860,00	399,73	0,0250	2527,3
870,00	402,00	0,0249	2548,8
880,00	213,43	0,0469	986,0
890,00	165,51	0,0604	673,3
900,00	49,69	0,2013	110,8
910,00	30,78	0,3248	54,0
920,00	31,78	0,3147	56,7
930,00	51,33	0,1948	116,3
940,00	29,97	0,3337	51,9
950,00	36,36	0,2750	69,3
960,00	46,48	0,2151	100,2
970,00	32,95	0,3035	59,8
980,00	60,27	0,1659	148,0
990,00	84,68	0,1181	246,4
1000,00	189,22	0,0528	823,1
1010,00	92,14	0,1085	279,7

Fuente: Propia, 2021.

De esta forma, utilizando este método, la S correspondiente para la microcuenca es la siguiente:

Finalmente, S es:

$$S = \left(\frac{L}{\sum \frac{L1}{\sqrt{s1}}}\right)^2 = \left(\frac{2002.0136}{9644.85}\right)^2 = 0.0430$$

Dónde:

S =pendiente media del cauce.
L = Longitud de la quebrada Coyote (2002.0136 m).
$\sum \frac{L1}{\sqrt{s1}}$ = Sumatoria, Cuadro N°4 (9644.85).

De esta forma, utilizando este método, la S correspondiente para la microcuenca de la quebrada Coyote es, S = **0.0430 o 4.30%.**

El método que incluye esta ecuación considera que un río está formado por ***n*** tramos de diferente longitud, cada uno de ellos con pendiente uniforme; de tal manera que cada tramo posee un valor de pendiente determinado a partir del cociente de la diferencia de alturas y la longitud del cauce delimitada por esas alturas.

En la Figura N° 5 se observa el perfil de longitudinal de la quebrada Coyote, misma que presenta una dirección sur 81° oeste hasta su punto de tributación, en los primeros 750 m del cauce se genera la mayor diferencia de elevación, siendo estos tramos los que presentan mayores pendientes sobre la quebrada.

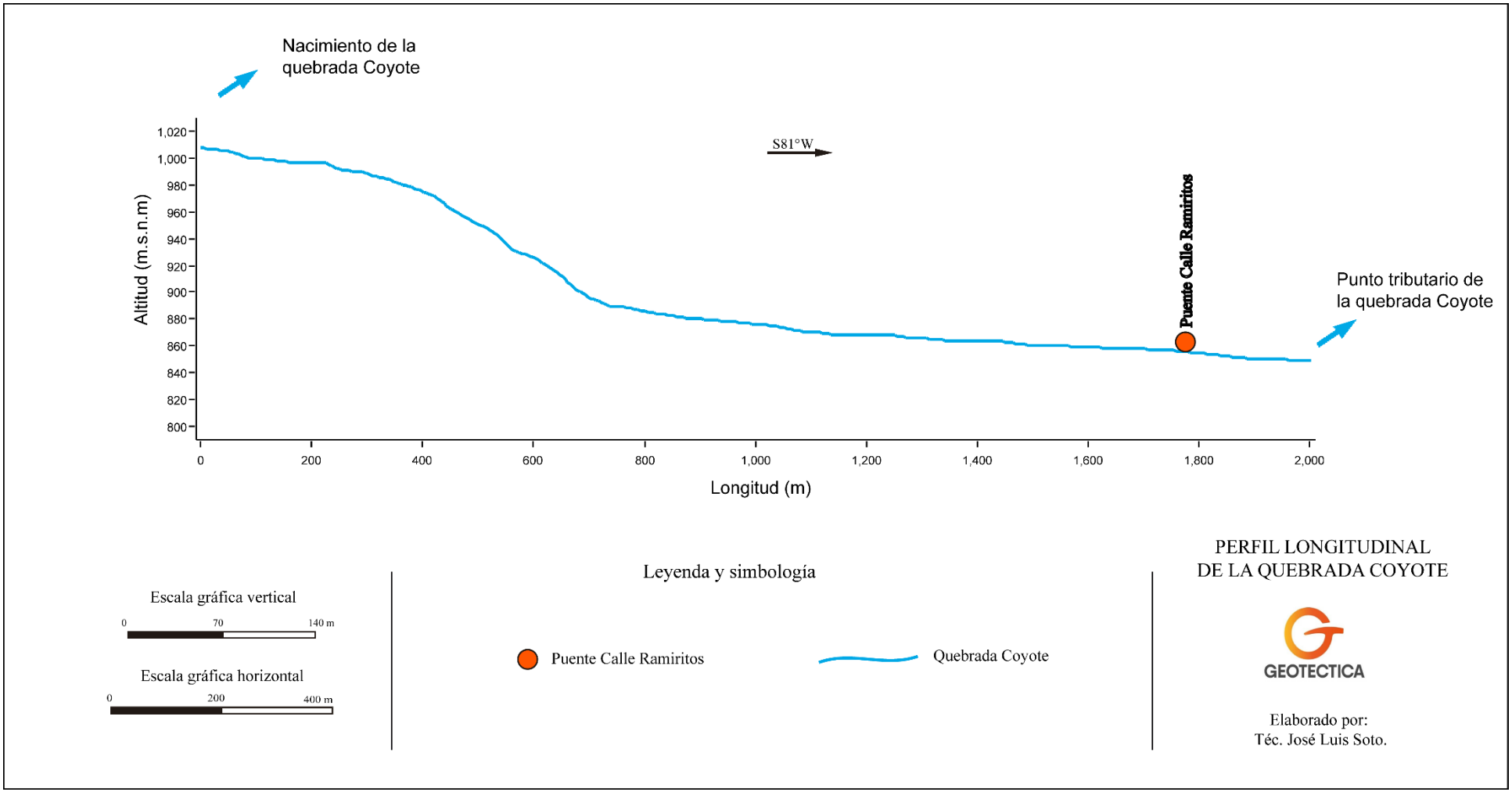

Figura N°5. Perfil longitudinal de la quebrada Coyote que traza el puente de calle Ramiritos.

- **Tiempo de concentración Fórmula de Kirpich**

El tiempo de concentración puede definirse como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de la cuenca contribuyan simultáneamente al caudal recibido en la salida; expresado de otra forma, corresponde al tiempo transcurrido desde que una gota de agua cae, en el punto más alejado de la cuenca, hasta que llega a la salida de ésta (estación de aforo), (Villón, 2004).

Para la microcuenca de la quebrada Coyote, el método aplicado para la obtención del valor tc implica la utilización de la fórmula de Kirpich.

$$\boldsymbol{tc = 0.0195(L^3/H)^{0.385}}$$

Dónde:

tc= tiempo de concentración, en min.
L= máxima longitud del recorrido en metros.
H= diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal, en m.

El valor de L (longitud máxima del recorrido, en metros) para la microcuenca se obtuvo a partir del cálculo de la medida del cauce principal, ésta desde su nacimiento hasta a su punto de confluencia, mediante la utilización de la herramienta de medición que ofrece el programa ArcGIS 10.5.

De igual forma, el valor correspondiente a H (diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal, en metros), se determina a partir del dato ofrecido por un modelo de elevación, establecido con las curvas de nivel cada 10 metros dentro de la cuenca.

Por lo tanto, el tc estimado de la quebrada Coyote, definiendo una longitud de cauce de 2001 m, para el punto más alto del cauce con una altura aproximada de 1010 m.s.n.m; así como en el punto de desembocadura con una altura de 850 m.s.n.m. De esta forma, la diferencia de altura entre los puntos extremos del cauce principal brinda un valor ∆H=260 metros.

Por lo tanto:

L= 2001 m

∆H= 160 m

$$tc = 0.0195(\frac{2001^3}{160})^{0.385} = 18\,min$$

En resumen, el valor del tiempo de concentración obtenido, para el caso de la microcuenca de la quebrada Coyote que traza el puente de calle Ramiritos, nos indica el dato de intensidad en la curva IDF; para este caso, se asumirá un tiempo de concentración conservador de ***18 min.*** De esta forma *el* valor de intensidad varía según el periodo de retorno, establecido desde 86.8mm/h en 5 años, hasta 138.2 mm/h en 500 años (Cuadro N°5). La ecuación para calcular las intensidades de lluvia (I) en distintos periodos de retorno, fue la expuesta por las curvas i-d-f de Rojas, (2011), la misma se presenta a continuación:

$$I = \frac{187.08 * T\text{^}0.101}{D\text{^}0.322}$$

I= Intensidad de lluvia (mm/h).
T= Periodo de Retorno (años).
D=Tiempo de concentración (minutos).

Cuadro N° 3. Valores para la intensidad de lluvia en función del periodo de retorno de la quebrada Coyote.

Valores de Intensidad de lluvia en función del periodo de retorno, para una duración estimada de 18 minutos							
Periodo de Retorno (años)	5	10	25	50	100	250	500
Intensidad (mm/h)	86.8	93.1	102.1	109.5	117.4	128.8	138.2

Fuente: Propia, 2021.

- **Cálculo del coeficiente de escorrentía (C)**

De los parámetros que intervienen en esta fórmula, el factor de escorrentía (C) está definido en función de tres componentes (Cuadro N° 6):

$$C=C_1+C_2+C_3$$

Dónde:

C1= está en función de la cobertura vegetal.
C2= está en función de la textura del suelo.
C3= está en función de la topografía del terreno.

Cuadro N° 4. Valores de coeficiente de escorrentía según el método Mac-Math.

Factor de escorrentía de Mac-Math (Adaptado Costa Rica)					
Vegetación		***Suelo***		***Topografía***	
Uso del Suelo	**C1**	**Textura**	**C2**	**Pendiente (%)**	**C3**
Área Urbana	0.40	Arcilla Plástica	0.22	0.0 - 2.0	0.04
Bosque Primario	0.03				
Bosque Secundario	0.05	Arena	0.08	2.1 - 5.0	0.08
Cultivo Permanente	0.10				
Cultivos Anuales	0.08	Arenosa Gruesa	0.05	5.1 - 10.0	0.15
Lagos y embalses	0				
Nubes o sombras	0.15	Limo arcilloso	0.16	10.1 - 20.0	0.20
Pastos	0.2				
Tacotal y Charral	0.18	Limo arenoso	0.10	20.1 - 50.0	0.25
Terreno descubierto y Tajo	0.25				
Uso mixto	0.22	Limo volcánico	0.12	> 50.0	0.30

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía medio, se realiza una media ponderada de los diferentes coeficientes de escorrentía, de cada una de las subzonas en las que se puede dividir el área considerada. Dentro de los parámetros que intervienen en la fórmula del Método

Mac-Math, el dato del coeficiente de escorrentía está formado por la suma de tres componentes, es decir: $C=C_1+C_2+C_3$ (C_1= está en función de la cobertura vegetal, C_2= está en función de la textura del suelo y C_3= está en función de la topografía del terreno); por lo tanto, es necesario efectuar el cálculo de la media ponderada para cada uno de los tres componentes de C. De tal manera, se ha creado mediante el programa ArcGIS 10.5, una interacción de los tres diferentes mapas de cada uno de los ejes temáticos que intervienen en el cálculo, así como una relación con el área de la cuenca y el área de cada subzona, haciendo una sumatoria de todos los resultados de esa relación.

Es importante tener en consideración que, para el cálculo de escorrentía, se tomaran en cuenta los parámetros de C (C1+C2+C3) de la zona de aporte pluvial, misma que se observa en la Figura N°3 y en otros mapas de los apartados anteriores.

De esta forma, se llega a la siguiente expresión:

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \ldots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + \ldots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_iA_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i}$$

Dónde:

C = coeficiente de escorrentía ponderado.
Ci = coeficiente de escorrentía para el área Ai.
Ai = área parcial i.

Para determinar el valor de C_1 para la microcuenca de la quebrada Coyote, se elaboró un mapa de uso de suelo para la zona con base en fotografías aéreas del año 2021 (imágenes obtenidas en la base de Google Earth) y el mapa del plan regulador de la municipalidad de Santa Ana, publicado el 2013, información recopilada en el IGN y la información obtenida durante las visitas de campo.

La zona de aporte pluvial de la quebrada Coyote presenta una cobertura de suelo principalmente asociada a bosque secundario, así como un área de alta densidad urbana, abarcando entre los dos usos un área de 81.75 ha, que corresponde al 69.52 % del área total de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Coyote.

En la Figura N°6 se logra visualizar el uso de suelo de la zona de aporte pluvial de la microcuenca de la quebrada Coyote y la Calle Ramiritos.

Con el objetivo de identificar los tipos de texturas de suelo, que se exhiben en el área de estudio, y calcular el valor C2, se ha consultado el Mapa de Geología de Costa Rica (Denyer y Alvarado, 2007); también, se ha utilizado la categorización de tipo de suelo que incluye el Atlas del 2014 del Instituto Tecnológico de Costa Rica, relacionado con muestras tomadas en campo, análisis visual e información de la capa edafolitológica superficial que se indica en el reporte de perforación de los pozos en la zona, según la base de datos de SENARA.

Con el análisis recabado de las fuentes consultadas, se ha definido una delimitación de textura de suelos que posee dos órdenes, los cuales se mencionan a continuación:

Ultisoles (Arcilla Plástica): Son suelos fuertemente meteorizados, viejos de color rojo, de baja fertilidad, son típicos del trópico (Arias, 2012). Las texturas de este tipo de suelo van desde muy finas hasta regularmente finas, y se asocian principalmente a las arcillas (caolinita), además presenta óxidos de hierro (FE) y aluminio (Al).

Inceptisoles (Limo Arcilloso): Son suelos relativamente jóvenes, pero con un horizonte bien desarrollado de alta fertilidad (Arias, 2012).

Respecto a la textura de este suborden se menciona que la misma posee grandes cantidades de materia orgánica inmersa en arcillas iluviadas en los horizontes más profundos de suelo, por lo que la textura se caracteriza como limo arcilloso.

El valor de C3 es el aspecto que relaciona la pendiente del terreno, éste se ha derivado de la determinación y clasificación de las pendientes de la zona en estudio, que fue generada a través de la elaboración de un modelo de elevación digital (MED), construido utilizando las curvas de nivel establecidas cada 10 metros dentro de la zona de aporte pluvial de microcuenca de la quebrada Coyote y su respectiva clasificación de pendientes en los rangos que establece el método del Mac Math. Las pendientes de la zona de aporte de la quebrada Coyote se han establecido con predominancia de valores entre 10 a 50%, localizadas en distintas partes de la zona de influencia pluvial. Respecto a las pendientes de 2 a 5%, estas poseen la menor presencia en la zona de estudio, se pueden observar en la parte baja de la zona de aporte pluvial, esto en relación a los demás porcentajes de pendiente (Figura N°8).

Una vez obtenidos los valores de C que dependen de la cobertura de vegetación, textura del suelo y porcentaje de pendiente, se utiliza el álgebra de mapas para establecer el cálculo de la C media ponderada, misma que según el método de Mac Math constituye el resultado de la suma de todos los valores de C asignados, para las diferentes áreas (Figura N°9). De esta forma, el valor de C compuesto para la zona de aporte pluvial de la microcuenca quebrada Coyote es 0.59 (Cuadro N°7):

Cuadro N°5. Valores para el cálculo de la C compuesta.

Factores de Escorrentía, Mac-Math	Área de la zona de aporte pluvial (ha) [1]	Valor de C*Área [2]	Factor de Escorrentía "C" [C=2/1]	C Compuesta para el área de aporte de la quebrada Coyote
Uso de suelo	117.58	23.75	C1 =0.20	0.59
Textura		24.46	C2=0.21	
% Pendiente		20.78	C3=0.18	

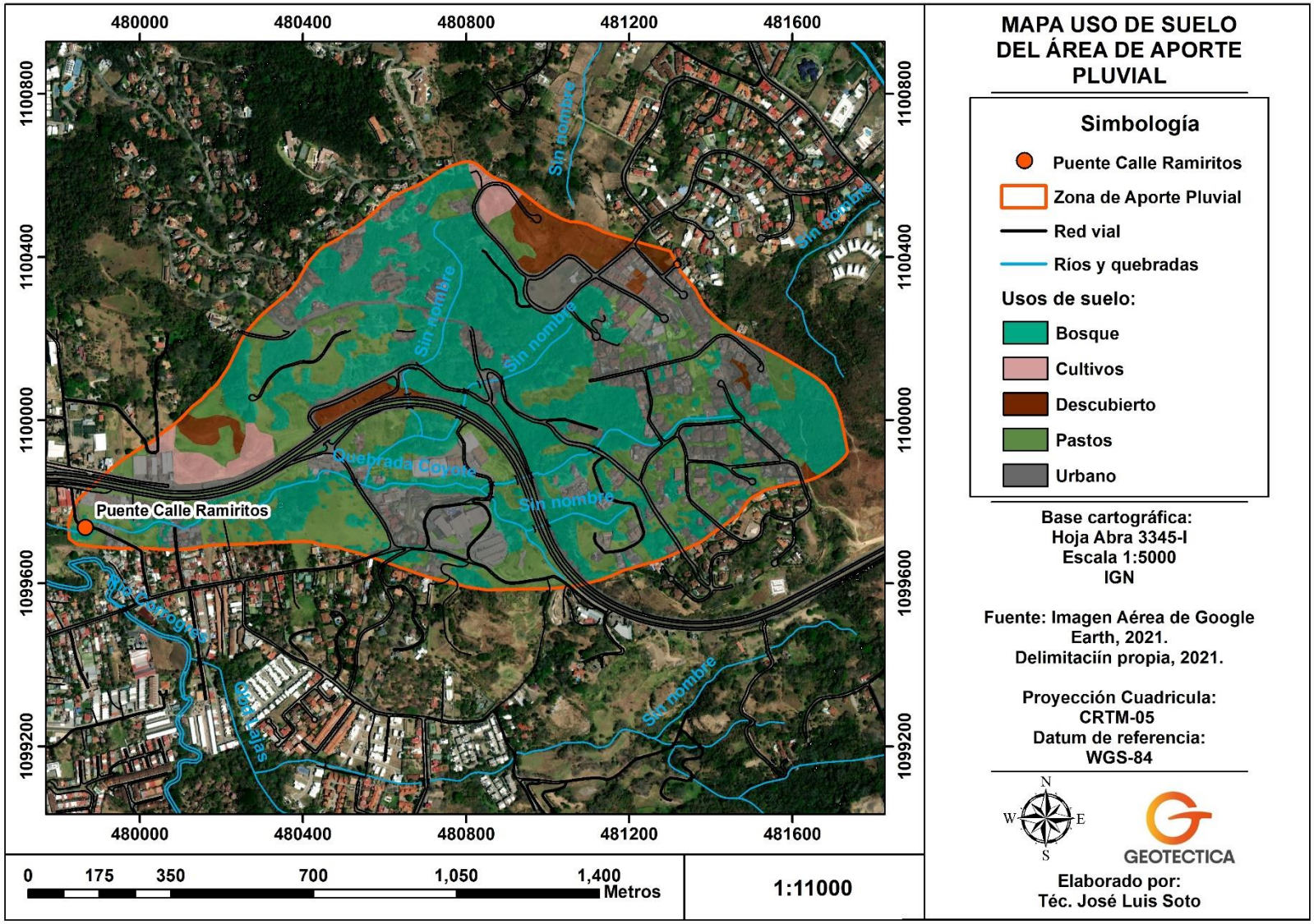

Figura N°6. Delimitación del uso del suelo de la zona de aporte pluvial de la microcuenca de la quebrada Coyote.

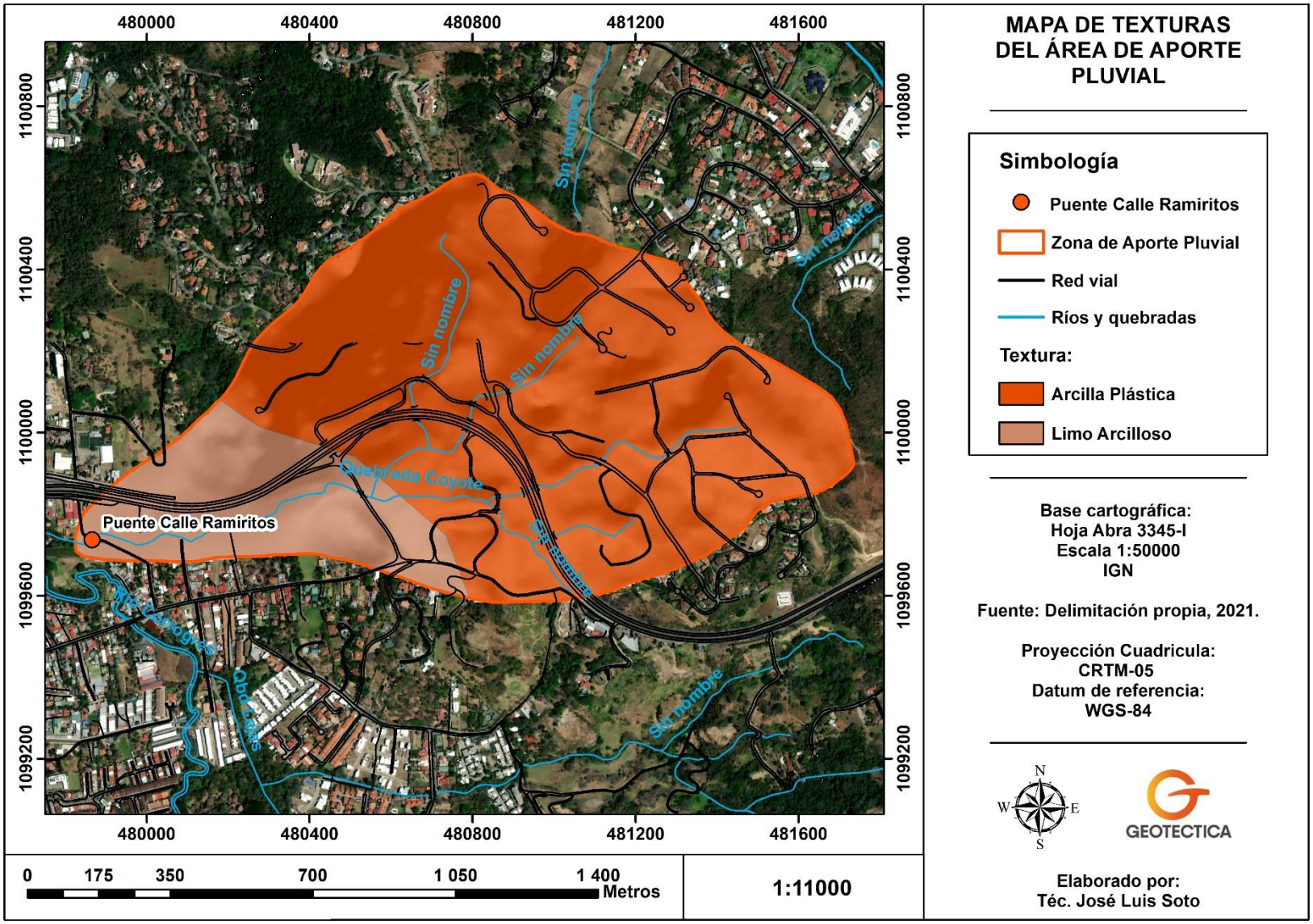

Figura N°7. Mapa de Textura de Suelos de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Coyote.

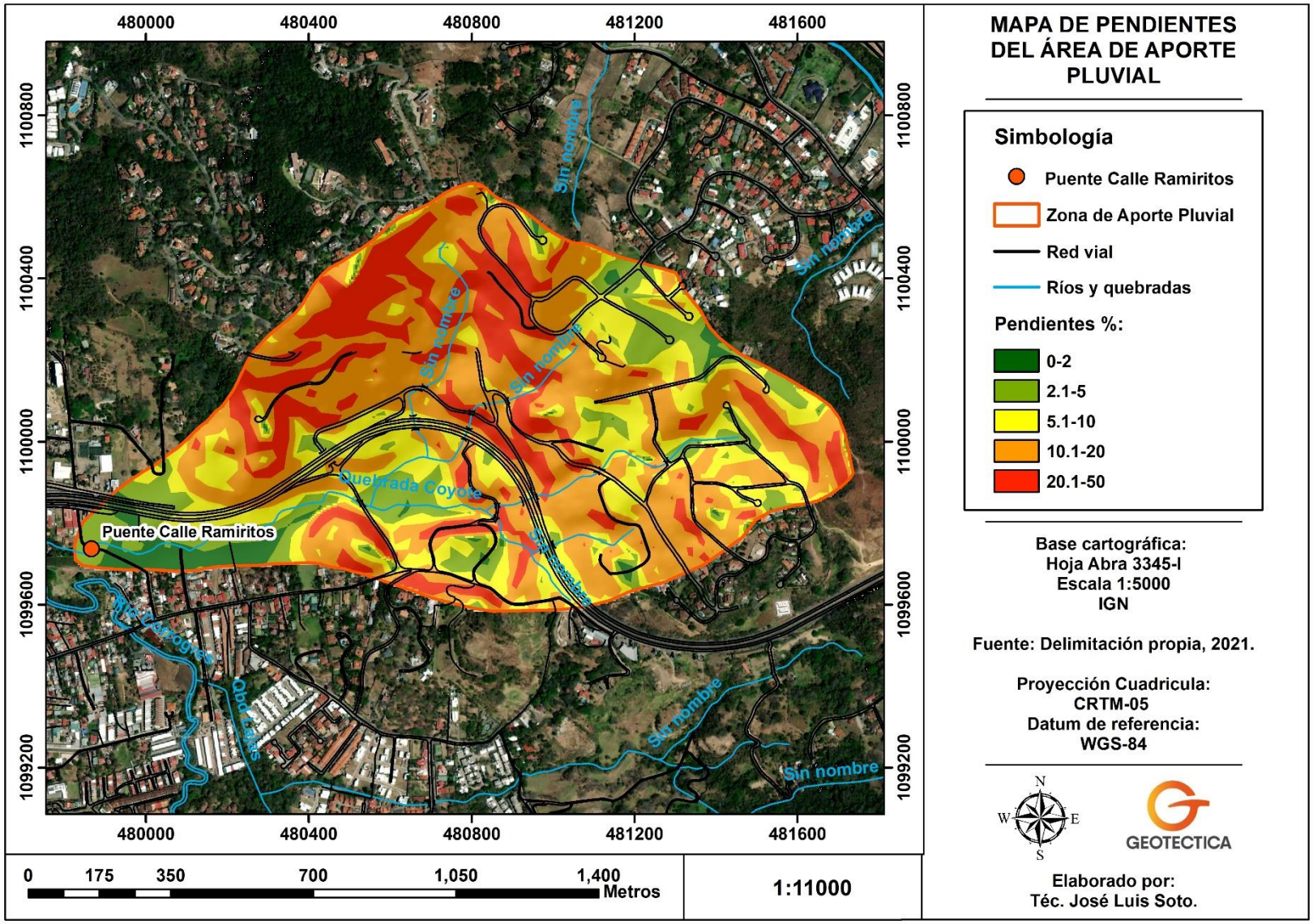

Figura N°8. Mapa de pendientes de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Coyote.

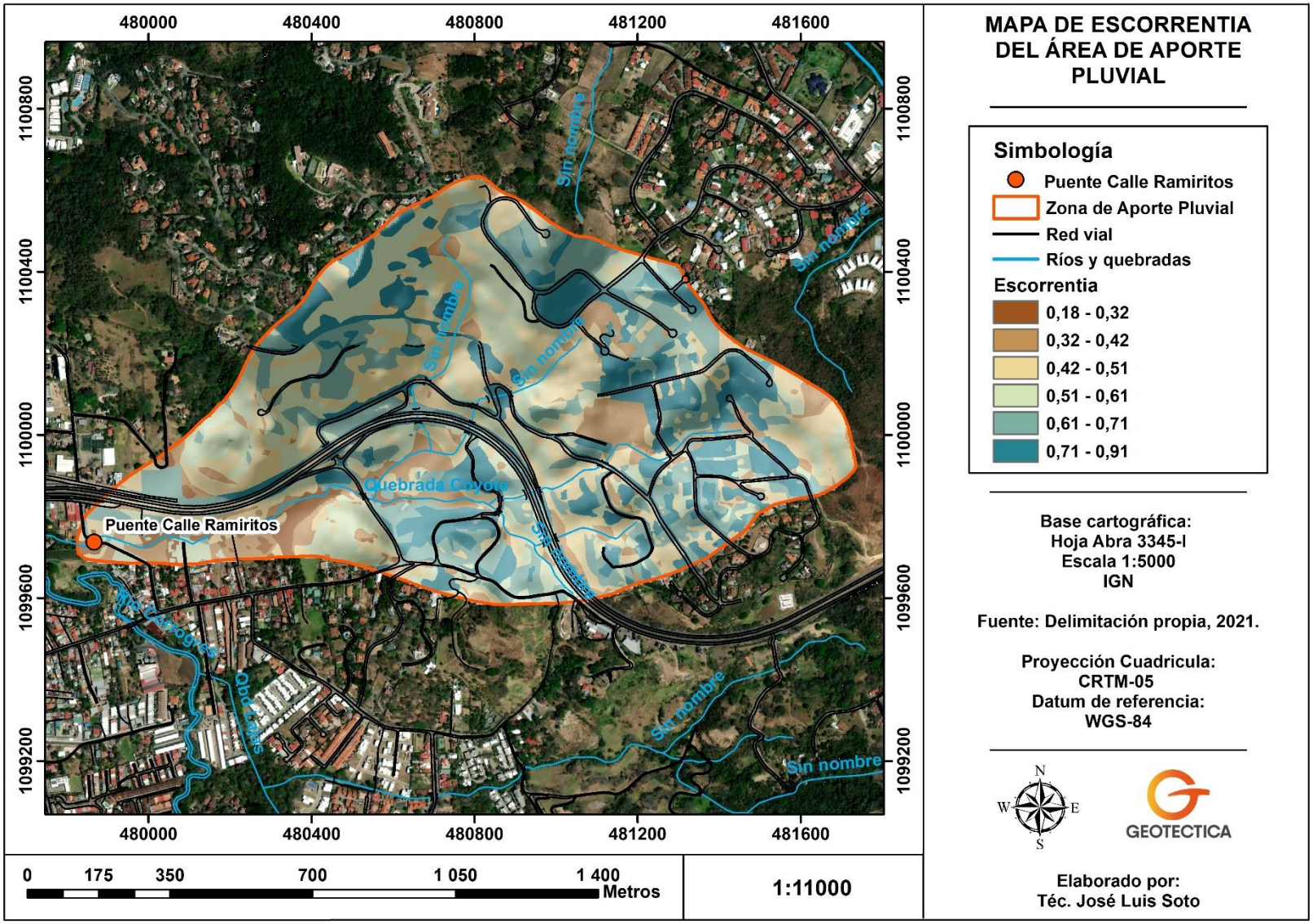

Figura N°9. Mapa de rangos de coeficiente de escorrentía de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Coyote.

Respecto a los valores de escorrentía expuestos en el Figura N°10, se puede mencionar que en el área inmediata de la Calle Ramiritos, la escorrentía se puede catalogar entre media y alta, ya que sus valores rondan entre 0.32% y 0.61%, por lo que actualmente se aporta una cantidad de agua importante a la quebrada Coyote, dichos valores se ven reflejados en la cobertura de suelo, donde predomina el uso urbano, además la textura de suelo está compuesta por materiales limo arcillosos y arcilla plástica. En relación con las pendientes estas varían sobre el área del proyecto, donde se logra observar distribuidas por toda la propiedad pendientes medias entre 2 y 10%, mientras que al norte su valor aumenta significativamente hasta rangos de 10 y 50 %. Por lo que la escorrentía en el área del proyecto se podría considerar como semidirecta.

Una vez obtenidas las variables incluidas en el Método Mac-Math se calculan los valores de caudales máximos en función de diferentes periodos de retorno (Cuadro N° 6).
Para el caudal de avenida máxima de la Zona de aporte Pluvial de la quebrada sin nombre, a continuación, se presenta la ecuación:

$$Q = 0.0091CIA^{4/5}S^{1/5}$$

Donde:

Q= caudal máximo con un periodo de retorno de T años, en m³/s.
C= factor de escorrentía de Mac-Math representa las características de la cuenca (**0.59**).
I= intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración (tC), y un periodo de retorno de T años, mm/h (**Cuadro N°3**).
A= área de la zona de aporte, en ha **(117.58**).
S= pendiente promedio del cauce principal, en % (**0.0430**).

Cuadro N°6. Valores para el caudal de avenida máxima de la zona de aporte microcuenca de la quebrada Coyote.

Valores de Intensidad de lluvia en función del periodo de retorno, para una duración estimada de 18 minutos							
Periodo de Retorno (años)	5	10	25	50	100	250	500
Intensidad (mm/h)	86.8	93.1	102.1	109.5	117.4	128.8	138.2
Caudal de avenida Máxima(m³/s)	11.26	12.07	13.24	14.20	15.22	16.70	17.92

3- MODELACIÓN HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA COYOTE

Para la modelación hidráulica se realizó un levantamiento topográfico a detalle en campo de sectores de la quebrada Coyote, las labores constan en medir con el nivel óptico topográfico las altitudes del canal del cuerpo de agua en análisis y con esto poder modelar la quebrada Coyote por medio del programa Hec-Ras 5.0.7, software que indica la capacidad hidráulica a detalle del cauce, como también un recorrido sobre el cauce de la quebrada identificando diversas estructuras hidráulicas para su análisis en H-Canales. En el Cuadro N°7 se presentan los caudales de avenida máxima utilizados.

3.1.1. Análisis mediante H-canales

El modelo seleccionado para la simulación hidráulica fue el programa H- Canales desarrollado por el investigador Villón-Bejar, M. Este modelo fue impulsado por crear un software que no existe en el mercado que permita simplificar los cálculos laboriosos, e inclusive simular las diferentes condiciones de rugosidad, pendiente y dimensiones del canal, y con esto optimizar su diseño aprovechando la rapidez del software (Villón, 2019).

En lo que respecta a la capacidad hidráulica de las estructuras pluviales del sistema colector de Villa Real, se indica que una vez realizado el cálculo del caudal máximo instantáneo producido por la zona de aporte pluvial directa, se realiza la valoración de la capacidad de carga hidráulica de las estructuras en los tramos que se observan en la Figura N°10, esto con el fin de definir la capacidad de transportar el caudal generado por precipitación extremas, así como para establecer si existe riesgo asociado a la posibilidad de inundación o desbordamientos en los sitios analizados.

De esta forma, tomando en consideración la pendiente del sector, la visita de campo y el análisis hidrológico efectuado, se divide en varios sectores los cuales por su topografía impulsan el agua hacia distintos puntos de las estructuras a analizar, en este sentido se eligen siete estructuras hidráulicas, mismos que presentan su posición espacial en la Figura N°10. A estos puntos en específico, se aplicó un levantamiento de dimensiones para hacer el ingreso de la información al programa H Canales, esto con el fin de establecer la capacidad de carga hidráulica para el transporte de los caudales generados en los distintos eventos de precipitación (retorno100 años).

Para la cuantificación se utilizaran los caudales de las avenidas máximas calculadas por el método Racional, siendo estos aplicados a las subzonas delimitadas, es importante mencionar que dentro de este se contemplan las caracterizas de los factores de escorrentía actuales. En el Cuadro N°7 se observan los resultados del Caudal obtenido tras el método Racional para cada subsector.

Cuadro N°7. Valores para el caudal máximo aportado en los distintos sectores de influencia de quebrada Coyote.

Sectores del aporte pluvial	Área (ha)	Coeficiente de escorrentía (C)	Intensidad de precipitación (mm/h)	Caudal (m^3/s)
H1	8.75948	0.59	117.4	1.68537262
H2	1.94178			2.05898188
H3	1.25592			2.30062786
H4	1.11674			2.51549484
H5	1.66956			2.83672746
H6	5.83152			3.95874431
H7	59.3167			15.3716069

En el Cuadro N°8 se observa el resumen de los resultados obtenidos en la modelación de las distintas estructuras hidráulicas por medio del software H-canales, además en el Anexo 3 se presenta el detalle de las modelaciones realizadas por H-canales.

Cuadro N°8. Valores obtenidos según el Hcanales para los caudales máximos en Pr 100 años en los sectores elegidos de quebrada Coyote.

Sector	Caudal para modelación (m^3/s)	Ancho de solera o diámetro (b) (m)	Forma de canal	Profundidad del canal (h) (m) o tirante máximo (y) (m)	Tirante de agua Hcanales (y) (m)	Área Hidráulica Hcanales (A) (m^2)	Numero de Froude Hcanales (F)	Tipo de flujo Hcanales
Canal que tributa en H1	1.68	1	Trapezoidal	0.25	0.257	0.3394	3.36	Supercrítico
Alcantarilla que tributa en H2	2.05	1.20	Circular	1.20	0.42	0.3626	3.21	Supercrítico
Alcantarilla que tributa en H3	2.3	0.75	Circular	0.75	0.689	0.4248	1.69	Supercrítico
Alcantarilla que tributa en H4	2.5	1.30	Circular	1.30	0.460	0.4209	3.25	Supercrítico
Alcantarilla que tributa en H5	2.83	0.90	Circular	0.90	0.615	0.4637	2.61	Supercrítico
Alcantarilla que tributa en H6	3.95	0.90	Circular	0.90	0.787	0.5904	2.14	Supercrítico
Alcantarilla que tributa en H7	15.37	4	Rectangular	1.83	0.485	1.9418	3.62	Supercrítico

Respecto al número de Froude (F) para los sectores analizados se obtienen valores entre 1.69 y 3.62 por lo que se da un tipo de flujo supercrítico por tener un numero de Froude mayor a 1, este flujo se presenta en condiciones de altas pendientes y velocidades.

Los sectores elegidos presentan condiciones hidráulicas similares por lo que se utiliza un coeficiente de Manning de 0.014.

Tras lo mencionado en el párrafo anterior se realizó una valoración de la capacidad hidráulica de las estructuras en distintas condiciones para transportar caudales de avenida máxima normales para periodos de retorno de 100 años de recurrencia, donde se deduce que en estos puntos analizados cuentan con la capacidad hidráulica para el transporte de los flujos establecidos.

Respecto al canal que encausa la quebrada Coyote y que tributa en (H1) Figura N°30 el cual transporta sus aguas por un canal trapezoidal con un ancho de solera de 1 m aproximadamente, actualmente cuenta con un tirante normal de 0.25 m por esta razón la estructura soporta la carga hidráulica generada a un periodo de retorno de 100 años ya que tras la modelación el tirante normal obtenido cuenta con la misma dimensión.

Para la alcantarilla que transporta el flujo de la quebrada Coyote en el sector H2 Figura N°31. Según H canales el valor del tirante hidráulico que ocasionaría el caudal de 2.05 m^3/s es de 0.42 m, y actualmente cuenta con un diámetro 1.20 m por lo tanto es capaz de soportar la carga hidráulica.

Para el sector H3 Figura N°32, que concuerda con la alcantarilla con un muro de gaviones, la misma que posee un diámetro de 0.75 m, se deduce que la estructura cuenta con la capacidad de transportar el caudal de avenida máximo calculado, ya que según el Hcanales para este flujo se generarían tirantes hidráulicos de 0.68 m, y actualmente cuenta con un diámetro de 0.75 m por lo que no se provocarían desbordes.

Para el sector H4 Figura N°33, el cual concuerda con el puente con alcantarilla, se aplicó el análisis hidráulico. La alcantarilla posee un diámetro de 1.30 m, y tras la modelación se obtiene un tirante normal de 0.46 m por lo tanto es capaz de soportar la carga hidráulica.

El sitio H5 Figura N°34, mismo que concuerda con el puente con alcantarilla posee un diámetro de 0.90 m, correlacionando sus dimensiones con la información que genera el H canales se deduce que este posee la capacidad de transportar el caudal de avenida máxima, ya que para este flujo se darían tirantes hidráulicos de hasta 0.61 m, así soportando la carga hidráulica generada.

Para el sector H6 Figura N°35, mismo que concuerda con el puente con alcantarilla posee un diámetro de 0.90 m, correlacionando sus dimensiones con la información que genera el H canales se deduce que este posee la capacidad de transportar el caudal de avenida máxima, ya que para este flujo se darían tirantes hidráulicos de hasta 0.78 m, así soportando la carga hidráulica generada.

Para el puente que tributa en el sector H7 Figura N°36 cuenta con un ancho de solera de 4 m y un tirante de 1.83 m, según H canales el valor de tirante que ocasionaría la avenida máxima es de 0.48 m por esta razón la estructura cuenta con la capacidad de soportar la carga hidráulica.

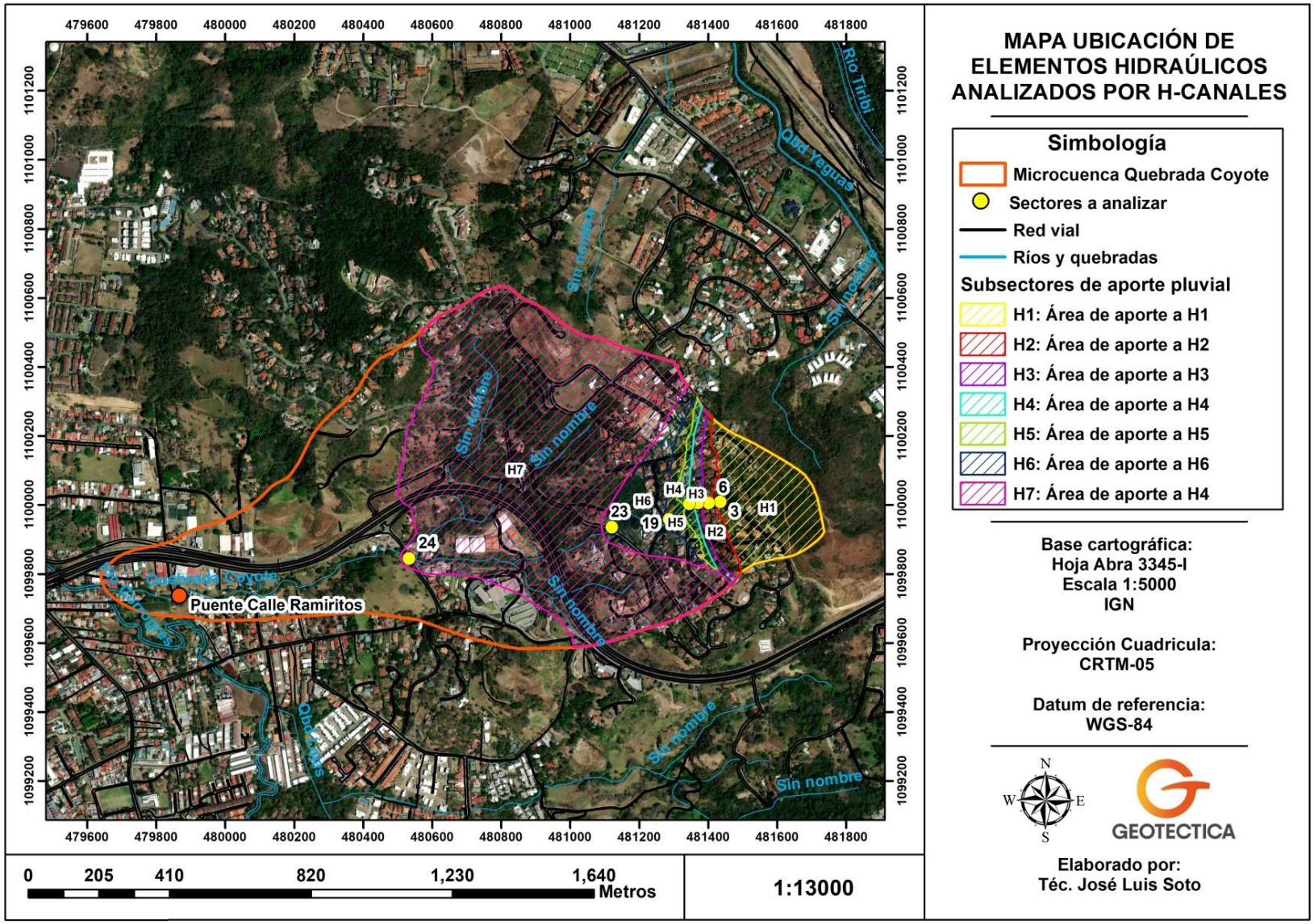

Figura N°10. Subsectores analizados en H-Canales.

3.1.1. Análisis mediante el HEC-RAS 5.0.7.

El modelo seleccionado para la simulación hidráulica fue el programa HEC-RAS (River Analysis System del Hydrologic Engineering Center del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos). Este modelo unidimensional se basa en el cálculo de Flujo Gradualmente Variado (FGV) mediante la solución de la ecuación de energía en una dimensión. Considera las pérdidas de energía producto de la fricción a lo largo del cauce y de procesos de expansión y contracción del flujo. Para casos de Flujo Rápidamente Variado (FRV), como desbordes hidráulicos, confluencias y flujo en puentes el modelo incorpora la solución de la ecuación de momento del flujo (USACE, 2010).

Para la quebrada analizada en el presente estudio, el uso de un modelo hidráulico estimado con el software HEC- RAS es suficiente y adecuado para evaluar las características del flujo, en particular los niveles de agua y posibles desbordamientos que se generen para caudales en periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años.

El modelo HEC-RAS requiere la inclusión de la geometría a detalle de las secciones transversales, a partir de las cuales se obtienen los parámetros hidráulicos para el cálculo de las condiciones de flujo analizado.

Para la correcta modelación se requieren de varios parámetros tales como; el coeficiente n de Manning, el cual puede ser variado o uniforme a lo ancho de la sección transversal y a lo largo del tramo analizado. Es importante mencionar que para el uso del HEC-RAS se requiere de otros parámetros para la fijación de condiciones de frontera, estos se pueden especificar como: condiciones de profundidad crítica o profundidad normal, así como un nivel de agua conocido o como una curva de descarga, tanto aguas arriba como aguas abajo del tramo correspondiente.

En Anexos N°5 se exponen las secciones transversales de la quebrada Coyote, así como sus tirantes críticos y normales para caudales de avenida máxima de 14.20 m^3/s (Pr: 50 años), 15.22 m^3/s (Pr: 100 años), 16.70 m^3/s (Pr: 250 años) y 17.92 m^3/s (Pr: 500 años)

Gracias al software Hec-Ras 5.0.7, se deduce que cinco sectores analizados no poseen la capacidad de transportar la avenida máxima calculada para periodos de retorno de 50,100, 250 y 500 años las cuales se representan en las Figuras N°50, 51, 52, 61 y 62 respectivamente, las secciones levantadas demuestran que las áreas transversales del cauce analizado no son adecuadas para soportar la carga pluvial que se generen por eventos extraordinarios de precipitación apegados a periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años, esto se muestra en la modelación, ya que se producen desbordamientos sobre el canal del cauce.

En el Cuadro N°9 se presenta un resumen de los valores obtenidos tras la modelación realizada para la quebrada Coyote en el Hec-Ras 5.0.7, resultados que concuerdan con las características ya mencionadas.

Cuadro N°9. Resumen de resultados obtenidos tras la modelación en HEC-RAS para caudales de 14.20 m3/s (Pr: 50 años), 15.22 m3/s (Pr: 100 años), 16.70 m3/s (Pr: 250 años) y 17.92 m3/s (Pr: 500 años)

Sector	Periodos de retorno (años)	Elevación mínima del canal (m.s.n.m.)	Elevación del agua (m.s.n.m.)	Elevación del tirante critico (m.s.n.m.)	Elevación de la línea de energía (m.s.n.m.)	Pendiente de la energía (m/m)	Velocidad del agua en canal (m/s)	Área efectiva del agua sobre la sección transversal (m^2)	Ancho de lámina de agua (m)	Numero de Froude
0+140	500	856.60	858.42	858.42	858.66	0.007957	2.48	9.49	17.42	0.68
	250		858.39	858.39	858.63	0.007768	2.42	9.05	17.54	0.67
	100		858.36	858.36	858.59	0.007573	2.35	8.47	17.71	0.66
	50		858.33	858.33	858.56	0.007421	2.29	8.05	17.83	0.65
0+150	500	856.53	858.45	858.07	858.75	0.007145	2.47	8.01	13.14	0.64
	250		858.44	858.00	858.71	0.006439	2.33	7.84	12.63	0.61
	100		858.42	857.92	858.65	0.005666	2.17	7.59	11.83	0.57
	50		858.41	-	858.62	0.005031	2.03	7.51	11.55	0.54
0+160	500	856.71	858.68	858.43	858.82	0.003545	1.88	9.60	15.67	0.48
	250		858.62	858..38	858.77	0.003818	1.92	10.16	16.30	0.49
	100		858.555	858.31	858.71	0.004021	1.91	11.29	16.92	0.48
	50		858.52	858.06	858.67	0.003929	1.87	12.31	16.94	0.46
0+250	500	865.79	862.71	-	862.80	0.001653	1.43	15.55	21.58	0.29
	250		862.69	-	862.77	0.001515	1.36	15.08	20.92	0.28
	100		862.66	-	862.74	0.001346	1.27	14.49	20.08	0.26
	50		862.64	-	862.71	0.001230	1.21	14.09	19.48	0.25
0+260	500	859.92	862.72	-	862.83	0.001918	1.44	13.03	18.64	0.34
	250		862.70	-	862.79	0.001738	1.36	12.64	17.03	0.32
	100		862.67	-	862.75	0.001519	1.26	12.19	14.87	0.30
	50		862.65	-	862.72	0.001369	1.19	11.91	12.06	0.29

Fuente. Propia, 2021.

Según la modelación hidráulica realizada para la quebrada Coyote mediante el software Hec-Ras 5.0.7, se deduce que en los sectores que se presentan en el Cuadro N°9, no poseen la capacidad de transportar la avenida máxima calculada para periodos de retorno de 50, 100,

250 y 500 años, las secciones levantadas demuestran que las áreas transversales del cauce analizado no son adecuadas para soportar la carga pluvial se generen por eventos extraordinarios de precipitación apegados a los periodos de retorno mencionados, esto se muestra en la modelación, ya que se producen desbordamientos sobre el canal del cauce.

Del Cuadro N°9 se puede mencionar que el número de Froude en los sectores con desborde es menor a 1, esto generado para periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años, el número de Froude influye directamente en las condiciones hidráulicas del cuerpo de agua en análisis, ya que este indica que el flujo que atraviesa la quebrada Coyote de tipo subcrítico, donde los tirantes de agua son mayores que los críticos, además la velocidad en el fluido es de régimen lento, tranquilo y fluvial, siendo adecuado para canales principales.

Respecto a las fuerzas inerciales en este tipo de flujo, estas sobrepasan de forma importante las gravitacionales, donde la pendiente es baja al igual que la velocidad, además las perturbaciones (ondas) se puede desplazar aguas arriba. En estos casos un aumento de la energía produce aumentos en la profundidad de la lámina de agua.

Respecto a la velocidad en el cauce se puede observar que los sitios con un número de Froude menor a 1 no sobrepasan a 2.48 m/s.

En relación a las corridas realizadas en el software Hec-Ras 5.0.7 se puede definir que la quebrada Coyote presentará desbordamientos en los tramos indicados en el Cuadro N°9, ya que según la modelación el cauce en los sectores mencionados no posee la capacidad hidráulica para evacuar aguas producto de precipitaciones extraordinarias asociadas a tormentas con periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años.

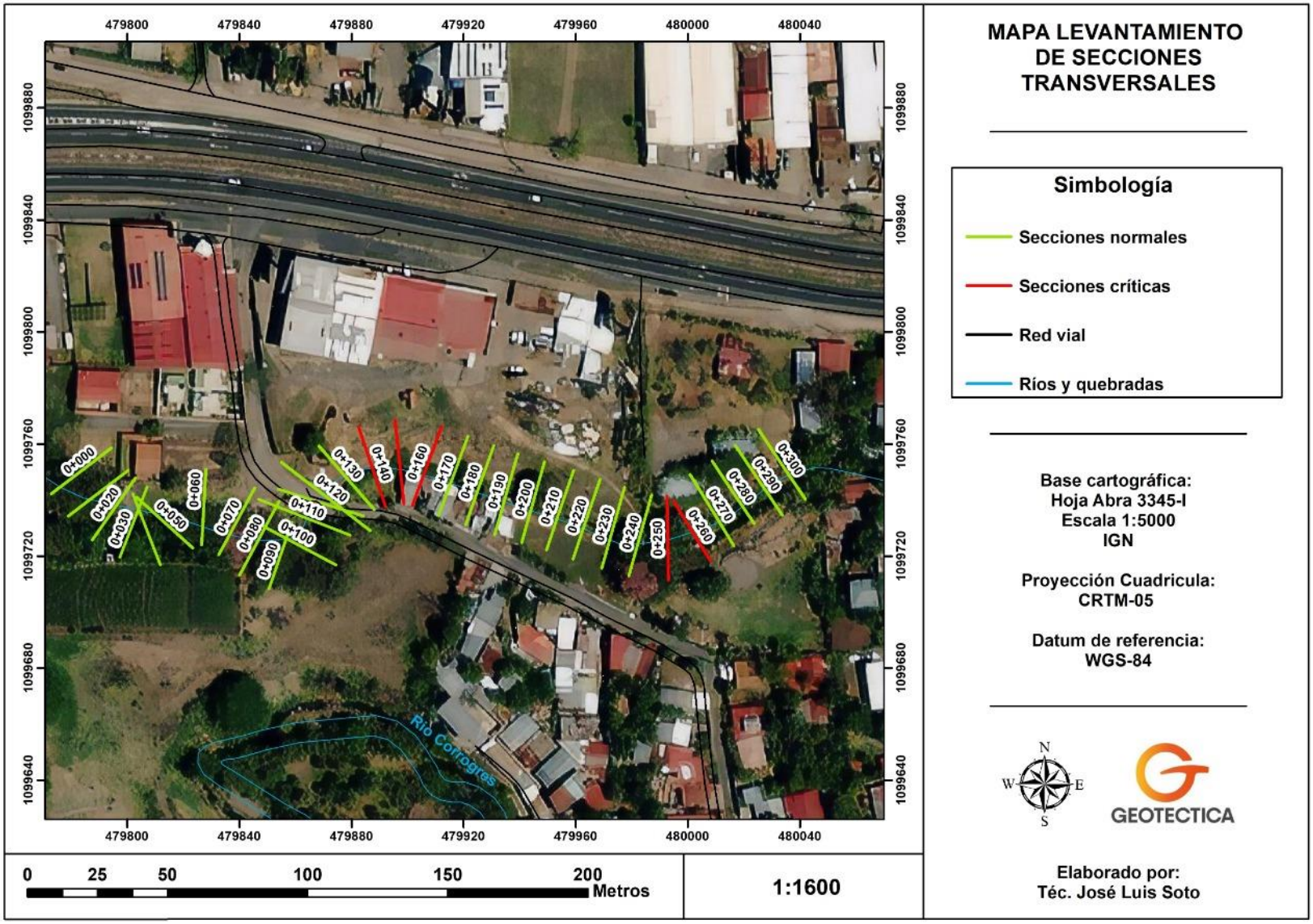

Figura N°11. Mapa de secciones transversales sobre la quebrada Coyote.

3.1.2. Análisis de socavación

En el sector donde se localizará la estructura la pendiente media del cauce aguas abajo y aguas arriba en esa zona es de 4.30%, tomando en cuenta que se presentan estructuras en el cauce de la quebrada este se verá influenciado por estrechamientos que provocan remansos y saltos hidráulicos.

Es importante reiterar que el cauce de la Quebrada Coyote es un cauce de forma rectilínea, con sedimentación de finos y generando algunos depósitos de bloques centimétricos y decimétricos, debido a la composición del sustrato geológico que conforman las laderas del cauce. Aunque en general, se mantiene una predominancia de la erosión sobre la sedimentación.

Los resultados del análisis hidráulico indican que bajo la condición de avenida máxima de la Quebrada Coyote se tendría una tirante máxima en el sitio de la alcantarilla de 1,51 m, con un área hidráulica de 2.78 m², considerando las condiciones actuales del río. En la Figura N°12 se muestra el perfil del río con la proyección a 100 años para el caudal de avenida máxima.

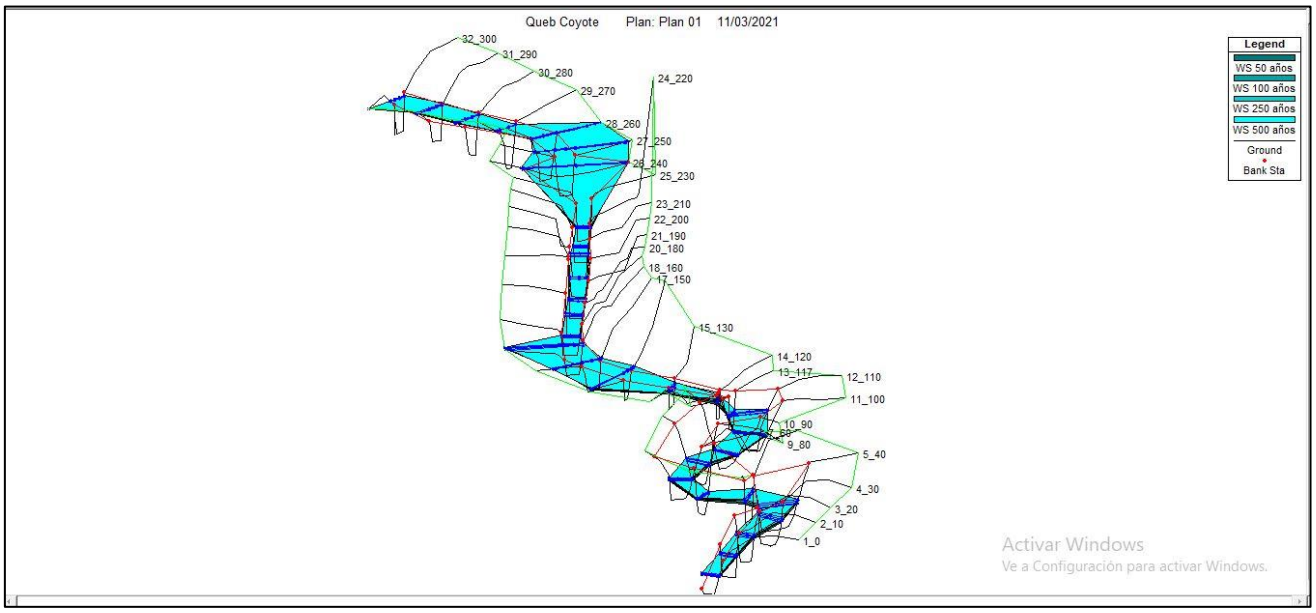

Figura N°12. Modelación de la quebrada Coyote por Hec-Ras 5.0.7 del sitio de estudio para un periodo de retorno de 100 años.

El material arrastrado por el río presenta un diámetro medio de 450 mm; el cual se ha aproximado de acuerdo con el tamaño medio de partículas, con lo que, se obtiene una profundidad del tirante máximo variable de acuerdo con el periodo de retorno seleccionado en el Cuadro N°10 se observan las diferentes clasificaciones de materiales

Cuadro N°10 Clasificación de materiales sedimentarios de la American Geophysical Union.

Grupo	Clase	Tamaño (mm)
Bolos	Muy grandes	2048 – 4096
	Grandes	1024 – 2048
	Medianos	512 – 1024
	Pequeños	256 - 512
Cantos	Grandes	128 – 256
	Pequeños	64 - 128
Grava	Muy gruesa	32 – 64
	Gruesa	16 – 32
	Mediana	8 – 16
	Fina	4 – 8
	Muy fina	2 - 4
Arena	Muy gruesa	1 – 2
	Gruesa	0.5 – 1
	Mediana	0.25 – 0.5
	Fina	0.125 – 0.25
	Muy fina	0.0625 – 0.125
Limo	*Stokes*	
	Grueso	0.03125 – 0.0625
	Mediano	0.015625 – 0.03125
	Fino	0.0078125 – 0.015625
	Muy fino	0.00390625 – 0.0078125
Arcilla	Gruesa	0.001953125 – 0.00390625
	Mediana	0.000976563 – 0.001953125
	Fina	0.000488281 – 0.000976563
	Muy fina	0.000244141 – 0.000488281

Fuente: **García Flores et al (1995).**

Del Cuadro N°11 se presentan los valores obtenidos tras la modelación hidráulica, cabe destacar que dicha sección será la utilizada para el análisis de socavación.

Cuadro N°11 Datos hidráulicos obtenidos de acuerdo con el periodo de retorno (sección 0+117).

Sector	Periodos de retorno (años)	Elevación mínima del canal (m.s.n.m.)	Elevación del agua (m.s.n.m.)	Elevación del tirante critico (m.s.n.m.)	Elevación de la línea de energía (m.s.n.m.)	Pendiente de la energía (m/m)	Velocidad del agua en canal (m/s)	Área efectiva del agua sobre la sección transversal (m^2)	Ancho de lámina de agua (m)	Numero de Froude
0+117	50	855.22	856.22	856.68	857.72	0.073439	5.43	2.62	3.44	1.99
	100		856.27	856.73	857.80	0.070931	5.47	2.78	3.47	1.95
	250		856.34	856.81	857.90	0.067951	5.54	3.02	3.52	1.91
	500		856.39	856.88	857.98	0.065750	5.58	3.21	3.56	1.88

Fuente. Propia, 2021.

3.1.3. Socavación

Se conoce como socavación a la erosión que el flujo de agua puede provocar en los sectores de cimentación de una estructura expuesta a la acción del agua en un canal de drenaje natural. La socavación de un cauce se refiere a la pérdida de material en una zona del río y es el producto del desequilibrio entre el aporte sólido que trae el agua a una cierta sección y la mayor cantidad de material que es removido por el agua de esa sección. La posibilidad de arrastre de los materiales en cada punto se considera dependiente de la velocidad media del agua y de la velocidad media requerida para arrastrar las partículas de sedimento.

Existen varios tipos de socavación en el cauce de un río, entre los que se pueden mencionar: socavación general del cauce, la socavación a largo plazo, degradación, socavación progresiva, socavación regresiva y migración lateral de la corriente, y también socavación por contracción o estrechamiento del cauce, socavación local en pilas y bastiones, socavación en curvas o meandros, y socavación por disminución de gasto sólido.

Dada las características del cauce de la Quebrada Coyote en el sitio de la alcantarilla, en donde no se presentan meandros en la sección de análisis. Se considera que la socavación general es la que posee inherencia directa en el cauce del río en estudio.

3.1.4. Análisis de socavación general:

La socavación general es el descenso extendido del fondo del río como consecuencia de una mayor capacidad de la corriente para arrastrar y transportar sedimentos del lecho en suspensión durante crecientes y el estrechamiento por la estructura a reemplazar.

El fenómeno de la erosión general es todavía poco conocido y los métodos de cálculo que se emplean son una aproximación teórica o de laboratorio con respecto a lo que ocurre en la realidad. La socavación general ocurre cuando la velocidad real de la corriente y la velocidad de erosión no se encuentran en equilibrio. Estas condiciones dependen de la granulometría

de los materiales de arrastre de fondo y la cohesión de los materiales constitutivos de las márgenes y el lecho del cauce.

El análisis de socavación general se ha realizado utilizando los conceptos de la teoría del régimen; la cual es aplicable con material cohesivo y arenoso. Como la mayoría de los datos para la obtención estos valores se hacen uso de fórmulas empíricas por medio del análisis de canales con fondo y orillas cohesivas.

Para el caso en cuestión se han utilizado las fórmulas recomendadas por la Federal Highway Administration (FHWA, the U.S. Department of Transportation), con sus respectivas indicaciones para ser empleadas en el sistema métrico internacional.

$$Y_2 = \left[\frac{Q2^2}{(4.08\, g\ \mathrm{Dm}^{\frac{2}{3}}\ \mathrm{W}2^2}\right] 3/7$$

Dónde:

- y_2 es la profundidad de socavación en la sección de la estructura,
- Q_2 es el caudal en la sección de la alcantarilla (m^3/s)
- g es la aceleración de la gravedad (m/s^2)
- D_m es 1,25* el diámetro medio de las partículas, D_{50}, del material en la sección de la alcantarilla (mm).
- W_2 es el ancho de fondo de la sección de la alcantarilla (m).

El material arrastrado por el río presenta un diámetro medio de 450 mm; el cual se ha aproximado de acuerdo con el tamaño medio de partículas (Cuadro N°12), con lo que, se obtiene una profundidad de socavación variable de acuerdo el periodo de retorno de la siguiente manera:

***Cuadro* N°12. Datos de socavación de acuerdo con el periodo de retorno:**

Periodo de retorno (Años)	Caudal (m^3/s)	Socavación (m)
50	14.20	0.26
100	15.22	0.28
250	16.70	0.30
500	17.92	0.32

Fuente. Propia, 2021.

3.1.5. Análisis de socavación local en pilas y bastiones:

La socavación local en pilas o bastiones ocurre cuando son erosionados partes de la estructura construida dentro del cauce del río. Si la fuerza de arrastre es superada por la fuerza de aporte de materiales con una disminución de área hidráulica de la sección, se crea un obstáculo que provoca la denominada socavación local. Para este caso no se pretenden construir estructuras dentro del cauce, pero se muestran las fórmulas a utilizar según la metodología de la Federal Highway Administration (U.S. Department of Transportation) como se muestra a continuación:

$$\frac{d_s}{h_e} = 2.27\ K_f\ K_{\emptyset}\ (\frac{L}{h_e})^{0.43} F^{0.61} + 1$$

Donde;

- d_s: Profundidad de socavación.
- h_e: Profundidad media del flujo en la zona obstruida por el bastión o pila aguas arriba de la estructura.
- L: Longitud del bastión, accesos al puente o pila que se oponen al paso del agua proyectada normalmente al flujo.
- F: Número de Froude en la sección de aproximación obstruida por el bastión.
- K_f: Coeficiente que depende de la forma del bastión, 1 en este caso.
- K_θ: Factor de alineamiento de la pila o el bastión, con respecto a la dirección del flujo.

Como fue indicado no se pretende efectuar obras que obstruyan el cauce por lo tanto no es necesario realizar dicho cálculo.

3.1.6. Análisis de socavación en curvas o meandros:

La socavación en tramos curvos de un cauce puede llegar a ser tres veces mayor que la socavación en tramos rectos. Cualquier método disponible para calcular la socavación general por contracción puede aplicarse siempre y cuando el modelo hidráulico de la estructura haya tenido en cuenta el efecto de la curvatura.

Sin embargo, la linealidad del cauce del río en el sector donde se localiza el puente y los índices de sinuosidad del cauce en este tramo tienden a 1, por lo que se descarta el requerimiento de efectuar el cálculo de socavación causada por la presencia de meandros en el sitio del puente. Además, se observó en la visita efectuada que no se presenta este tipo de fenómeno en el sitio donde se construirá dicho puente.

3.1.7. Medidas de protección contra socavación y puentes.

Las medidas de protección se usan para controlar, demorar, minimizar o monitorear problemas de estabilidad de cauces y puentes. La solución al problema de socavación de un puente debe iniciarse con el estudio de las causas que originan, incluyendo aspectos desestabilizantes desde el punto de vista topográficos, hidrológico, hidráulico y estructural de suelos (Guevara Álvarez, 2016).

Las medidas de protección de puentes se clasifican en tres grandes tipos en el Cuadro N°13
Se exponen un resumen de las diferentes metodologías.

***Cuadro* N°13. Medidas protección de puentes:**

Medidas hidráulicas Limitan la socavación mediante la modificación de las líneas de corriente y la protección del lecho de las bancas del cauce contra las fuerzas erosivas del flujo de agua	**1) Estructuras de control fluvial** - Estructuras longitudinales construidas a lo largo de las orillas del cauce: revestimientos, muros. -Estructuras transversales al flujo de agua: espolones, traviesas de fondo, vertederos de cresta ancha sumergidos. **2) Protección local de pilas y estribos del puente** -Revestimientos con enrocados, bolsas rellenas, gaviones, colchacretos, pentápodos. -Pilas auxiliares y pantallas aguas arriba. -Pantallas estabilizadoras. -Diques de encauzamiento
Medidas estructurales Modifican estructuralmente el puente para mejorar las condiciones de estabilidad de la cimentación.	**1) Reforzamiento de la cimentación del puente** - Recales. - Encamizados. - Profundización de la cimentación. - Extensión de la cimentación. - Mejoramiento del suelo de cimentación. **2) Modificaciones del puente** - Geometría del puente - Reemplazo de pilas y/o estribos - Reemplazo del puente
Monitoreo Recolección continua de información del cauce y del puente para alertar sobre fallas o problemas potenciales	**1) Monitoreo visual.** **2) Monitoreo post creciente.** **3) Monitoreo en tiempo real.**

Fuente: (Guevara Álvarez, 2016).

4- ANÁLISIS DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOFISICO

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

El sistema de penetración estándar, SPT (Standard Penetration Test), consiste en recolectar muestras alteradas de los estratos del subsuelo de sitio, por medio de liners de bronce, los cuales se introducen en un muestreador de acero, el mismo se adjunta a una barra de acero y la misma es hincada por medio de un mazo de 140 lb de peso, que cae desde una altura de 0,76 m; extrayendo las muestras de suelo cada 0,45 m; en 3 tramos de 0,15 m cada uno, y

contando el número de golpes de cada tramo, para luego obtener el valor de Nspt, que es la suma del número de golpes de los dos últimos tramos y de esa forma relacionar este valor del Nspt y las características de resistencia de los suelos y sus propiedades físicas.

En el caso de suelos con alta dureza producto de la transición a roca, capas con bloques flotantes o rellenos, se emplea el trépano de punta de acero (cono dinámico), para llegar a las profundidades necesarias, si la resistencia de la roca, o relleno impide el descenso mediante el trépano, se emplea el sistema de perforación mediante rotación con el fin de alcanzar las profundidades de investigación estimadas.

Para el proyecto en específico se realizaron 2 ensayos con el método Standart Penetration Test (SPT) y rotación los ensayos se realizaron a una profundidad de 18 m considerando la máxima profundidad de investigación, el objetivo principal fue determinar la capacidad de soporte en dichas profundidades y obtener datos del valor de Nspt para poder realizar correlaciones referentes a parámetros tales como cohesión, capacidad de soporte admisible, ángulo de fricción.

Durante el proceso de cada perforación se recuperaron muestras de suelo para su respectiva descripción en el laboratorio, no obstante, la presencia de rellenos y la exposición superficial de la roca indican que no existe desarrollo de suelos para caracterizar, por lo tanto, se da una caracterización de la roca.

Además, se tomaron testigos de los mantos rocosos detectados en las perforaciones efectuadas para determinar el esfuerzo de compresión simple de los mismos.

Tras las perforaciones ejecutas, se obtiene los perfiles estratigráficos y geotécnicos del sitio en estudio; en términos generales se define que el perfil estratigráfico de sitio está compuesto por 2 capas, siendo la capa A la más somera y de espesor máximo a los 2,5 m, que consiste en un relleno de lastre relacionado con la estructura actual de la alcantarilla y posterior a esta la capa B se caracteriza como roca. En la Figura N°13 se presenta el perfil geotécnico del terreno.

PERFIL GEOTECNICO DEL TERRENO ESTUDIADO			
PROF. (m)		**P-1**	**P-2**
0.00	*0.45*	***A***	***A***
0.45	*2.50*		
2.50	*4.00*	***B***	***B***
4.00	*5.50*		
5.50	*7.00*		
7.00	*8.50*		
8.50	*10.00*		
10.00	*11.50*		
11.50	*13.00*		
13.00	*14.50*		
14.50	*16.00*		
16.00	*17.50*		
17.50	*18.00*		

Figura N°13. Perfil geotécnico del terreno estudiado

Nivel de agua

Durante el proceso de perforación se detectó presencia del nivel de agua, a la profundidad de 2 m para ambas perforaciones, y a partir de los niveles actuales de terreno, en esta época del año, la presencia de este nivel de agua se relaciona con la interacción del nivel de la quebrada.

Capacidad de soporte admisible neta del subsuelo

Los valores de capacidad se presentan en la Figura N°14, estos indican desde el punto de vista geotécnico la conveniencia de transmitir los esfuerzos de las obras por construir a los estratos naturales y firmes de sitio, pudiendo usar cimentaciones convencionales apoyadas sobre las rocas.

CAPACIDAD DE CARGA (ton/m2) FS=3			
PROF. (m)		**P-1**	**P-2**
0.00	0.45	-	-
0.45	2.50		
2.50	4.00	***50***	***50***
4.00	5.50		
5.50	7.00		
7.00	8.50		
8.50	10.00		
10.00	11.50		
11.50	13.00		
13.00	14.50		
14.50	16.00		
16.00	17.50		
17.50	18.00		

Figura N°14. Resumen capacidad de carga admisible del terreno con FS=3.0

Licuefacción bajo sismos

El Código de Cimentaciones de Costa Rica establece que “la licuación es la pérdida temporal de la resistencia y la rigidez de los depósitos de suelo granular, no arcillosos, saturados, poco densos, producido por el paso de las ondas sísmicas. Este fenómeno puede estar acompañado de un comportamiento del suelo similar al de un líquido viscoso.”

Por lo general, se considera que la licuefacción sucede en arenas limpias, finas, uniformes, con baja compacidad relativa y presencia de nivel freático, sin embargo, se ha determinado que dicho fenómeno se ha generado en gravas y limos.

En el caso de los suelos finos se ha observado que pueden ser susceptibles a licuefacción si presentan algunas de los siguientes criterios:

- ✓ Fracción con tamaños menores a 0,005 mm < 15%.
- ✓ Limite liquido (LL) < 35%.
- ✓ Humedad natural (w) > 0,9·LL.
- ✓ Índice de liquidez (IL) < 75%.

Para este caso en particular se descarta que se presente dicho fenómeno debido a que no se cumplen los criterios antes mencionados, principalmente debido a la presencia de manto rocoso.

Cimentaciones de estructuras

Para los sectores investigados se verifica que para cargas unitarias livianas a moderadas se puede apoyar directamente sobre el manto rocoso de sitio que aparecen a partir de 2,50 m para los sectores mencionados, generalizando a dichas profundidades de desplante 50 t/m^2 (150 t/m^2 a la falla) para cimientos corridos o aislado.

Estabilidad local de las obras

La estructura actual y en su terreno circundante se encuentran estables, la obra por construir se recomienda adaptarla lo mejor posible a la topografía actual, se deberá brindar un mantenimiento adecuado a dicha estructura durante su vida útil.

Conformación de taludes en corte:

De requerir conformar taludes lo más estables posibles en cortes, se recomienda acostar los estratos de la capa A como máximo a una inclinación 2 : 1 (H . V); y al estrato de la capa B darle como máximo una inclinación de 60°. Debiendo evitar por completo el escurrimiento e infiltración de aguas pluviales y servidas, ya que ello ocasionaría erosión, y por ende desestabilizaría los taludes.

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

Análisis Geofísico

Los resultados de la sísmica de refracción demuestran la presencia de dos capas bien definidas en el sitio para el perfil en la margen derecha (aguas abajo) y tres capas en la margen izquierda; aunque de estudio cuyas características petrofísicas se modifican en espesor y velocidad.

Esto se evidencia con los valores promedio de velocidad primaria (V_p) y distintos espesores obtenidos para las diferentes capas encontradas en el sitio, en las Figuras N°15 y 16 se observa el detalle de los perfiles, mientras que en los Cuadros N°14 y 15 se presenta un resumen de los resultados obtenidos tras la interpretación geofísica realizada a los ensayos aplicados cercanos al futuro puente.

Cuadro 14. Velocidades y espesores obtenidos de cada perfil sísmico realizado.

Perfil Sísmico	Capas	V_p (km/s)	Vs (m/s)	Espesor (m)		Correlación Geológica
				mínimo	máximo	
Perfil margen derecha	1	0,33	170	2	5	Relleno artificial de gravas y bloques compactados y capas fracturadas de ignimbrita
	2	2,1	1021	20	>30	Ignimbritas compuestas por fiames, fragmentos líticos, presenta variaciones en su grado de fracturación
Perfil margen izquierda	1	0,34	168	2	5	Relleno artificial de gravas y bloques compactados y capas fracturadas de ignimbrita
	2	0,61	295	8	10	Ignimbritas compuestas por fiames, fragmentos líticos, presenta variaciones en su grado de fracturación
	3	1,9	916	20	>30	Ignimbritas compuestas por fiames, fragmentos líticos, presenta variaciones en su grado de fracturación

Cuadro 15. Otros parámetros geotécnicos.

Perfil Sísmico	Capas	Módulo de deformación al corte G0 (MPa)	Módulo edométrico Ed (MPa)	Módulo de compresibilidad volumétrica M0 (MPa)	Módulo de Young Ey (MPa)
Perfil margen derecha	1	52	225	173	140
	2	1878	8141	6262	5072
Perfil margen izquierda	1	50	220	169	137
	2	156	679	522	423
	3	1513	6557	5044	4085

Perfil Margen Derecha (aguas abajo)

Los resultados para el perfil sísmico en la margen derecha muestran los valores de velocidad primaria (V_p) y los espesores obtenidos con morfología de relleno e ignimbritas fracturadas los cuales para este perfil se traslapan por las condiciones de compactación del relleno de grava, además posible influencia de ruidos ambientales generados por la cercanía de la ruta 27.

Perfil Margen izquierda (aguas abajo)

Los resultados para el perfil sísmico en la margen izquierda muestran los valores de velocidad primaria (V_p) y los espesores obtenidos con morfología de relleno e ignimbritas fracturadas se logra diferenciar con mayor detalle el espesor de rellenos y una diferenciación entre la ignimbrita la cual está relacionada a su grado de fracturación y podría influir diferencias en su composición.

De acuerdo con estos resultados, este sitio de cimentación se clasifica como de tipo S_1 según los lineamientos del Código Sísmico de Costa Rica, con una V_{s30} estimada >760 m/s.

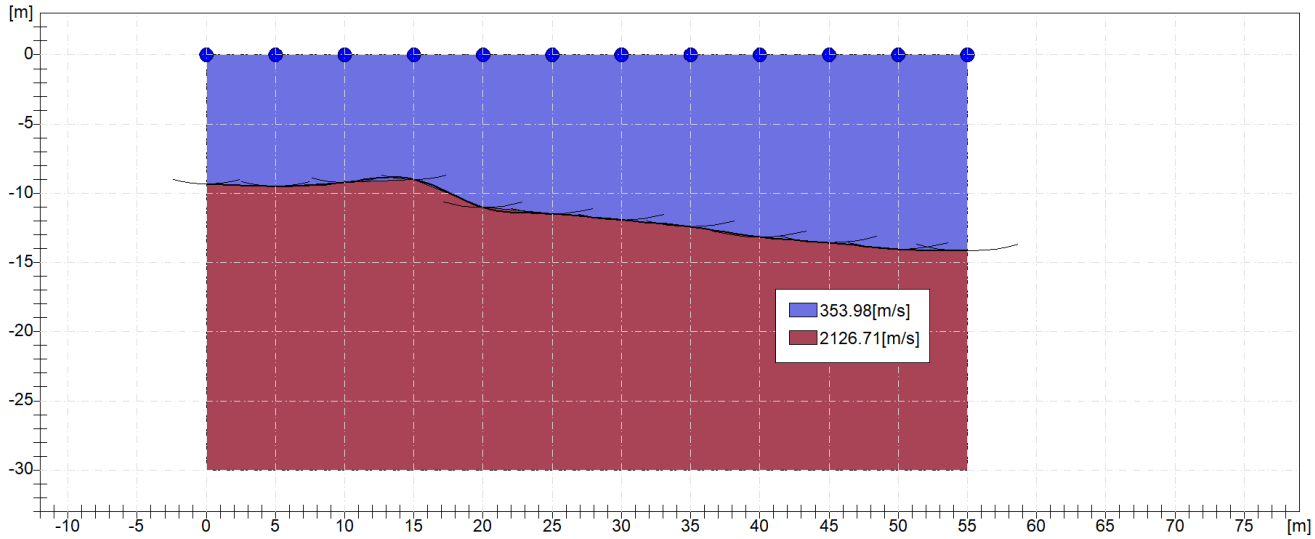

Figura N°15: Perfil sísmico margen derecha

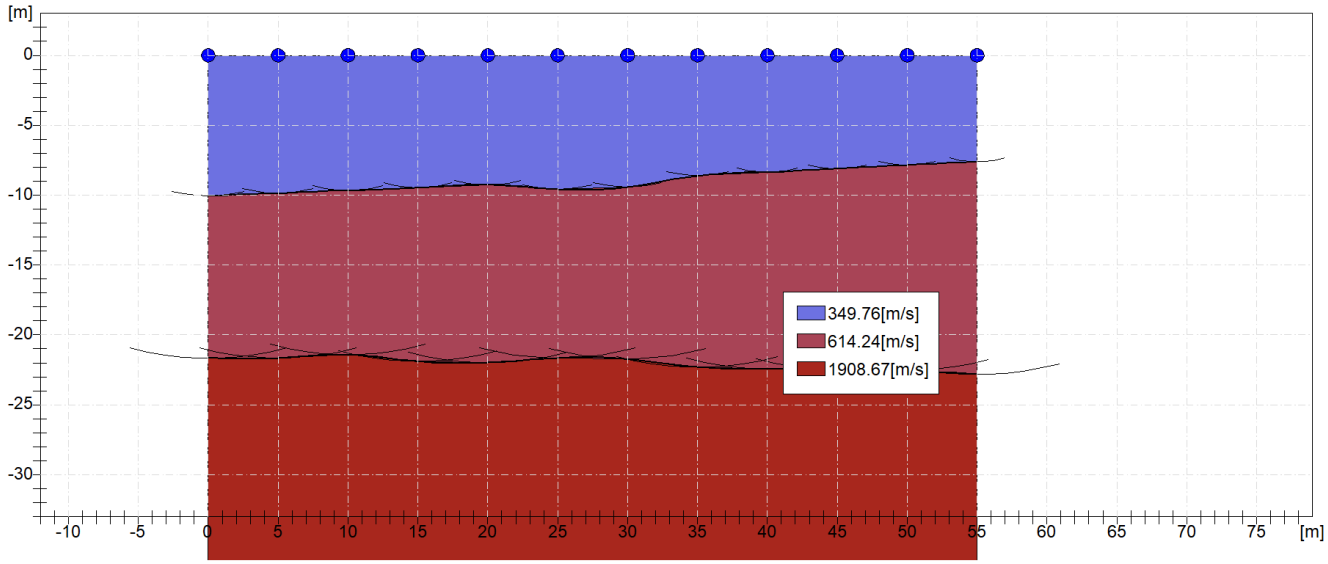

Figura 16: Perfil sísmico margen izquierda.

Como conclusión general y de acuerdo con los resultados obtenidos de las dos perforaciones realizadas, se puede considerar que este terreno es apto para la construcción del proyecto en mención, pero se deberán seguir las recomendaciones brindadas en este informe, el cual se complementa como un proyecto geotécnicamente viable como conclusión del apartado 7 “Discusión sobre los grados de incertidumbre y alcance del estudio”.

Localmente se observan aflorando en el cauce rocas de origen volcánicas las cuales se caracterizan como ignimbritas, se asocian regionalmente a la Formación Tiribí.

Con respecto a la estratigrafía, se concluye que existe un estrato de relleno artificial (capa A) que cubre un perfil estratigráfico natural constituido por las rocas ignimbríticas fracturadas (capa B); perfil estratigráfico definido hasta la profundidad máxima investigada.

Se asegura que para la presión de diseño recomendada para cimientos convencionales no se presentarán asentamientos al apoyar la estructura sobre los estratos naturales y firmes de sitio de 50 t/m^2 de capacidad de soporte admisible.

De acuerdo con los análisis realizados, para las fundaciones de la estructura se recomienda apoyar sobre los estratos de roca que afloran en el margen de la quebrada a una profundidad de 2,5 m.

En lo que respecta a la estabilidad local de la obra, actualmente, a simple vista se aprecia una adecuada estabilidad del terreno, la topografía en el sitio de estudio es poco ondulada y no se prevén cortes de taludes permanentes ni temporales de alturas mayores a 3 metros para la colocación de la estructura por construir, por estos motivos es que se identifica estable el proyecto a nivel de taludes.

5- ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILAD A DESLIZAMIENTOS

En el área de estudio se observa una topografía accidentada, la cual puede propiciar zonas de susceptibilidad a la inestabilidad de laderas. Por tal motivo, la evaluación a la ocurrencia de deslizamientos se realizó mediante la aplicación del método Mora-Varhson (1992) y las modificaciones propuestas por Mora (2002) conociéndose posteriormente como el método Mora – Varhson –Mora (MVM), así como la modificación al método propuesta por Camacho et al. (2004) en la cual se toman en cuenta las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

Este método considera que los deslizamientos ocurren cuando en las laderas, características como la litología, grado de humedad y pendiente (elementos pasivos), producen un grado de susceptibilidad intrínseco que ante factores externos dinámicos como la sismicidad y las lluvias (elementos activos) actúan como precursores de disparo. Estas características y factores se obtienen de la observación en campo y medición de indicadores morfodinámicos y su distribución espaciotemporal en el área de estudio (Mora, 2002).

De esta forma, el grado de susceptibilidad a deslizamientos es el producto de los elementos pasivos y la acción de los factores de disparo mediante la siguiente ecuación:

$$H = EP * D$$

Dónde:

H: grado de susceptibilidad al deslizamiento.
EP: valor producto de la combinación de los elementos pasivos.
D: valor de disparo producto de la combinación de los elementos activos.

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

$$EP = (S_l * S_h * S_p)$$

Dónde:

Sl: valor del parámetro de susceptibilidad litológica/valor del parámetro de susceptibilidad geomorfológica.
Sh: valor del parámetro de humedad del terreno.
Sp: valor del parámetro de pendiente.

El factor de disparo se compone de los siguientes parámetros (Mora et al., 1992):

$$D = (D_s + D_{Ll})$$

Dónde:

DS: valor del parámetro de disparo por sismicidad.
DLI: valor del parámetro de disparo por lluvia.

A continuación, se muestra la clasificación a la susceptibilidad de deslizamientos según el índice de susceptibilidad calculado.

Cuadro N° 16: Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento.

Clase	Índice de susceptibilidad a deslizamientos	Calificativo de susceptibilidad al deslizamiento	Características
I	0-6	Muy bajo	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas, Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta, Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.
II	7-32	Bajo	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura, Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta, Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc, Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado.
III	33-162	Moderado	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio, Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, etc, Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado, Recomendable para usos urbanos de baja densidad.
IV	163-512	Mediano	Probabilidad de deslizamiento alta (< 50°) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta, Para su utilización se deben realizar estudios estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	>512	Alto a muy alto	Probabilidad de deslizamiento muy alta (> 50°) en caso de sismos de magnitud y lluvias de intensidad alta, Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección.

Fuente: Mora & Vahrson, 1992.

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

Descripción de los parámetros-metodología Mora – Varhson – Mora

Elementos pasivos

- **Parámetro de pendiente**

El parámetro utiliza las clases de pendientes de Van Zuidan (1986), así como una leyenda de colores ascendente, en la cual el color verde oscuro indica los sectores menos críticos y el color rojo los más críticos, es decir con mayor susceptibilidad.

Cuadro N° 17: Clases de pendientes, condiciones del terreno y valor del parámetro.

Clases de pendiente		Condiciones del terreno	Valor del parámetro Sp
Grados (°)	Porcentaje (%)		
0-2	0-2	Planicie, sin denudación apreciable	0
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión	1
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión	2
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión	3
16-35	30-70	Pendientes fuertes, procesos denudacionales intensos, peligro extremo de erosión de suelos	4
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos	5
>55	>140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos	6

Fuente: Mora, 2002.

El mapa de pendientes del área de estudio se muestra en la Figura N°17, este presencia seis clases de pendiente mostradas en el Cuadro anterior. Sin embargo, el rango de pendiente con el mayor porcentaje total del área corresponde con las pendientes entre 7-70%, representadas con los colores verde, amarillo y naranja, mientras el rango con el menor porcentaje son las pendientes entre 70-140% color rojo.

Es importante mencionar que la mayoría de pendientes entre medias y altas se observan en el margen derecho en dirección aguas arriba de la quebrada Coyote.

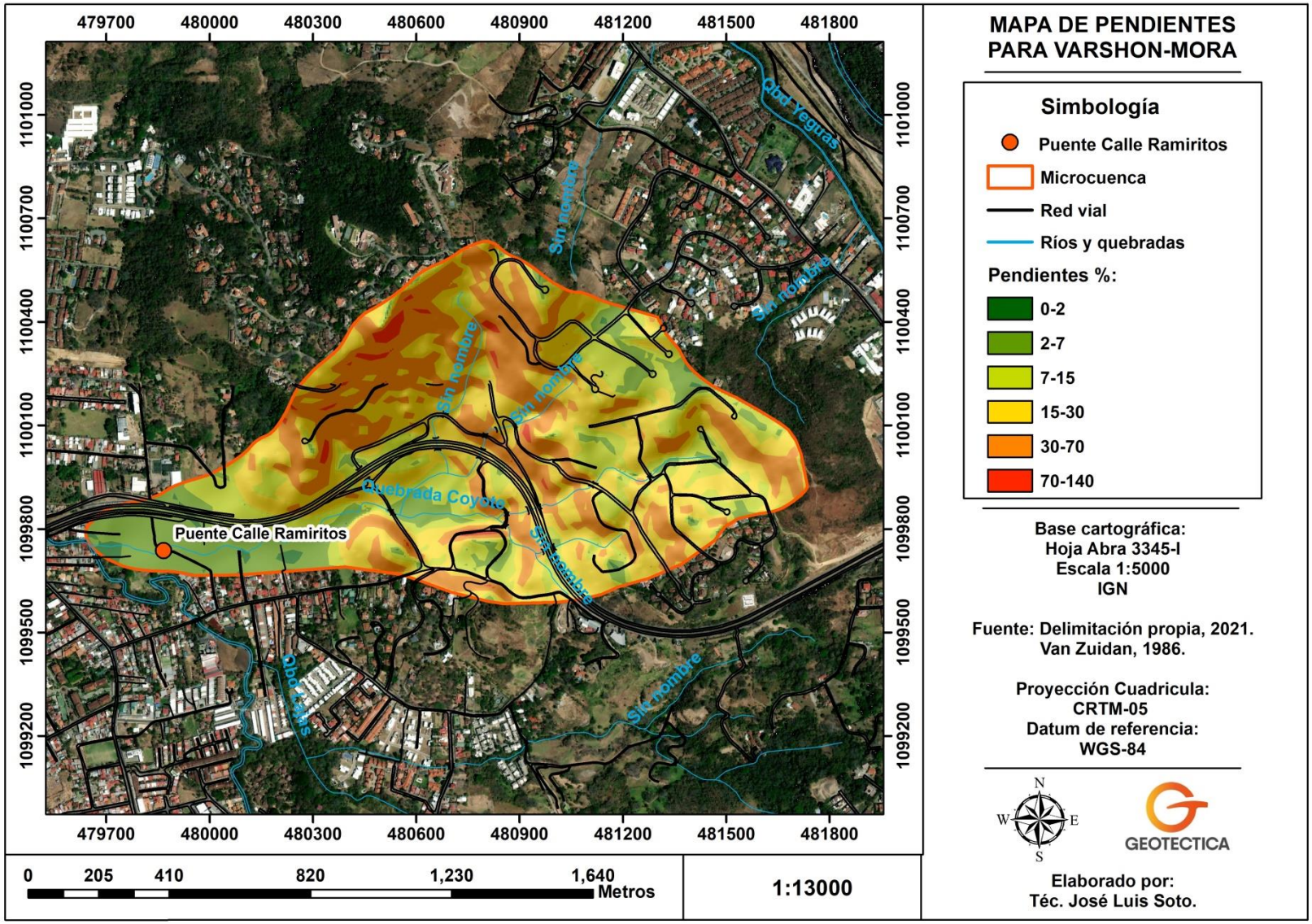

Figura N°17. Mapa de pendientes de la microcuenca para el método MVM.

- **Parámetro de susceptibilidad litológica**

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas (Mora *et al*., 1992). La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores, el grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento y la variación de los niveles freáticos influyen claramente en la estabilidad de las laderas. En las Figuras N°2, se muestran las unidades presentes en el área de estudio y en el siguiente Cuadro su descripción litológica resumida.

- **Geología regional**

La geología del área de estudio se encuentra constituida por materiales de los periodos Terciario y Cuaternario, predominando las rocas volcaniclásticas, 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 y/o Formación Grifo Alto, seguido de la Formación Tiribí y los depósitos aluviales y coluviales del cuaternario, las cuales serán descritas a continuación en la Figura N°18 .

Formación Pacacua

Descrita y denominada por Castillo (1969), es 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.

La formación Pacacua se trata de una secuencia de volcaniclastitas de granulometría diversa dispuestas como estratificaciones decimétricas hasta métricas de areniscas vulcaniclasticas finas, gruesas y guijarrosas; además se asocian con esta formación tobas, tobitas y brechas finas y gruesas. Los colores predominantes de estas rocas son rojos y morados, aunque el verde es llamativo apareciendo aisladamente.

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.

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). Sobreyaciendo 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).

Formación Tiribí

Antiguamente se conocía como depósitos de avalancha ardiente, luego Denyer y Arias (1991) la describen como una secuencia de depósitos de pómez de caída en la base de hasta 3 m de espesor seguido por flujos de ceniza, lapilli y bloques. Además, en la parte media y como litología más representativa se localiza una ignimbrita gris con fiames de obsidiana y pómez (cm-mm). La secuencia es coronada por capas de ceniza de depósitos de caída plinianos. La edad de esta formación está asociada a más 300 000 años.

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 Quebrada Coyote y sobre el cual se asienta la población de Santa Ana.

Cuadro N° 18: Descripción litológica de las unidades locales observadas en campo.

Unidad geológica local en el área de estudio	Litología
Formación Pacacua	Areniscas finas
Formación Tiribí	Ignimbritas y tobas
Formación Grifo Alto	Tobas y lavas
Depósitos Aluviales y Coluviales	Aluviones

Fuente: Propia, 2021.

Para determinar el valor de susceptibilidad litológica, aparte de la caracterización litológica anterior, se realizará una clasificación geomecánica del macizo rocoso según el método RMR, con base en afloramientos observados en el área de estudio.

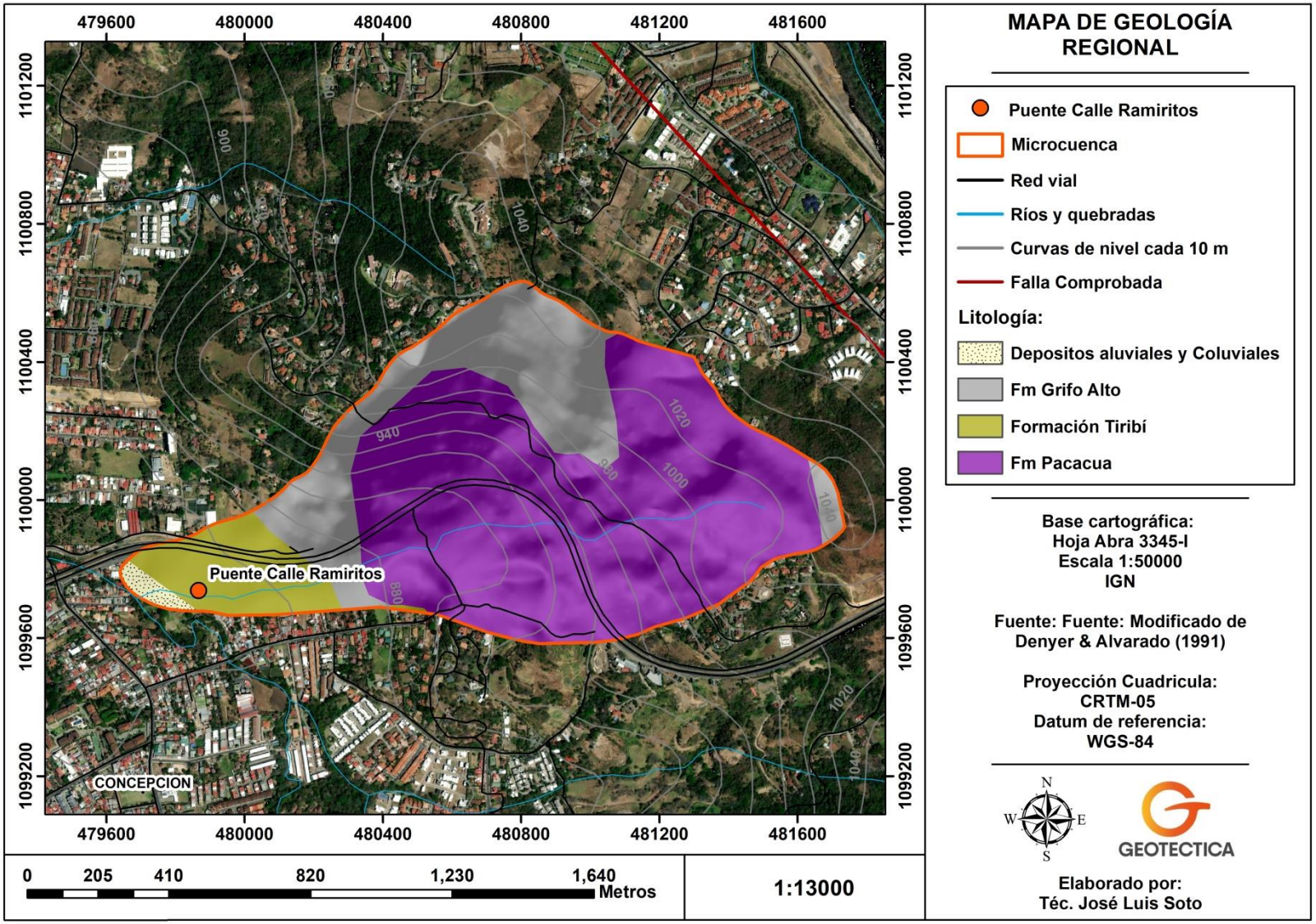

Figura N°18. Mapa geológico regional de la microcuenca.

Clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR)

- Cálculo de la resistencia de la roca inalterada

- Estimación de la resistencia a la compresión de la roca según índices de campo.

Cuadro N° 19: Estimación aproximada de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo.

Clase	Descripción	Identificación de campo	Resistencia a compresión simple (MPa)
S_1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm	<0.025
S_2	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm	0.025 – 0.05
S_3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo	0.05 – 0.1
S_4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.1 – 0.25
S_5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0.25 – 0.5
S_6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña	>0.5
R_0	Roca extremo blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 – 1.0
R_1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se talla fácilmente	1.0 – 5.0
R_2	Roca blanda	Se talla con dificultada con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas	5.0 – 25
R_3	Roca modera blanda	No puede tallarse con la navaja. Se fractura con un golpe fuerte del martillo	25 - 50
R_4	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla	50 - 100
R_5	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes con el martillo para fracturarla	100 - 250
R_6	Roca extremo dura	Al golpear con el martillo solo saltan esquirlas	>250

Tomado de: González de Vallejo et al., 2002.

Según el Cuadro N° 19, las rocas se clasifican como rocas blandas y muy blandas, ya que se desmenuza con facilidad al golpear con la punta de la piqueta. Esto establece un rango de aproximación de la resistencia a la compresión simple de 1-5 MPa.

- Cálculo del índice RQD

$$RQD = 100e^{-0.1Y} * (0.1Y + 1)$$

Dónde:
Y = N° de fracturas (prom.) / longitud (m).
En el Cuadro N°20, se exponen el valor RQD para cada formación descrita en la Geología regional del sitio en estudio

Cuadro N° 20: Resumen del RQD para cada formación geológica.

Unidad geológica local en el área de estudio	Y	RQD (%)
Formación Pacacua	2.66	96.67
Formación Tiribí	2.33	98.24
Formación Grifo Alto	2.00	98.25
Depósitos Aluviales y Coluviales	2.20	97.91

Fuente: Propia, 2021.

Cabe mencionar que los valores obtenidos tras el cálculo son similares entre sí, dado esto por la calidad de los materiales que constituyen las cuatro formaciones geológicas y sus características de resistencia, es importante mencionar que los materiales se clasifican entre blandos y muy blandos.

El valor de RQD promedio para el sitio en estudio es de 95.97 %, esto según los afloramientos observados. A continuación, se presentan los Cuadros N°21, 22, 23 y 24, mismos que corresponden con el valor RMR para cada formación que complementa para el sitio en análisis.

Cuadro N° 21: Clasificación del macizo rocoso según el sistema RMR (Formación Pacacua).

Parámetros		Condición	Valoración	
Resistencia de la roca inalterada		5-25 Mpa	2	
RQD		97.03%	20	
Espaciamiento de fisuras		0.20 m	10	
Condición de las fracturas	Longitud	2.2 m	4	
	Separación	7 mm	0	
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3	
	Relleno	Blando <5 mm	2	
	Meteorización	Muy alterada	1	
Influencia del agua subterránea		Seco	15	
Sumatoria			57	
RMR		Medio	III	
Ajuste por dirección de las fisuras				
Dirección estratigráfica paralela		Muy desfavorable	Túnel	-12
			Cimentación	-25
Buzamiento 45° - 90°			Talud	-60
Sumatoria			Túnel	45
			Cimentación	32
			Talud	-3
RMR	Túnel	Media	III	
	Cimentación	Mala	IV	
	Talud	Muy mala	V	

Fuente: Propia, 2021.

Cuadro N° 22: Clasificación del macizo rocoso según el sistema RMR (Formación Tiribí).

Parámetros		Condición	Valoración	
Resistencia de la roca inalterada		5-25 Mpa	2	
RQD		96.67 %	20	
Espaciamiento de fisuras		0.2 m	8	
Condición de las fracturas	Longitud	2.5 m	4	
	Separación	5 mm	1	
	Rugosidad	Suave	0	
	Relleno	Blando >5 mm	0	
	Meteorización	Muy alterada	1	
Influencia del agua subterránea		Seco	15	
Sumatoria			51	
RMR		Medio	III	
Ajuste por dirección de las fisuras				
Dirección estratigráfica paralela		Muy desfavorable	Túnel	-12
			Cimentación	-25
Buzamiento 45° - 90°			Talud	-60
Sumatoria			Túnel	39
			Cimentación	26
			Talud	-9
RMR	Túnel	Malo	IV	
	Cimentación			
	Talud	Muy Mala	V	

Fuente: Propia, 2021.

Cuadro N° 23: Clasificación del macizo rocoso según el sistema RMR (Formación Grifo Alto).

Parámetros		Condición	Valoración	
Resistencia de la roca inalterada		5-25 Mpa	2	
RQD		98.25%	20	
Espaciamiento de fisuras		0.25 m	10	
Condición de las fracturas	Longitud	2 m	4	
	Separación	5 mm	1	
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3	
	Relleno	Blando <5 mm	2	
	Meteorización	Muy alterada	1	
Influencia del agua subterránea		Seco	15	
Sumatoria			58	
RMR		Medio	III	
Ajuste por dirección de las fisuras				
Dirección estratigráfica paralela		Muy desfavorable	Túnel	-12
			Cimentación	-25
Buzamiento 45° - 90°			Talud	-60
Sumatoria			Túnel	46
			Cimentación	33
			Talud	-2
RMR	Túnel	Media	III	
	Cimentación	Mala	IV	
	Talud	Muy mala	V	

Fuente: Propia, 2021.

Cuadro N° 24: Clasificación del macizo rocoso según el sistema RMR (Depósitos Aluviales y Coluviales).

Parámetros		Condición	Valoración	
Resistencia de la roca inalterada		1-5 Mpa	2	
RQD		97.91%	20	
Espaciamiento de fisuras		0.15 m	8	
Condición de las fracturas	Longitud	3 m	4	
	Separación	4 mm	1	
	Rugosidad	Ligeramente rugosa	3	
	Relleno	Blando <5 mm	2	
	Meteorización	Muy alterada	1	
Influencia del agua subterránea		Ligeramente humedo	10	
Sumatoria			51	
RMR		Medio	III	
Ajuste por dirección de las fisuras				
Dirección estratigráfica paralela		Muy desfavorable	Túnel	-12
			Cimentación	-25
Buzamiento 45° - 90°			Talud	-60
Sumatoria			Túnel	39
			Cimentación	26
			Talud	-9
RMR	Túnel	Mala	IV	
	Cimentación	Mala	IV	
	Talud	Muy mala	V	

Fuente: Propia, 2021.

Para las cuatro litologías que afloran alrededor de Calle Ramiritos el parámetro de SI es de 5 y su descripción se encuentra en el intervalo de Muy Mala para el Talud, en el Cuadro N°25, se presenta la categoría resultante.

Cuadro N° 25. Parámetro de susceptibilidad litológica.

Valoración RMR	Numero de clase	Descripción	Valor del parámetro SI
<20	V	Muy Mala	5
21-40	IV	Mala	4
41-60	III	Media	3
61-80	II	Buena	2
81-100	I	Muy Buena	1

- **Parámetro de humedad**

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

En el siguiente Cuadro se muestra la valoración según el método Mora- Varhson-Mora a partir del promedio de precipitación mensual (mm).

Cuadro N° 26: Valores asignados a los promedios mensuales de lluvia.

Promedio de precipitación mensual (mm)	Valor asignado
<125	0
125-250	1
>250	2

Fuente: Mora et al., 1992.

Seguidamente, a partir de los datos de la Estación Meteorológica 84-119 Guachipelín, la cual cuenta con registro desde 1974 al 2014, se establecen los valores para cada mes según el Cuadro anterior, lo cual se muestra a continuación.

Cuadro N° 27: Promedio de precipitación mensual (mm) para la estación meteorológica 84-119 Guachipelín y su valor de susceptibilidad.

Mes	Promedio precipitación mensual (mm)	Valor (MVM)
Enero	5.1	0
Febrero	8.0	0
Marzo	17.9	0
Abril	57.8	0
Mayo	216.8	1
Junio	215.7	1
Julio	157.3	1
Agosto	223.4	1
Septiembre	309.4	2
Octubre	299.1	2
Noviembre	131.2	1
Diciembre	26.8	0
Total		**9**

Fuente: Propia, 2021.

Posteriormente, al sumar los valores MVM de susceptibilidad de los doce meses, se determina el parámetro de humedad a partir del valor total de la sumatoria, tal y como lo muestra el siguiente Cuadro.

Cuadro N° 28: Parámetro de humedad de la microcuenca

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

Fuente: Propia, 2021.

Tomando como referencia la estación meteorológica 84-119 Guachipelín, y de acuerdo a la norma del Cuadro N°28, se establece el parámetro de humedad como bajo con un valor de 2.

- **Parámetro de susceptibilidad geomorfológica**

Se realizó un análisis geomorfológico detallado alrededor del terreno de estudio, de lo cual se identificaron dos (2) unidades geomorfológicas. Esto se realiza basado en el criterio expuesto por Madrigal, (1980). A continuación, se describen estas unidades y en la Figura N°19 se observa su distribución espacial.

Formas de origen volcánico

Relleno Volcánico del Valle Central

Esta unidad geomorfológica presenta una superficie plana ondulada, esto debido a que a la distancia los profundos y medianos cauces que interrumpen la planicie no son bien identificados, por lo tanto, cuando se está en el piso del Valle, se nota inmediatamente que la superficie no es perfectamente plana, sino que la misma está cortada por los cauces y presenta lomas de baja altura.
Tipo de roca: esta unidad está formada en una superficie por rocas volcánicas principalmente lavas, tobas e ignimbritas, cubiertas por ceniza en un espesor variable. La secuencia de lavas descansa sobre rocas sedimentarias al menos hacia el lado sur de la unidad.
Morfogénesis: Geomórficamente esta unidad no es un valle, sin embargo, para efectos políticos, socioeconómicos, se considera preferiblemente llamarlo Valle Central, por lo tanto, técnicamente esto es denominado como fosa tectónica, las características de la fosa tectónica del Valle Central son las siguientes:

- ✓ La presencia de una falla a todo lo largo del pie de la Cordillera Central.
- ✓ La interrupción brusca y alineada con la supuesta falla, de las estribaciones que de la cordillera bajan al valle.
- ✓ La presencia de un vulcanismo sin explicación aparente (Formación Pacacua), en correspondencia con la posición de la falla, o cerca de ella.

Formas originadas por la acción intrusiva

Lomas del alto de las Palomas

Se localiza entre Escazú y Santa Ana, esta unidad constituye una loma alargada, en dirección aproximada norte-sur, con una longitud de unos siete km. Las laderas son de pendiente suave, redondeadas, convexas, con muy pocas vías de drenaje superficial.

El tipo de roca está constituida por rocas de la Formación Pacacua cubiertas hacia los flancos bajos de las laderas por ignimbritas recientes. Dentro de las rocas de Pacacua se encuentra en esta unidad, areniscas tobáceas muy meteorizadas y algo afectadas por la acción hidrotermal de intrusiones locales.

Algunos diques pequeños también se encuentra aflorando, es frecuente la presencia de zonas muy arcillificadas que tiene problemas de estabilidad. La unidad se ha formado por la acción que la erosión ha ejercido sobre rocas volcanosedimentarias de la Formación Pacacua, afectadas por distintas grados de efecto intrusivos.

Las rocas de la Formación Pacacua, pertenecen a la edad del Mioceno bajo a medio y los costados de las laderas están cubiertos por ignimbritas de edad Cuaternario. Estas últimas no han sido afectadas por las intrusiones ni por sus efectos secundarios, por lo cual las intrusiones son anteriores al Cuaternario y contribuyen a modelar la unidad, se puede decir que la edad de la unidad es del Cuaternario.

En el Cuadro N°29 se presentan las unidades geomorfológicas determinadas para el área de estudio con su valor calificativo según la modificación del método MVM de Camacho et al., (2004), en la cual a cada unidad se le asigna un valor de 1 a las menos susceptibles y un valor de 5 para las formas más susceptibles.

Cuadro N° 29: Valoración del parámetro de susceptibilidad geomorfológica.

Unidad geomorfológica	Valor del parámetro
Relleno Volcánico del Valle Central	3
Lomas del alto de las Palomas	4

Fuente: Propia, 2021

Elementos activos

- **Disparo por lluvia**

Para la evaluación del parámetro se utilizó el mapa de lluvia máxima en 24 horas con un periodo de retorno de 100 años realizado por Vahrson (1994). En el cual se presenta una predominancia total sobre la microcuenca de la quebrada sin nombre, donde la precipitación es de 150 mm, clasificándose con valores, según el método MVM, de 2, tal y como lo muestra el Cuadro N° 30.

Cuadro N° 30: Valoración del parámetro de disparo por lluvias.

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

Fuente: Propia, 2020.

A continuación, se expone la Figura N°20, donde se observa la distribución de la precipitación en 24 horas en un periodo de retorno de 100 años.

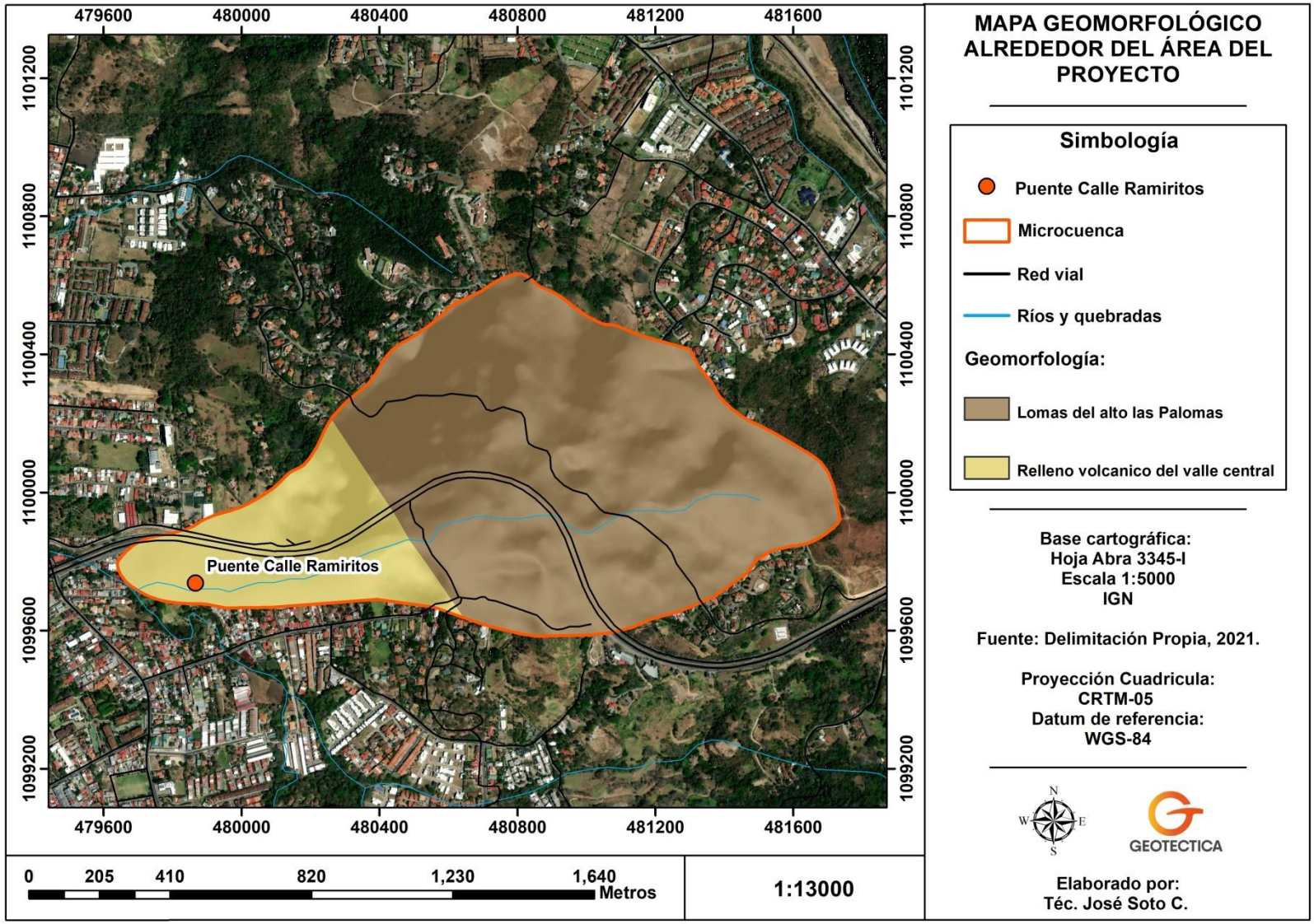

Figura N° 19. Mapa de rasgos geomorfológicos en la microcuenca.

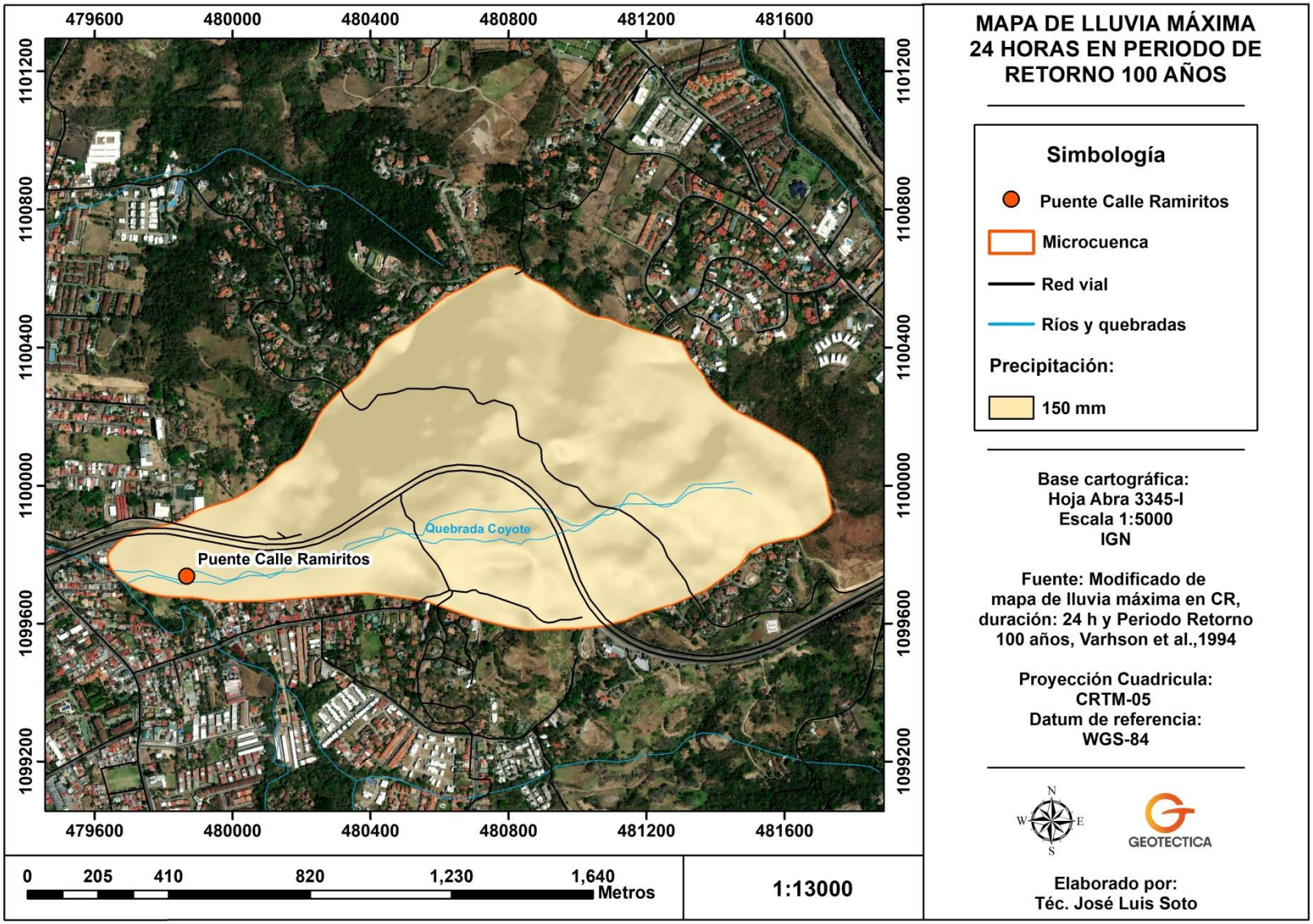

Figura N° 20: Mapa de lluvia máxima en 24 h para un periodo de retorno de 100 años, modificado de (Vahrson, 1994).

- **Disparo por sismicidad**

El parámetro de disparo por sismicidad, de acuerdo con Mora & Varhson (1992) es tomado en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad debido a que la sismicidad es un evento natural que ha causado destrucción por deslizamientos en Costa Rica. Se ha observado que el potencial de generación de deslizamientos por actividad sísmica puede correlacionarse con la escala de intensidades Mercalli – Modificada, la cual se relaciona con la magnitud de los sismos registrados, como lo muestra el siguiente Cuadro.

Cuadro N° 31: Relación entre magnitud momento y la escala de intensidades Mercalli – Modificada.

Escala de Intensidad Mercalli	Magnitud
I	1.0 – 3.0
II – III	3.0 – 3.9
IV – V	4.0 – 4.9
VI – VII	5.0 – 5.9
VII – VIII	6.0 – 6.9
VIII o más	7.0 o más

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

Enjambre de junio de 1994

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

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

El enjambre de octubre de 1994

En octubre se registró nuevamente en la misma zona epicentral un nuevo enjambre. En este caso se generó una secuencia de temblores cuyo máximo evento tuvo magnitud 4,2 al igual que en junio, se relacionaron con las fallas Salitral e Higuito. Una mayor cantidad de temblores con magnitud 3, 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.

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.

Zona sísmica de Escazú - Belo Horizonte

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

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

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

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

Sismo Piedras Negras

Este sismo tuvo lugar el 22 de diciembre de 1990, 4 km al nor-noreste de Santiago de Puriscal, específicamente en Piedras Negras, Cantón de Mora. Con una intensidad de 5,7; profundidad de 6,5 km y a unos ~18,5 km del sitio de estudio. Respecto a la falla asociada a este sismo y la actividad sísmica en general de las cercanías, ha habido discusión, ya que Montero et al. (1990; 1991 a y b), lo relacionaron con la falla Virilla, una falla sugerida de movimiento sinestral. Arias & Denyer (1991b) detallaron la geología y las fallas de la zona de Puriscal, definiendo un sistema NW de tipo dextral y otro de rumbo NE, de carácter sinestral.

Fernández (1995) y Fernández & Pacheco (1998) sugieren que una parte importante de la actividad sísmica se relacionó con la falla Cortezal, de rumbo NE. Otra interpretación la dan Güendel et al. (1995) al ligarla la sismicidad con sistemas de fallas NE-SW y NW-SE. Por último, Montero & Rojas (2014), con base en las evidencias sismológicas, sismotectónica y macrosísmica indica que el segmento que rompió durante este terremoto tiene unos 11 km de longitud y la ubican en el sector de la falla Picagres de rumbo cercano al N-S.

Análisis Estructural Regional

En el presente sub apartado, se muestra un análisis estructural general de la parte Sur del valle Central de Costa Rica, área que concuerda con el terreno en estudio.
El Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR) constituye un sistema ancho de fallas y pliegues activos, el cual define el límite oeste entre la placa Caribe y la microplaca Panamá. Entre las fallas activas del CDCCR se encuentra la Falla Agua Caliente, con la cual se asocian diversos terremotos históricos de magnitudes intermedias (5,0 < Ms < 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 (Ms 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).

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 4.1.1). El sistema Escazú-Bello Horizonte - Aserrí – 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.

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 sillas de falla (Woodward & Clyde, 1993; Fernández & Montero, 2002; Montero et al., 2006).

La falla se considera de desplazamiento predominante sinestral (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, Aserrí y Patalillo de movimiento, preferiblemente, inverso.

La propuesta de Montero et al (2005) es que la Falla Agua Caliente no termina en el relevo compresivo del sistema Bello Horizonte- Escazú, si no que prosigue hacia el Oeste mediante dos posibles rumbos: a) sobre la Falla Salitral propuesta por Woodward & Clyde, (1993) como una falla sugerida como activa o b) sobre la traza de la Falla Virilla, (Montero et al, 1991).

Falla Salitral (Pacacua)

Referida originalmente como falla Pacacua por Denyer & Arias (1990), se encuentra ubicada en el sector central y oeste del área de investigación. 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. Corta los cerros Pacacua, Minas y

Las Palomas. Presenta un movimiento horizontal de tipo sinestral con una componente inversa (Montero et al, 2005).

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.

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 traza se extiende por unos ~8 km. Esta falla se caracteriza por mostrar un prominente escarpe a lo largo de su traza, que corta rocas de las formaciones Pacacua, 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 Pacacua. 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.

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.

En el Cuadro N° 32 se exponen en forma de resumen las principales estructuras y fallas, ubicadas en las cercanías del sitio de estudio.

Cuadro N°32. Lista de fallas comprobadas ubicadas en los alrededores

Falla	Tipo (según literatura)	Fuente bibliográfica	Distancia con calle Ramiritos
Belo Horizonte	Inversa	Denyer et al, (2003)	4294
Bebedero	Inversa	Denyer et al, (2003)	3513
Salitral	Sinestral con componente inversa	Montero et al, (2005)	3170
Escazú	Inversa	Montero et al, (2005)	3000

Fuente: Propia, 2021.

Según el análisis de las fotografías aéreas del proyecto Terra (1998) se identifican varios rasgos distintivos de fallamiento, estos representan una correlación con fallas descritas en la literatura por diversos autores, donde se identifican varios alineamientos sin nombre y algunos nombrados de manera informal en el presente documento.

Descripción de las fallas presentes en el área del proyecto

Para este caso se dio especial importancia a los rasgos estructurales ubicados en las cercanías del terreno de estudio, siendo estas las que tendrían un efecto potencial y más importante ya que de presentar alguna actividad sísmica podrían afectar el terreno del proyecto. A continuación, se describen las fallas observadas y sus principales formas asociadas, además en las Figuras N°5 y 6 se observa el análisis con el modelo de sombras y la fotointerpretación realizada en las cercanías del sitio de estudio.

Falla Escazú (FE): se localiza en el centro del área del cantón de Escazú, presenta una traza inferida identificada mediante fotografías aéreas y elaboración de modelos de sombras. La traza presenta morfologías definidas al NW del cantón como escarpes pronunciados y alineamientos de cauces, además presenta una dirección al NW y una longitud de al menos 10 km según las interpretaciones en el presente trabajo. Autores como Montero et al, (2005) describen el movimiento de esta falla como de desplazamiento de rumbo con componente inversa, sin embargo, no se observan afloramientos de esta ni afección cerca del área de estudio, solo morfologías asociadas.

Falla Salitral (FS): Corresponde con un fuerte alineamiento y escarpe que se observa en el sector NW del cantón de Escazú en el límite con Santa Ana, cerca del Alto Raicero, de igual manera se asocia con un movimiento de desplazamiento con una 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.

Alineamiento Salitral (AS): Asociado a la Falla Salitral se encuentra un alineamiento importante sobre la cuenca del Quebrada Coyote con dirección predominante al N20°W y con una extensión de 7,9 km desde la parte alta de la cuenca del Quebrada Coyote 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.

Falla Bello Horizonte (FBH): se observa al N del cantón de Escazú y se reconoce por fuertes alineamientos en los cauces locales tal como el Río Agres en las cercanías de su desembocadura al Río Tiribí. Presenta una extensión de cerca de 9,6 km con una dirección predominante al NW. Al igual que la Falla Escazú, esta presenta un movimiento de rumbo con una componente inversa y ambas representan el régimen compresivo en el área.

Falla Bebedero (FB): En la parte baja de los cerros de Escazú se observan morfologías correspondientes con facetas triangulares y sillas de falla, de igual manera se observan ríos y quebradas con cierto grado de alineamiento, además de escarpes pronunciados en las cercanías del poblado de Bebedero, concretamente limitando la parte E del Alto Tapezco. La traza de falla se relaciona con el alineamiento de la parte alta de la cuenca del Río Agres donde se observan rocas basculadas y estrías de falla, de igual manera en el escarpe del Alto Tapezco. González (2014) hace una breve descripción de morfologías de falla relacionadas y criterios de identificación en el área, pero sin llegar a concluir aspectos determinantes sobre su traza o ubicación. Se propone una traza de falla de cerca de 6,6 km de longitud con

dirección predominante hacia el NW, aproximadamente paralela a la Falla Escazú, no se tiene clara su relación con esta última, pero podría ser una ramificación o un relevo de esta, además se propone que el inicio de la falla se encuentra en la parte alta de la cuenca del Río Agres y finaliza en las cercanías del poblado de Matinilla en Santa Ana.

Falla Inferida (FI): Asociada a la falla Bebedero se observa un alineamiento en la parte alta al SW de los cerros de Escazú, tal alineamiento presenta sillas de falla y poco control sobre los cauces de agua en la zona ya que se encuentra en una zona alta. Se propone una extensión de 2,5 km para la traza de esta y se especula una relación importante con la falla Bebedero, descrita anteriormente.

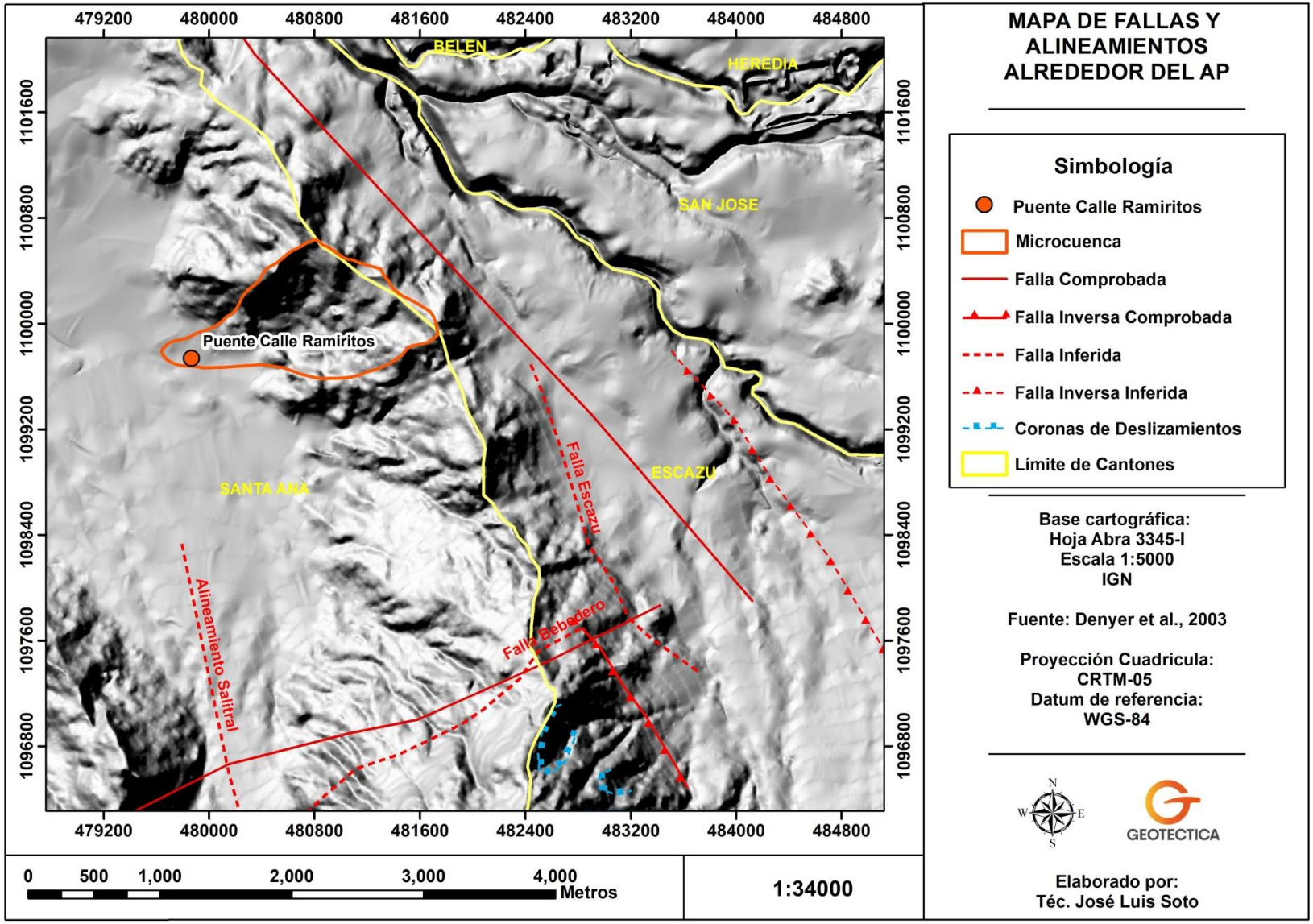

Figura N° 21: Mapa de fallas y alineamientos alrededor del AP con modelo de sombras (Denyer et al, 2003).

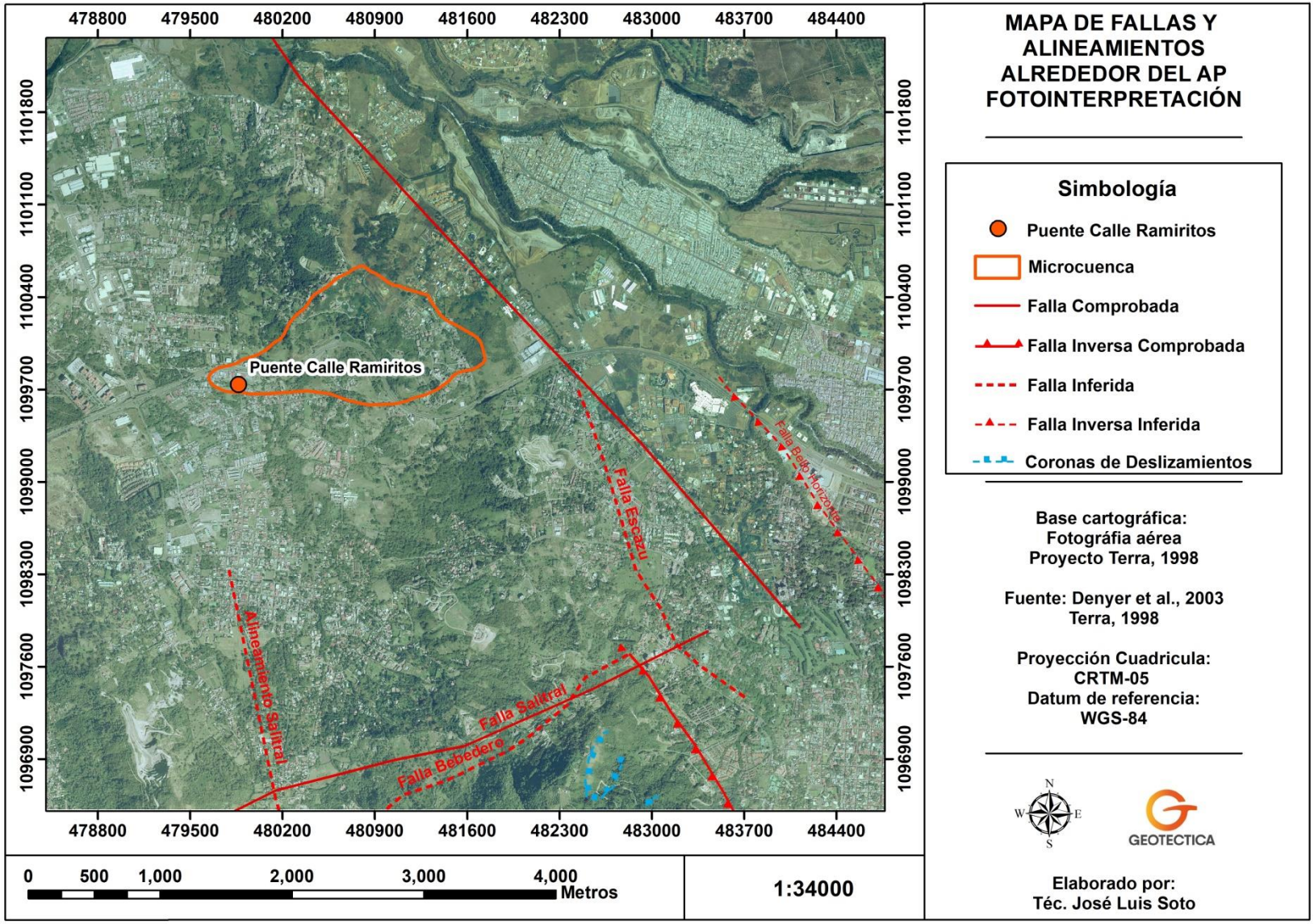

Figura N° 22: Mapa de fallas y alineamientos alrededor del AP con modelo de sombras (Terra, 1998).

El parámetro de disparo por sismicidad está dado por el evento sísmico asociado a la falla Agua Caliente, la cual ha tenido incidencia en varios terremotos a través de la historia, dichos sismos se correlacionan con intensidades máximas entre VII – VIII. De acuerdo con lo anterior el parámetro de disparo por sismicidad es de 8, considerando una intensidad máxima de VIII para los sismos registrados.

Cuadro N° 33: Valoración del parámetro de disparo por sismicidad.

Intensidad de Mercalli Modificada	Valoración del parámetro Ds
I	1
II	2
III	3
IV	4
V	5
VI	6
VII	7
VIII	8
IX	9
X	10
XI	11
XII	12

- **Susceptibilidad al deslizamiento**

Método Mora-Vahrson-Mora, parámetro litología

El resultado del método Mora – Varhson – Mora el sitio de estudio indica una posibilidad de ocurrencia de deslizamientos de tipo moderada a media, ya que estas categorías son las que predominantes sobre toda la zona. Las partes altas del sitio en análisis presenta algunos sectores con susceptibilidad al deslizamiento entre Alto y Muy alto, esto impulsado por las pendientes que en este sector son las pronunciadas.

Respecto a la litología que se muestra, esta presenta cuatro formaciones distintas, sin embargo, por lo observado en campo y tras la cuantificación y clasificación del valor RMR para cada formación, se concluye y afirma que, para el talud general del sitio en estudio, este se cataloga en un rango de “muy malo” con un valor SI de 5 (Figura N°23).

Método Mora-Vahrson-Mora, parámetro geomorfología

De igual forma, la modificación al método que contempla las unidades geomorfológicas muestra una susceptibilidad de moderada a medio en el área directa del proyecto, siendo esta la clasificación que predomina alrededor, mientras que en las partes más elevadas la susceptibilidad al deslizamiento varía entre Medio y Bajo, esto es observado en la Figura N° 24.

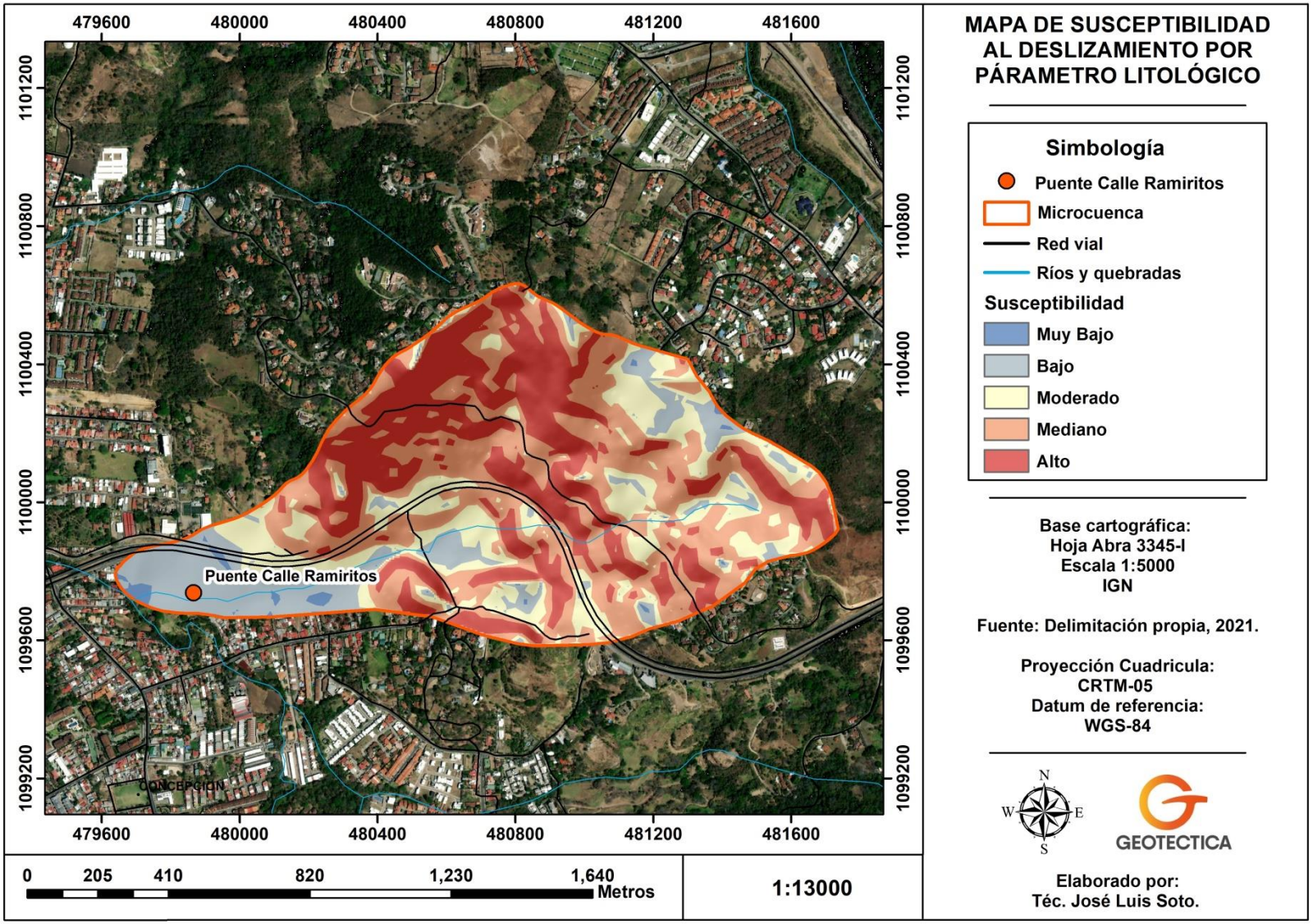

Figura N° 23: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos, parámetro litológico.

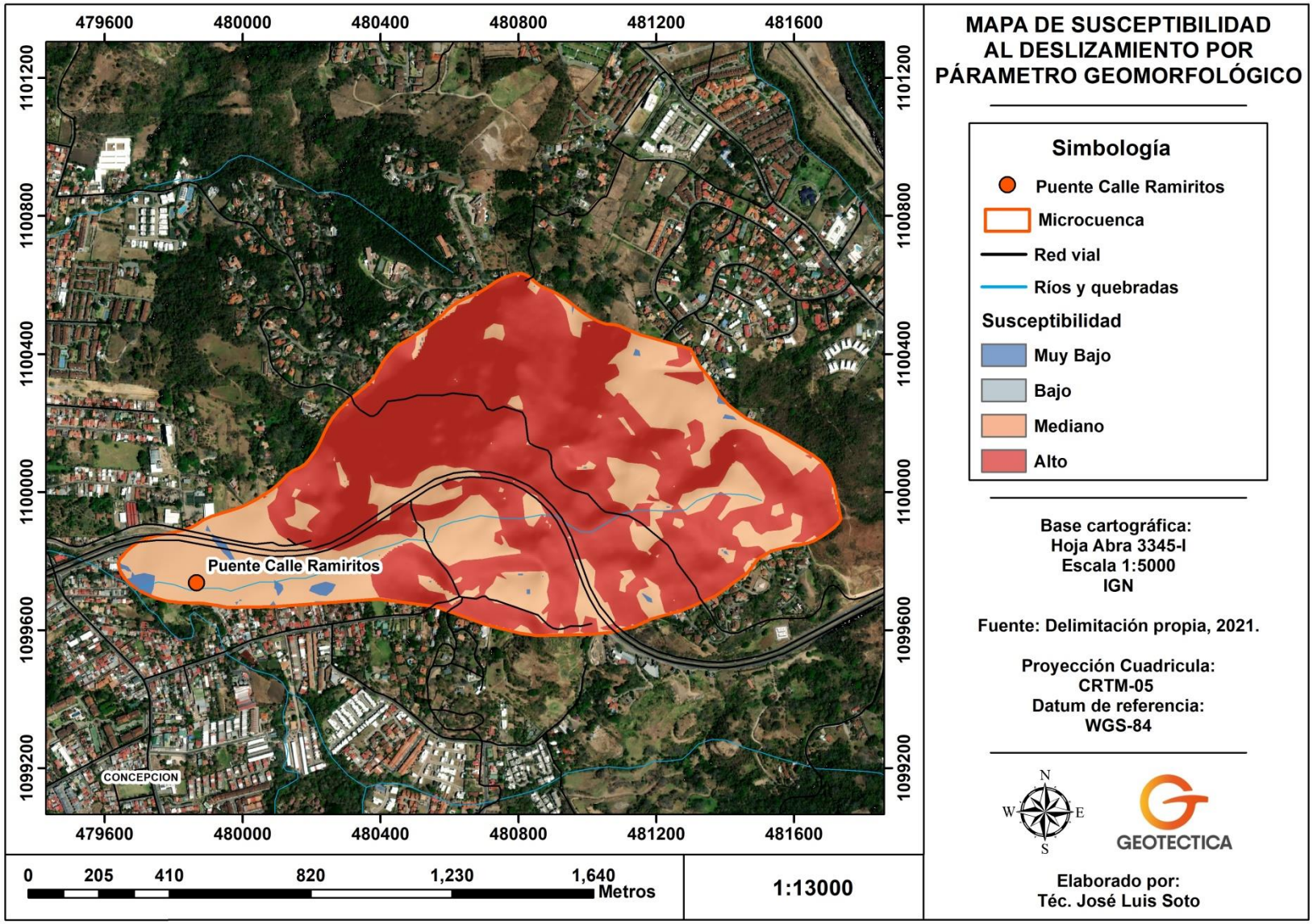

Figura N° 24: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos tomando en cuenta el parámetro geomorfológico.

6- ÁNALISIS DE RIESGOS NATURALES EN EL ÁREA DEL PROYECTO

Para la aplicación de esta metodología alrededor de Calle Ramiritos, se deben considerar varios procesos naturales que sean recurrentes en el escenario de amenazas a nivel nacional, por lo que a continuación se describen dichos parámetros, esto según el convenio Interministerial entre el MAG y la CNE (MIDEPLAN) en el año 2014:

a. Alud torrencial: Movimiento muy rápido de masas de materiales sólidos, como por ejemplo grandes bloques de roca, grava y arena, con ciertas cantidades de materiales más finos como limo y arcilla, mezclados con agua, biomasa y aire atrapado. Ocurren con más frecuencia en las laderas de pendiente elevada y transitan por cauces de quebradas y ríos de montaña. Tienen como agravante un comienzo súbito y la elevada velocidad de flujo (ejemplo lahar de Taras, 1963-65, aludes de Arancibia –Cord. Tilarán, junio 2000- y Calle Lajas –Escazú, nov. 2010).
b. Deslizamiento: Se define como un movimiento pendiente abajo, lento o súbito, debido a la ruptura y desplazamiento gravitatorio del terreno en una ladera que puede estar constituida por rocas, suelo y cobertura boscosa, o bien por rellenos artificiales. El movimiento puede haber sido propiciado por acción de la socavación en la parte inferior de los cauces de los ríos o quebradas, o por la intervención de la sismicidad, lluvias intensas o acciones humanas (cortes en laderas, apertura de caminos). Se caracterizan por la formación de una superficie de ruptura plana o curva, a partir de la cual se desplaza la masa de terreno que se ha separado del conjunto.
c. Inundación: Situación originada cuando el volumen de agua de lluvia, o el vaciamiento de agua represada excede la capacidad de conducción del cauce normal del río. También puede producirse por el taponamiento u obstrucción de los sistemas de drenaje naturales o artificiales que provoca la acumulación de agua hasta niveles en que empieza a afectar de manera aguda la funcionalidad de los sistemas de transporte, la viabilidad de los cultivos, de los animales, la biodiversidad, la estabilidad de los ecosistemas, la funcionalidad de edificios públicos y privados, las áreas residenciales y la vida humana.
d. Sismo: Movimiento vibratorio que se origina en el interior de la Tierra y se propaga en todas direcciones en forma de ondas. La causa principal de su ocurrencia es el movimiento de las placas tectónicas, lo que provoca la liberación de energía que termina remeciendo bruscamente la corteza. Otra causa que puede incidir en la generación de sismos son las erupciones volcánicas. La escala utilizada para caracterizar la amenaza sísmica en cuanto a su magnitud es la de Richter y la escala que mide su percepción es la de Mercalli.
e. Tsunami (del japonés TSU: puerto o bahía, NAMI: ola): También conocida como inundación por marejada. Es una ola o serie de olas que se producen en una masa de agua al ser empujada violentamente por una fuerza que la desplaza verticalmente. Estas olas determinan la inundación de áreas de territorios habitualmente no ocupadas por la masa acuática.
f. Vulcanismo: Proceso de la geodinámica interna que consiste en la salida del magma desde el interior de la tierra, bajo la forma de rocas fundidas y piroclastos, acompañados de la emisión de gases y vapores hacia la atmósfera.
Esta matriz permite estimar el efecto de distintas variables en índices de amenaza, para esto se toman en cuantos varios parámetros, además estos se combinan para la cuantificación idónea de amenazas, y con esto se da un índice a cada nivel obtenido, en el siguiente Cuadro se expone la escala de valoración para cada índice de Amenaza.

Cuadro N° 34: Escala de Valores del índice de Amenaza.

Nivel de amenaza	Índice de amenaza
Muy alto	4.01 - 5.00
Alto	3.01 – 4.00
Medio	2.01 – 3.00
Bajo	1.01 – 2.00
Muy Bajo	1.00

Fuente: MIDEPLAN, 2014

El procedimiento para concretar el análisis de amenazas en el área del proyecto se comenta a continuación, el mismo es tomado del convenio Interministerial MIDEPLAN en el año 2014.

a. El usuario de esta metodología deberá primero revisar si el Cantón donde se ubicará el proyecto cuenta con Plan Regulador aprobado y si el mismo tiene los mapas por amenaza correspondiente a los IFA. Si la respuesta es afirmativa, se aplicarán los mapas y matrices de los IFA definidos en el Plan para las amenazas de sismicidad, vulcanismo, tsunamis e inundación.
Si el evaluador de un proyecto encuentra dudas razonables sobre qué IFA por amenaza tiene el lugar del proyecto, debe asignar el IFA más desfavorable al sitio, según las categorías de las zonas aledañas en el mapa. Y, si las dudas persisten, se recomienda aplicar los criterios generales y matrices de esta metodología para contrastar los resultados.

b. Aplicación de los criterios generales para determinar la necesidad o no de profundizar en el análisis de cada amenaza. Estos criterios se utilizan para los cantones que no cuenten con los mapas por amenaza de los IFA y para las amenazas de deslizamiento, alud torrencial, sequía e incendios forestales. Metodología de análisis de amenazas naturales para proyectos de inversión pública en etapa de perfil 18.

c. El usuario llenará el espacio correspondiente a la columna Valor para cada una de las variables que definen la matriz por amenaza, basado en la información disponible y visitas a campo. Esto debido a que las otras columnas de la matriz (Variable, Parámetro, Nivel de Incidencia, Puntaje y Ponderador) son valores dados que no se deben modificar.

En el caso de las variables que se combinan, se deberá utilizar la matriz de combinación correspondiente para escoger aquel nivel de incidencia que coincide con las condiciones del emplazamiento del proyecto a valorar.

d. Multiplicar el valor asignado por el ponderador para obtener la contribución de la variable al índice de la amenaza.

e. Sumar las contribuciones de cada una de las variables para obtener el índice de la amenaza en estudio.

f. Obtenidos los resultados correspondientes, las recomendaciones que a continuación se hacen, llevan implícita la consideración que el usuario debe tener sobre la necesidad de la realización de otros estudios técnicos, para confirmar los resultados preliminares y asegurar que las decisiones guarden la mayor certidumbre posible:

Nivel de amenaza Muy Alto: Para la ejecución de un proyecto de infraestructura física, realizado el análisis y obtenida una calificación de amenaza igual a 5, las recomendaciones son:

• Optar por prescindir del área escogida y seleccionar otro emplazamiento.
• Sólo si se hace estratégica la localización del proyecto en el sitio analizado, realizar primero una profundización de los estudios geotécnicos, hidrológicos, climáticos, etc., y posteriormente una comparación de costos y beneficios del proyecto con aquellos asociados a emplazamientos alternativos, tomando en cuenta la necesidad, costo y dimensiones de las obras de reducción de riesgos necesarias.

Nivel de amenaza Alto: La consideración de la ejecución de un proyecto de infraestructura física en un emplazamiento con estas condiciones de amenaza, deberá tener en cuenta la realización de las obras necesarias de reducción de los riesgos asociados a las amenazas identificadas.

Nivel de amenaza Medio: Para este nivel de amenaza, la comparación entre alternativas está determinada por la mayor viabilidad técnica, financiera y funcional que pueden alcanzarse en los proyectos con relación a la ubicación de su emplazamiento. Lo anterior considerando que:

• Las amenazas analizadas no representan una limitante principal.
• En la mayoría de los proyectos, las previsiones asociadas a la reducción de riesgos no significan aumentos de costos significativos Convenio Interministerial Ministerio de Agricultura y Ganadería / Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica 19.

Nivel de amenaza Bajo: La viabilidad técnica, financiera y funcional, desde la perspectiva del manejo del riesgo implícito asociado al tipo de amenazas preexistentes, podría estar asegurada con un mínimo de inversiones adicionales orientada a la reducción de los riesgos por amenazas preexistentes.

Nivel de amenaza Muy Bajo: La viabilidad técnica, financiera y funcional, desde la perspectiva de amenazas naturales específicas con este nivel de incidencia, debiera estar asegurada sin necesidad de inversiones adicionales.
g. Identificación de las medidas para reducir el nivel de exposición.
h. Determinación de los costos de las medidas que podrían considerar montos de estudios, inversiones y mantenimiento. Asimismo, se solicita al menos un análisis cualitativo para determinar los posibles beneficios.

- **Amenaza de deslizamiento**

En este caso en el apartado anterior se realizó un análisis a la susceptibilidad de deslizamiento por medio del método Mora-Vahrson- Mora para el sitio de estudio, por lo que, al contarse con los mapas, se aplicara el criterio establecido en los mismos, a los cuales se les asignara la ponderación que indica el Cuadro N°35.

Cuadro N° 35: Matriz de evaluación de la amenaza de deslizamiento utilizando los mapas de Mora-Vahrson.

	Nivel de incidencia	Puntaje	Ponderado %
Mapas de susceptibilidad generados utilizando metodología de Mora Vahrson	Muy Alto	5	100
	Alto	4	
	Medio	3	
	Bajo	2	
	Muy bajo	1	

Fuente: MIDEPLAN, 2014

Para el sector en análisis, según el mapa de susceptibilidad de deslizamiento se encuentra en el nivel de incidencia descrito como bajo a medio, por lo que se le asigna un puntaje de 3, para un índice de amenaza medio respectó a al parámetro de deslizamiento.

- **Amenaza de Inundación**

Respecto al sitio de análisis este se localiza junto a la Quebrada Coyote, por lo se procederá a estimar la amenaza por inundación esto según la metodología desarrollado por el MIDEPLAN en el año 2014. A continuación, se exponen las variables para estimar el nivel de amenaza de inundación:

Localización en zonas de amenaza con potencial de inundación.
Esta variable considera el cumplimiento de al menos uno de los siguientes aspectos para obtener el mayor nivel de incidencia:

a. Antecedentes de inundación: Se busca identificar si existen registros históricos o antecedentes de memoria colectiva sobre inundaciones. En razón de la falta de información detallada en el país se utilizan los registros institucionales y de referencia de los habitantes para determinar dicha propensión.
Para ello, se deberá consultar a las autoridades locales y a personas con liderazgo en las comunidades bajo la influencia del proyecto, mediante un proceso de consulta que puede realizarse en una reunión grupal o con la aplicación de un cuestionario. La consulta debe ser lo más cerrada posible, definiendo aspectos como fechas, lugares afectados, nivel de inundación (altura máxima del agua alcanzada), entre otros.

b. Ubicación del sitio en alguna de las áreas de amenaza potencial de inundación, según lo establecido en los mapas homónimos elaborados por la CNE y disponibles en su página web. Con el uso de los mapas generados por la CNE, se deberá localizar el proyecto para comprobar si éste se ubica dentro de las zonas afectadas por eventos anteriores identificados por dicha entidad.

Pendiente promedio del terreno con Precipitación (promedio mensual 3 meses más lluviosos en mm)

Se debe utilizar la Matriz de Combinación número 1 en la cual, se combinan las variables pendientes promedio del terreno y la precipitación promedio mensual de los tres meses más lluviosos. La pendiente promedio corresponde al ángulo promedio del terreno donde se ubicaría el proyecto, medido en porcentaje. Para el cálculo de esta pendiente debe utilizarse

el método indicado. Los rangos considerados para esta variable son los definidos en el Decreto Ejecutivo 32967-MINAE sobre el Manual de Instrumentos Técnicos para el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.

Por su parte, para obtener la precipitación promedio de los tres meses más lluviosos, se debe obtener el promedio de precipitación para cada mes del año, según la serie histórica de la estación o las estaciones más cercanas al sitio de interés que estén dentro de la cuenca, a lo largo de un período no menor de 12 años.

Luego, para los tres meses con mayor precipitación, se calcula su promedio. Una vez obtenidos los valores, se utiliza la Matriz de Combinación número 1, de la cual se obtendrán los valores a utilizar en la Matriz para Amenaza de Inundación.
En el Cuadro N° 36 se exponen la matriz combinada donde se toma en cuenta la pendiente promedio del terreno y la precipitación en base a los tres meses más lluviosos.

Cuadro N° 36: Matriz de combinación 1. Pendiente promedio del terreno (%) con Precipitación (promedio mensual 3 meses más lluviosos)

Pendiente %	Precipitación mm			
	Mayor a 500	400 a 500	200 a 300	Menor a 200
Menor a 8	5	5	4	3
8 a 15	5	4	3	2
15 a 30	3	3	2	1
30 a 60	2	2	1	1
Mayor a 60	1	1	1	1

Fuente: MIDEPLAN, 2014

Para el área del proyecto la pendiente es 15% aproximadamente, mientras que la precipitación en base a los tres meses más lluviosos según la estación de Guachipelín 84119 es de 277.3 mm, por lo que se le asigna un valor de 3 para la combinación de ambos parámetros.

Humedad del suelo

Esta variable es la utilizada en la metodología de Mora-Vahrson, que realiza un balance hídrico simplificado a partir de promedios mensuales de precipitación y suponiendo una evapotranspiración potencial de 125 mm/mes. Se recomienda utilizar la mayor cantidad de registros disponibles de precipitación en la región, según la información histórica del IMN. Para el cálculo se utiliza el mismo procedimiento descrito para la matriz de amenaza a deslizamientos.

Los detalles de la humedad del suelo se presentan en el apartado anterior; Análisis de Susceptibilidad al Desplazamiento. Donde se obtuvo un rango entre 5-9, por lo que se cataloga con un nivel de incidencia como bajo para un puntaje de 2.

Vegetación predominante

La vegetación predominante será determinada por el tipo de flora del área en estudio. Las categorías que se utilizan son: bosque denso, bosque no denso, arbustiva, charral y suelo desnudo o herbáceo. Mientras menos cobertura vegetal densa exista en el área de la cuenca, mayor será el escurrimiento superficial y por ende los picos de crecidas.

• **Bosque denso**: Bosque Cerrado o Denso: Arboles con sus copas traslapadas entre sí, generalmente la cubierta arbórea es entre 60 y 100%.
• **Bosque No Denso:** Cubierta arbórea inferior al porcentaje de cubierta arbórea del bosque denso.
• **Arbustos:** Individuos aislados o grupos de plantas y pequeños árboles no mayores de 2 m, pueden traslapar sus ramas o no, los arbustos presentan varios tallos o ramas que salen desde la raíz.
• **Charral o Pastos:** Herbazal, domina la vegetación herbácea terrestre (gramíneas, ciperáceas, algunos helechos y otras).
• **Suelo desnudo o herbáceo:** Áreas sin o con vegetación escasa: Domina el estrato abiótico (suelo desnudo), vegetación esparcida generalmente donde se acumulan nutrientes, o casi ausente.

Respecto al área del proyecto de Uso de Suelo del Área de Aporte Pluvial, predominan los suelos de cobertura vegetal, como pastos y zacate por lo que este se debe caracterizar como charral o pastos, obtenido un nivel de incidencia alto para un puntaje de 4.

Distancia a cuerpos de agua y altura sobre el tirante de agua.

En este caso, se debe utilizar la Matriz de Combinación número 2, la cual utiliza las variables señaladas. La distancia a cuerpos de agua se refiere a la distancia horizontal medida desde el sitio donde se ubicaría el proyecto, hasta el borde del cuerpo de agua en metros. La altura sobre el tirante de agua corresponde a la distancia vertical en metros, medida desde la proyección horizontal de la ubicación del terreno en estudio, hasta la superficie del cuerpo de agua en condiciones normales. La Matriz de Combinación número 2 relaciona estos dos parámetros para definir el nivel de incidencia, el cual pasa a constituirse en el valor a utilizar en la Matriz para Amenaza de Inundación.

En el siguiente Cuadro se presenta la matriz combinada de los parámetros distancia y altura desde el área del proyecto hasta el cuerpo de agua más cercano.

Cuadro N° 37: Matriz de combinación 2. Distancia a cuerpos de agua con altura sobre el tirante de agua

Distancia (m)	Altura (m)				
	0 a 2	2 a 4	4 a 6	6 a 8	Mayor a 8
Menor a 10	5	5	4	3	3
10 a 50	5	4	3	3	2
50 a 100	4	4	3	2	2
100 a 200	3	3	2	2	1
Mayor a 200	3	2	2	1	1

Fuente: MIDEPLAN, 2014

Respecto al área del proyecto, este se localiza por encima de la Quebrada Coyote, mientras que la altura sobre el tirante de agua es de 1.0 m aproximadamente, misma que fue medida en campo, esto al realizar labores técnicas de inspección sobre el sitio en análisis. La incidencia se caracteriza como moderada para un puntaje de 5.

Tras la cuantificación de Amenazas respecto a Inundación sobre el sitio de estudio, se estima que la misma posee un Índice total de 4.15, por lo que su nivel de amenaza es Muy Alto (rango entre 4.01 a 5.00), en el Cuadro N° 38 se presenta un resumen de los valores obtenidos tras la estimación a detalle sobre el área del proyecto.

Cuadro N° 38: Matriz para Amenaza de Inundación, y resumen de valores obtenidos.

Variable	Parámetro	Nivel de incidencia	Puntaje	Ponderador %	Índice
Localización en zonas de amenaza con potencial de inundación	Si	Muy Alto	5	35	1.75
	No	Muy Bajo	1		
Pendiente promedio del terreno con Precipitación	Combinación de parámetros	Muy Alto	5	20	0.6
		Alto	4		
		Medio	3		
		Bajo	2		
		Muy Bajo	1		
Valoración del parámetro de humedad del terreno	20-24	Muy Alto	5	15	0.3
	15-19	Alto	4		
	10-14	Medio	3		
	5-9	Bajo	2		
	0-4	Muy Bajo	1		
Cobertura vegetal, Vegetación predominante	Suelo desnudo o herbáceo	Muy Alto	5	10	0.2
	Charral	Alto	4		
	Arbustiva	Medio	3		
	Bosque no denso	Bajo	2		
	Bosque denso	Muy Bajo	1		
Distancia a cuerpos de agua y Altura sobre el Tirante de agua.	Combinación de parámetros	Muy Alto	5	20	1
		Alto	4		
		Medio	3		
		Bajo	2		
		Muy Bajo	1		
Índice Total					**3.85**

Fuente: MIDEPLAN, 2014.

- **Amenaza de Alud Torrencial**

En relación con el área del proyecto con eventos de alud torrencial, este se localiza cerca de depósitos aluviales y coluviales por lo que se hará un análisis a detalle de esta amenaza sobre

la calle Ramiritos y sus alrededores. La cuantificación de este parámetro será basada en la metodología desarrollado por el MIDEPLAN en el año 2014. Seguidamente se presenta lo descrito por la Metodología de Análisis de Amenazas para Proyectos.

Esta matriz se utiliza para estimar el índice de amenaza que podría tener el lugar donde se pretende establecer un proyecto frente a la ocurrencia de aludes torrenciales provocados por acumulación y liberación de agua, suelo, rocas y material vegetal en las laderas y cauces de los ríos de montaña (MIDEPLAN, 2014).

Esta matriz combina elementos que caracterizan la amenaza de aludes torrenciales y que amenazarían el posible emplazamiento del proyecto. Es decir, permite valorar si el sitio de interés es propenso a ser afectado por este tipo de eventos. El primer paso debe ser ubicar el proyecto en un mapa al menos de escala 1:50.000 para hacer este análisis (MIDEPLAN, 2014).

Las variables por considerar corresponden con:

Existencia de eventos previos de alud torrencial

Esta variable permite considerar la ocurrencia de eventos previos que hubiesen afectado el sitio de interés y considerar la susceptibilidad del lugar a la ocurrencia de nuevos eventos. Se busca identificar si existen registros históricos o antecedentes de memoria colectiva sobre aludes torrenciales. También se recomienda buscar en informes de la CNE.
En relación con el área del proyecto el nivel de incidencia respecto a eventos de alud torrencial este se cataloga como Muy bajo para una puntuación de 1 debido que los eventos de alud torrencial no se han dado cerca de Calle Ramiritos y la microcuenca de la quebrada Coyote.

Posición del proyecto respecto a valles aluviales en zona montañosa y/o abanicos aluviales

Se debe hacer un análisis de la ubicación del proyecto. Este análisis se hace en base a dos posibilidades. a) Si el proyecto está ubicado en un sistema de valle o cañones fluviales en la zona montañosa y b) si el proyecto está ubicado en un sistema de abanico aluvial.
Respecto a la posición del área del proyecto, ese se localiza fuera del abanico aluvial, por lo que su nivel de incidencia es Alto para un valor de 4.

Precipitación máxima en 24 horas en la zona alta de la cuenca, período de retorno de 50 años

Se utiliza la lluvia máxima esperada para un periodo de retorno de 50 o 100 años, aplicando la distribución de valores extremos, a series con más de 10 años de registro.
La lluvia promedio para los periodos de retorno establecidos para la metodología es de 150 mm, por lo que la zona posee un nivel de incidencia de disparo por lluvia Bajo, para una puntuación de 2.

Zonas sísmicas

Los aludes torrenciales pueden ser disparados por terremotos como ocurrió en el caso del Terremoto de Cinchona en el año 2009. El país está clasificado en tres zonas sísmicas a nivel de distrito de acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (MIDEPLAN, 2014).

El cantón de Santa Ana, según el Código Sísmico de Costa Rica, se encuentra en una zona con disparo sísmico de III, para un nivel de incidencia alto y una puntuación de 4.
En el Cuadro N° 39, se presenta un resumen de los valores obtenidos tras la cuantificación de amenaza por Alud Torrencial. Además, el área del proyecto presenta un nivel de amenaza medio, para un índice total de 2.45 Rango entre 2.01 – 3.00).

Cuadro N°39: Matriz para Amenaza de Alud Torrencial, y resumen de valores obtenidos.

Variable		Parámetro	Nivel de incidencia	Puntuación	Ponderador (%)	Índice
Existencia de eventos previos de alud torrencial. Consultar Mapas e informes de CNE y testimonio de vecinos.		Sí	Muy Alto	5	35	0.35
		No	Muy Bajo	1		
Posición del proyecto	Valle de río	Parte baja del valle de río	Muy Alto	5	25	1
		Fuera del valle aluvial	Muy Bajo	1		
	Abanico aluvial	Abanico aluvial	Alto	4		
Disparo por lluvia. Precipitación máxima en 24 horas, periodos de retorno de 50 y 100 años. En la zona alta de la cuenca.		>400 mm	Muy Alto	5	25	0.5
		300 – 400 mm	Alto	4		
		200 – 300 mm	Medio	3		
		100 – 200 mm	Bajo	2		
		<100 mm	Muy Bajo	1		
Disparo por sismo. Zona Sísmica de la zona montañosa.		IV	Muy Alto	5	15	0.6
		III	Alto	4		
		II	Medio	3		
Índice Total						**2.45**

Fuente: MIDEPLAN, 2014.

- **Amenaza Volcánica**

Este análisis se basa en los volcanes activos del país, los cuales son: Rincón de la Vieja, Arenal, Poas, Irazú y Turrialba. Para que una zona sea analizada por este método, el área del proyecto se tiene que localizar en un radio de 20 km alrededor de alguno de los volcanes, o dentro de la zona de los mapas de peligros volcánicos definidos por la CNE.
Si el proyecto se ubica en un radio mayor a 20 km del cráter principal de alguno de los volcanes mencionados anteriormente y fuera de las zonas delimitadas como peligrosas en los mapas de la CNE, se descarta la valoración de la amenaza. Si el proyecto está localizado en un radio menor o igual a 20 km del cráter principal de alguno de los volcanes activos y dentro de las zonas de los mapas de peligros volcánicos definidos por la CNE se debe Aplicar la matriz de estimación de la amenaza (MIDEPLAN, 2014). Respecto al área de estudio, el volcán activo

más cercano es el Poás, sin embargo, este se ubica a 27.30 km al noroeste del sitio en análisis, por lo que se descarta la valoración de amenaza volcánica para el proyecto.

- **Amenaza Sísmica**

Mediante esta matriz se va a estimar el índice de amenaza en el área del proyecto, las variables a considerar se mencionan a continuación:

Zona sísmica
El país está clasificado distritalmente en tres zonas sísmicas de acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica 2010. Una vez identificada la categoría de la zona sísmica del lugar, se relaciona con la variable Tipo de Sitio en la Matriz de Combinación 3 (MIDEPLAN, 2014).

Tipos de sitio
El Código Sísmico 2010 establece cuatro tipos de sitio de cimentación. Estos tipos consideran el efecto de las condiciones locales del suelo en la demanda sísmica, en ausencia de estudios detallados de amplificación dinámica. La variable Tipos de Sitio se utilizan en la Matriz de Combinación número 3 para definir el nivel de incidencia. A continuación, se transcriben las definiciones indicadas en dicho Código (MIDEPLAN, 2014).
Sitio tipo S1: Perfil de suelo con alguna de las siguientes características:
• Material semejante a la roca, caracterizado por una velocidad de onda cortante superior a 760 m/s o por otros medios adecuados de clasificación.
• Condiciones de suelo rígido o denso, donde la profundidad del suelo es menor de 50 m.
Sitio tipo S2: Perfil con condiciones predominantes de suelo medianamente denso a denso o de medianamente rígido a rígido, cuya profundidad excede los 50 m.
Sitio tipo S3: Perfil de suelo con más de 6 m de arcilla, de consistencia de suave a medianamente rígida o de suelos no cohesivos de poca a media densidad. No incluye perfiles de más de 12 m de arcilla suave.
Sitio tipo S4: Perfil de suelo caracterizado por una velocidad de onda cortante menor de 150 m/s o con más de 12 m de arcilla suave. Si no se cuenta con suficiente información geológica y geotécnica del terreno donde se podría ubicar el proyecto, el mismo Código recomienda utilizar el sitio de cimentación Tipo S3, salvo que el ingeniero responsable considere que el sitio en estudio pueda corresponder al Tipo S4. En el Cuadro N°40 se presenta la matriz de combinación 3, misma que combina los parámetros de zona sísmica y tipo de sitio.

Cuadro N° 40: Matriz de combinación 3. Tipos de sitio con Zonas Sísmicas

Tipo de sitio	Zonas Sísmicas		
	IV	III	II
S_4	5	4	4
S_3	5	4	3
S_2	5	4	3
S_1	5	3	3

Fuente: MIDEPLAN, 2014

Respecto al área del proyecto este se cataloga según el Código Sísmico de Costa Rica como zona III (cantón de Santa Ana), mientras que el tipo de sitio de cimentación es S_3, por lo que de la matriz de combinación se tomara el valor de 4.

Distancia respecto al trazo de una falla local

Esto se refiere a la distancia, medida en metros desde el área del proyecto, hasta el lugar de la falla con actividad en los últimos 10.000 años. Los rasgos de distancia respecto a la

localización de las fallas fueron adaptados a partir de los indicados en el Decreto Ejecutivo 32967-MINAE sobre el Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental. El área del proyecto se localiza a 3000 m de distancia de la falla Escazu, por lo que su índice de incidencia es muy Bajo, para un puntaje de 1 Figura N° 21 y 22.

Pendiente Promedio

Para la zona en análisis la pendiente promedio esta entre 7 y 15 %, por lo que se debe utilizar la matriz de combinación 4, donde se relacionan los valores porcentuales de pendiente con las zonas sísmicas la matriz de combinación 4, esto se observa en el Cuadro N°41.

Cuadro N° 41: Matriz de combinación 4. Pendiente promedio (%) con zonas sísmicas

Pendiente %	Zonas Sísmicas		
	IV	III	II
Mayor a 70%	5	5	4
30% a 70%	5	5	4
15% a 30%	4	4	3
7% a 15%	3	2	2
0% a 15%	1	1	1

Fuente: MIDEPLAN, 2014

Para el sitio de estudio la pendiente predomina entre 7 y 70% aproximadamente, mientras que por Zona Sísmica este se cataloga como III. El valor a utilizar para estos parámetros es de 2. En el Cuadro N°42, se presenta un resumen de los valores obtenidos tras la cuantificación de amenaza sísmica. El área del proyecto presenta un nivel de amenaza Muy Alto, para un índice total de 4.6 (Rango entre 4.01 – 5.00).

Cuadro N° 42: Matriz para Amenaza Sísmica, y resumen de valores obtenidos.

Variable	Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje	Ponderador (%)	Índice
Zona sísmica y Tipos de sitio	Combinación de parámetros	Muy alto	5	60	2.4
		Alto	4		
		Medio	3		
Distancia respecto al trazo de una falla local	Atravesado por falla	Muy Alto	5	20	0.20
	Menor a 25 m	Alto	4		
	25 – 50 m	Medio	3		
	50 – 100 m	Bajo	2		
	Mayor a 100 m	Muy Bajo	1		
Pendiente promedio y Zona sísmica	Combinación de parámetros	Muy Alto	5	20	0.4
		Alto	4		
		Medio	3		
		Bajo	2		
		Muy Bajo	1		
Índice Total					**3**

Fuente: MIDEPLAN, 2014

- **Valoración de amenaza**

Tras la cuantificación de diferentes amenazas naturales en el sitio de estudio, se concluye que el nivel de Amenaza general se cataloga como alto. El índice de amenaza para inundación es de 3.85, mientras el flujo de lodos o alud torrencial posee un índice es de 2.45, respecto a la amenaza sísmica el resultado es de 3.0, y para la amenaza de deslizamiento el índice es de 3.0. La media de los resultados de índice anteriores es de 3.075 (Índice promedio = $\frac{3.85+2.45+3.0+3.0}{4}$ = 3.075. En el siguiente Cuadro se exponen los niveles y escalas respecto a cada índice de amenazas, esto según MIDEPLAN, 2014.

Cuadro N°43: Niveles y escala del índice de la amenaza.

Escala de valoración		
Descripción	**Nivel de amenaza**	**Índice de amenaza**
Deben realizarse estudios geotécnicos, hidrológicos, climáticos y posteriormente una comparación de costos y beneficios del proyecto con aquellos asociados a emplazamientos alternativos, tomando en cuenta la necesidad, el costo y las dimensiones de las obras de reducción de riesgos necesarias.	Muy alto	5
La consideración de la ejecución de un proyecto de infraestructura física en un emplazamiento con estas condiciones de amenaza deberá tener en cuenta la realización de las obras necesarias de reducción de riesgos asociados a las amenazas identificadas.	Alto	4
Las amenazas analizadas no representan una limitante principal. En la mayoría de los proyectos, las previsiones asociadas a la reducción de riesgos no significan aumentos de costos significativos.	Medio	3
La viabilidad técnica, financiera y funcional, desde la perspectiva del manejo del riesgo implícito asociado al tipo de amenazas preexistentes, podría estar asegurada con un mínimo de inversiones adicionales orientado a la reducción de los riesgos por amenazas preexistentes.	Bajo	2
La viabilidad técnica, financiera y funcional, desde la perspectiva de amenazas específicas con este nivel de incidencia, debería estar asegurada sin necesidad de inversiones adicionales.	Muy Bajo	Menor o igual a 1

Fuente: MIDEPLAN, 2014

Del Cuadro N°43 se deduce que “Tras las amenazas obtenidas se debe considerar que para la ejecución de un proyecto de infraestructura la viabilidad técnica, financiera y funcional, desde la perspectiva del manejo del riesgo implícito asociado al tipo de amenazas preexistentes, en la mayoría de los proyectos, las previsiones asociadas a la reducción de riesgos no significan aumentos de costos significativos”.

- **Vulnerabilidad o Severidad**

La vulnerabilidad se describe como la incapacidad de una unidad social de anticiparse, resistir o recuperarse de los daños que pueda ocasionar una amenaza natural o antrópica. Respecto

a la vulnerabilidad en calle Ramiritos, y los parámetros establecidos para la cuantificación de variables asociadas a los niveles de daño, se muestran el Cuadro N°44.

Cuadro N° 44: Clasificación de la severidad o vulnerabilidad (exposición).

Descripción adaptada a la vulnerabilidad de los elementos expuestos	Índice de severidad
Daño grave, implica altos costo e impacta a toda la comunidad y al cantón.	5
Daño moderado a la infraestructura o la actividad, impacta al costo operativo del proyecto.	4
Daño leve a la infraestructura o la actividad, no genera mayores costos a lo operativo.	3
Daño muy leve a la infraestructura o la actividad, no tiene costos operativos significativos.	2
No implica daños significativos a la infraestructura o la actividad.	1

Según lo expuesto anteriormente en Cuadro N°44, los valores se deben al nivel de vulnerabilidad al que se expondrían los distintos elementos a analizar, es importante mencionar que se deben definir los sectores externos e internos, y así concretar su vulnerabilidad, para luego proseguir con el cálculo del riesgo directo e indirecto.

- **Matriz de riesgo**

Mediante la matriz se permite la cuantificación y evaluación del riesgo, esto se aplica como el producto de la amenaza con la severidad o vulnerabilidad de cada sitio en específico, la ecuación se presenta a continuación:

$$R = (N * S)$$

Dónde:

R= Riesgo.
N=Nivel de la amenaza.
S= Severidad o vulnerabilidad (exposición).

Según Jiménez (2016), dicha ecuación es la referencia básica para la estimación del riesgo, donde cada una de las variables: nivel de la amenaza (N), severidad (S) y, consecuentemente, riesgo (R), se expresan en términos de probabilidad

La matriz de análisis de riesgos es una herramienta de gestión que permite determinar objetivamente cuál es el nivel de riesgo. Aplica la ecuación en función de la combinación entre probabilidad de amenaza y severidad (exposición) (Jiménez, 2016).El rango de nivel del riesgo se presenta en el Cuadro N°45, en el mismo se expone el código de color, esta matriz establece una serie de técnicas que contribuyen con el análisis de riesgos.

Cuadro N° 45: Nivel de riesgo y código de color

Nivel de Riesgo	Color	Rango
Alto	**Rojo**	15 a 25
Medio	**Amarillo**	6 a 12

Bajo	**Verde**	1 a 5

Fuente: MIDEPLAN y CNE, 2014

- **Escenario de riesgo**

Los escenarios de riesgo describen, de manera general, las condiciones probables de daños y pérdidas que puede sufrir los proyectos, ante la ocurrencia de eventos o fenómenos de origen natural o socio-natural (deslizamientos y flujo de lodo), teniendo en cuenta su intensidad, magnitud y frecuencia, así como las condiciones de fragilidad de los elementos expuestos (infraestructura) (Jiménez, 2016). Para la ejecución de la matriz de riesgo se deben definir dos sectores, los cuales son; el interno que concuerda con el área directa del futuro proyecto constructivo y el externo que se correlaciona con la infraestructura vial de acceso al proyecto o poblados colindantes con el sitio de análisis interno. A continuación, se clasifican los escenarios esto según la Guía Metodológica para la Incorporación de la Gestión del Riesgo y los Preparativos de Emergencias, en el Proyecto de Turismo Rural Comunitario, de la Ingeniera Emilia Jiménez Jiménez en el año 2016.
Interno: se utiliza para el análisis de escenarios de riesgo las áreas y los tramos establecidos en el sitio donde va ubicar el proyecto.

Externo: se estableció el análisis a la microcuenca. En el siguiente Cuadro se presentan las variables para definir los diferentes escenarios para la evaluación de amenazas.

Cuadro N° 46: Resumen de variables a considerar para definir los escenarios

Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario
Externo: análisis de los accesos por infraestructura vial	El área de impacto que abarca cada amenaza	Limitación de acuerdo con los planes de evacuación	Los elementos expuestos vulnerables físicos para este caso de análisis son la infraestructura tanto vial como de los proyectos
Interno: sitio de el o los proyectos a desarrollar			

Fuente: Jiménez, 2016.

- **Aplicación de matriz de riesgo**

La estimación del riesgo para cada escenario se da por la relación de severidad por nivel de amenaza, el valor obtenido es el resultado de multiplicar la severidad por la amenaza y se relaciona con un nivel de riesgo (Jiménez, 2016).

En el Cuadros N° 47, se presenta el detalle de los cálculos realizados para determinar el nivel de riesgo del escenario interno que se complementa por el sector de calle Ramiritos, además en el Cuadro N° 48 se observa la cuantificación para el sector externo, donde se analiza la microcuenca de la quebrada Coyote, así como los poblados y calles aguas arriba de calle Ramiritos, lo anterior cuenta con una severidad sin la aplicación de medidas de mitigación, por lo que se considera un riesgo alto para la inundación y un riesgo medio por sismos, esto tanto para el sector interno como externo.

Para generar una cuantificación de riesgos precisa se hace un cuestionamiento a futuros eventos de desastre natural. Es importante mencionar que en el del sector interno (calle Ramiritos), se han dado inundaciones, esto según la recabación de información realizada.

- **Descripción de problemáticas en cada área de análisis interna**

Área 1 (A1) Sector de calle Ramiritos colindante a Taller Hnos Ramirez:

En la actualidad se presentan problemáticas de inundación en las épocas lluviosas en el área 1, donde se ven involucradas las casas de los ciudadanos provocando pérdidas económicas y exponiendo su integridad física.

Cabe resaltar que en los sectores delimitados existe una gran densidad urbana por lo tanto un evento de inundación tiene un gran impacto en la zona, dicho esto se clasifica con un nivel alto de riesgo.

Área 2 (A-2): Sector de calle Ramiritos colindante a abastecedor los Chorros:

En este sector dos secciones transversales no cuentan con la capacidad de evacuar las tormentas relacionadas a periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años por lo tanto tiene un grado de incidencia alto para inundación.

Existe la posibilidad de que se presenten desbordamientos, afectando a los pobladores, por lo tantos se deben de tomar medidas estructurales o no estructurales para mitigar la afectación

Área 3 (A-3): Sector de calle Ramiritos donde se encuentra el Centro de distribución EXPOCERAMICA (tienda de materiales para suelos):

En esta propiedad se tiene una alta densidad urbana, se encuentra aguas abajo del paso de alcantarillado, en campo se logró ver que en el cauce existe una gran cantidad de escombros en el cauce además hay presencia de socavación.

Un posible desastre a ocurrir es la acumulación de residuos sólidos y sedimentos provocando una cabeza de agua lo cual repercutiría en daños estructurales, humanos y económicos. Por lo que se tiene un nivel alto de riesgo.

Área 4 (A4) Sector de calle Ramiritos colindante a Pachamama Indoor Farming Culture centro de jardinería:

El área se ha visto afectada por inundaciones, esta se encuentra muy cercana al paso de alcantarillado, además tras la modelación hidráulica de la quebrada tres secciones transversales no cuentan con la capacidad de evacuar las tormentas relacionadas a periodos

de retorno de 50, 100, 250 y 500 años, por lo tanto pueden incidir en los eventos de inundación que se presentan en la zona.

Cabe resaltar que si no se toman medidas para mitigar dicha amenaza, en un futuro se agravará la situación, aun realizando el rediseño del puente. Dicho esto, se clasifica con un nivel de riesgo alto por inundación.

Área 5 (A5): Sector de calle Ramiritos colindante a CRCompus tienda de accesorios informáticos:

El área A5 se puede ver afectada por eventos de inundación, igualmente que el A3 presenta condiciones similares ya que una acumulación de sólidos puede provocar una cabeza de agua. Por lo que se clasifica con un riesgo como medio.

Área 6 (A6) Sector colindante a Autos Mahesa:

El área 6 se encuentra lejos de los sitios de influencia donde las problemáticas ocurren con incidencia en época lluviosa, por lo tanto se puede calificar con un riesgo medio.

Área 7 (A7): Sector baldio colindante con el A1:

En este sector es inexistente la densidad urbana, su uso de suelo está caracterizado por charral, la incidencia en este sector se puede calificar como media por las condiciones que presenta. Por lo tanto se puede calificar con un riesgo medio

Cuadro N° 47: resumen de la cuantificación de riesgos del sector interno sin medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	9.0	19.25	2.45	9.0
A2	9.0	19.25	2.45	9.0
A3	3.0	19.25	2.45	9.0
A4	9.0	19.25	2.45	9.0
A5	3.0	6.85	2.45	9.0
A6	3.0	6.85	2.45	9.0
A7	3.0	6.85	2.45	9.0

Fuente: Propia, 2021.

Tras los resultados que se presentan en el Cuadro N°47 se puede mencionar que en la las áreas internas analizadas presentan un riesgo alto y medio a eventos de inundación, donde la calle Ramiritos en la actualidad sufre los impactos productos a este tipo desastre natural, tales como: inundación de viviendas, deterioro de estructuras, muebles y electrodomésticos dañados, como el paso regulado por el puente donde es un paso secundario importante para acceder a la ruta 27

Respecto al flujo de lodos el riesgo es bajo en el área, según el mapa de la CNE el área de estudio está lejos del flujo de lodos además las condiciones topográficas no son favorables a que se den flujos por las bajas pendientes en el área de proyecto.

En el Anexo 8 del presente documento se observar las matrices a detalle aplicadas a todas las áreas del sector interno de calle Ramiritos.

- **Descripción de problemáticas en cada área de análisis externa**

Área 1 (E1): Sector aguas arriba específicamente el puente en calle Zamora:

El puente se encuentra a 66.34 m de la Ruta 27 esta área presenta problemas de acumulación de residuos sólidos como troncos, hojas y desechos producidos por las actividades humanas los cuales puede provocar sedimentación y una cabeza de agua producto de la obstrucción del cauce.

Como problemática a futuro, se pueden dar inundaciones por la obstrucción del cauce y la destrucción de las infraestructuras produciendo pérdidas materiales y humanas.

Área 2 (E2) Sector de suelo descubierto colindante a Usados BMW:

El uso de suelo ha sido modificado, ya que se observan movimientos de tierra para agricultura, suelos descubierto y pendientes altas además el mapa de deslizamiento geomorfológico nos dice que este sector tiene un valor alto de incidencia.

La escorrentía puede arrastrar lodos de los terrenos que se encuentra descubiertos aguas arriba de la calle, donde se darían excesos de sedimentos sobre la vía vehicular, y se podría producir el colapso de los conductos pluviales y los tragantes del sistema.

Área 3 (A3): Sector aguas arriba específicamente el puente en calle Quintanilla:

El puente se encuentra a 147 m de la Ruta 27 esta área presenta problemas de acumulación de residuos sólidos como troncos, hojas y desechos producidos por las actividades humanas, además el cauce traza por debajo de unas casas y se nota que se han presentado indicios de socavación

Como problemática a futuro, se pueden dar inundaciones por la cercanía de las construcciones respecto al cauce y el desplome de las mismas por la socavación en las bases.

Área 4 (A4): Sector aguas arriba de la microcuenca de la quebrada Coyote (Villa Real).

Sobre el Área 4, a condominios Villa Real a lo largo del cauce se verifican gran cantidad de desfogues los cuales caen directamente en el cauce de la quebrada Coyote, algunos de los desfogues se ven de dudosa precedencia ya que se notaban malos olores y aguas muy turbias. En el recorrido del cauce también se encontró gran cantidad de escombros no naturales los cuales obstruyen el correcto funcionamiento del cauce.

Como problemática a futuro, se pueden dar erosiones de los taludes por la obstrucción que pueden provocar los materiales encontrados y los desfogues, como la generación de malos olores por los vertidos al cauce.

Cuadro N° 48: Resumen de la cuantificación de riesgos del sector externo sin medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	19.25	2.45	9.0
A2	15	3.85	2.45	9.0
A3	3.0	19.25	2.45	9.0
A4	3.0	5.7	2.45	9.0

Fuente: Propia, 2021.

Tras los resultados que se presentan en el Cuadro N°48 se puede mencionar que sobre las áreas externas A1 y A3 se presenta un riesgo alto a eventos de inundación, donde la problemática es similar y por ende los escenarios, donde los elementos que obstruyen el paso del flujo sobre el cauce al acumularse durante el tiempo puede potenciar desbordes, afectando otras estructuras cercanas a los tramos en mención. En mención a las áreas el A2 y A4 su riesgo es bajo y medio.

Respecto al flujo de lodos y deslizamientos el riesgo es bajo en las áreas externas analizadas menos el A2 que gracias a MVM se observa que el área es propensa a deslizamientos. Y para los sismos el nivel de riesgo es medio, situación que concuerda con las valoraciones realizadas para las áreas del sector interno.

En el Anexo 5 del presente documento se observar las matrices a detalle aplicadas a todas las áreas del sector externo donde traza la quebrada Coyote.

- **Medidas de mitigación para reducir el riesgo en el escenario Interno**

Según la cuantificación realizada del sector interno en el Cuadro N°49, se obtiene un valor de riesgo entre medio y alto para inundación en los sectores analizados en calle Ramiritos Anexo 10, por lo tanto, se aplicarán una seria de medidas compensatorias para reducir el eventual riesgo, estas se darán de forma sostenible y eficiente.

Según el análisis hidráulico realizado en calle Ramiritos los factores que activan las inundaciones están relacionados con el desbordamiento de las secciones transversales que tienen una condición crítica las cuales fueron modeladas con diferentes periodos de retorno.

Para mitigar el riesgo de inundación se recomienda la implementación de medidas Estructurales y no Estructurales sobre los sectores más vulnerables de calle Ramiritos, mismos que son mencionados y detallados en el apartado de "Descripción de problemáticas en cada área de análisis externa".

<u>Medidas Estructurales en el sector interno</u>

Las medidas estructurales para la reducción del riesgo de inundación comprenden todas aquellas medidas consistentes en la construcción de obras civiles con el fin de proteger áreas frente a inundaciones (Escuder Bueno et al., 2010).

Para el caso del sector interno, en lo que respecta a la quebrada en análisis se recomienda realizar acciones acordes a las limitantes que presenta calle Ramiritos, cabe destacar que la

incorrecta zonificación que se ha realizado en la zona, como el exceso de desfogues y depósito de residuos sólidos en el cauce agrava la situación en condiciones crítica

Lo ideal es implementar una mejora en las secciones donde el cauce presenta desbordamientos. Como el aumento de la geometría del cauce si la densidad urbana lo permite o crear un canal artificial con las geometrías correspondientes para poder soportar los caudales de avenida máxima.

Medidas No Estructurales en el sector interno

Las medidas no estructurales comprenden las políticas, advertencias, medidas para desarrollo del conocimiento, procesos legislativos y de participación pública y recopilación de información que permiten la reducción del riesgo (Graham, 1999).

Se debe implementar un mantenimiento en el cauce, donde se evite la generación excesiva de sedimentos y materiales sólidos que se depositan en el cauce lo cual puede provocar un sobre flujo perjudicando el funcionamiento natural del cauce. Respecto a los residuos sólidos se puede realizar una campaña de limpieza involucrando a la comunidad y así creando consciencia ambiental lo cual genera una mejora socio ambiental a largo plazo.

Es importante llegar a un acuerdo consensuado con los vecinos del lugar para encontrar una solución con el exceso de desfogues que son vertidos a la quebrada Coyote los cuales empeoran la calidad del agua generando malos olores en la zona, además es un caudal no contabilizado que puede tener picos horarios aportando un caudal considerable a la quebrada.

La creación de un plan de emergencia contemplando todos los escenarios posibles y determinando una solución para los vecinos ante un desastre de esta manera salvaguardando las vidas de los mismos, es de suma importancia por las ubicaciones de las casas ya que están en constante peligro por la cercanía del cauce.

Por lo mencionado anteriormente la severidad relacionada con la inundación disminuirá de forma importante, librando a calle Ramiritos de cualquier riesgo asociado con la inundación, tras la aplicación de las medidas de mitigación, en el Cuadro N°49 se presenta la cuantificación de riesgo, dado esto con las medidas de mitigación mencionadas Anexo 10.

Cuadro N° 49: resumen de la cuantificación de riesgos del sector interno con medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	5.35	2.45	9.0
A2	3.0	5.35	2.45	9.0
A3	3.0	3.85	2.45	9.0

A4	3.0	5.35	2.45	9.0
A5	3.0	3.85	2.45	9.0
A6	3.0	3.85	2.45	9.0
A7	3.0	3.85	2.45	9.0

Fuente: Propia, 2021.

Tras la aplicación de las medidas de mitigación se realiza un análisis de los riesgos de del escenario interno, esto considerando la reducción en la severidad de las amenazas de inundación Anexo 10.

El sector de Calle Ramiritos presenta un nivel de riesgo bajo a: Deslizamiento, Inundación y Flujo de Lodos, mientras que para sismos el nivel de peligrosidad es medio, esto debido a las condiciones que presenta el cantón de Santa Ana en general.

El riesgo al deslizamiento es de 3.0, además la pendiente que predomina entre y los taludes se componen de materiales de calidad aceptable desde la perspectiva geotécnica, mientras que para los flujos de lodo el valor obtenido es de 2.45 ya que el área de proyecto se encuentra lejos del flujo de lodos según el mapa del CNE.

El riesgo de inundación se reduce a un intervalo entre 3.85 y 5.35 esto debido a que se considera la implementación de las medidas estructurales del rediseño de paso de alcantarillado.

- **Medidas de mitigación para reducir el riesgo en el escenario externo**

Para el caso del sector externo, y los poblados mencionados en la matriz de riesgo, se recomienda realizar acciones sobre los sitios más vulnerables siendo estos: la calle sobre el puente de calle Zamora, Quintanilla y en condominios Villa Real como el área cercana a Usados BMW que presenta un nivel alto a deslizamiento, es importante mencionar que sobre el cauce se encuentran varias viviendas y otras estructuras sobre los márgenes directos del cuerpo de agua, por lo que se complica la ampliación de la sección hidráulica, dado esto por las condiciones de sitio que no permiten el ingreso de maquinaria al canal del rio.

Tomando en cuenta lo anterior, así como la vulnerabilidad de los sitio se recomienda el desarrollo de las medidas no estructurales, para el sitio en análisis lo ideal es aplicar una limpieza exhaustiva, ya que al momento de la inspección se observaron varios objetos sobre el cauce de la quebrada, mismos que obstruyen el flujo hidráulico, provocando una mayor severidad a inundaciones o desbordes.

Lo ideal es implementar un seguimiento de limpieza o mantenimiento para que el área hidráulica de la quebrada Coyote permanezca libre, esto con el fin de evitar la reducción de la sección del cuerpo de agua, permitiendo un paso fluido y constante del agua.

<u>Medidas No Estructurales Externo</u>

Para desarrollar medidas no estructurales lo ideal es generar un convenio institucional apoyado por las comunidades aleñadas a la quebrada Coyote, una de las medidas que se pueden implementar, es el trabajo en conjunto con la Municipalidad de Santa Ana con el

Ministerio de Salud, para que ambos entes busquen la forma de evitar la descarga directa de aguas residuales (Grises y Negras) y pluviales en la quebrada Coyote, lo que mitigaría la sobrecarga y contaminación del cauce.

Otra medida de mitigación de tipo No Estructural es la implementación de recolección de residuos sobre el cauce, donde se eliminen objetos ajenos a la naturaleza del río, promoviendo a una gestión de residuos sólidos sostenible, librando el área inmediata del río de objetos contaminantes, lo ideal es realizar una selección de residuos valorizables y llevar estos a un centro de acopio, donde se cumpla con su adecuada gestión.

La reforestación en las partes altas de la microcuenca es fundamental para reducir los excedentes de agua de escorrentía que se producen en eventos de precipitación, si se logra un cambio en los usos de suelo se contribuye de forma directa con la reducción de riesgos asociados a inundación. Es importante hacer una reforestación con especies nativas de la zona, mismas que generen un equilibrio ecosistémico idóneo en la comunidad.

Otra medida aplicable a las condiciones observadas sobre la inspección técnica, es la chapea constante de la vegetación, misma que al crecer ocupa mucho espacio del lecho del río, lo que ocasiona remansos en el flujo hidráulico, además esto al obstruir el paso del líquido genera cierta socavación con el pasar del tiempo. Lo ideal es evitar la aplicación de algún herbicida sobre esta vegetación, ya que se afectaría la calidad de agua de la quebrada Coyote, ocasionando un desequilibrio al ecosistema local. A continuación se presenta el Cuadro N°50 donde se exponen en forma de resumen la cuantificación del riesgo, donde se consideran las medidas de mitigación mencionadas. Los detalles de las matrices de las 4 áreas externar analizadas se observa en el Anexo 11.

Cuadro N° 50: Resumen de la cuantificación de riesgos del sector externo con medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	5.35	2.45	9.0
A2	6.0	3.35	2.45	9.0
A3	3.0	5.35	2.45	9.0
A4	3.0	3.85	2.45	9.0

Fuente: Propia, 2021.

El riesgo al deslizamiento es de 3.0 y 6.0 en relación a los flujos de lodo el valor es de 2.45, además la amenaza sísmica es de 9.0 dado esto por las condiciones generales del cantón de Santa Ana.

Respecto al parámetro de inundación para el sector externo se deduce que no existiría afectación por estos eventos en las zonas contempladas en la matriz.

En relación a las condiciones actuales sin la consideración de las medidas compensatorias y los niveles de riesgos en las áreas del sector interno se observan sus distribuciones en las Figuras N°25, 26, 27 y 28 (Deslizamiento, Inundación, Flujo de Lodos y sismos).

Es importante tener contacto con el personal del condominio Villa Real, esto para verificar el uso de los desfogues y conocer el tipo de flujo que se vierte al cauce. Tras la cuantificación de amenazas (N), vulnerabilidad (S) y la correlación de ambas variables, tanto en el sector interno como externo, se determina que el nivel de riesgo en ambos escenarios es bajo, siempre y cuando se apliquen las medidas de mitigación recomendadas y consideradas en este informe.

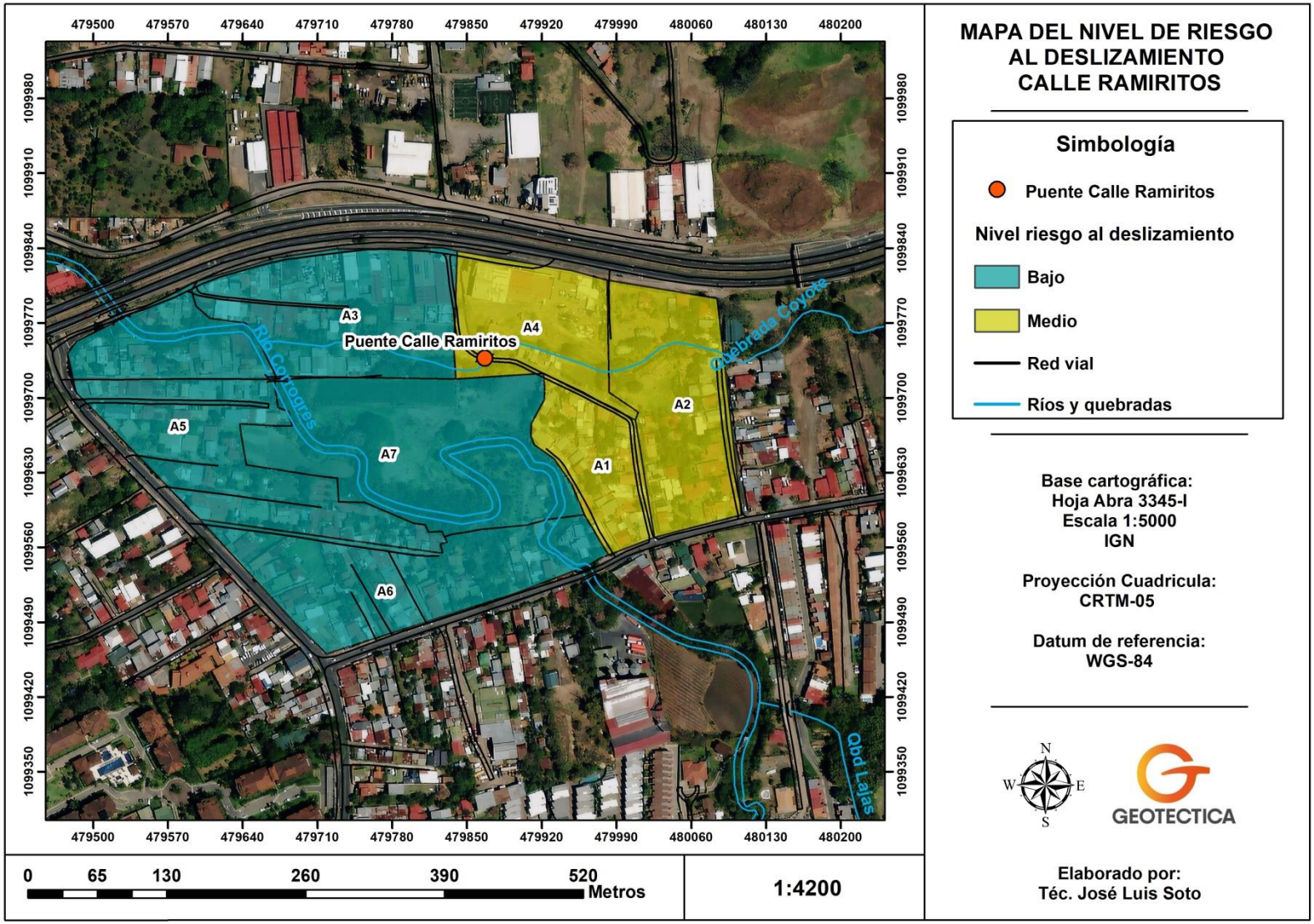

Figura N° 25: Mapa de Riesgo a inundaciones según la aplicación de la matriz en Calle Ramiritos.

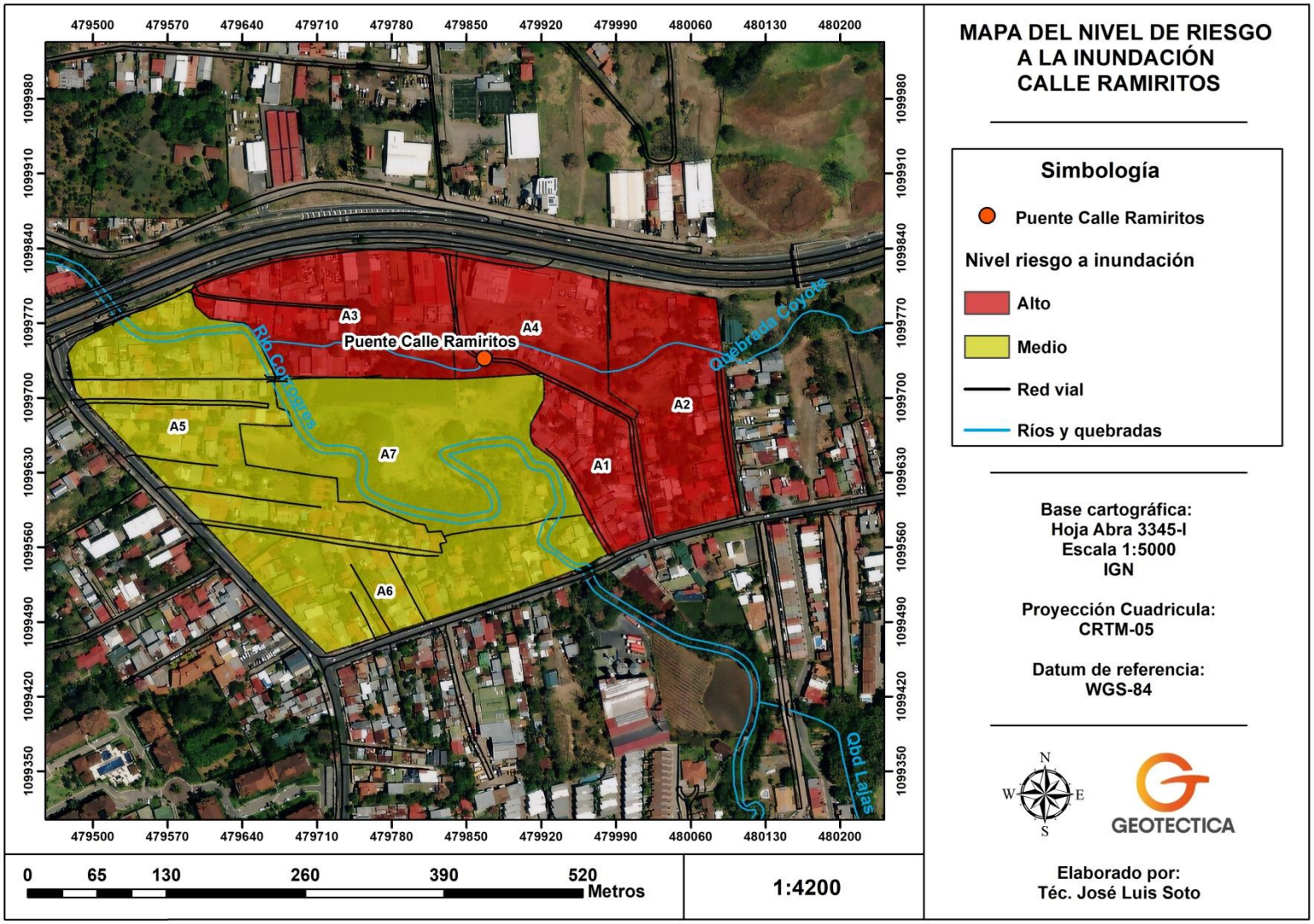

Figura N° 26: Mapa de Riesgo a inundaciones según la aplicación de la matriz en Calle Ramiritos.

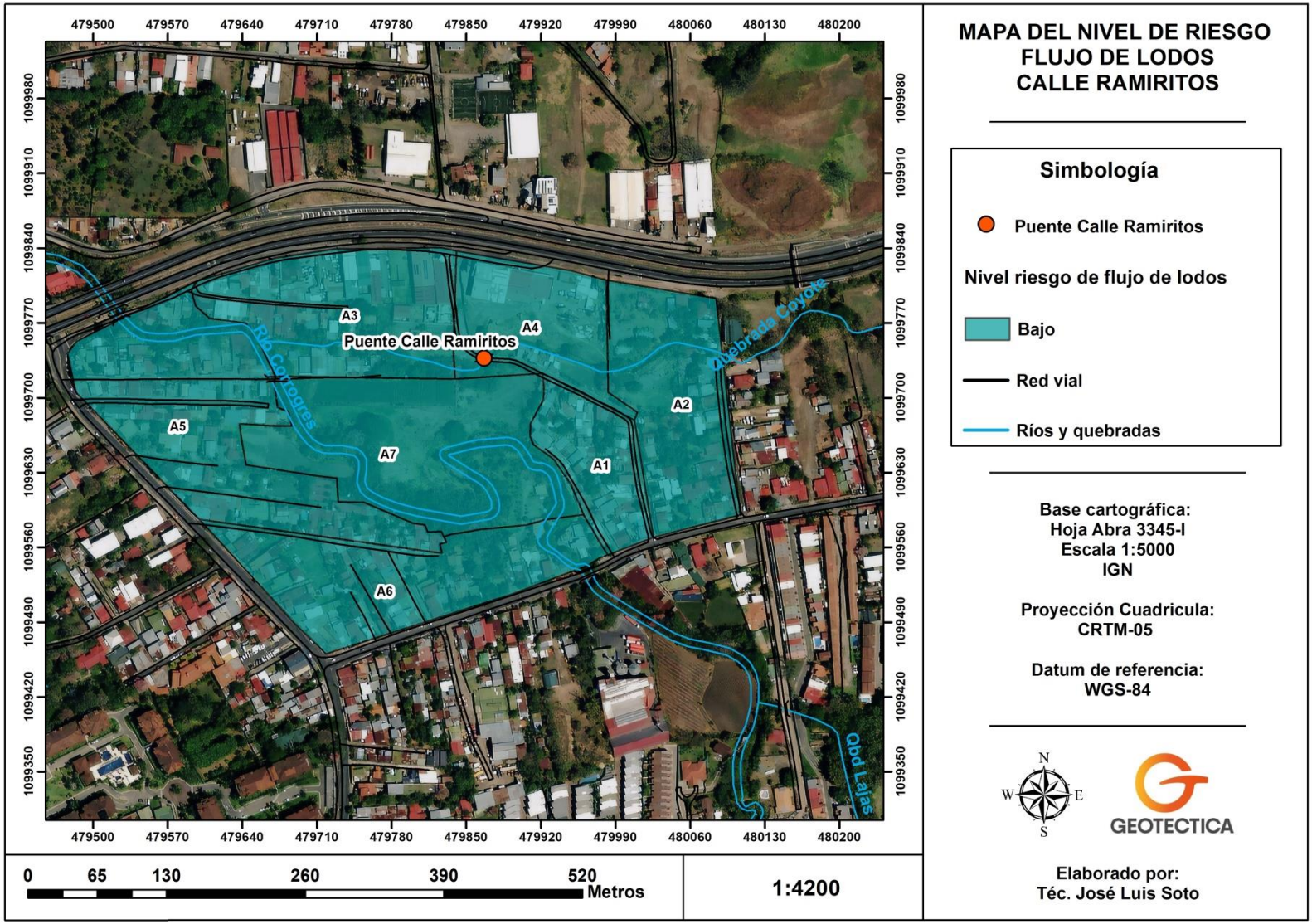

Figura N° 27: Mapa de Riesgo a inundaciones según la aplicación de la matriz en Calle Ramiritos.

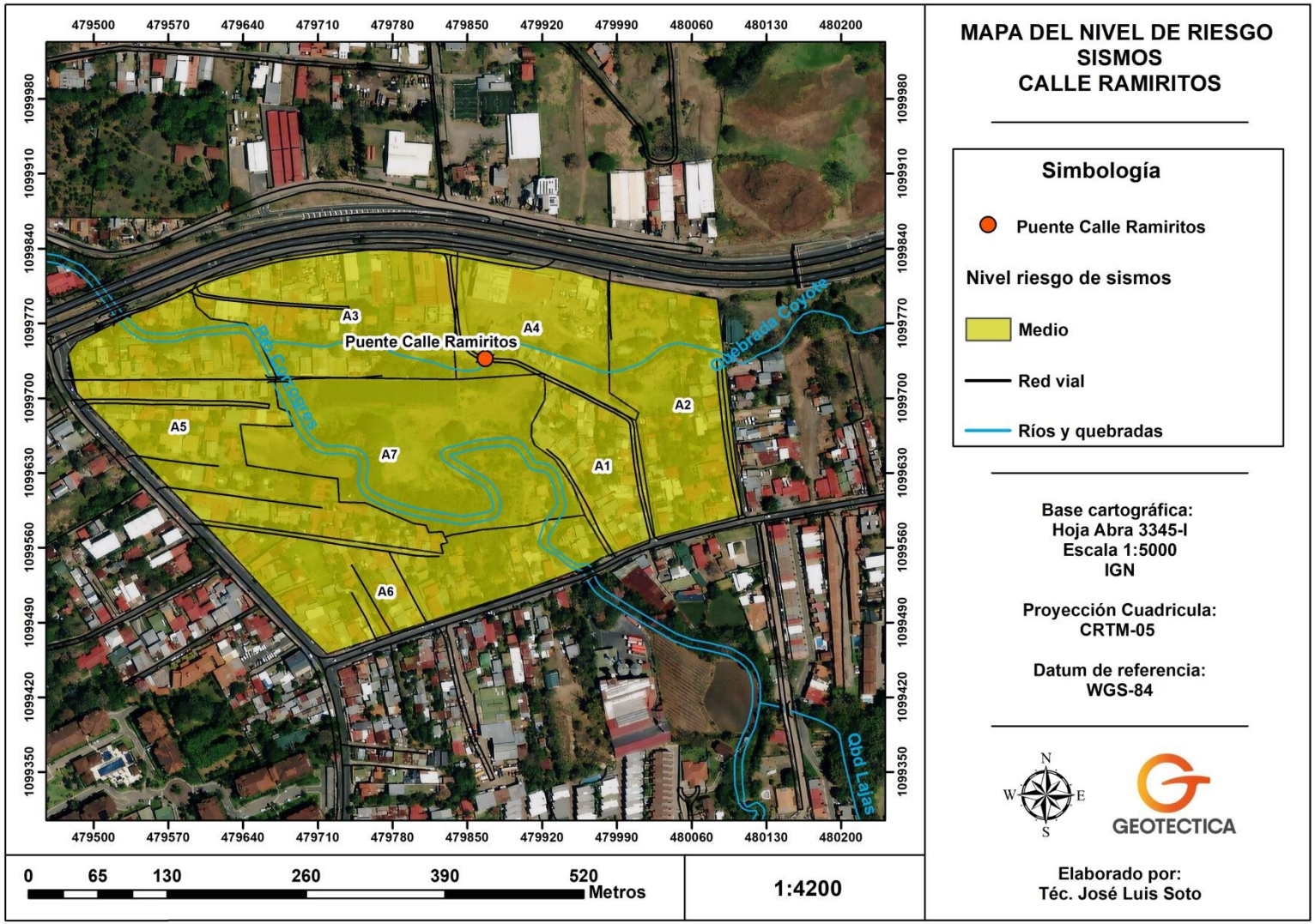

Figura N° 28: Mapa de Riesgo al flujo de lodos según la aplicación de la matriz en Calle Ramiritos.

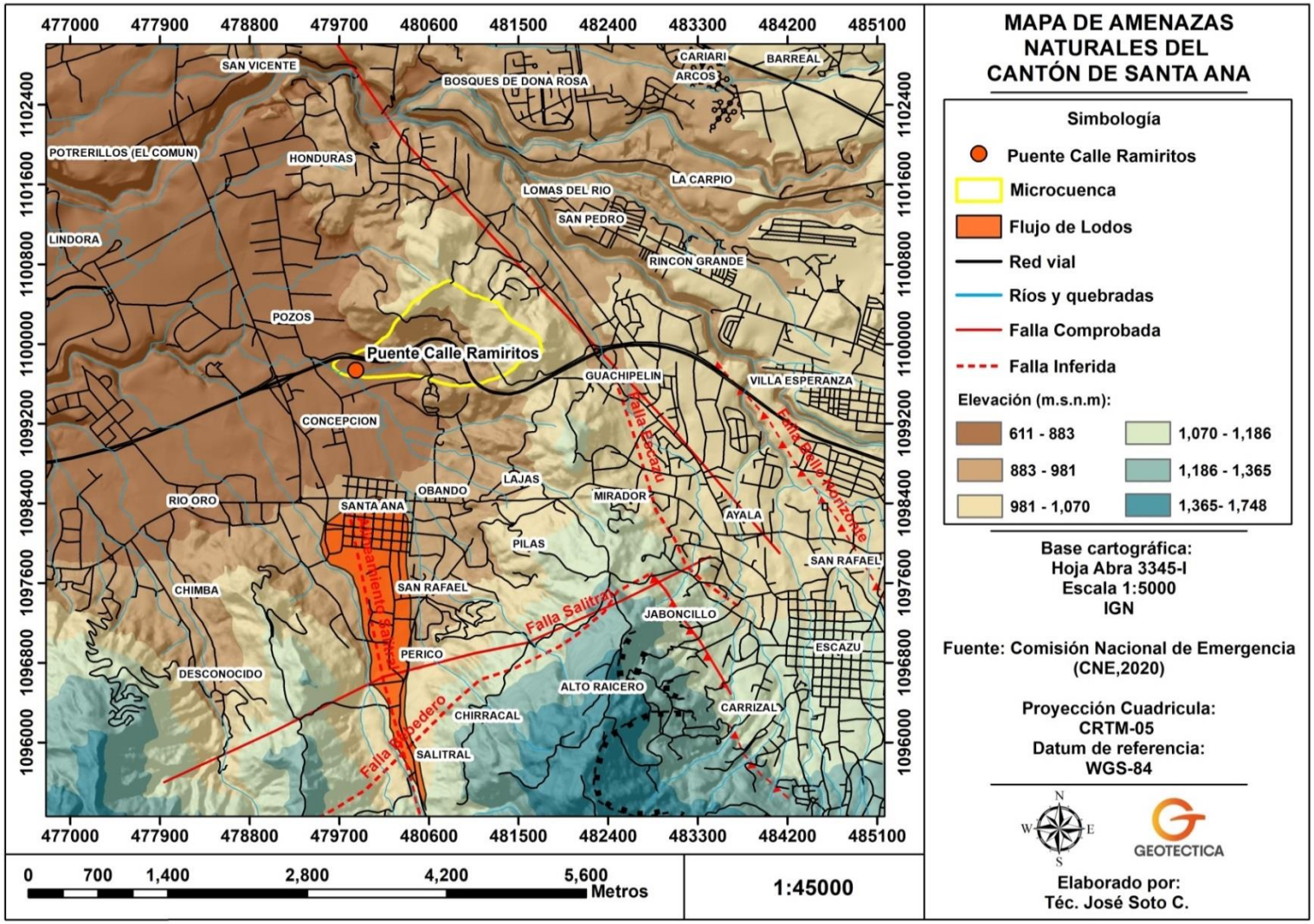

Figura N° 29: Mapa de Amenazas Naturales alrededor de Calle Ramiritos (Fuente: según la CNE, 2021).

7- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ASPECTOS HIDROLÓGICOS

El lugar de estudio se trata de la Calle Ramiritos de Santa Ana, además del análisis completo de la zona de aporte pluvial de la quebrada Coyote". El lugar se localiza específicamente en el distrito de Pozos, del cantón de Santa Ana de la provincia de San José. Cartográficamente, el sitio se ubica sobre la hoja Abra (3345-I), escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Específicamente la propiedad se encuentra sobre las coordenadas centrales 1099705 N / 479987 E Proyección CRTM-05

La zona de aporte pluvial, que incluye la calle Ramirito, posee un área estimada de 1.17583 km2 o 117.58 ha.

Para la microcuenca de la de la quebrada Coyote, en relación con el ancho y el área, el resultado corresponde con 0.28, definiendo rangos aproximados del Factor Forma como una cuenca alargada (Pérez, 1979).

Lo cual demuestra que, en este tipo de cuencas, 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.

Como se estableció para calcular la pendiente promedio de la quebrada Coyote, se ha utilizado la Ecuación de Taylor y Schwarz (Villón, 2002), dada la longitud e irregularidad de su cauce.

Dentro de las posibilidades que ofrece la ecuación de Taylor y Schwarz, está la opción de definir los tramos del cauce de la quebrada de igual o diferente longitud, según la disposición del terreno y la información encontrada; en este caso, la ecuación aplicada corresponde a la determinación de tramos de diferente longitud, dado el dato de distancia generado a partir de la división del cauce según las curvas de nivel establecidas cada 10 metros, de esta forma, utilizando este método, la S correspondiente para la microcuenca de la quebrada Coyote es, S = 0.0430 o 4.30%.

La zona de aporte pluvial para la Calle Ramiritos posee un área de 117.58 ha, la misma aporta sus aguas pluviales a la quebrada Coyote, el uso de suelo es variado, sin embargo predomina la densidad urbana y bosques secundarios, para efectos del cálculo de escorrentía se consideran los diversos usos que se presentan en este sector, así como sus distintas pendientes (predominantes entre 10.1-20%) y texturas de suelo (predomina Arcilla plástica), lo cual supone un cálculo correcto y preciso del caudal aportado a la quebrada Coyote.

Se realizó la estimación del caudal de avenida máxima para la zona de aporte pluvial de la quebrada Coyote, calculado por el Método de Mac-Math. La zona de aporte de la microcuenca para una intensidad de 86.8 mm/h y un periodo de retorno de 50 años y de 138.2 mm/h para un periodo de retorno de 500 años. Generando caudales de 14.20 m^3/s y 17.92 m3/s respectivamente.

MODELACIÓN DE LA QUEBRADA COYOTE

Según la modelación hidráulica realizada para la quebrada Coyote mediante el software Hec-Ras 5.0.7, se deduce que en los sectores analizados cinco no poseen la capacidad de transportar la avenida máxima calculada para periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años, las secciones levantadas demuestran que algunas de las áreas transversales del cauce analizado no son adecuadas para soportar la carga pluvial se generen por eventos extraordinarios de precipitación apegados a los periodos de retorno mencionados, esto se muestra en la modelación, ya que se producirán desbordamientos sobre el canal del cauce.

Respecto a la velocidad en el cauce se puede observar que los sitios con un número de Froude menor a 1 no sobrepasan a 2.48 m/s. por lo que se da un tipo de flujo subcrítico por ser menor a 1, para este estado las fuerzas de gravedad se hacen dominantes, por lo que el flujo tiene baja velocidad, siendo tranquilo y lento. En este tipo de flujo toda singularidad tiene influencias hacia aguas arriba, además por las condiciones naturales del cauce las velocidades a pesar de ser bajas pueden ser erosivas en el tramo analizado
.
En relación a las corridas realizadas en el software software Hec-Ras 5.0.7 se puede definir que la quebrada Coyote presentará desbordamientos en los tramos analizados expuestos como secciones críticas, por lo que se concluye que las inundaciones que se han presentado en calle Ramiritos pueden estar influenciadas producto del cauce analizado, ya que según la modelación este no posee la capacidad hidráulica para evacuar aguas producto de precipitaciones extraordinarias asociadas a tormentas con periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años.

MODELACIÓN DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS

Se ha realizado la modelación hidráulica para la quebrada Coyote mediante el software H-Canales, para conocer si las infraestructuras analizadas poseen la capacidad hidráulica para evacuar aguas producto de precipitaciones extraordinarias asociadas a tormentas con periodos de retorno de 100 años.

Respecto al canal que encausa la quebrada Coyote y que tributa en (H1) el cual transporta sus aguas por un canal trapezoidal con un ancho de solera de 1 m aproximadamente, actualmente cuenta con un tirante normal de 0.25 m por esta razón la estructura soporta la carga hidráulica generada a un periodo de retorno de 100 años ya que tras la modelación el tirante normal obtenido cuenta con la misma dimensión.

Para la alcantarilla que transporta el flujo de la quebrada Coyote en el sector H2. Según H canales el valor del tirante hidráulico que ocasionaría el caudal de 2.05 m^3/s es de 0.42 m, y actualmente cuenta con un diámetro 1.20 m por lo tanto es capaz de soportar la carga hidráulica.

Para el sector H3, que concuerda con la alcantarilla con un muro de gaviones, la misma que posee un diámetro de 0.75 m, se deduce que la estructura cuenta con la capacidad de transportar el caudal de avenida máximo calculado, ya que según el H-canales para este flujo se generarían tirantes hidráulicos de 0.68 m, y actualmente cuenta con un diámetro de 0.75 m por lo que no se provocarían desbordes.

Para el sector H4, el cual concuerda con el puente con alcantarilla, se aplicó el análisis hidráulico. La alcantarilla posee un diámetro de 1.30 m, y tras la modelación se obtiene un tirante normal de 0.46 m por lo tanto es capaz de soportar la carga hidráulica.

El sitio H5, mismo que concuerda con el puente con alcantarilla posee un diámetro de 0.90 m, correlacionando sus dimensiones con la información que genera el H canales se deduce que este posee la capacidad de transportar el caudal de avenida máxima, ya que para este flujo se darían tirantes hidráulicos de hasta 0.61 m, así soportando la carga hidráulica generada.

Para el sector H6, mismo que concuerda con el puente con alcantarilla posee un diámetro de 0.90 m, correlacionando sus dimensiones con la información que genera el H canales se deduce que este posee la capacidad de transportar el caudal de avenida máxima, ya que para este flujo se darían tirantes hidráulicos de hasta 0.78 m, así soportando la carga hidráulica generada.

Para el puente que tributa en el sector H7 cuenta con un ancho de solera de 4 m y un tirante de 1.83 m, según H canales el valor de tirante que ocasionaría la avenida máxima es de 0.48 m por esta razón la estructura cuenta con la capacidad de soportar la carga hidráulica.

En relación a las modelaciones realizadas en el software H-Canales se puede definir que las infraestructuras analizadas no presentarán desbordamientos en los tramos analizados.

ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN.

Se ha realizado el análisis de socavación para el sector donde se encuentra ubicado el paso de alcantarilla, la metodología utilizada ha sido la de socavación general recomendada por Federal Highway Administration (FHWA, the U.S. Department of Transportation) para aguas claras con sus respectivas indicaciones para el sistema métrico internacional. Gracias a las observaciones en campo se ha definido un diámetro promedio del material que se encuentra en el lecho del río como las dimensiones de fondo de la alcantarilla, el levantamiento topográfico realizado ha facilitado observar el tirante critico que se presentará en el paso del alcantarillado por lo que se ha modelado con diferentes periodos de retorno y así conocer el impacto que provocará la socavación.

La socavación dada en metros con sus respectivos periodos de retorno se detallan a continuación; para caudales de 14.20 m^3/s (Pr: 50 años), socavación (0.26 m), 15.22 m^3/s (Pr: 100 años), socavación (0.28 m), 16.70 m^3/s (Pr: 250 años), socavación (0.30 m) y para 17.92 m^3/s (Pr: 500 años), socavación (0.32 m). También se han recomendado medidas de mitigación hidráulicas, estructurales y monitoreo donde establecer un plan de acción para el rediseño del puente es de suma importancia ya que se extenderá la vida útil de la construcción hidráulica y se evitarán condiciones adversas, por lo tanto los encargados en construir el rediseño es importante que tomen en cuenta los diferentes parámetros que pueden impactar la obra para poder obtener un producto de calidad y conservador.

ANÁLISIS DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOFISICO

Como conclusión general y de acuerdo con los resultados obtenidos de las dos perforaciones realizadas, se puede considerar que este terreno es apto para la construcción del proyecto en mención, pero se deberán seguir las recomendaciones brindadas en este informe, el cual se complementa como un proyecto geotécnicamente viable como

conclusión del apartado 7 “Discusión sobre los grados de incertidumbre y alcance del estudio”.

Localmente se observan aflorando en el cauce rocas de origen volcánicas las cuales se caracterizan como ignimbritas, se asocian regionalmente a la Formación Tiribí.

Con respecto a la estratigrafía, se concluye que existe un estrato de relleno artificial (capa A) que cubre un perfil estratigráfico natural constituido por las rocas ignimbríticas fracturadas (capa B); perfil estratigráfico definido hasta la profundidad máxima investigada. Se asegura que para la presión de diseño recomendada para cimientos convencionales no se presentarán asentamientos al apoyar la estructura sobre los estratos naturales y firmes de sitio de 50 t/m^2 de capacidad de soporte admisible.

De acuerdo con los análisis realizados, para las fundaciones de la estructura se recomienda apoyar sobre los estratos de roca que afloran en el margen de la quebrada a una profundidad de 2,5 m. En lo que respecta a la estabilidad local de la obra, actualmente, a simple vista se aprecia una adecuada estabilidad del terreno, la topografía en el sitio de estudio es poco ondulada y no se prevén cortes de taludes permanentes ni temporales de alturas mayores a 3 metros para la colocación de la estructura por construir, por estos motivos es que se identifica estable el proyecto a nivel de taludes.

ÁNALISIS DE RIESGOS NATURALES EN EL ÁREA DEL PROYECTO

El sector de Calle Ramiritos presenta un nivel de riesgo bajo a: Deslizamiento, Inundación y Flujo de Lodos, mientras que para sismos el nivel de peligrosidad es medio, esto debido a las condiciones que presenta el cantón de Santa Ana en general.

El riesgo al deslizamiento es de 3.0, además la pendiente que predomina entre y los taludes se componen de materiales de calidad aceptable desde la perspectiva geotécnica, mientras que para los flujos de lodo el valor obtenido es de 2.45 ya que el área de proyecto se encuentra lejos del flujo de lodos según el mapa del CNE.

El riesgo de inundación se reduce a un intervalo entre 3.85 y 5.35 esto debido a que se considera la implementación de las medidas estructurales del rediseño de paso de alcantarillado.

Es importante tener contacto con el personal del condominio Villa Real, esto para verificar el uso de los desfogues y conocer el tipo de flujo que se vierte al cauce. Tras la cuantificación de amenazas (N), vulnerabilidad (S) y la correlación de ambas variables, tanto en el sector interno como externo, se determina que el nivel de riesgo en ambos escenarios es bajo, siempre y cuando se apliquen las medidas de mitigación recomendadas y consideradas en este informe.

8- REFERENCIAS

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

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

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

Bogantes, R., Laporte, G., Quesada, C., Vásquez, A; 2002. Zonificación geotécnica general de Costa Rica, considerando elementos edáficos y climáticos. Congreso Costarricense de Geotecnia 2002

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Código Sísmico de Costa Rica 2010. Cuarta Edición. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, 2011.

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes. CFIA 2013. Primera Edición, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructuras, San José, Costa Rica. 2013.

DENYER, P; MONTERO, W & ALVARADO, G.E; 2003: Atlas tectónico de Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. San José.

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

Departamento de Aguas del MINAE. Mayo 2020, Base de datos de Concesiones y Pozos Registrados.

DOBRIN, M., 1976:” Introduction to geophysical prospecting”, McGraw Hill, New York, 485 p.

GARDNER, G.H.F., GARDNER, L.W. AND GREGORY, A.R., 1974: “Formation velocity and density: the diagnostic basis for stratigraphic traps”. Geophysics, 39: 770-780.

ECURED, (2016). Municipios de Costa Rica. Aspectos físicos del cantón de Curridabat. Recuperado el día 05 de noviembre de 2016. De la página de internet: //www.ecured.cu/Curridabat

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

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: 2537.

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

HEATH, R.C., 1983: Basic ground-water hydrology. - U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220, 86 p

JARDÍ, MONTSERRAT; 1985: Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Revista de Geografía, Vol XIX, pp. 41-68. Barcelona, España.

KRAMER, S. L. 1996: Geotechnical earthquake engineering. Prentice-Hall, Inc.

MADRIGAL, R; 1980. Manual Descriptivo del Mapa Geomorfológico de Costa Rica. San José: Imprenta Nacional de Costa Rica.

MORA, R., VAHRSON, W. & MORA, S., 1992: Mapa de amenaza de deslizamientos, Valle Central, Costa Rica. - Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC) [Escala 1:285700].

MOOK, W. G, 2002: Isótopos Ambientales en el Ciclo Hidrológico: Principios y aplicaciones. – IGME, Madrid. 595 págs.

PROGRAMA DE INGENIERÌA SÌSMICA, LANAMME / E.C.G., U.C.R: "Capítulo VI, Análisis de la información obtenida de la Ampliación de la señal sísmica, 6-17 p

PROTTI, R., 1980:" Prospección geofísica por sísmica de refracción en la cuenca del río Andamojo, Santa Cruz, Guanacaste, con fines hidrogeológicos", 38 págs. Informe téc.133, SENAS (SENARA).

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

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

Rojas, N. (2011). Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas.

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

RAWLS, BRAKENSIEK & MILLER, 1983: Green and Ampt infiltration parameters from soil data. Journal of Hydraulic Enginering 199(1) 62-70.

Rincón Ortiz, J. C., & Muñoz, M. F. (2013). Diseño hidráulico de sistemas de drenaje dual a través del modelo SWMM. Ingeniería hidráulica y ambiental, 34(2), 103-117.

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

SANDERS, L., 1998: A manual of field hydrogeology. Prentice-Hall. 381 pp.

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

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

SENARA, 2020: Archivo de pozos. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, San José, Costa Rica.

USACE (2010) HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Version 4.1. Hydrologic Engineering Center. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.

VILLON, M; 2004. Hidrología. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

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

9- ANEXOS

Anexo 1

Estaciones de precipitación cercanas al área del proyecto.

GEOTECTICA
SOMOS CONSULTORES DE LA TIERRA

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	**92.6**	**1111.4**
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	**28.5**	
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	**19.0**	
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	**23.8**	
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	**72.7**	
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	**16.5**	
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	**15.4**	

VIENTO DIR. PREDOMINANTE	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	**152**	**Total**

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios(MJ/m²)
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.

GEOTECTICA
SOMOS CONSULTORES DE LA TIERRA

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
LLUVIA	1986	2014	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 m². Radiación Solar global en Megajulios(MJ/m²)
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.

GEOTECTICA
SOMOS CONSULTORES DE LA TIERRA

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

ESTACION : 84 195 AEROP. PAVAS OESTE **Latitud: 09 ° 57 ' N Longitud: 84 ° 08 ' O Altitud. 997 m.s.n.m**

Elementos	Períodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
LLUVIA	1995	2014	10.2	12.8	11.7	66.5	223.3	204.3	157.8	205.3	289.1	286.5	127.4	29.7	**135.4**	**1624.6**
TEM.MAX.	1995	2014	26.1	26.9	27.8	28.6	27.9	27.5	27.1	27.4	27.3	26.5	26.1	26.1	**27.1**	
TEM.MIN.	1995	2014	18.1	18.1	18.3	19.0	19.1	18.9	19.1	18.8	18.3	18.4	18.5	18.4	**18.6**	
TEM.MED.	1995	2014	22.1	22.5	23.1	23.8	23.5	23.2	23.1	23.1	22.8	22.4	22.3	22.2	**22.8**	
HUMEDAD	1995	2014	68.6	67.0	66.7	68.7	77.8	80.3	77.3	78.7	83.3	84.3	78.4	71.9	**75.3**	
VIENTO VEL.	1995	2014	22.5	22.1	20.8	17.8	12.6	10.9	13.2	11.8	8.9	9.3	13.9	19.1	**15.2**	
RADIACION	1995	2014	14.8	15.8	16.5	15.9	12.5	12.3	12.8	12.4	12.2	11.8	10.8	12.6	**13.4**	
PRESION	1999	2015	902.7	902.6	902.4	902.3	902.2	902.2	902.5	902.4	902.3	902.0	901.7	902.4	**902.3**	

VIENTO DIR. PREDOMINANTE	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		**Total**
Promedio días con lluvia >= 0.1 mm.	3	4	4	9	21	22	20	22	25	25	18	8	**182**	

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios(MJ/m²)
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.

Anexo 2

Recorrido e inspección técnica por la quebrada Coyote.

Fotografía N°1. Punto 1. Sector donde nace la Quebrada Coyote, sitio Coordenadas: 481378E /10999201N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°1: Inicio del cauce.

Fotografía N°2. Punto 1: Desfogues al canal artificial de la Quebrada Coyote. Coordenadas: 481384E /1100058N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°2: Aporte de aguas a la Quebrada Coyote

Fotografía N°3. Punto 2: Dimensiones del canal artificial en Quebrada Coyote. Coordenadas: 481415E /1100073N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°3: Canal que capta el cauce de la Quebrada Coyote.

Fotografía N°4. Punto 1: sector abajo donde nace la Quebrada Coyote Coordenadas: 481345E /1100003N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°4: Puente canalizado de forma circular, donde se da un aporte pluvial por tubería pvc,.

Fotografía N°5. Punto 1: Brote de agua cerca de las edificaciones. Coordenadas: 481309E /1099984N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°5: Presencia de humedad de agua.

Fotografía N°6. Punto 2: Sector donde las casas están por encima del cauce de la Quebrada Coyote. Coordenadas: 480532E /1099844N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°6: Sector de amenaza.

Fotografía N°7. Punto 2: Sector donde las casas se encuentran encima del cauce de la Quebrada Coyote. Coordenadas: 480531E /1099838N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°7: Sector donde traza el puente tuberías de aparente uso de agua potable.

Fotografía N°8. Punto 1: Sector del puente en análisis. Coordenadas: 480531E /1099838N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°8: Puente situado en Calle Ramiritos.

Fotografía N°9. Punto 2: Sector del puente en análisis Coordenadas: 479935E /1099656N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°9: Canal en el cauce del puente en análisis Calle Ramiritos.

Fotografía N°10. Punto 3: Sector del puente en análisis Coordenadas: 479854E /1099715N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°10: Sector de socavación en el cauce con gran presencia de residuos sólidos

Anexo 3

Perfiles de la capacidad hidráulica, modelados en H-Canales.

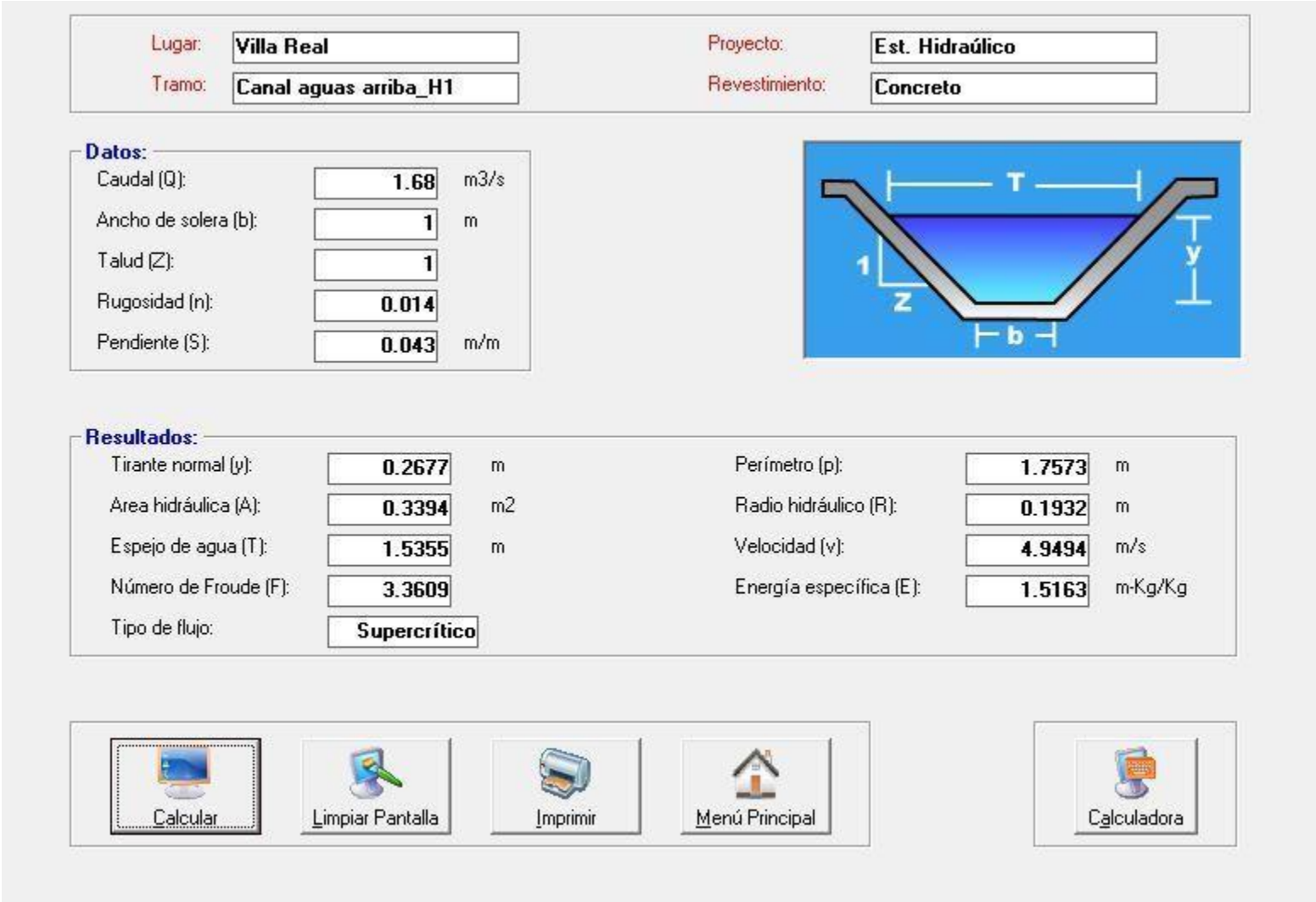

Figura N°30. Modelación hidráulica del canal en el sector H1.

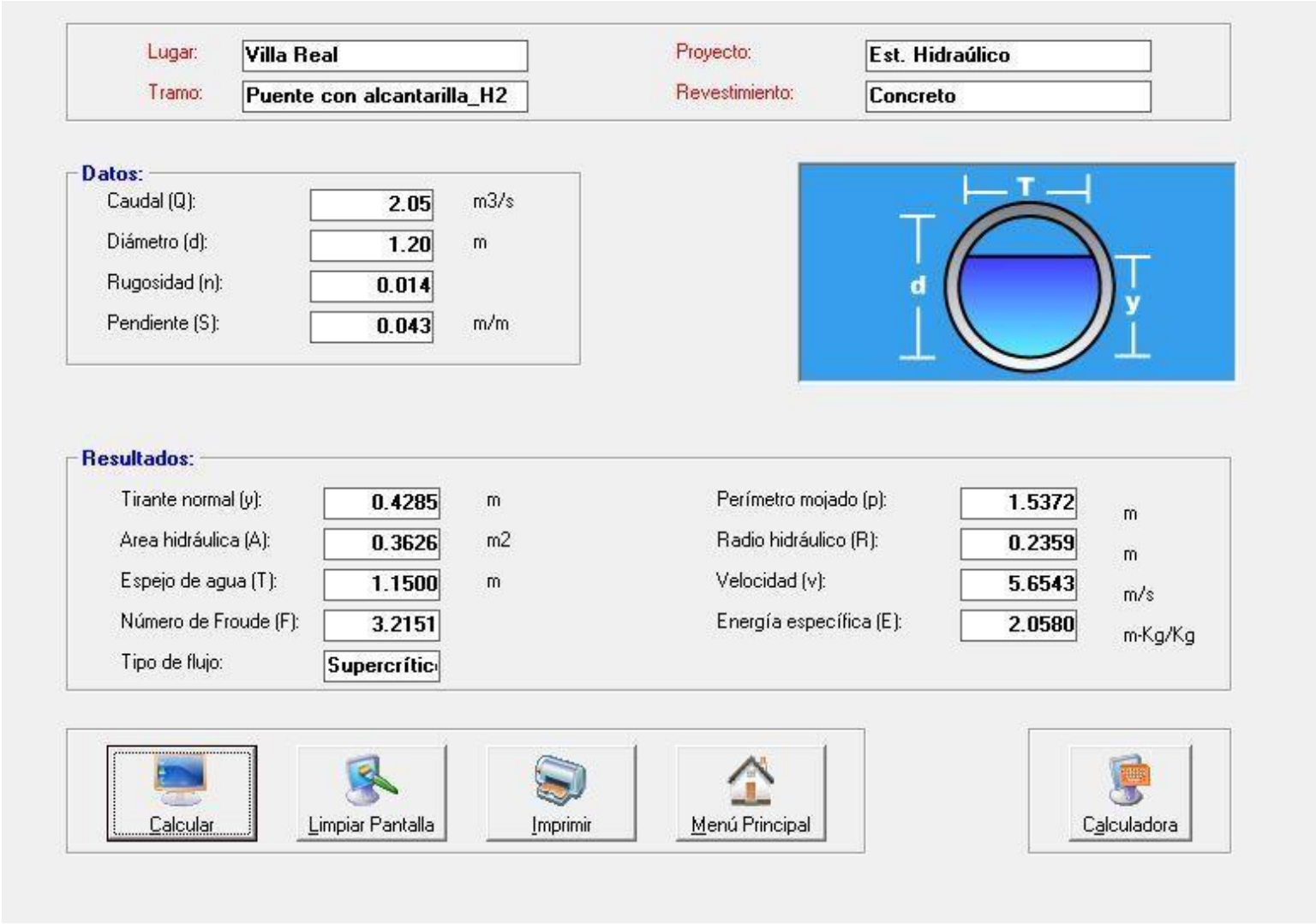

Figura N°31. Modelación hidráulica del alcantarillado en el sector H2.

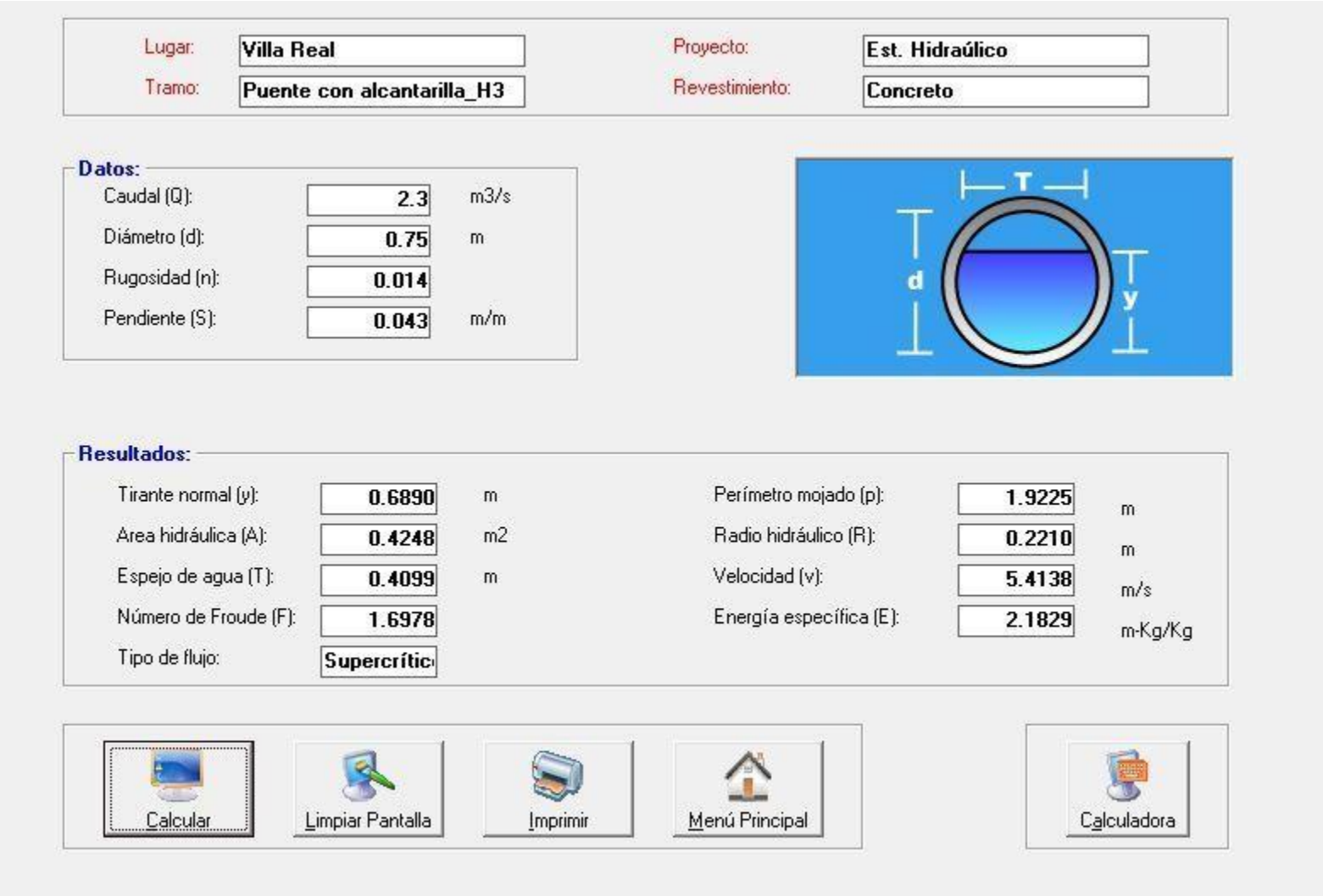

Figura N°32. Modelación hidráulica del alcantarillado en el sector H3.

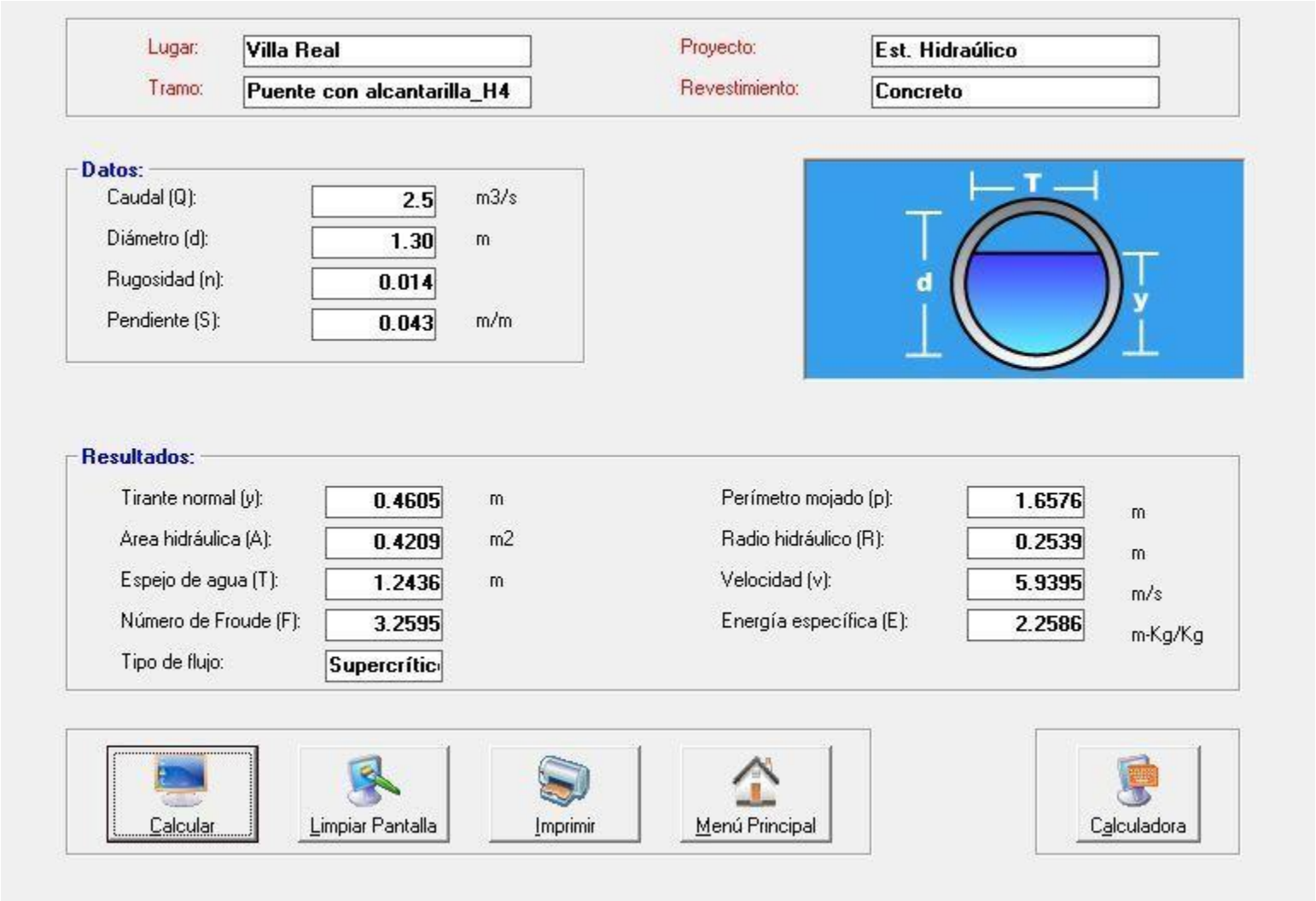

Figura N°33. Modelación hidráulica del alcantarillado en el sector H4.

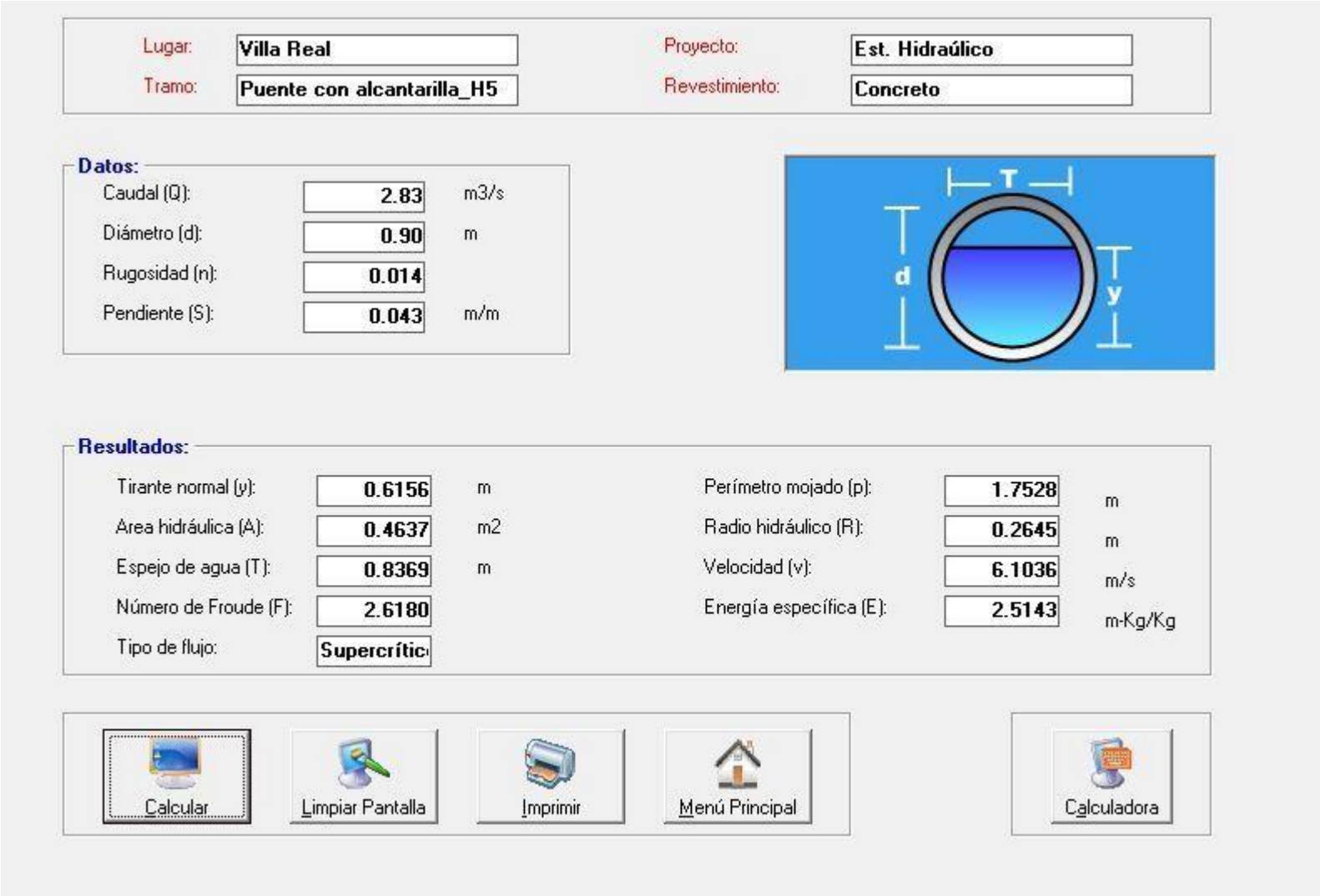

Figura N°34. Modelación hidráulica del alcantarillado en el sector H5.

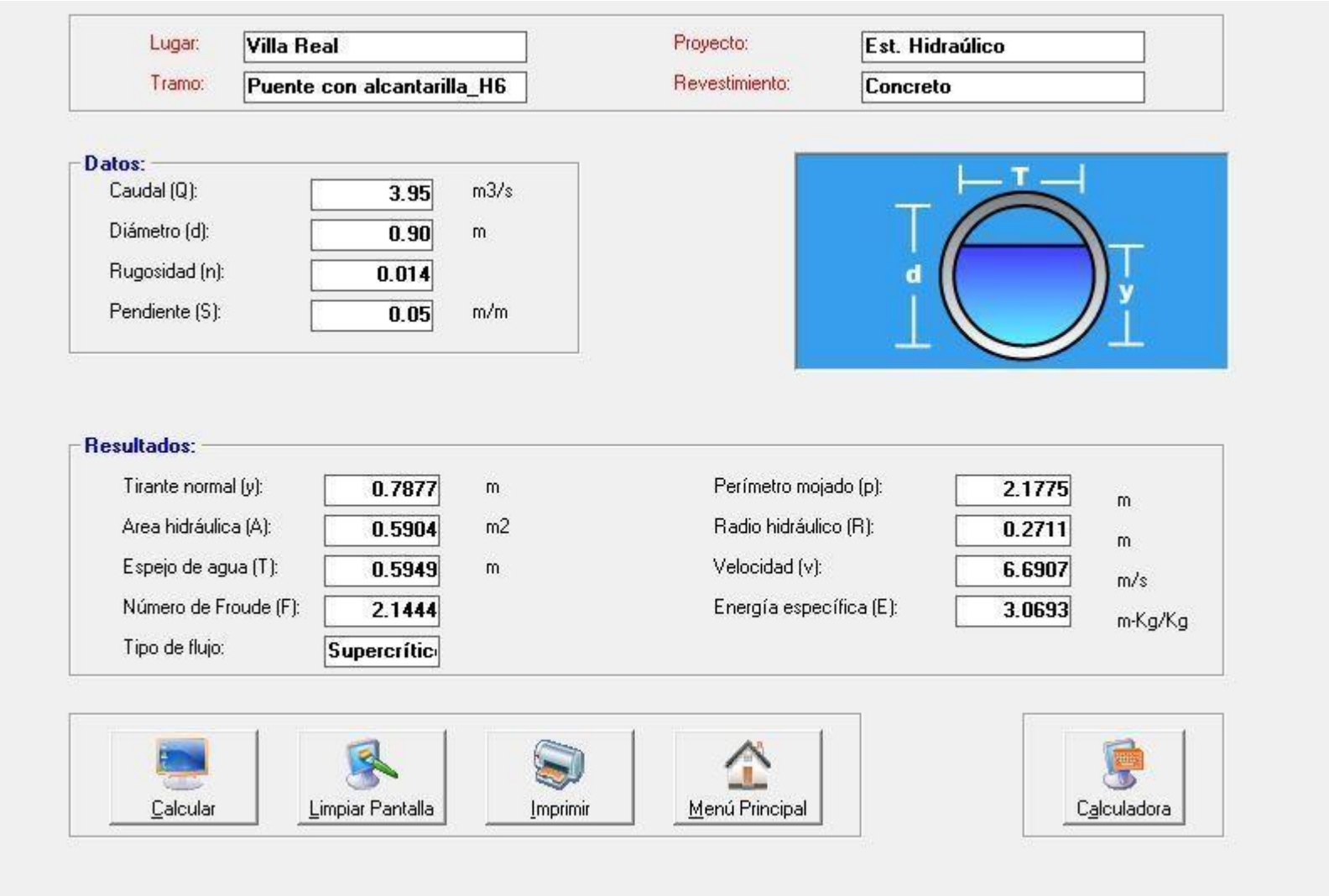

Figura N°35. Modelación hidráulica del alcantarillado en el sector H6.

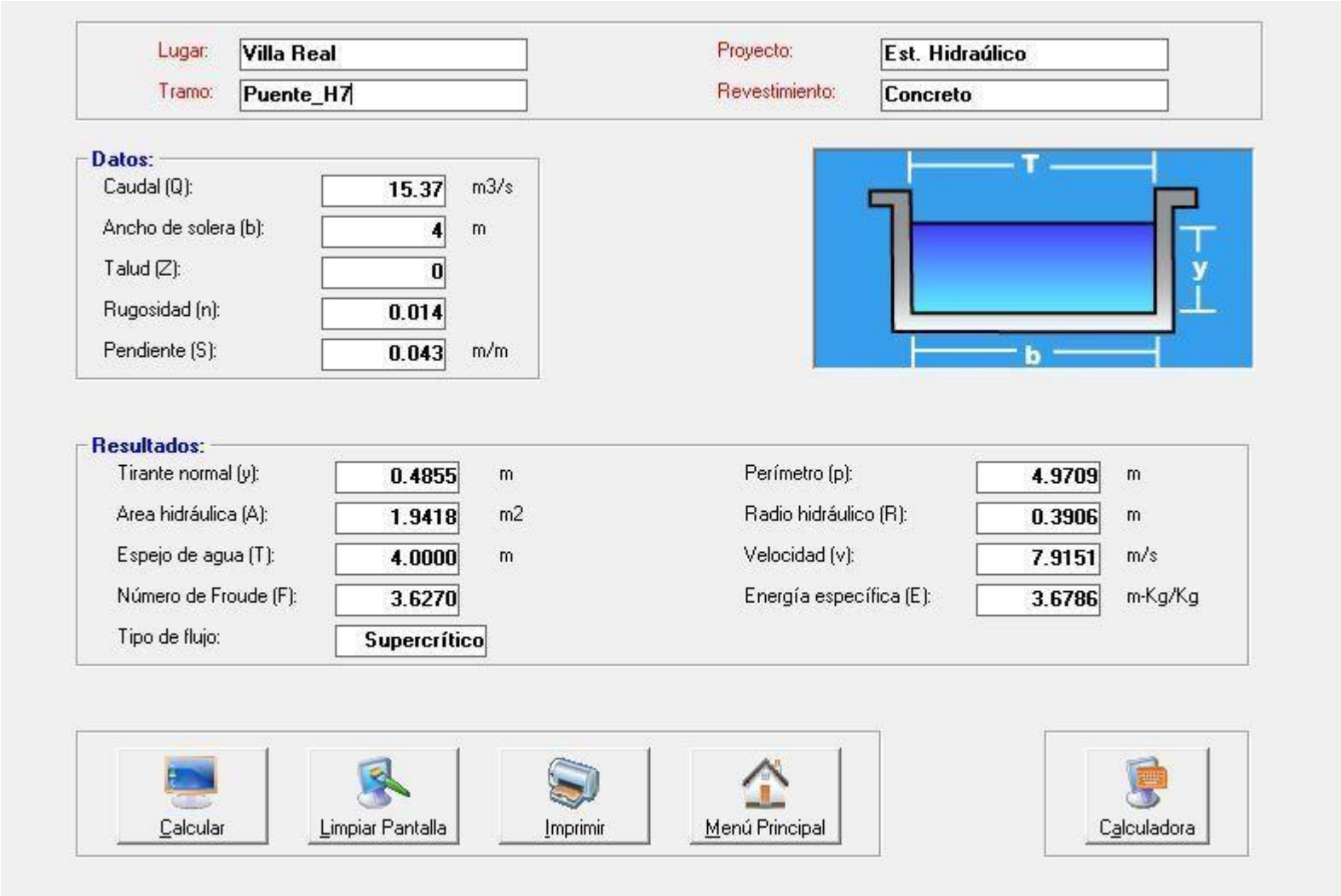

Figura N°36. Modelación hidráulica del puente vial en el sector H7.

Anexo 4

Información obtenida del HEC-RAS 5.0.7.

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
32_300	50 años	14.20	860.53	862.66	861.92	862.92	0.008441	2.24	6.45	4.31	0.51
32_300	100 años	15.22	860.53	862.68	861.99	862.97	0.009383	2.37	6.54	4.40	0.54
32_300	250 años	16.70	860.53	862.71	862.07	863.04	0.010781	2.56	6.67	4.53	0.57
32_300	500 años	17.92	860.53	862.73	862.14	863.10	0.011966	2.71	6.77	4.66	0.61
31_290	50 años	14.20	860.52	862.69		862.83	0.003068	1.73	8.93	7.86	0.41
31_290	100 años	15.22	860.52	862.72		862.88	0.003345	1.81	9.14	8.07	0.42
31_290	250 años	16.70	860.52	862.76		862.94	0.003723	1.93	9.47	8.39	0.45
31_290	500 años	17.92	860.52	862.79		862.99	0.003992	2.02	9.77	9.01	0.47
30_280	50 años	14.20	860.25	862.66		862.80	0.003149	1.73	8.69	7.41	0.42
30_280	100 años	15.22	860.25	862.68		862.84	0.003465	1.82	8.85	7.54	0.44
30_280	250 años	16.70	860.25	862.71		862.90	0.003915	1.95	9.09	7.72	0.47
30_280	500 años	17.92	860.25	862.74		862.94	0.004275	2.06	9.30	7.88	0.49
29_270	50 años	14.20	860.00	862.61		862.77	0.003557	1.75	8.19	5.95	0.44
29_270	100 años	15.22	860.00	862.63		862.80	0.003972	1.85	8.28	6.05	0.46
29_270	250 años	16.70	860.00	862.65		862.85	0.004610	2.01	8.40	6.19	0.50
29_270	500 años	17.92	860.00	862.66		862.89	0.005177	2.14	8.48	6.28	0.53
28_260	50 años	14.20	859.92	862.65		862.72	0.001369	1.19	11.91	12.06	0.29
28_260	100 años	15.22	859.92	862.67		862.75	0.001519	1.26	12.19	14.87	0.30
28_260	250 años	16.70	859.92	862.70		862.79	0.001738	1.36	12.64	17.03	0.32
28_260	500 años	17.92	859.92	862.72		862.83	0.001918	1.44	13.03	18.64	0.34
27_250	50 años	14.20	859.79	862.64		862.71	0.001230	1.21	14.09	19.48	0.25
27_250	100 años	15.22	859.79	862.66		862.74	0.001346	1.27	14.49	20.08	0.26
27_250	250 años	16.70	859.79	862.69		862.77	0.001515	1.36	15.08	20.92	0.28
27_250	500 años	17.92	859.79	862.71		862.80	0.001653	1.43	15.55	21.58	0.29
26_240	50 años	14.20	861.90	862.49	862.49	862.67	0.017279	1.88	7.56	21.34	1.01
26_240	100 años	15.22	861.90	862.51	862.51	862.69	0.017038	1.91	7.97	21.76	1.01
26_240	250 años	16.70	861.90	862.53	862.53	862.73	0.016710	1.96	8.53	22.37	1.01
26_240	500 años	17.92	861.90	862.55	862.55	862.75	0.016505	2.00	8.98	22.84	1.01

Cuadro N°51. Información obtenida en Hec-Ras 5.0.7

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
25_230	50 años	14.20	858.73	859.49	860.14	862.04	0.162845	7.06	2.01	2.99	2.75
25_230	100 años	15.22	858.73	859.54	860.20	862.07	0.151975	7.05	2.16	3.00	2.65
25_230	250 años	16.70	858.73	859.62	860.29	862.13	0.138543	7.02	2.38	3.02	2.52
25_230	500 años	17.92	858.73	859.68	860.36	862.17	0.129070	6.99	2.56	3.03	2.43
24_220	50 años	14.20	858.29	859.20	859.64	860.67	0.073317	5.37	2.65	3.10	1.85
24_220	100 años	15.22	858.29	859.25	859.70	860.76	0.072188	5.45	2.80	3.12	1.84
24_220	250 años	16.70	858.29	859.32	859.79	860.88	0.070554	5.55	3.01	3.14	1.81
24_220	500 años	17.92	858.29	859.37	859.86	860.98	0.069200	5.62	3.19	3.17	1.79
23_210	50 años	14.20	858.27	859.57	859.57	860.14	0.019805	3.35	4.23	3.72	1.00
23_210	100 años	15.22	858.27	859.63	859.63	860.22	0.019891	3.42	4.45	3.76	1.01
23_210	250 años	16.70	858.27	859.71	859.71	860.34	0.019925	3.51	4.76	3.82	1.01
23_210	500 años	17.92	858.27	859.77	859.78	860.43	0.019972	3.58	5.00	3.87	1.01
22_200	50 años	14.20	857.96	859.05	859.25	859.87	0.032501	4.01	3.54	3.75	1.32
22_200	100 años	15.22	857.96	859.10	859.30	859.95	0.032385	4.08	3.73	3.79	1.31
22_200	250 años	16.70	857.96	859.17	859.38	860.06	0.032278	4.19	3.99	3.85	1.31
22_200	500 años	17.92	857.96	859.22	859.44	860.15	0.032219	4.27	4.20	3.89	1.31
21_190	50 años	14.20	857.49	858.58	858.82	859.50	0.038868	4.26	3.33	3.44	1.38
21_190	100 años	15.22	857.49	858.63	858.88	859.59	0.038640	4.33	3.51	3.47	1.38
21_190	250 años	16.70	857.49	858.70	858.96	859.70	0.038050	4.42	3.78	3.52	1.36
21_190	500 años	17.92	857.49	858.76	859.03	859.79	0.037699	4.49	3.99	3.57	1.36
20_180	50 años	14.20	857.24	858.54	858.56	859.14	0.021661	3.44	4.12	3.59	1.03
20_180	100 años	15.22	857.24	858.59	858.61	859.22	0.021739	3.51	4.33	3.63	1.03
20_180	250 años	16.70	857.24	858.68	858.70	859.34	0.021779	3.60	4.64	3.69	1.03
20_180	500 años	17.92	857.24	858.74	858.76	859.43	0.021865	3.67	4.88	3.73	1.03
19_170	50 años	14.20	857.04	858.12	858.28	858.87	0.029878	3.84	3.70	3.77	1.24
19_170	100 años	15.22	857.04	858.17	858.33	858.95	0.029945	3.92	3.88	3.80	1.24
19_170	250 años	16.70	857.04	858.24	858.41	859.07	0.030110	4.03	4.14	3.84	1.24
19_170	500 años	17.92	857.04	858.29	858.47	859.16	0.030163	4.12	4.35	3.88	1.24

Cuadro N°52. Información obtenida en Hec-Ras 5.0.7

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
18_160	50 años	14.20	856.71	858.52	858.06	858.67	0.003929	1.88	9.60	15.67	0.48
18_160	100 años	15.22	856.71	858.55	858.31	858.71	0.004021	1.92	10.16	16.30	0.49
18_160	250 años	16.70	856.71	858.62	858.38	858.77	0.003818	1.91	11.29	16.92	0.48
18_160	500 años	17.92	856.71	858.68	858.43	858.82	0.003545	1.87	12.31	16.94	0.46
17_150	50 años	14.20	856.53	858.41		858.62	0.005031	2.03	7.51	11.55	0.54
17_150	100 años	15.22	856.53	858.42	857.92	858.65	0.005666	2.17	7.59	11.83	0.57
17_150	250 años	16.70	856.53	858.44	858.00	858.71	0.006439	2.33	7.84	12.63	0.61
17_150	500 años	17.92	856.53	858.45	858.07	858.75	0.007145	2.47	8.01	13.14	0.64
16_140	50 años	14.20	856.60	858.33	858.33	858.56	0.007421	2.29	8.05	17.42	0.65
16_140	100 años	15.22	856.60	858.36	858.36	858.59	0.007573	2.35	8.47	17.54	0.66
16_140	250 años	16.70	856.60	858.39	858.39	858.63	0.007768	2.42	9.05	17.71	0.67
16_140	500 años	17.92	856.60	858.42	858.42	858.66	0.007957	2.48	9.49	17.83	0.68
15_130	50 años	14.20	856.46	857.44	857.69	858.34	0.038974	4.21	3.37	4.10	1.48
15_130	100 años	15.22	856.46	857.52	857.93	858.38	0.034615	4.12	3.70	4.19	1.40
15_130	250 años	16.70	856.46	857.64	858.07	858.44	0.028531	3.95	4.23	4.34	1.28
15_130	500 años	17.92	856.46	857.76	858.11	858.48	0.023530	3.76	4.78	5.86	1.16
14_120	50 años	14.20	855.87	856.98	857.24	857.94	0.040676	4.34	3.27	3.39	1.41
14_120	100 años	15.22	855.87	857.05	857.29	858.01	0.038321	4.33	3.51	3.43	1.37
14_120	250 años	16.70	855.87	857.15	857.38	858.10	0.035525	4.32	3.86	3.48	1.31
14_120	500 años	17.92	855.87	857.24	857.44	858.18	0.033264	4.30	4.16	3.52	1.26
13_117	50 años	14.20	855.22	856.22	856.68	857.72	0.073439	5.43	2.62	3.44	1.99
13_117	100 años	15.22	855.22	856.27	856.73	857.80	0.070931	5.47	2.78	3.47	1.95
13_117	250 años	16.70	855.22	856.34	856.81	857.90	0.067951	5.54	3.02	3.52	1.91
13_117	500 años	17.92	855.22	856.39	856.88	857.98	0.065750	5.58	3.21	3.56	1.88
12_110	50 años	14.20	854.34	856.71	855.75	856.78	0.001371	1.17	12.09	8.48	0.31
12_110	100 años	15.22	854.34	856.76	855.79	856.83	0.001432	1.22	12.51	8.60	0.32
12_110	250 años	16.70	854.34	856.83	855.85	856.91	0.001576	1.27	13.13	9.15	0.34
12_110	500 años	17.92	854.34	856.88	855.89	856.97	0.001658	1.31	13.64	9.42	0.35

Cuadro N°53. Información obtenida en Hec-Ras 5.0.7

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
11_100	50 años	14.20	855.36	856.34	856.34	856.72	0.014817	2.72	5.21	6.98	1.01
11_100	100 años	15.22	855.36	856.38	856.38	856.77	0.014690	2.77	5.50	7.12	1.01
11_100	250 años	16.70	855.36	856.43	856.43	856.84	0.014519	2.83	5.90	7.30	1.01
11_100	500 años	17.92	855.36	856.48	856.48	856.90	0.014351	2.88	6.23	7.45	1.01
10_90	50 años	14.20	854.83	855.90	856.05	856.50	0.027291	3.44	4.13	6.08	1.33
10_90	100 años	15.22	854.83	855.93	856.09	856.55	0.027023	3.49	4.36	6.20	1.33
10_90	250 años	16.70	854.83	855.99	856.15	856.63	0.026311	3.55	4.70	6.38	1.32
10_90	500 años	17.92	854.83	856.03	856.20	856.69	0.025801	3.60	4.98	6.52	1.31
9_80	50 años	14.20	854.73	855.98	855.86	856.32	0.010678	2.59	5.49	5.71	0.84
9_80	100 años	15.22	854.73	856.04	855.90	856.38	0.010303	2.60	5.85	5.84	0.83
9_80	250 años	16.70	854.73	856.13	855.97	856.48	0.009760	2.62	6.37	6.01	0.81
9_80	500 años	17.92	854.73	856.20	856.02	856.55	0.009274	2.62	6.83	6.16	0.80
8_70	50 años	14.20	854.51	855.69	855.69	856.17	0.016848	3.09	4.60	4.77	1.00
8_70	100 años	15.22	854.51	855.74	855.74	856.24	0.016662	3.14	4.85	4.83	1.00
8_70	250 años	16.70	854.51	855.81	855.81	856.34	0.016612	3.22	5.18	4.90	1.00
8_70	500 años	17.92	854.51	855.86	855.86	856.41	0.016689	3.29	5.44	4.96	1.00
7_60	50 años	14.20	854.23	855.44	855.51	855.98	0.020059	3.27	4.34	5.01	1.12
7_60	100 años	15.22	854.23	855.48	855.55	856.05	0.020255	3.35	4.54	5.06	1.13
7_60	250 años	16.70	854.23	855.53	855.62	856.14	0.020509	3.46	4.83	5.14	1.14
7_60	500 años	17.92	854.23	855.58	855.68	856.22	0.020510	3.53	5.07	5.21	1.14
6_50	50 años	14.20	854.01	855.59	854.88	855.68	0.002012	1.37	10.39	7.58	0.37
6_50	100 años	15.22	854.01	855.67	854.92	855.76	0.001963	1.39	10.99	7.64	0.37
6_50	250 años	16.70	854.01	855.78	854.97	855.88	0.001900	1.41	11.85	7.73	0.36
6_50	500 años	17.92	854.01	855.87	855.01	855.97	0.001856	1.43	12.54	7.80	0.36
5_40	50 años	14.20	854.11	855.57		855.66	0.002155	1.37	10.35	8.57	0.40
5_40	100 años	15.22	854.11	855.65		855.74	0.002047	1.38	11.05	8.70	0.39
5_40	250 años	16.70	854.11	855.76		855.86	0.001916	1.39	12.06	8.88	0.38
5_40	500 años	17.92	854.11	855.85		855.95	0.001826	1.39	12.88	9.03	0.37

Cuadro N°54. Información obtenida en Hec-Ras 5.0.7

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
8_70	500 años	17.92	854.51	855.86	855.86	856.41	0.016689	3.29	5.44	4.96	1.00
7_60	50 años	14.20	854.23	855.44	855.51	855.98	0.020059	3.27	4.34	5.01	1.12
7_60	100 años	15.22	854.23	855.48	855.55	856.05	0.020255	3.35	4.54	5.06	1.13
7_60	250 años	16.70	854.23	855.53	855.62	856.14	0.020509	3.46	4.83	5.14	1.14
7_60	500 años	17.92	854.23	855.58	855.68	856.22	0.020510	3.53	5.07	5.21	1.14
6_50	50 años	14.20	854.01	855.59	854.88	855.68	0.002012	1.37	10.39	7.58	0.37
6_50	100 años	15.22	854.01	855.67	854.92	855.76	0.001963	1.39	10.99	7.64	0.37
6_50	250 años	16.70	854.01	855.78	854.97	855.88	0.001900	1.41	11.85	7.73	0.36
6_50	500 años	17.92	854.01	855.87	855.01	855.97	0.001856	1.43	12.54	7.80	0.36
5_40	50 años	14.20	854.11	855.57		855.66	0.002155	1.37	10.35	8.57	0.40
5_40	100 años	15.22	854.11	855.65		855.74	0.002047	1.38	11.05	8.70	0.39
5_40	250 años	16.70	854.11	855.76		855.86	0.001916	1.39	12.06	8.88	0.38
5_40	500 años	17.92	854.11	855.85		855.95	0.001826	1.39	12.88	9.03	0.37
4_30	50 años	14.20	853.82	855.49		855.63	0.003111	1.66	8.55	6.29	0.45
4_30	100 años	15.22	853.82	855.57		855.71	0.003039	1.68	9.05	6.34	0.45
4_30	250 años	16.70	853.82	855.68		855.83	0.002952	1.71	9.76	6.41	0.44
4_30	500 años	17.92	853.82	855.77		855.92	0.002895	1.73	10.33	6.47	0.44
3_20	50 años	14.20	853.56	855.16	854.95	855.55	0.011562	2.78	5.11	4.02	0.79
3_20	100 años	15.22	853.56	855.23	855.00	855.64	0.011420	2.82	5.40	4.07	0.78
3_20	250 años	16.70	853.56	855.33	855.09	855.75	0.011232	2.87	5.82	4.15	0.77
3_20	500 años	17.92	853.56	855.41	855.15	855.85	0.011091	2.91	6.16	4.21	0.77
2_10	50 años	14.20	853.51	854.79	854.79	855.38	0.020941	3.39	4.18	3.60	1.00
2_10	100 años	15.22	853.51	854.85	854.85	855.46	0.021045	3.47	4.39	3.62	1.01
2_10	250 años	16.70	853.51	854.93	854.93	855.58	0.021155	3.56	4.69	3.66	1.00
2_10	500 años	17.92	853.51	855.00	855.00	855.67	0.021255	3.63	4.93	3.69	1.00
1_0	50 años	14.20	853.28	854.42	854.56	855.13	0.026957	3.73	3.81	3.90	1.21
1_0	100 años	15.22	853.28	854.47	854.61	855.21	0.027327	3.82	3.98	3.94	1.21
1_0	250 años	16.70	853.28	854.53	854.69	855.32	0.027879	3.95	4.23	4.00	1.23
1_0	500 años	17.92	853.28	854.58	854.75	855.41	0.028311	4.05	4.43	4.04	1.23

Cuadro N°55. Información obtenida en Hec-Ras 5.0.7

Anexo 5

Secciones transversales del HEC-RAS 5.0.7.

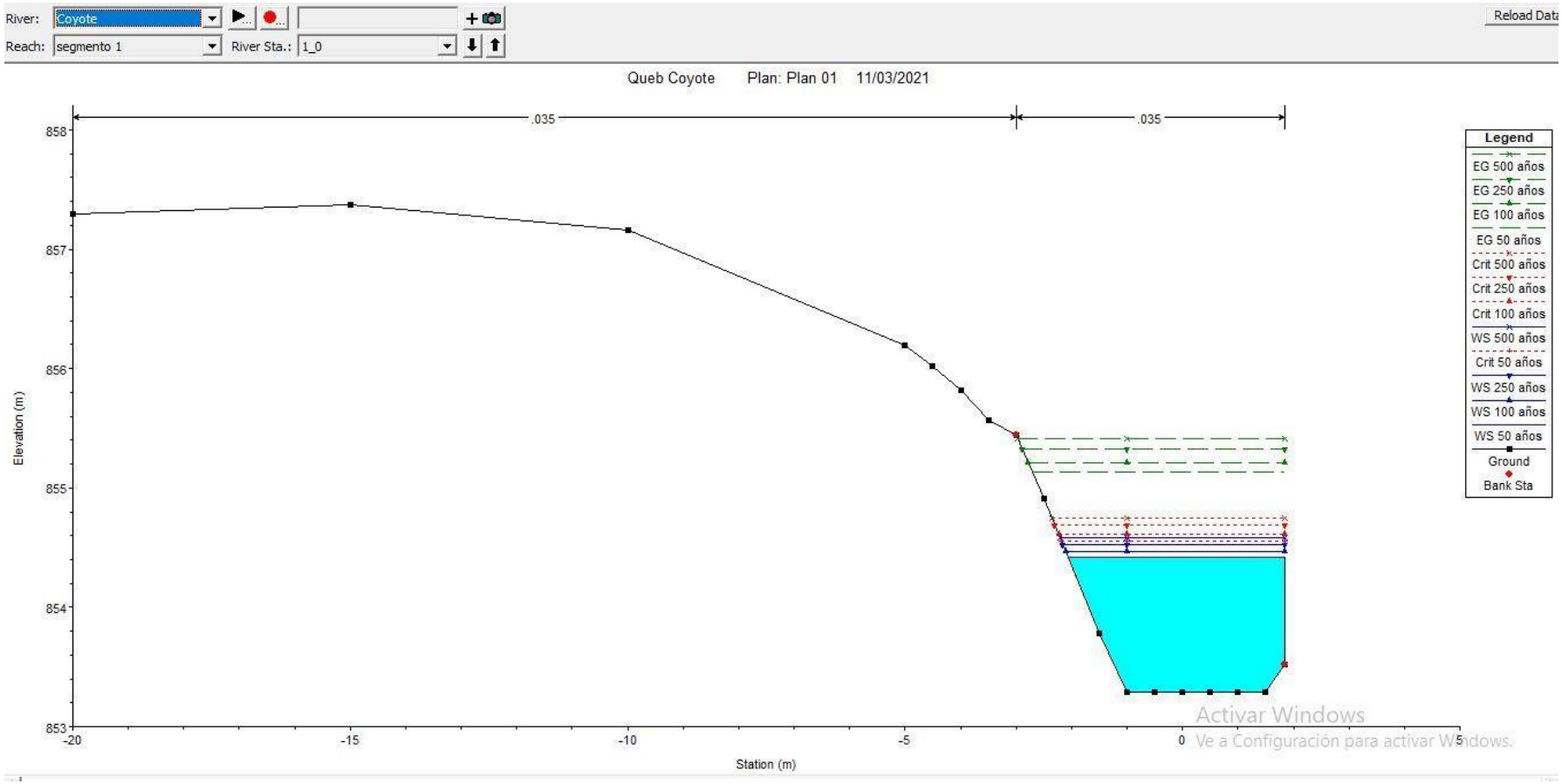

Figura N°37. Sección 0+00.

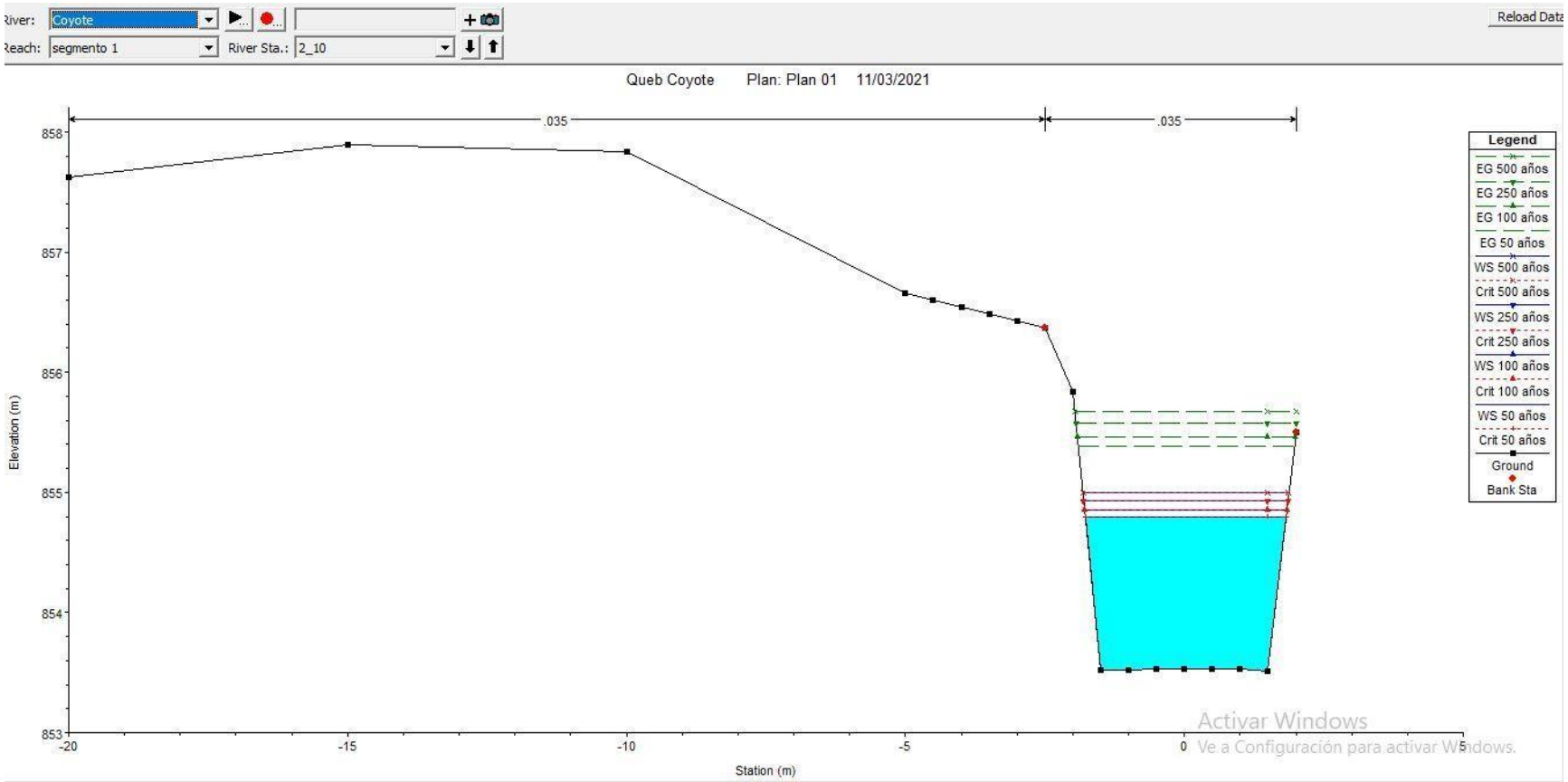

Figura N°38. Sección 0+010.

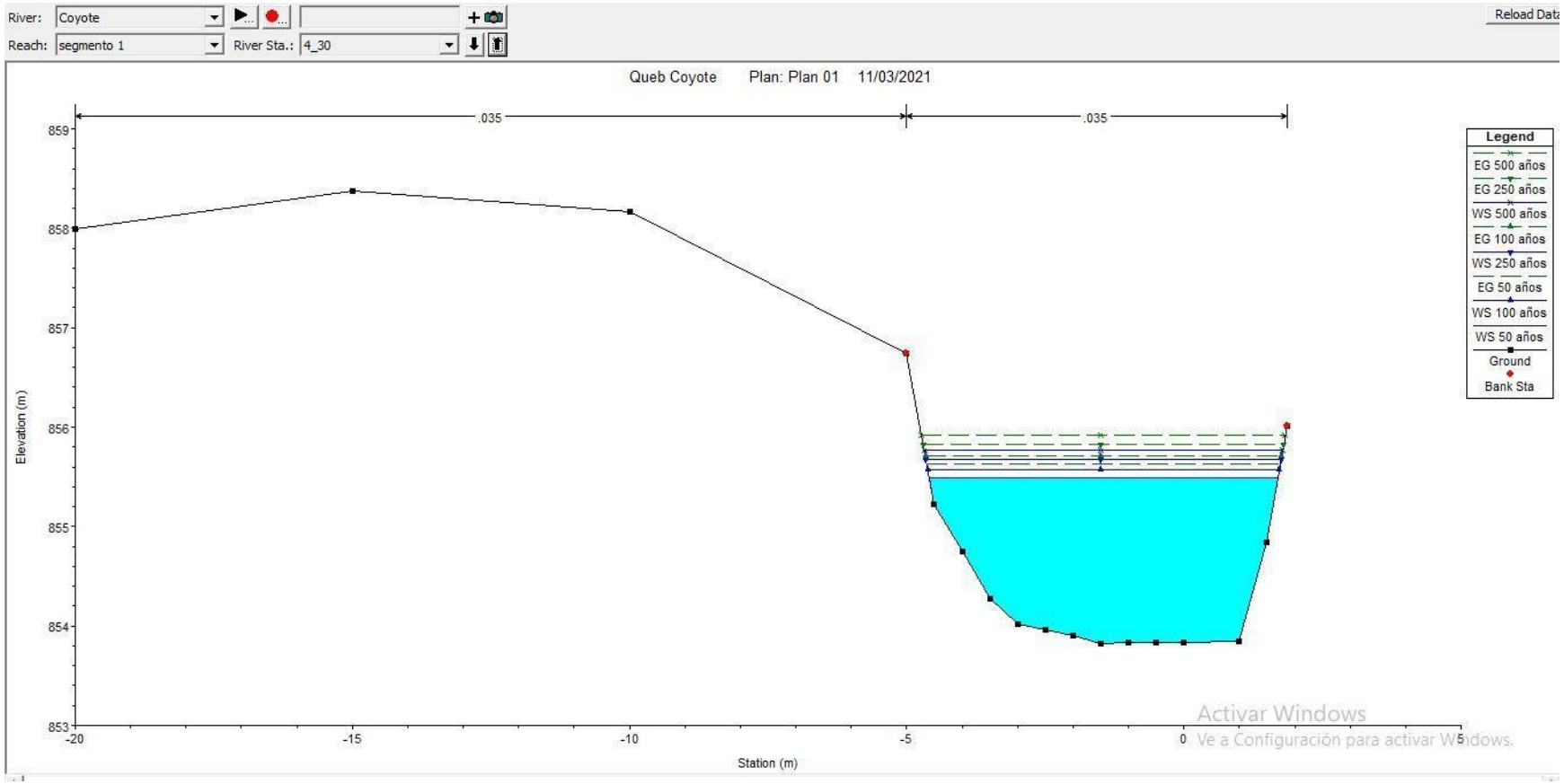

Figura N°39. Sección 0+030.

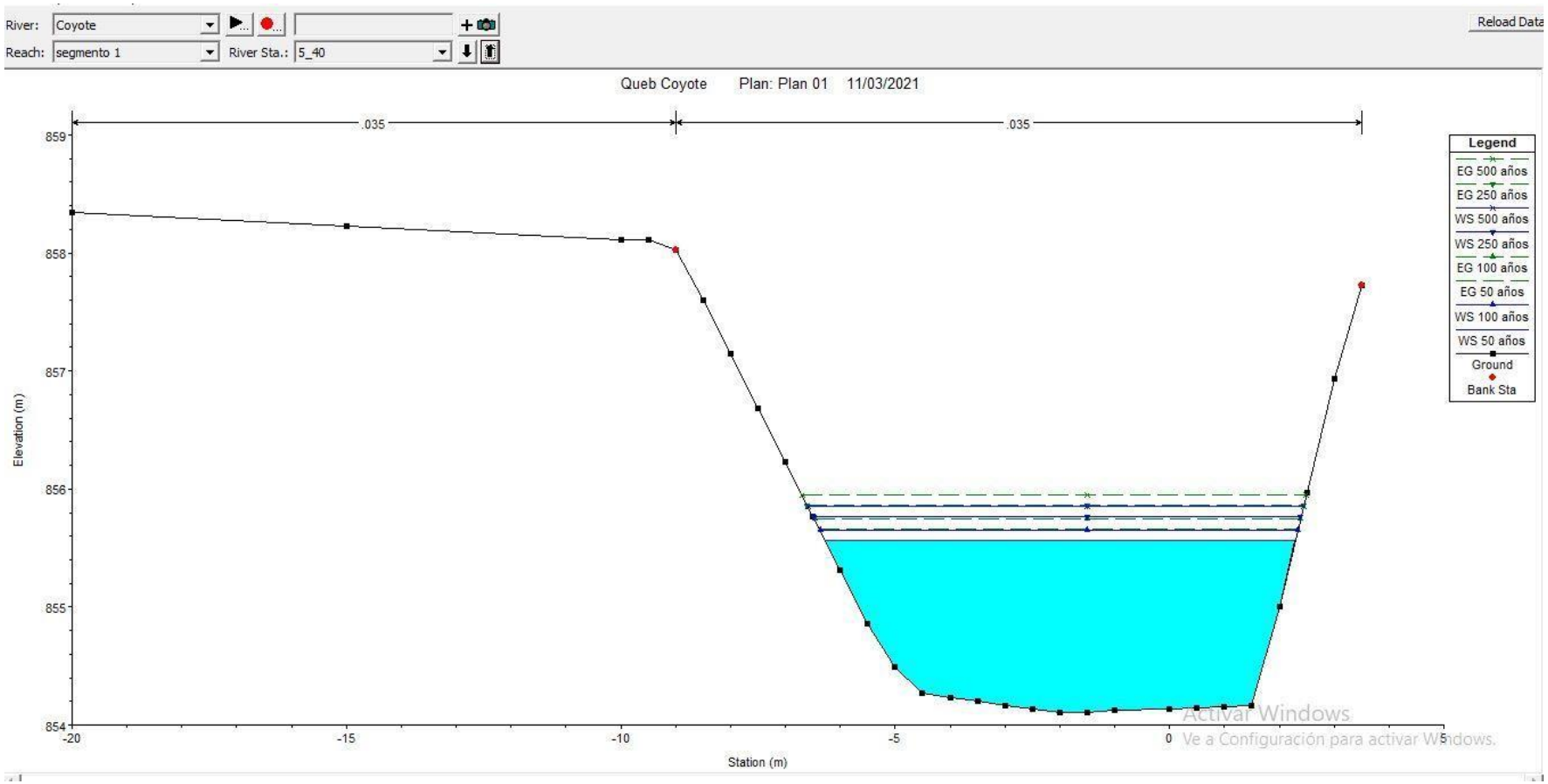

Figura N°40. Sección 0+040.

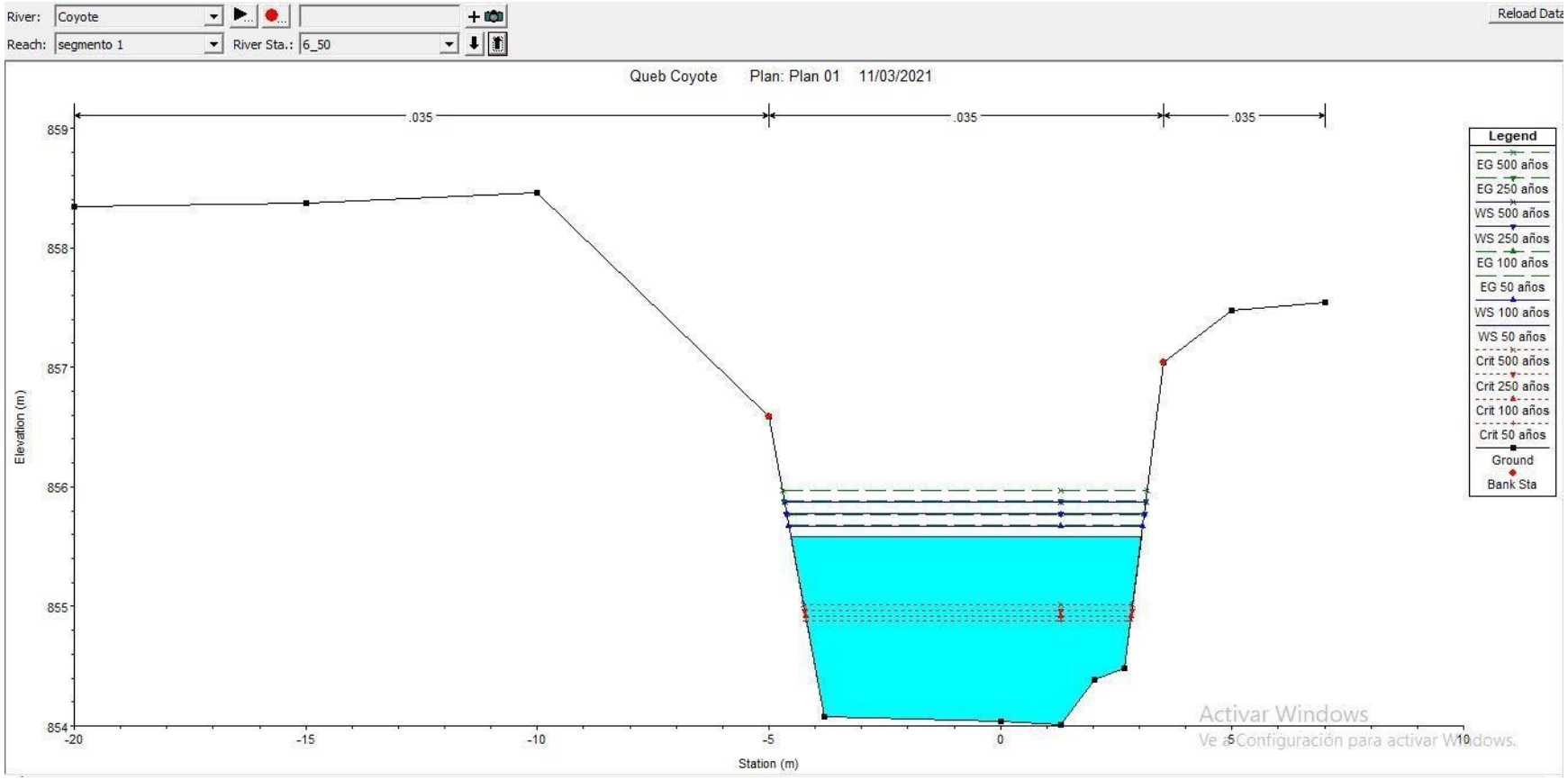

Figura N°41. Sección 0+050.

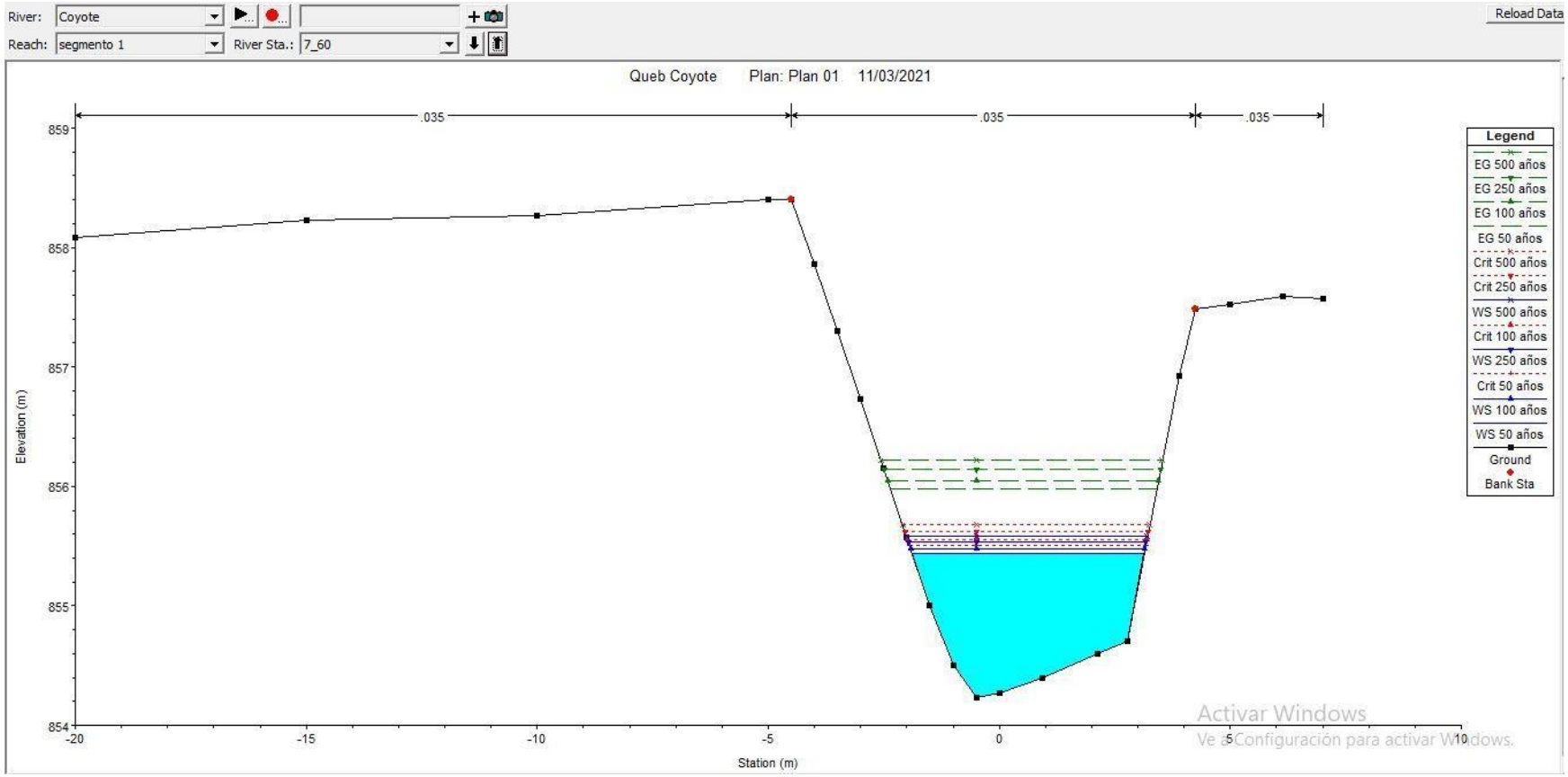

Figura N°42. Sección 0+060.

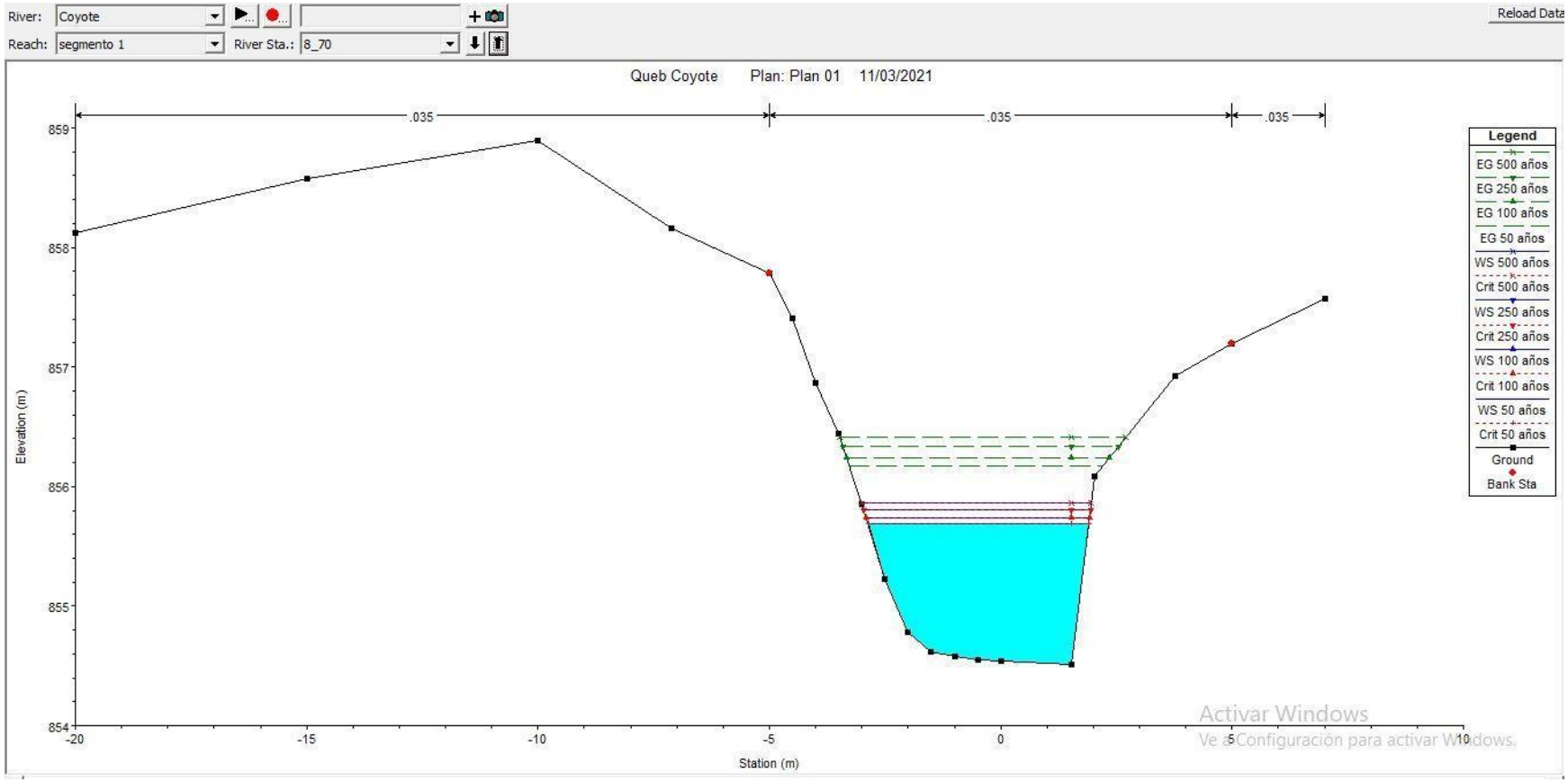

Figura N°43. Sección 0+070.

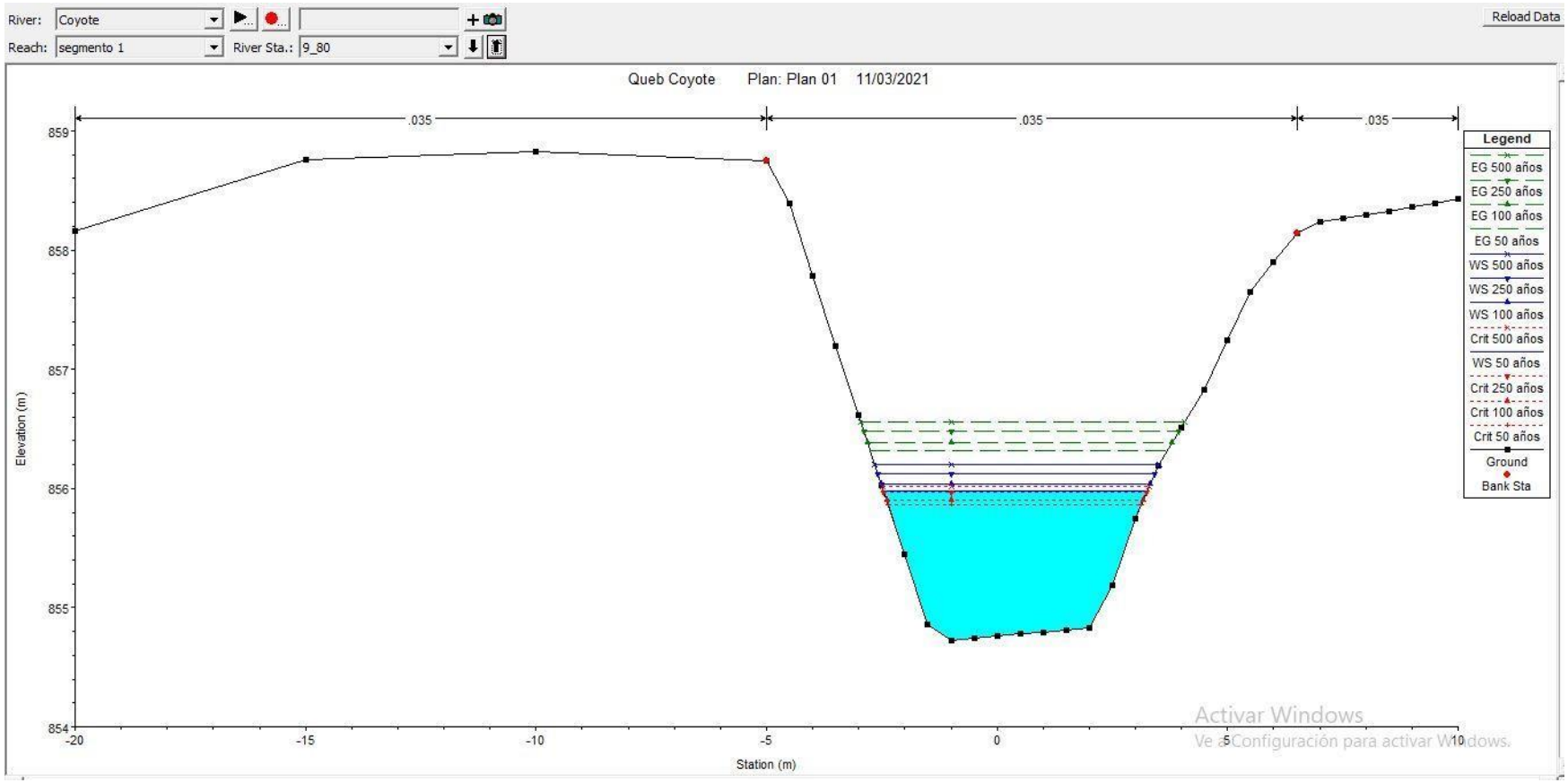

Figura N°44. Sección 0+080.

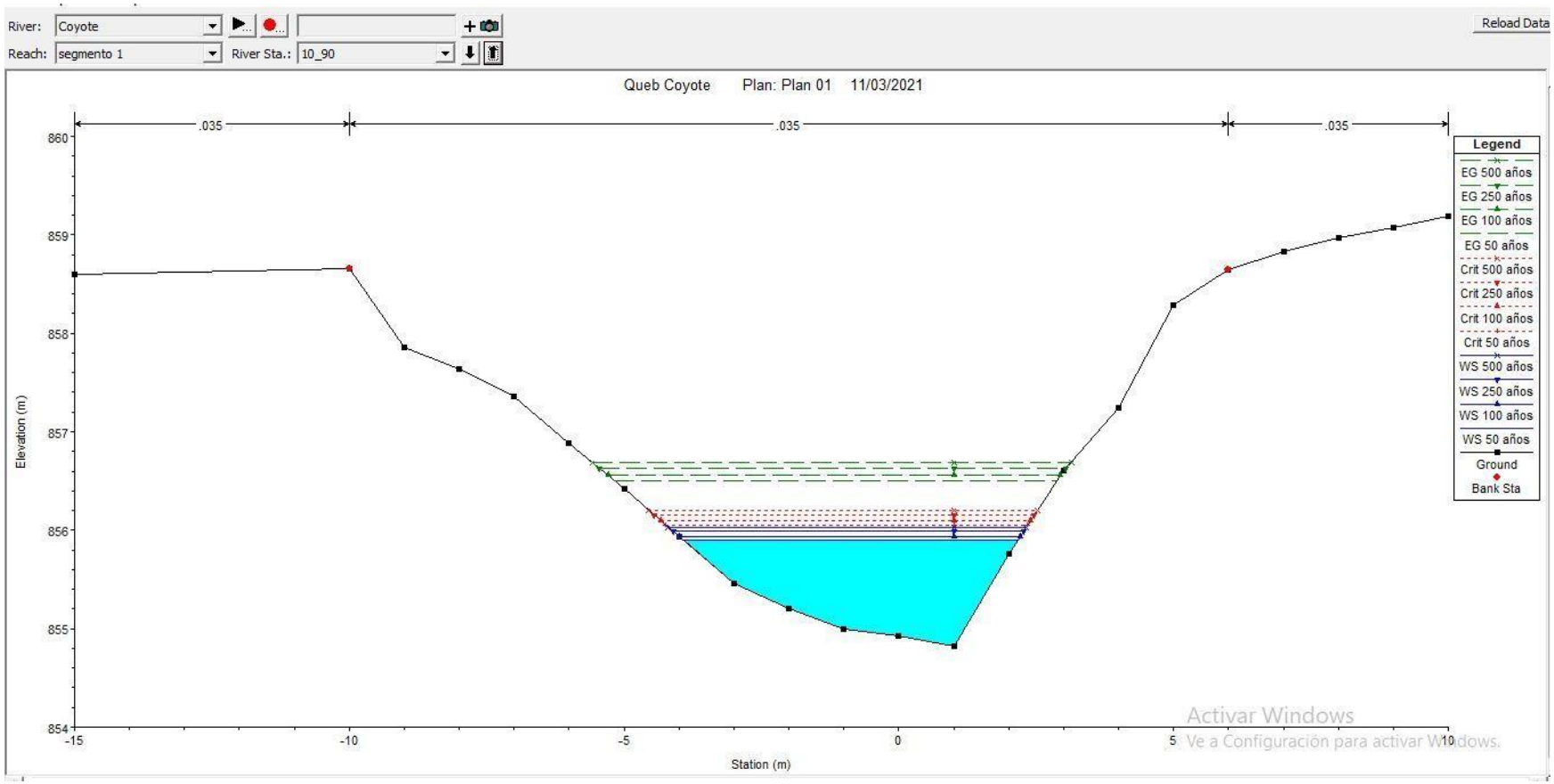

Figura N°45. Sección 0+090.

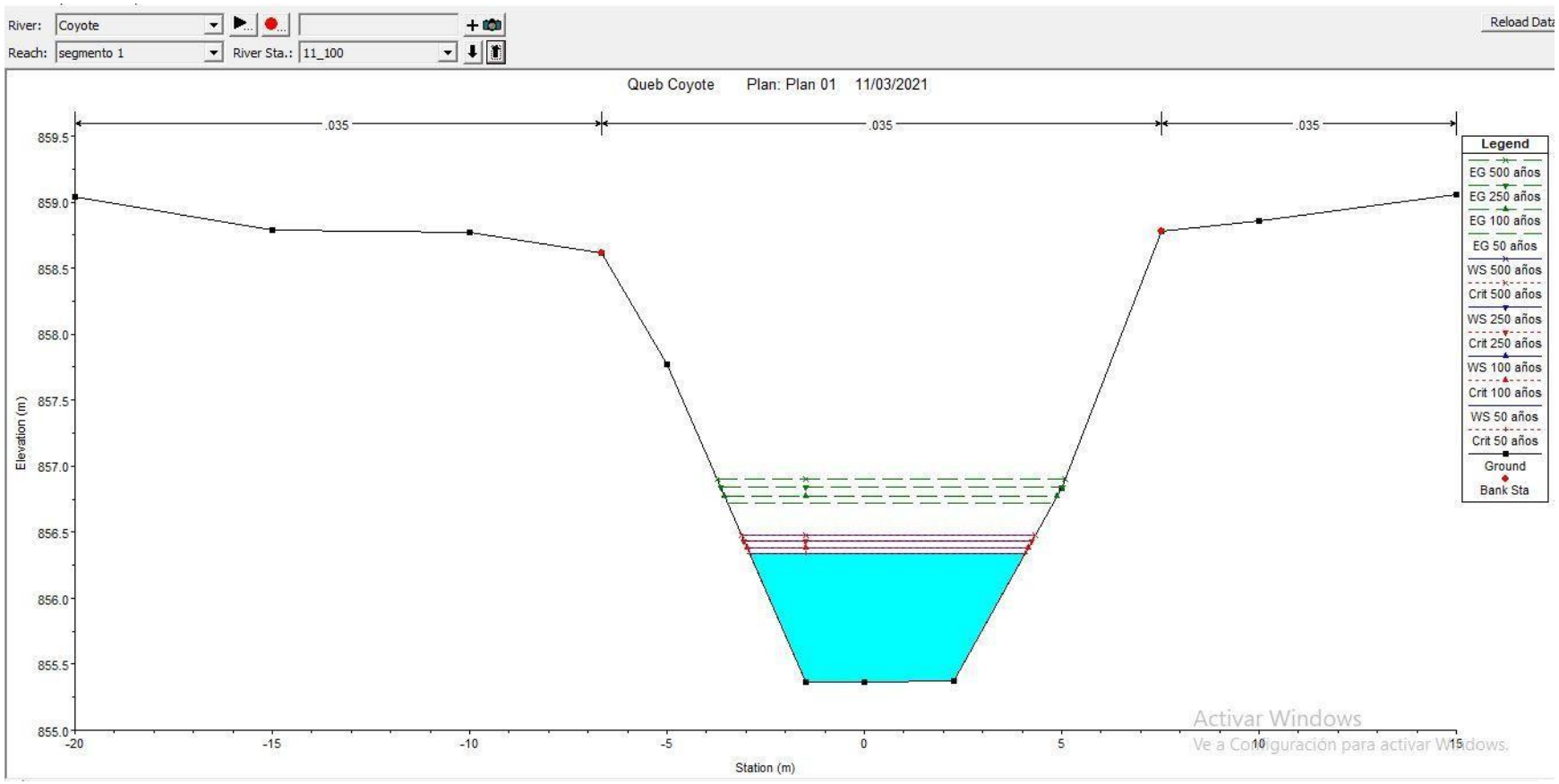

Figura N°46. Sección 0+100.

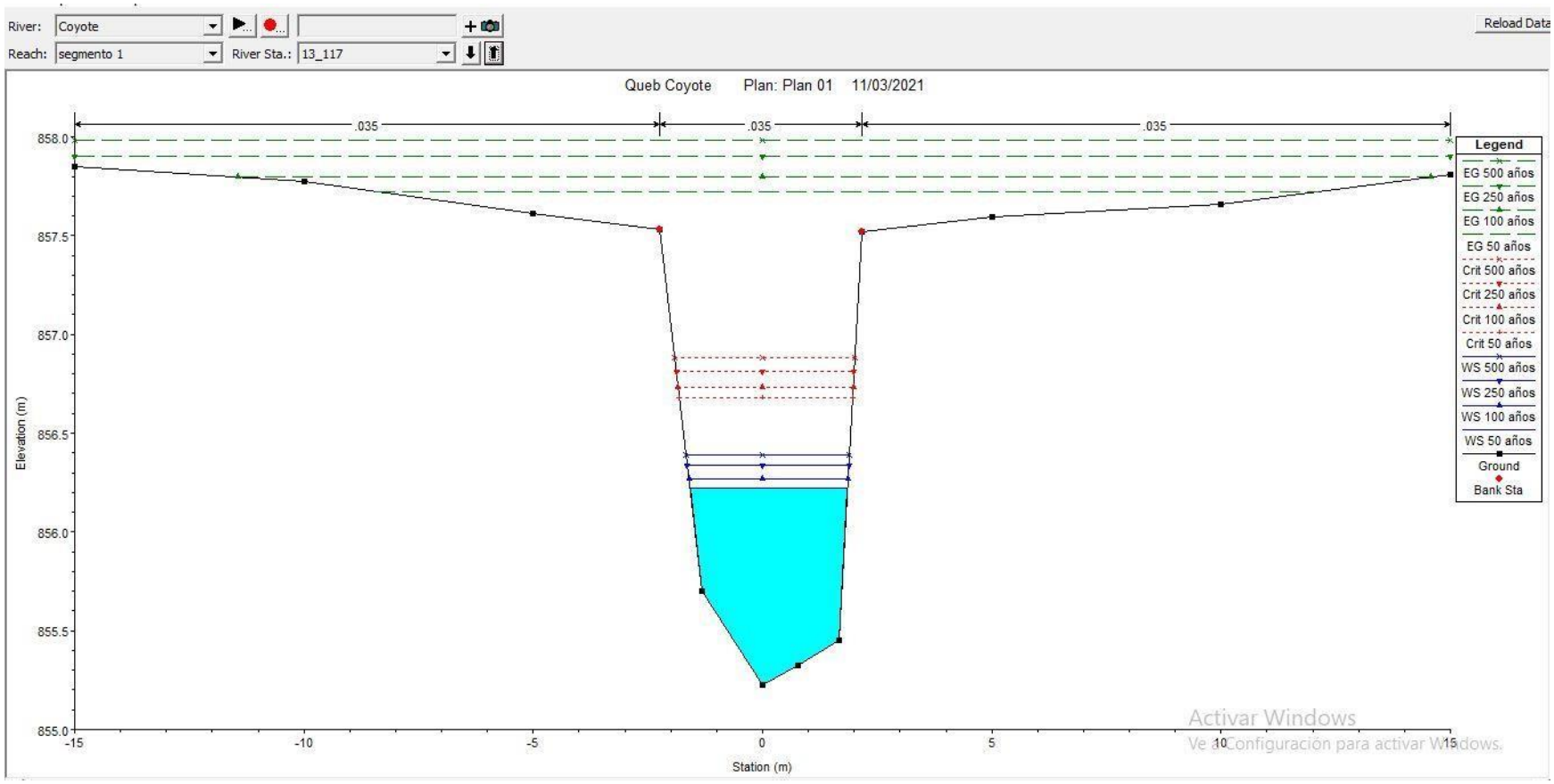

Figura N°47. Sección 0+117.

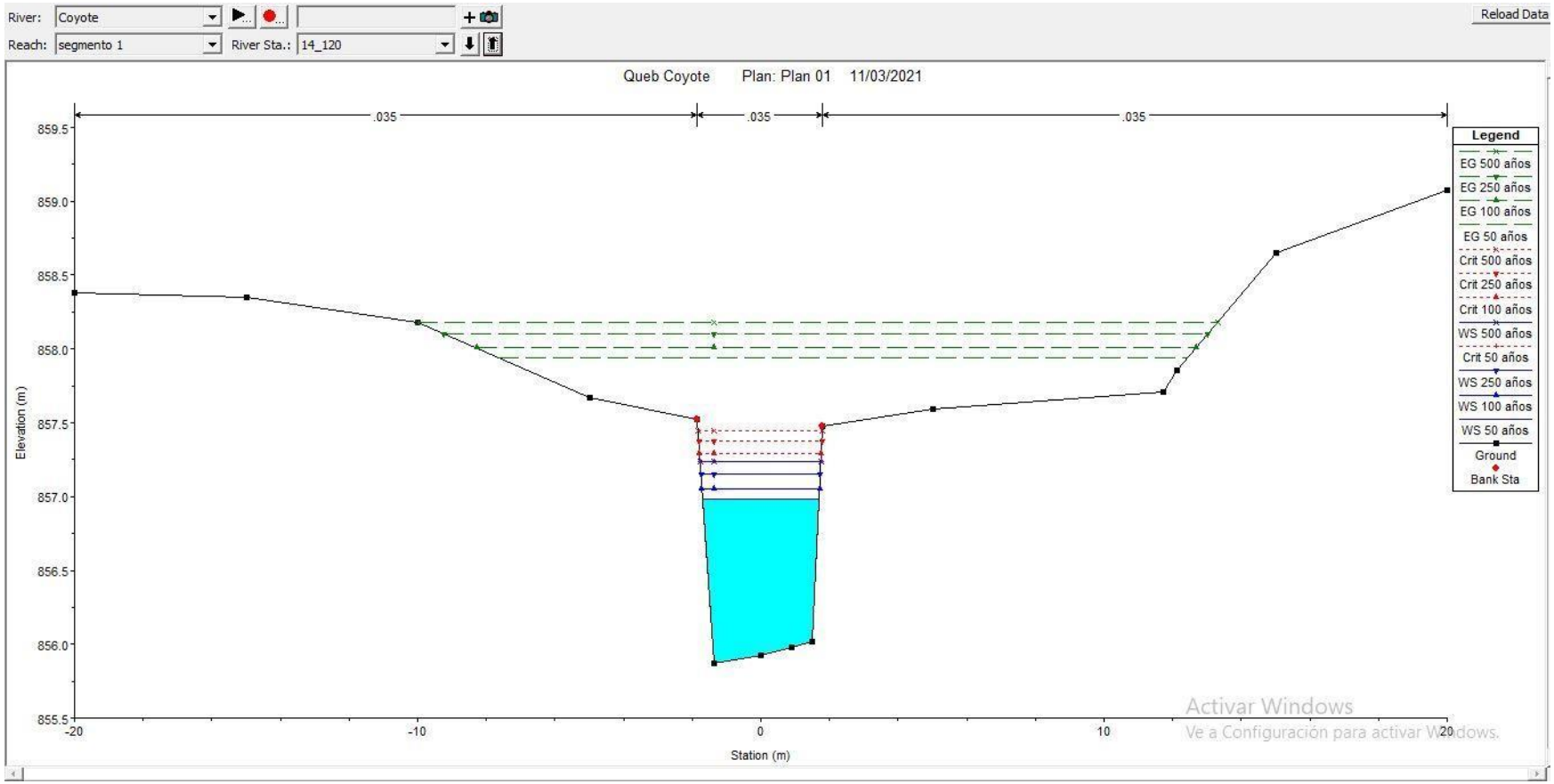

Figura N°48. Sección 0+120.

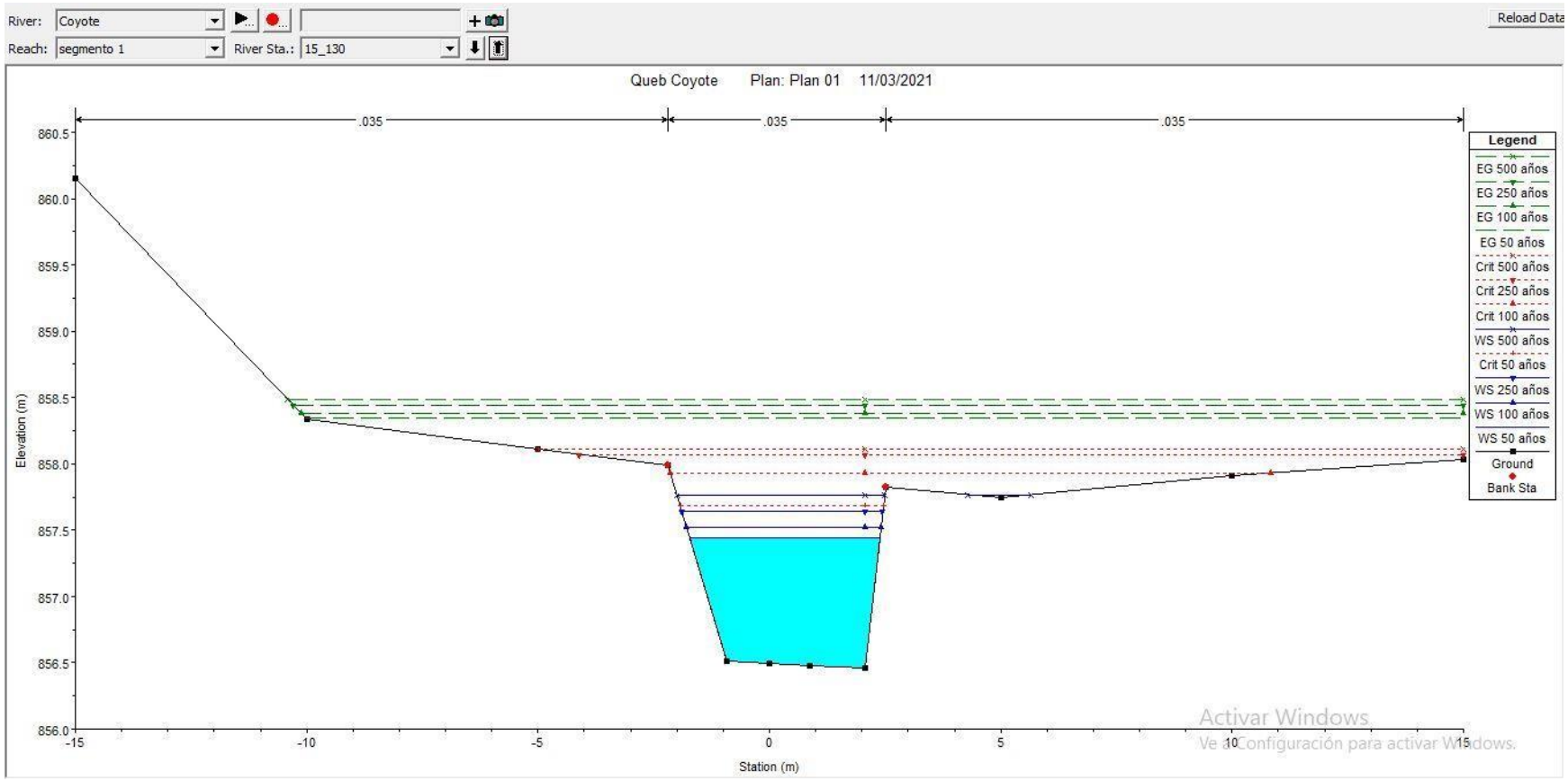

Figura N°49. Sección 0+130.

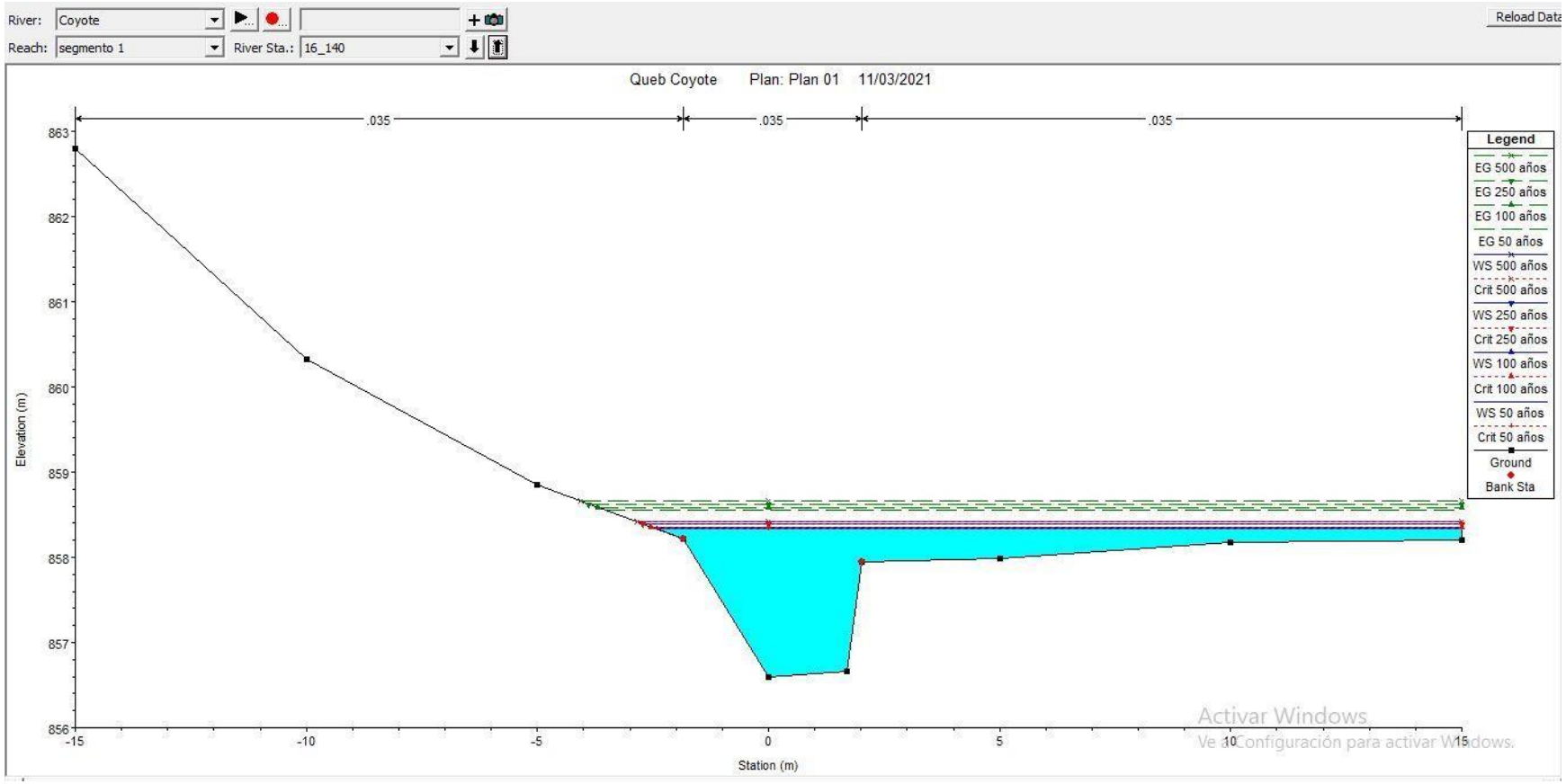

Figura N°50. Sección 0+140.

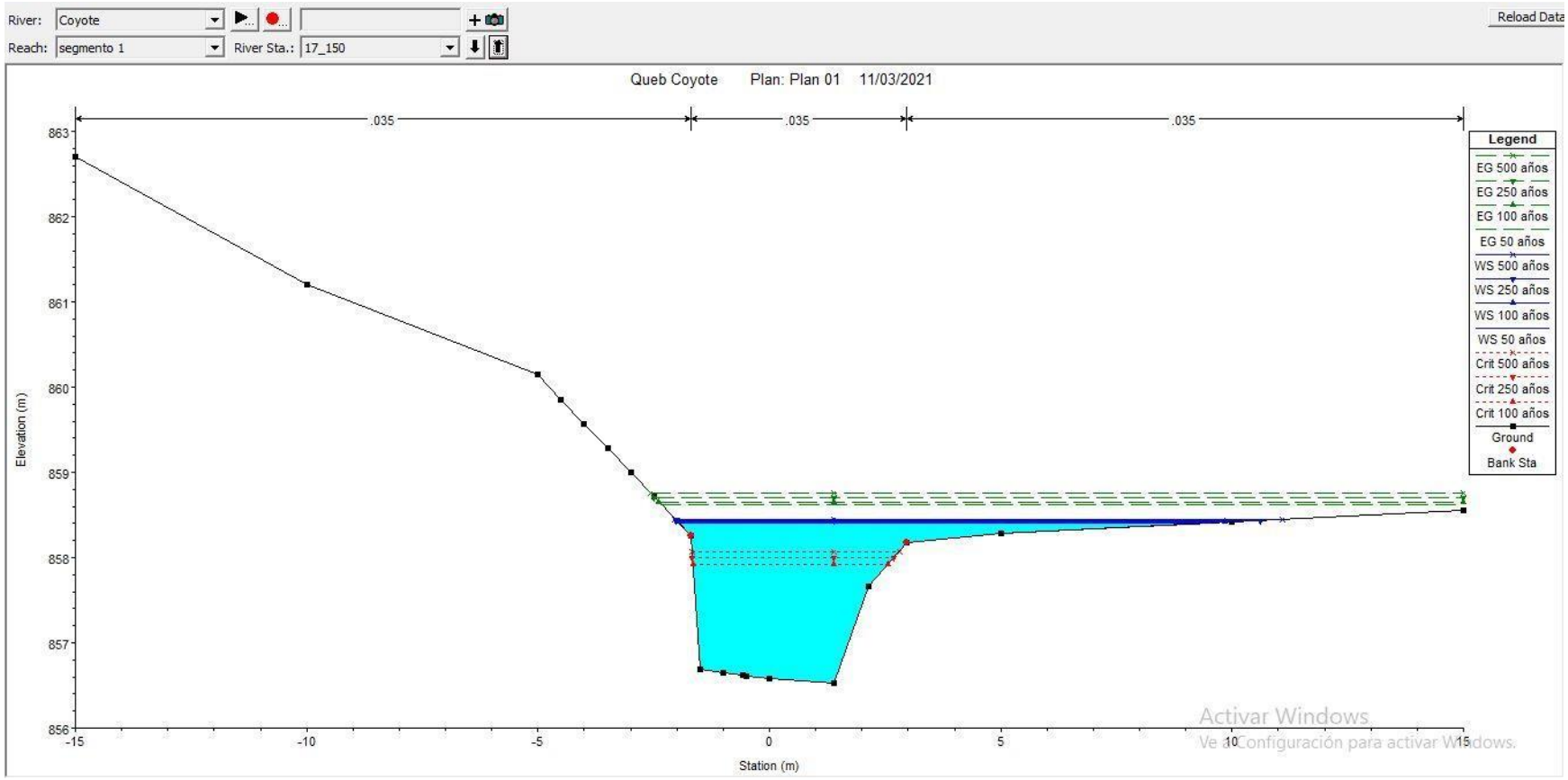

Figura N°51. Sección 0+150.

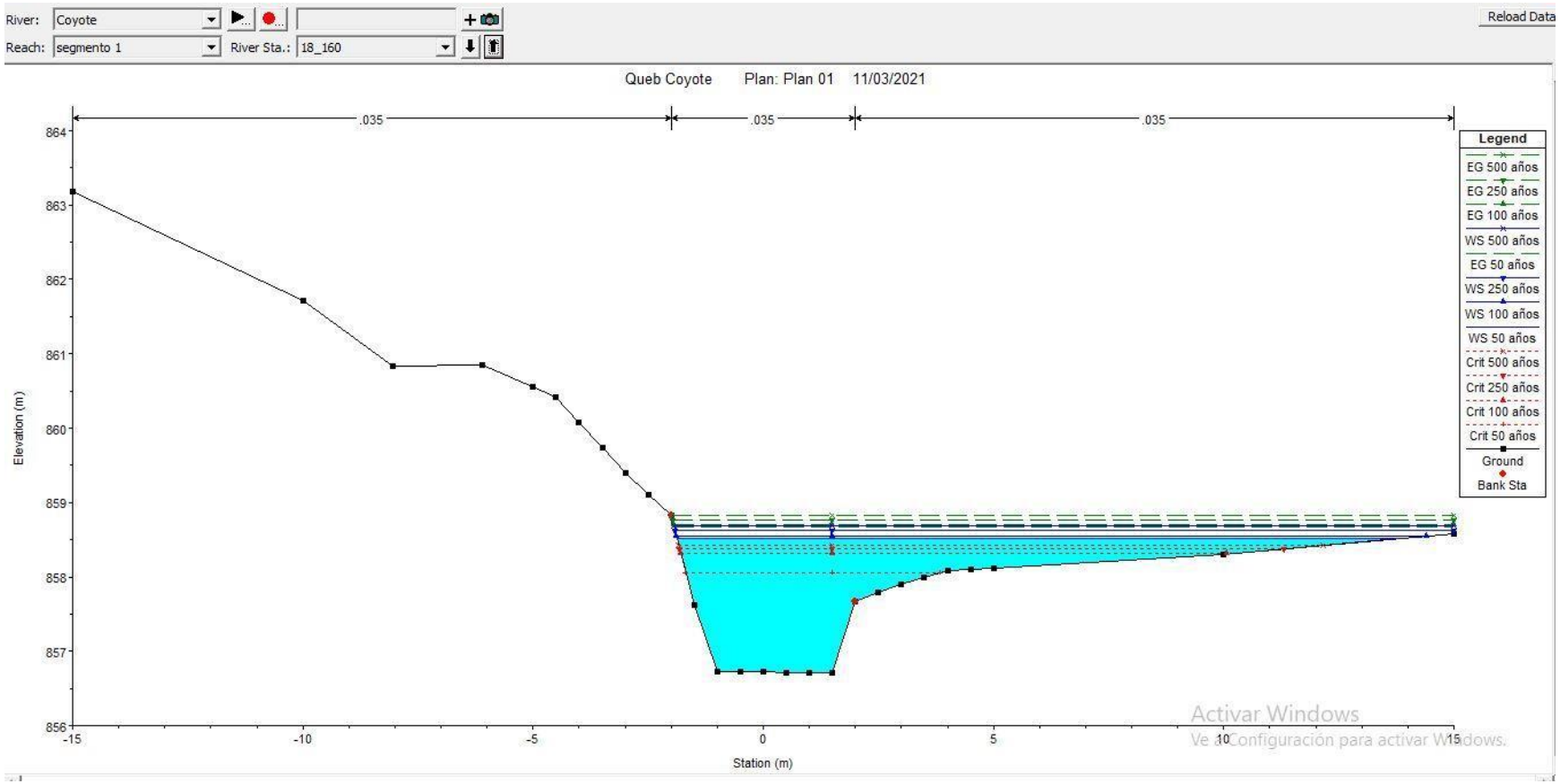

Figura N°52. Sección 0+160.

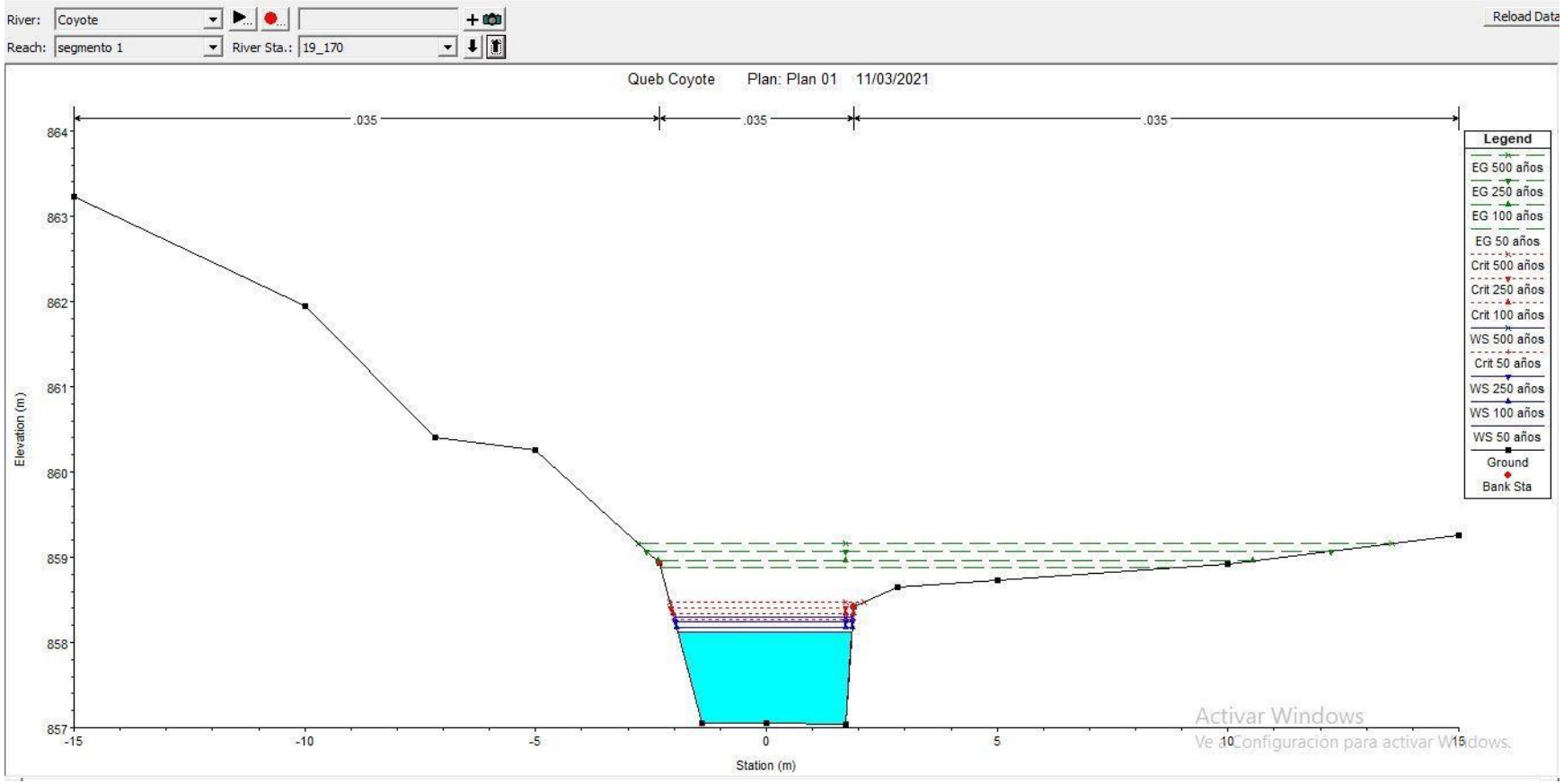

Figura N°53. Sección 0+170.

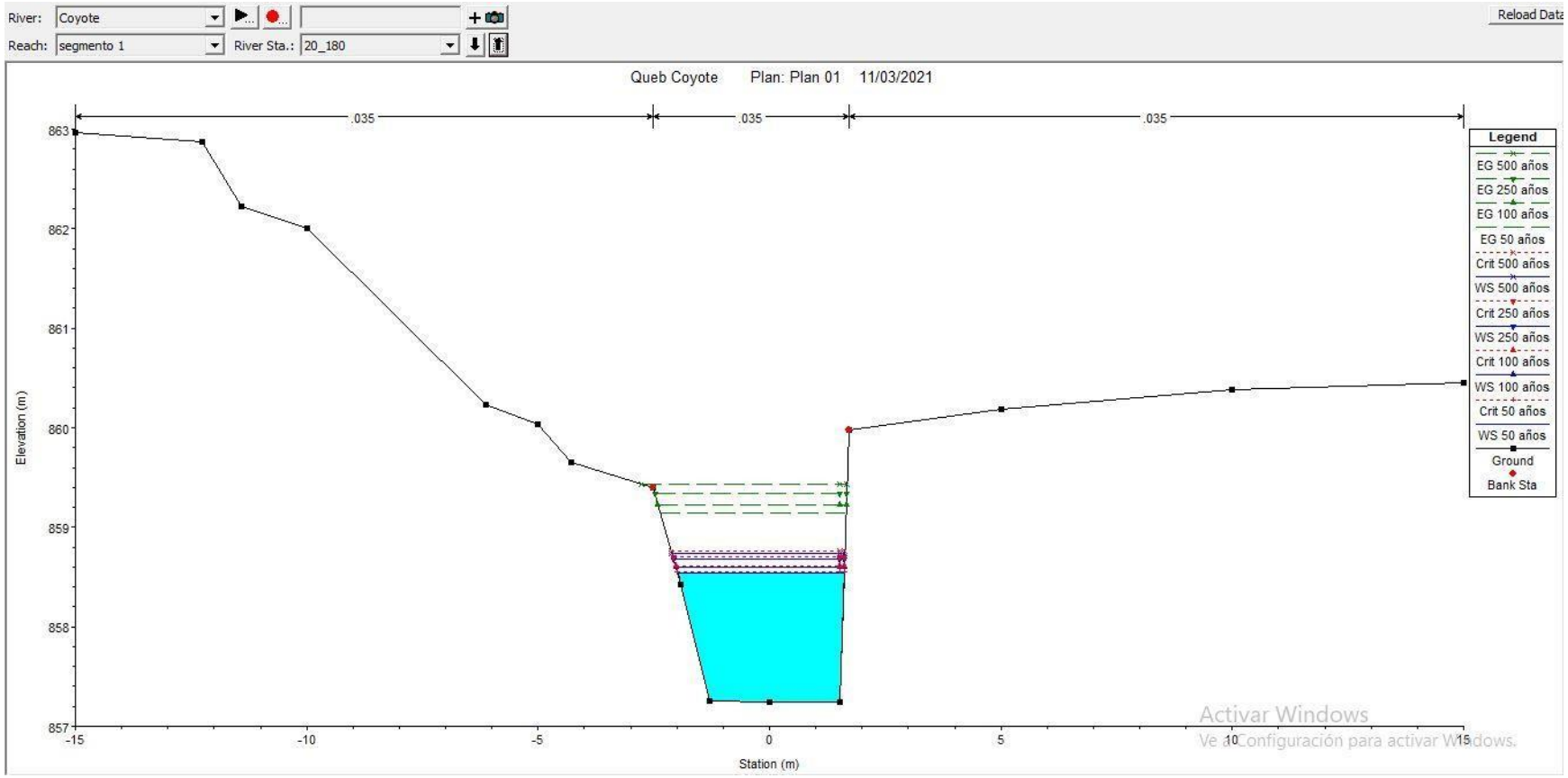

Figura N°54. Sección 0+180.

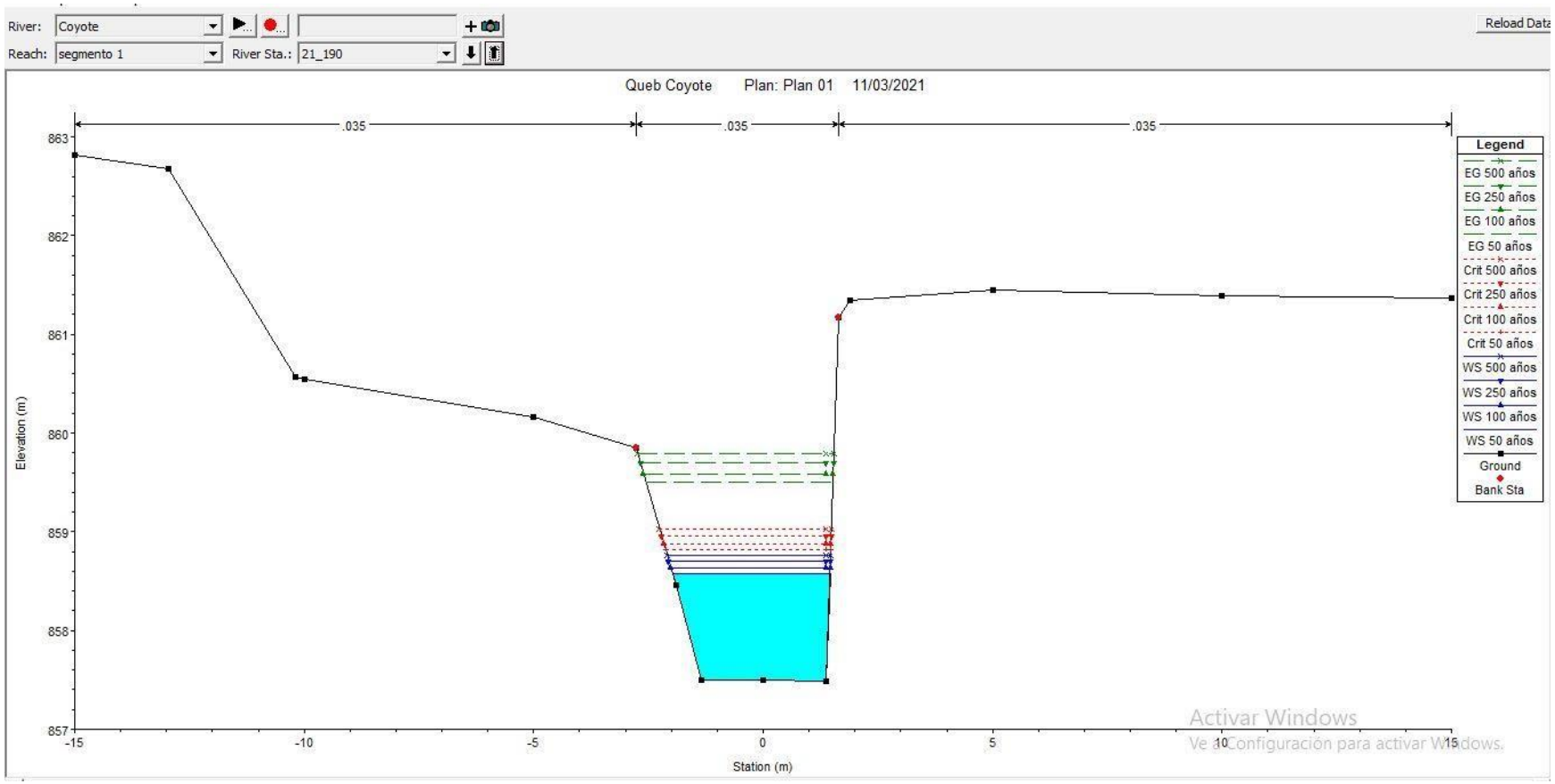

Figura N°55. Sección 0+190.

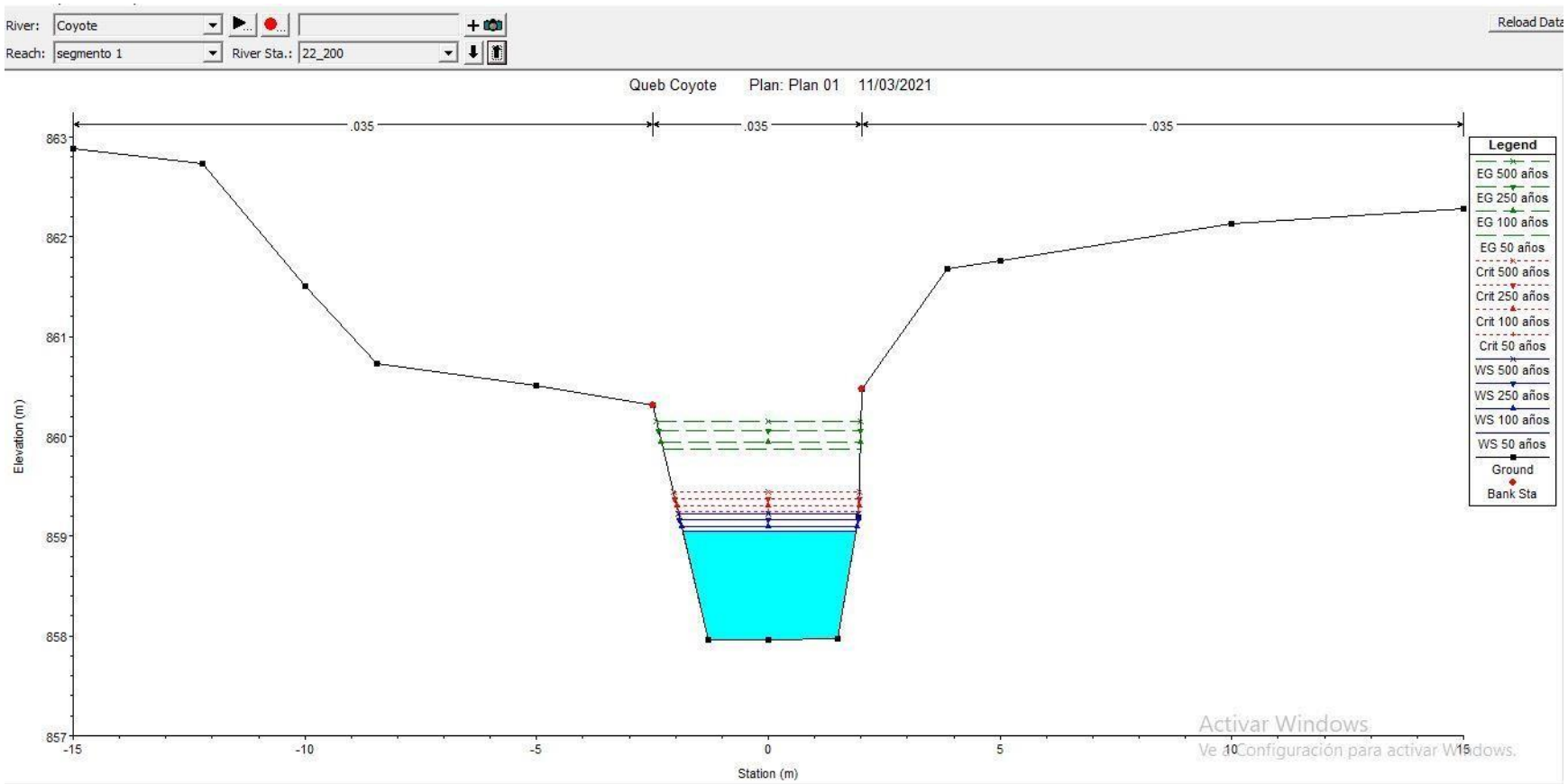

Figura N°56. Sección 0+200.

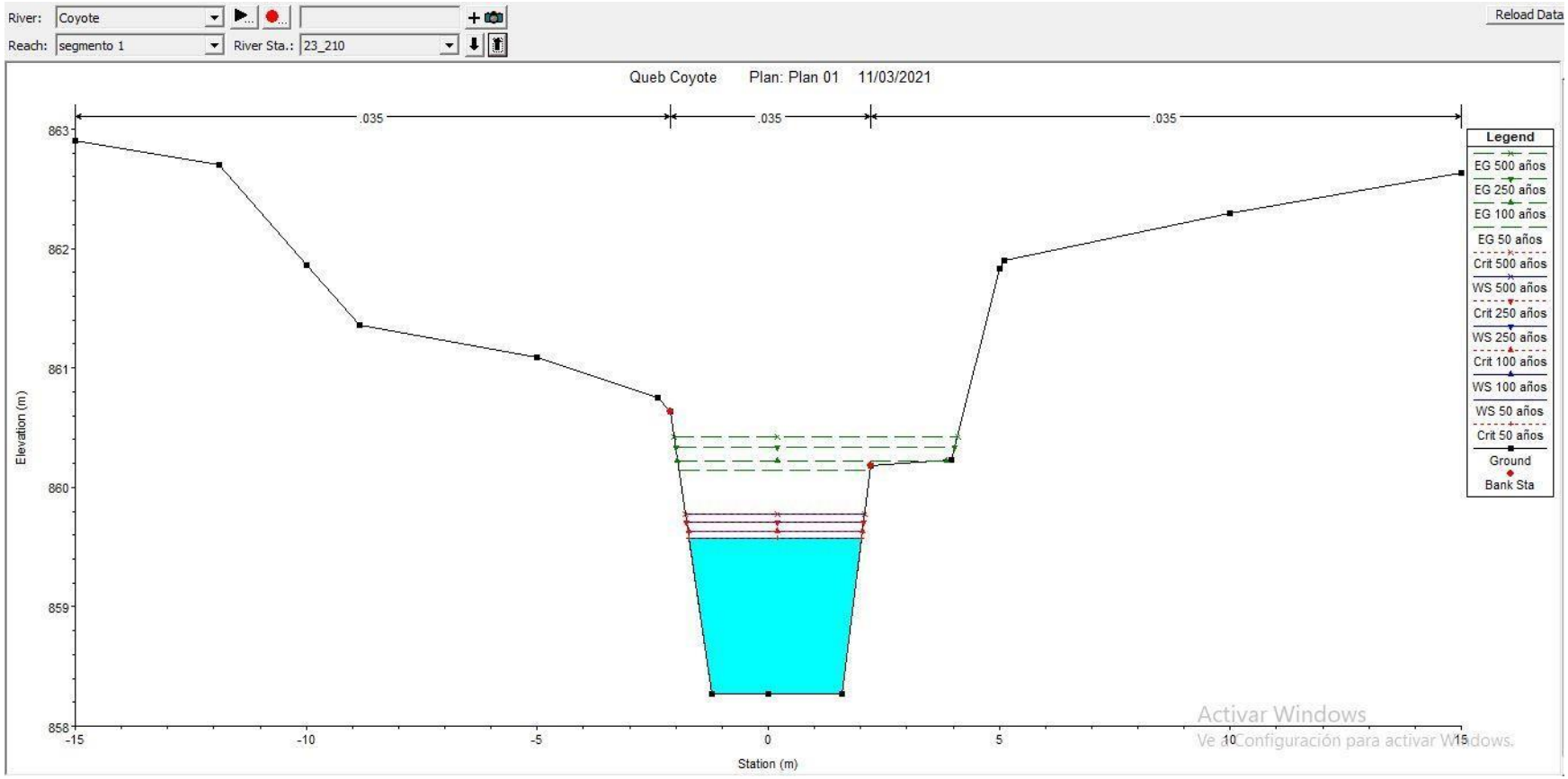

Figura N°57. Sección 0+210.

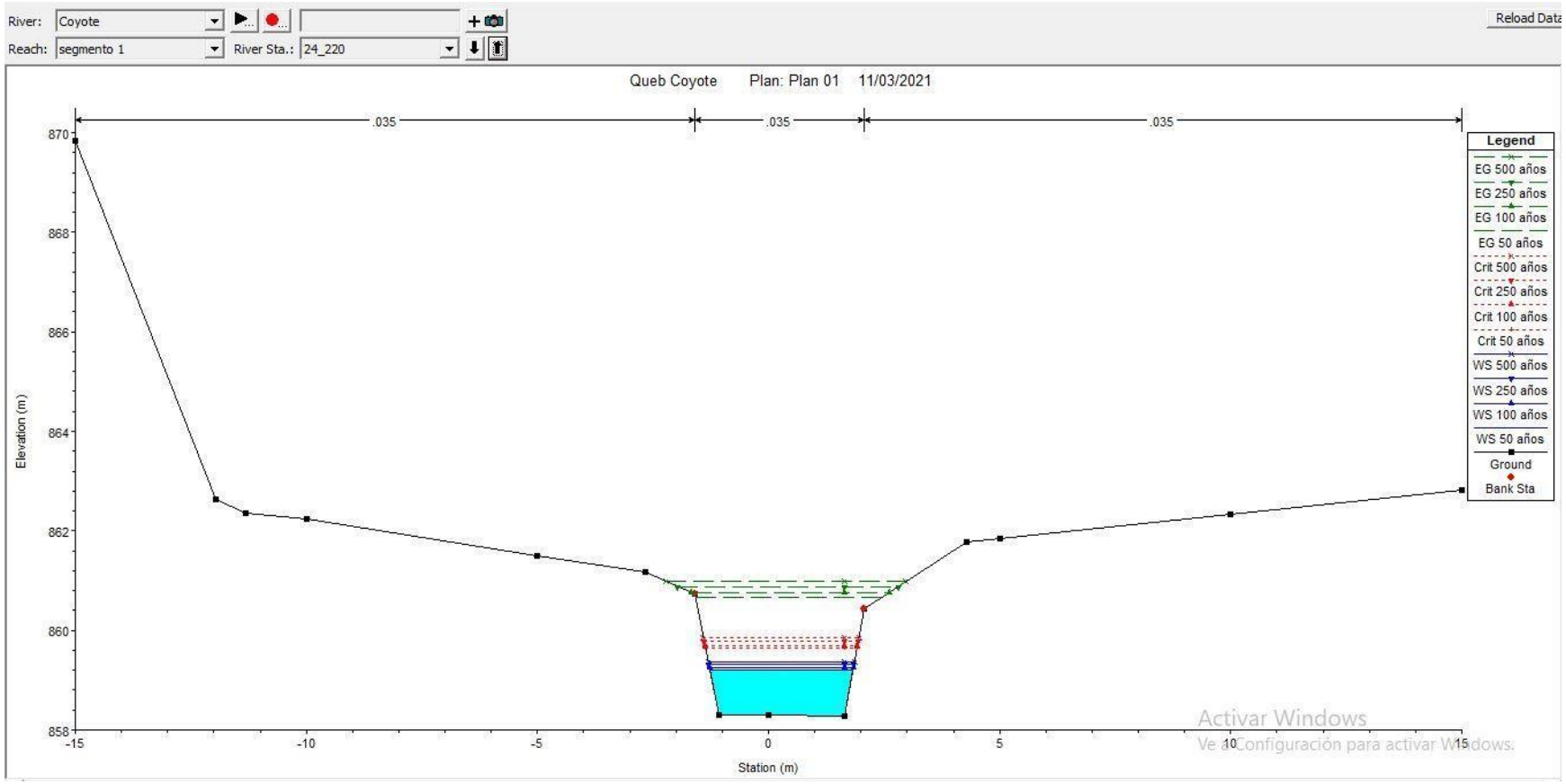

Figura N°58. Sección 0+220.

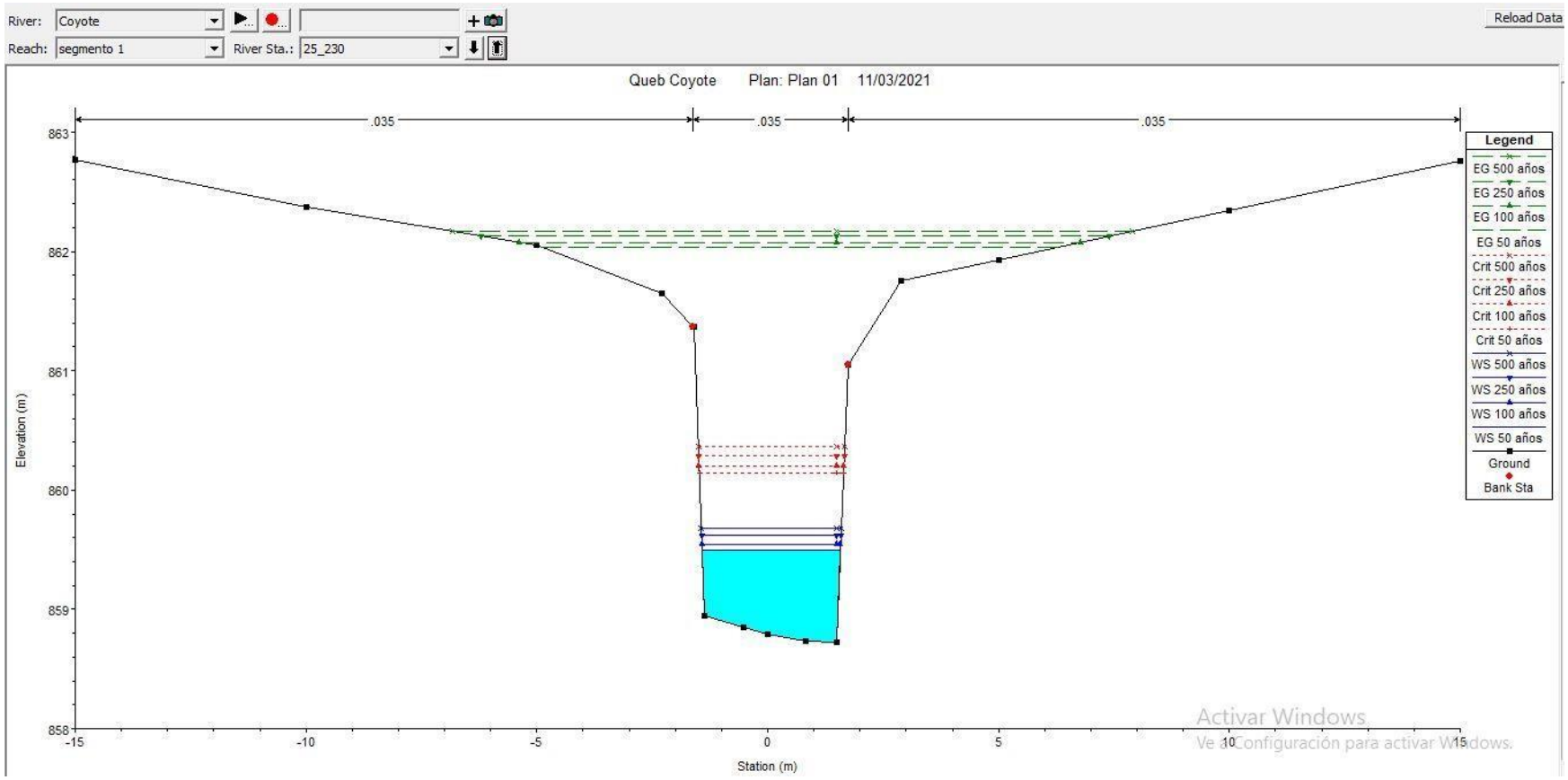

Figura N°59. Sección 0+230.

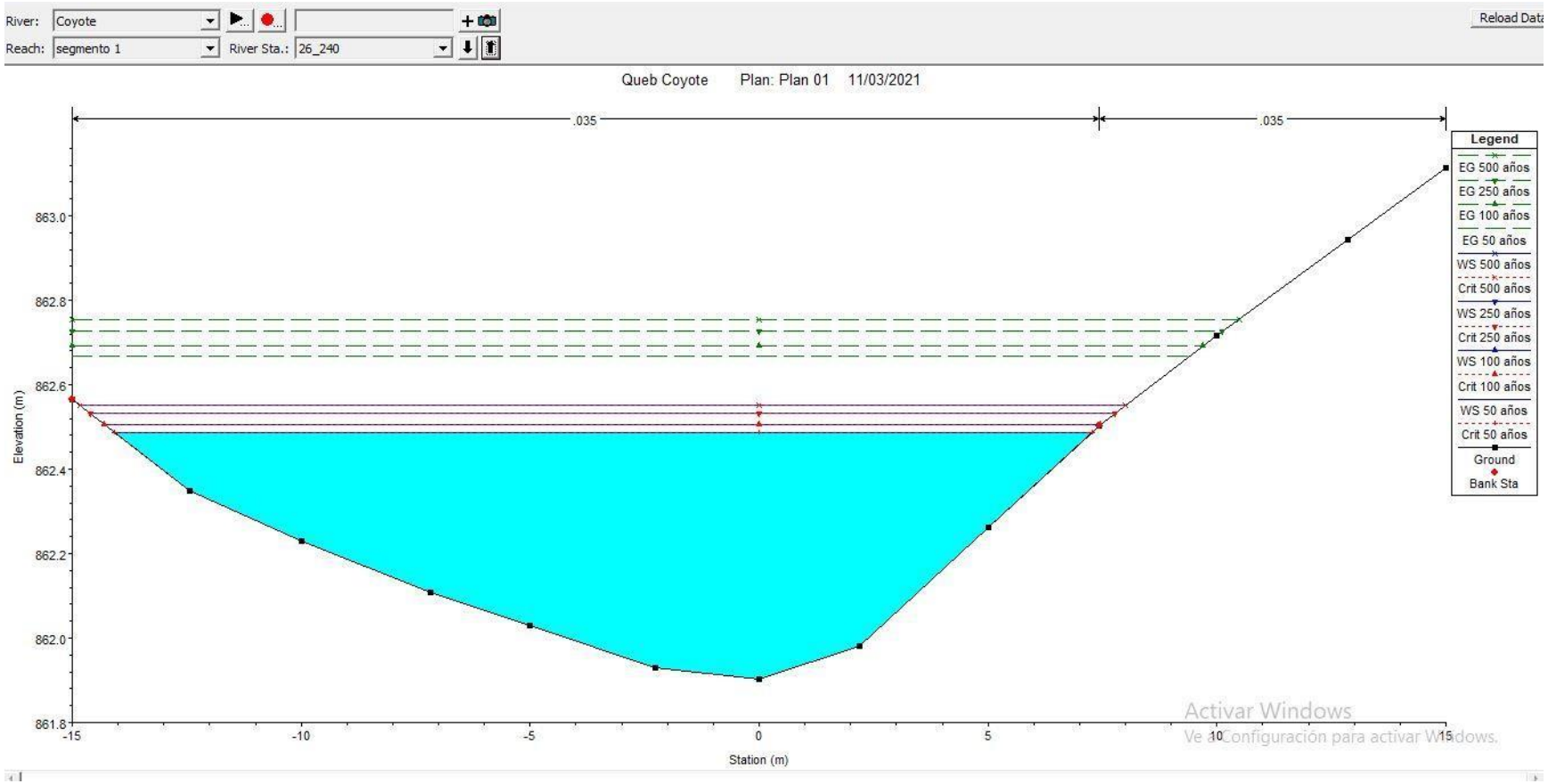

Figura N°60. Sección 0+240.

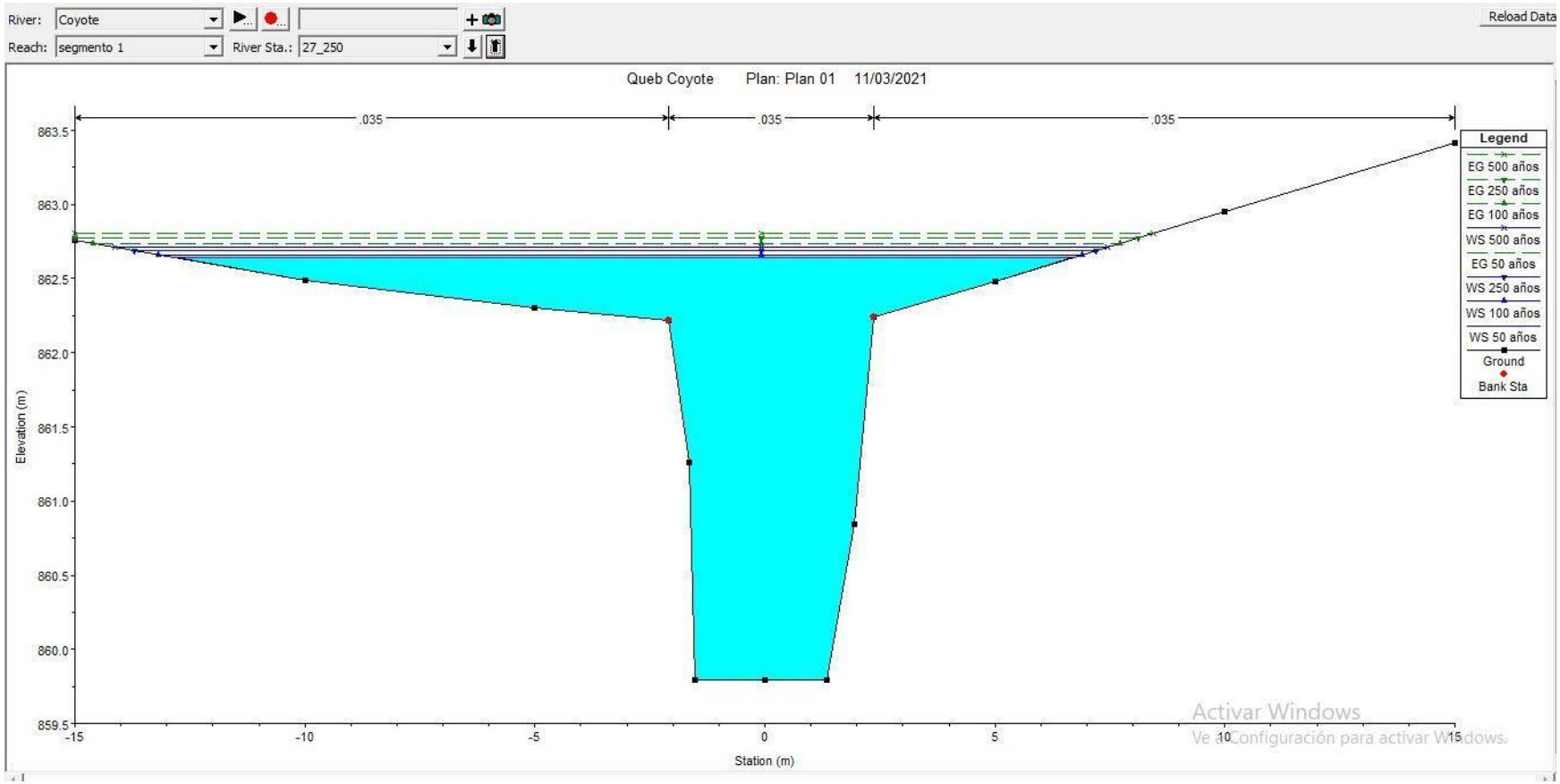

Figura N°61. Sección 0+250.

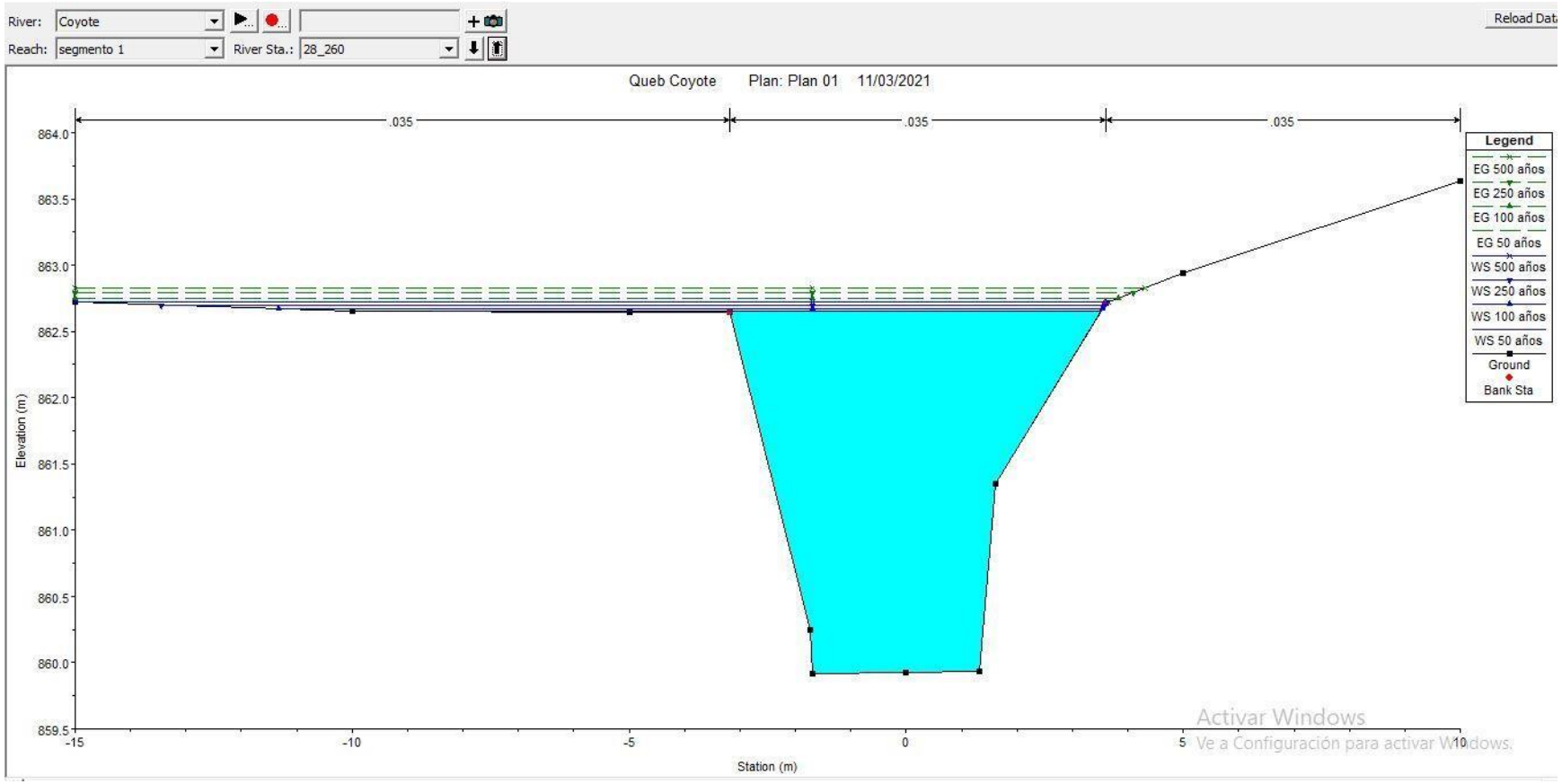

Figura N°62. Sección 0+260.

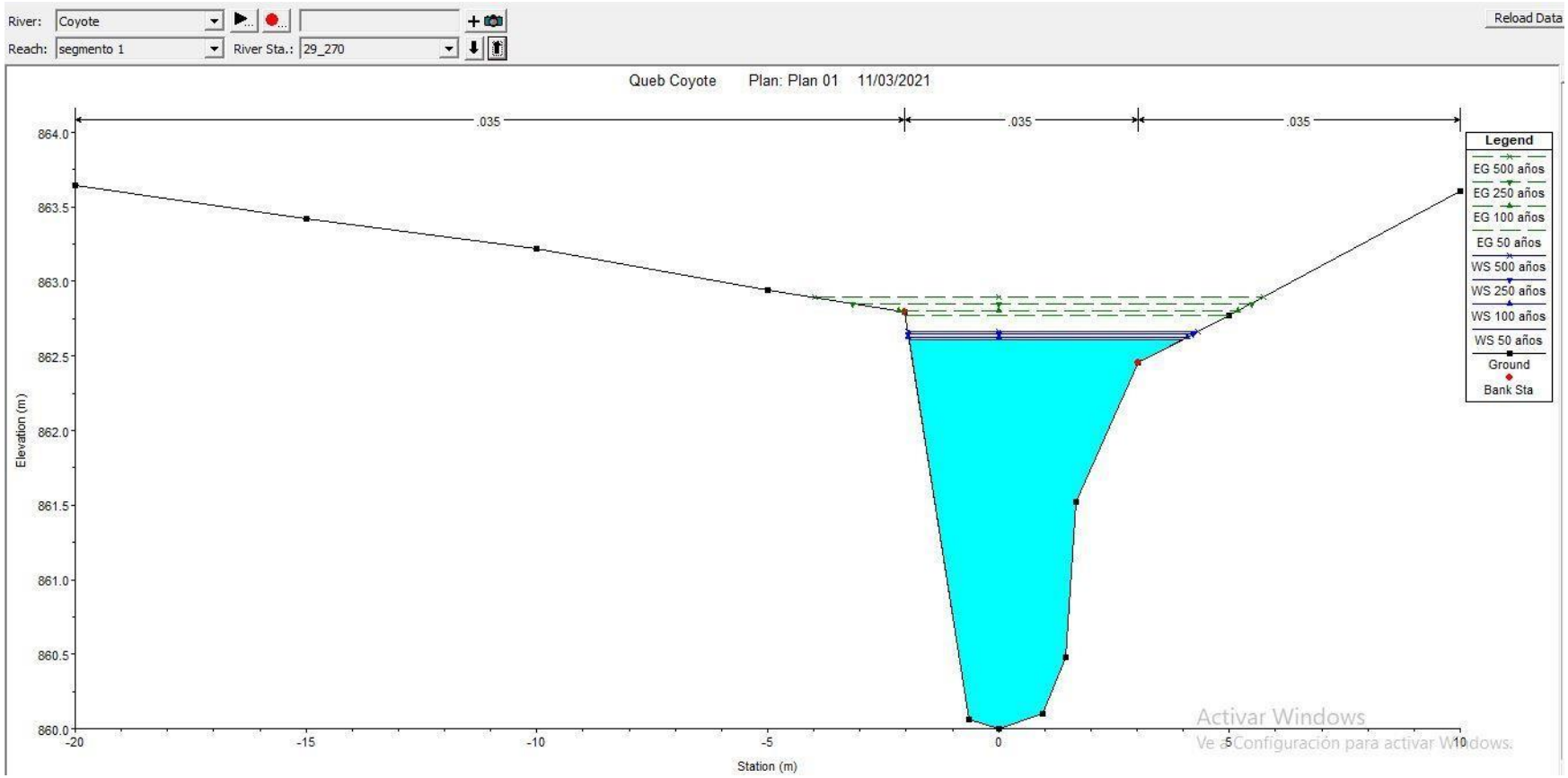

Figura N°63. Sección 0+270.

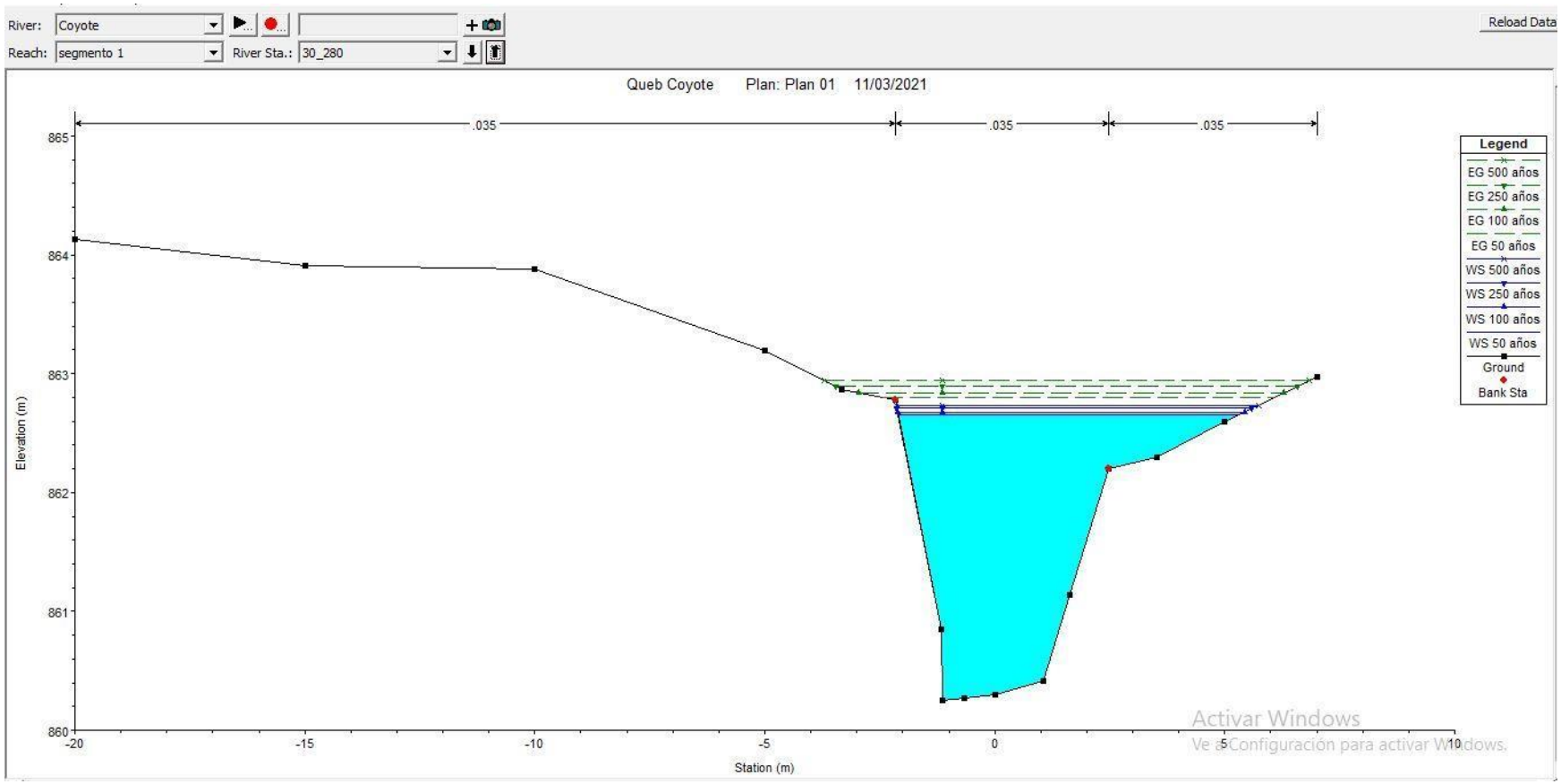

Figura N°64. Sección 0+280.

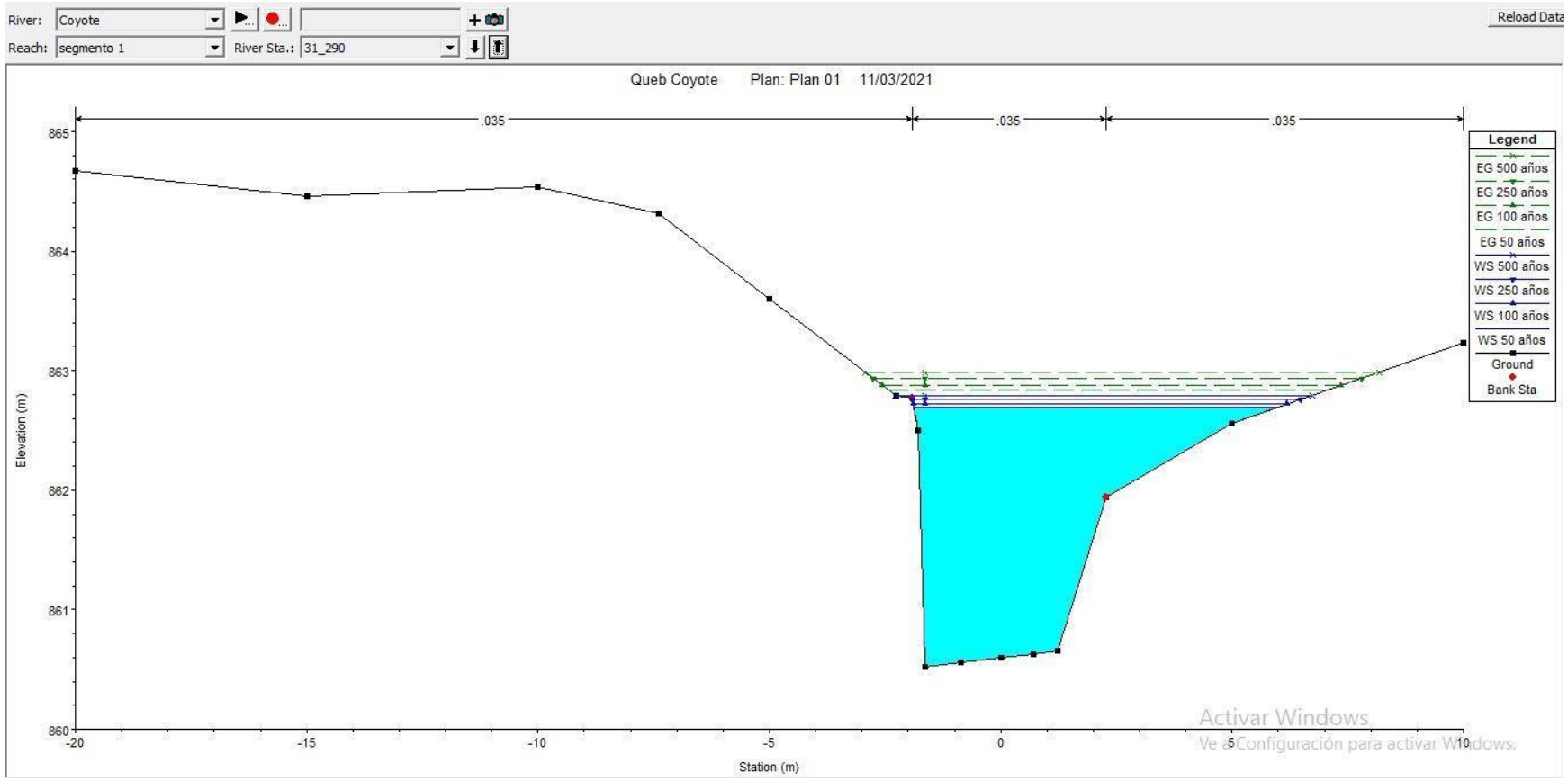

Figura N°65. Sección 0+290.

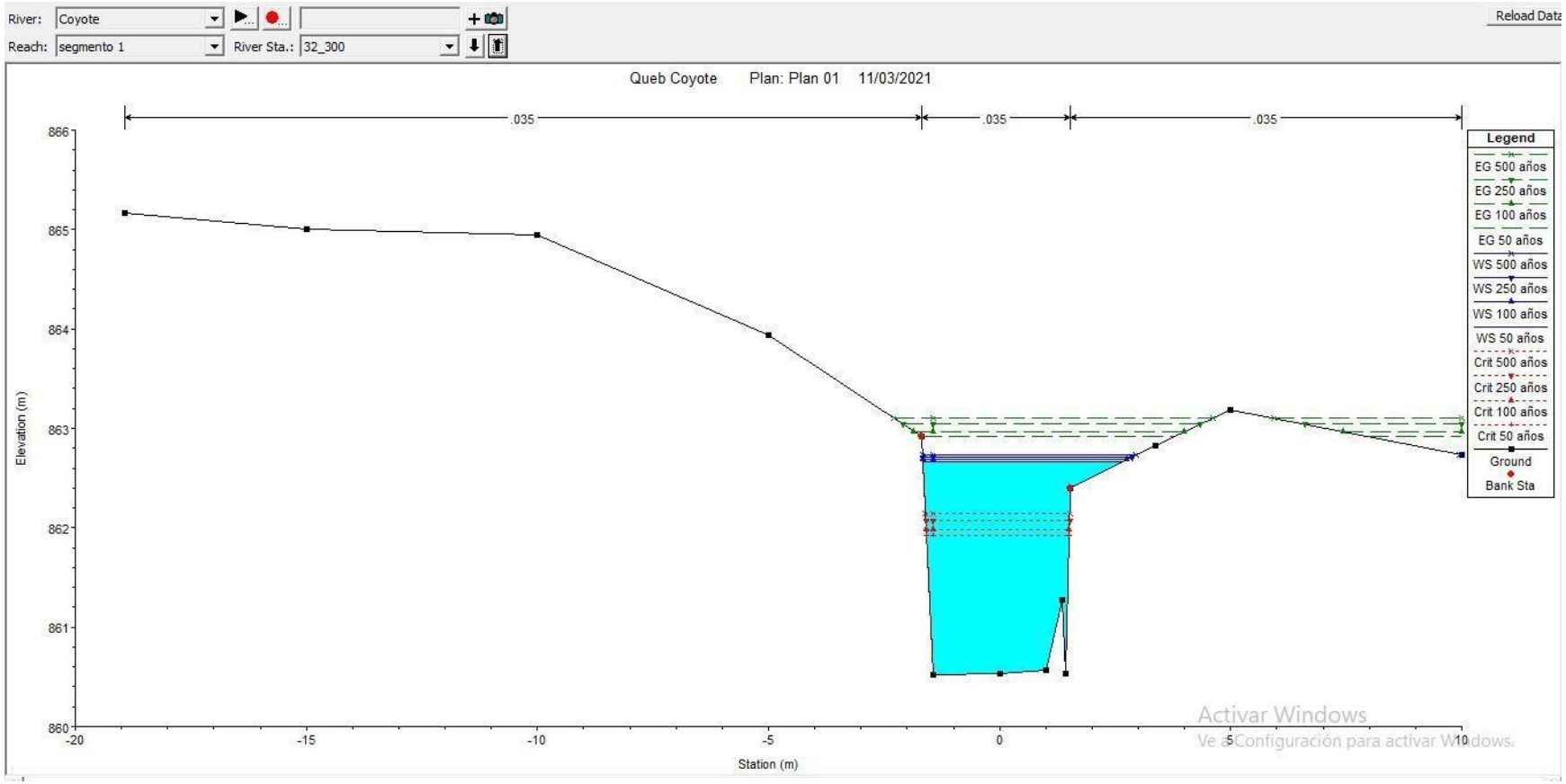

Figura N°66. Sección 0+300.

Anexo 6

Secciones topográficas levantadas para el análisis hidráulico de la quebrada Pilas

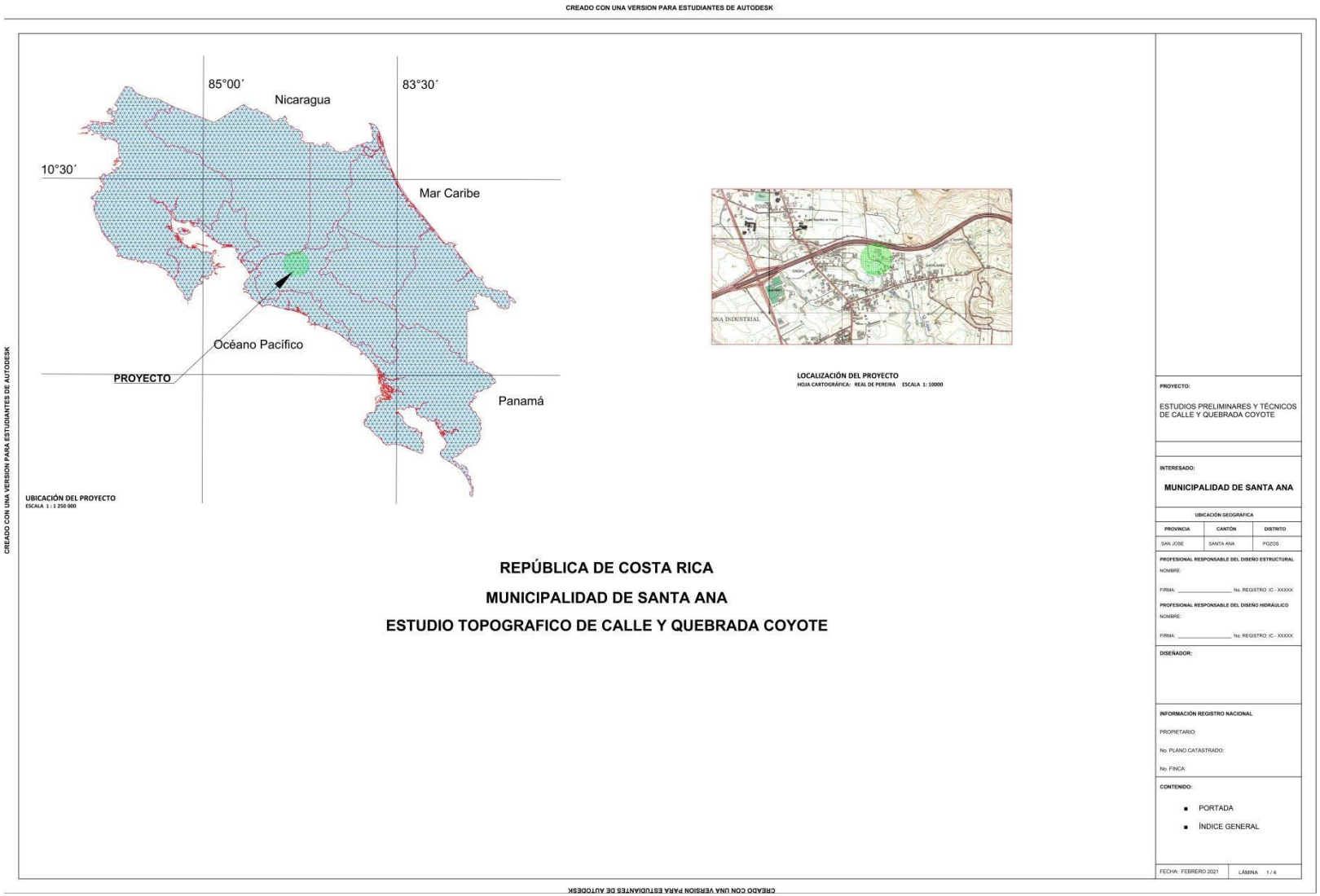

Figura N°67. Mapa de ubicación.

Figura N°68. Mapa de alineamientos en el sector de calle Ramiritos.

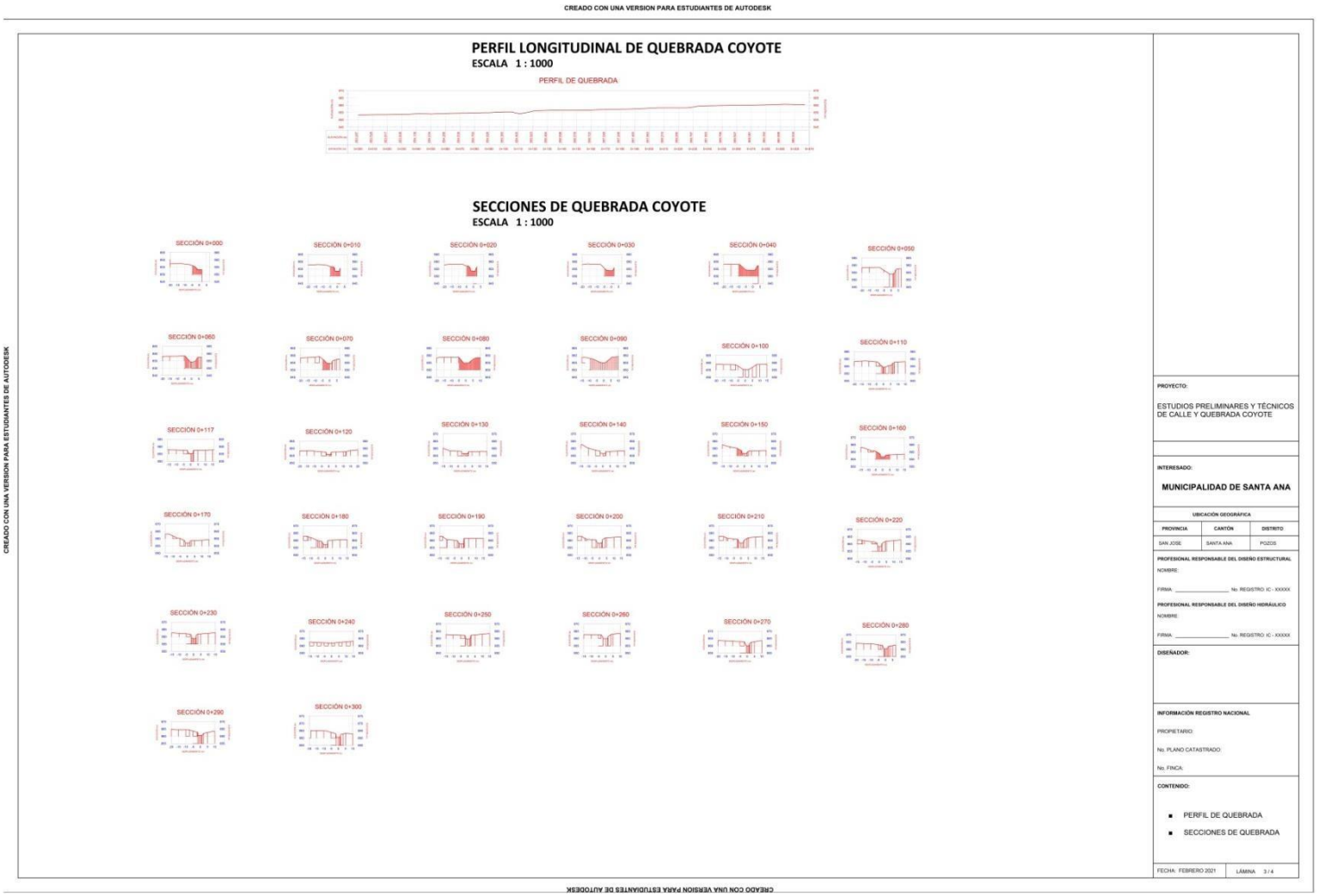

Figura N°69. Perfiles topográficos de la Quebrada Coyote.

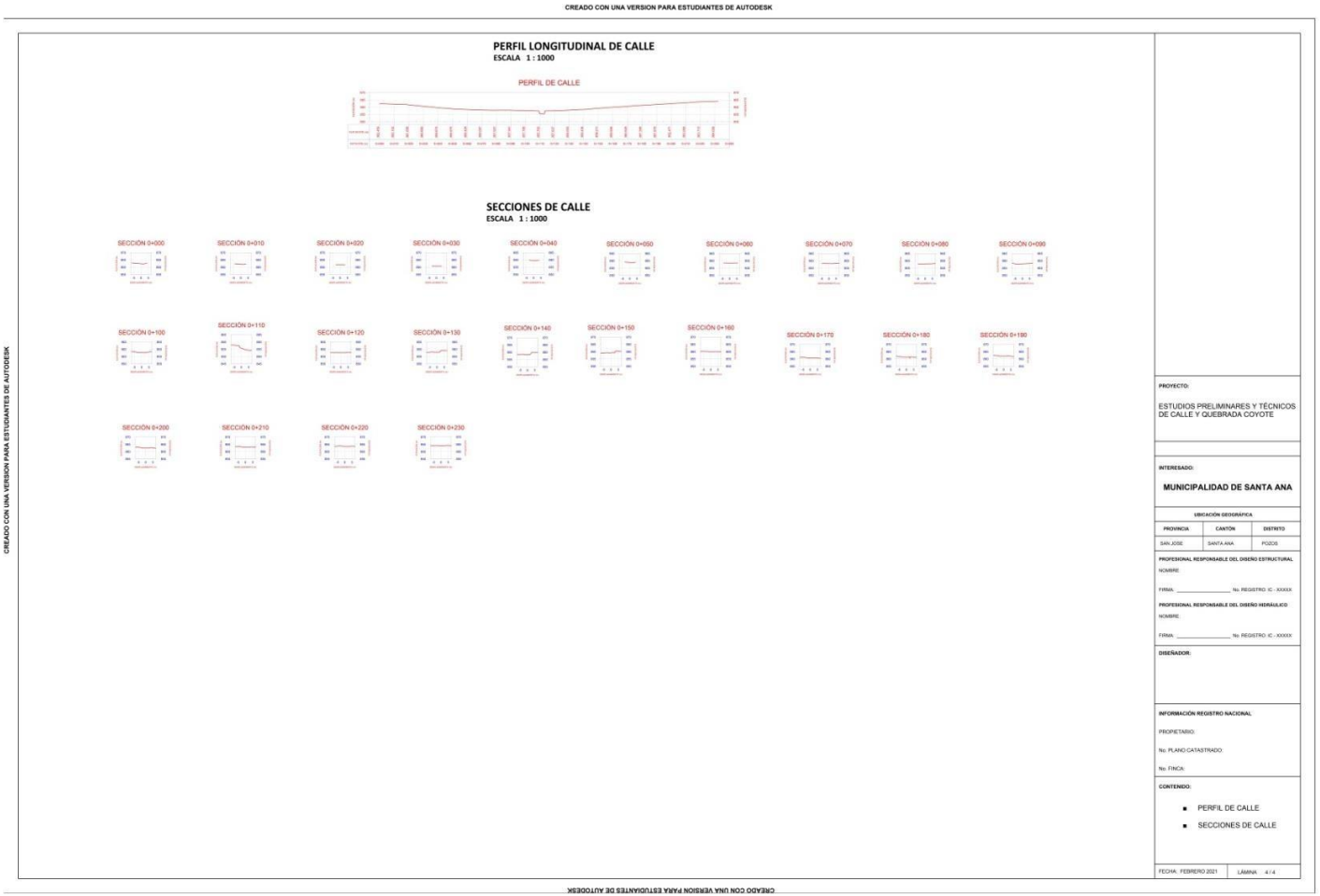

Figura N°70. Perfiles topográficos de la calle Ramiritos.

Anexo 7

Detalles geotécnicos de las columnas estratigráficas y Fotografías

ENSAYO SPT (P-1)

Margen derecha aguas abajo

GEOTECTICA

FECHA	10/2/2021	***RESPONSABLE***	Jesús Solís
UBICACIÓN	Pozos, Santa Ana	***PROFUNDIDAD (m)***	18
NIVEL DE PERF.	NIVEL ACTUAL	***SISTEMA DE PERFORACIÓN***	PERCUCIÓN SPT y rotación
OBSERVACIONES:	N.F.= 2 m		

INT. (m)		M	TIPO	Nspt (0 – 20 – 40)	Nspt	Qad Ton/m2	Cu Ton/m2	RQD	REC (%)	Φ	OBSERVACIONES / CLASIFICACIÓN SUCS
0.00	0.45	1	TP		30			-	-		Relleno de bloques y gravas
0.45	2.50	2	NQ		REBOTA			-	20		
2.50	4.00	3	NQ		REBOTA			0	27		Ignimbritas color gris y café compuestas por fiames, fragmentos líticos y cristales, fracturadas con ángulos verticales y oblicuos (45° aprox.) y levemente alteradas
4.00	5.50	4	NQ		REBOTA			0	31		
5.50	7.00	5	NQ		REBOTA			0	92		
7.00	8.50	6	NQ		REBOTA			10	100		
8.50	10.00	7	NQ		REBOTA			8	45		
10.00	11.50	8	NQ		REBOTA			8	13		
11.50	13.00	9	NQ		REBOTA			15	39		
13.00	14.50	10	NQ		REBOTA			5	13		
14.50	16.00	11	NQ		REBOTA			0	21		
16.00	17.50	12	NQ		REBOTA			0	33		
17.50	18.00	13	NQ		REBOTA			0	53		
FIN					FIN						

ENSAYO SPT (P-2)

Margen izquierda aguas abajo

FECHA	12/2/2021	***RESPONSABLE***	Jesús Solís
UBICACIÓN	Pozos, Santa Ana	***PROFUNDIDAD (m)***	18
NIVEL DE PERF.	NIVEL ACTUAL	***SISTEMA DE PERFORACIÓN***	PERCUCIÓN SPT y rotación
OBSERVACIONES:	N.F.=2 m		

INT. (m)		M	TIPO	Nspt (0 – 20 – 40)	Nspt	Qad Ton/m2	Cu Ton/m2	RQD	REC (%)	Φ	OBSERVACIONES / CLASIFICACIÓN SUCS
0.00	0.45	1	TP		30			-	-		Relleno de bloques y gravas
0.45	2.50	2	NQ		REBOTA			-	26		
2.50	4.00	3	NQ		REBOTA			0	33		Ignimbritas color gris y café compuestas por fiames, fragmentos líticos y cristales, fracturadas con ángulos verticales y oblicuos (45° aprox.) y levemente alteradas
4.00	5.50	4	NQ		REBOTA			0	11		
5.50	7.00	5	NQ		REBOTA			0	27		
7.00	8.50	6	NQ		REBOTA			20	39		
8.50	10.00	7	NQ		REBOTA			12	27		
10.00	11.50	8	NQ		REBOTA			0	33		
11.50	13.00	9	NQ		REBOTA			0	48		
13.00	14.50	10	NQ		REBOTA			0	49		
14.50	16.00	11	NQ		REBOTA			0	80		
16.00	17.50	12	NQ		REBOTA			0	57		
17.50	18.00	13	NQ		REBOTA			0	100		
FIN					FIN						

Fotografía N° 10: Perforación P-1.

Fotografía N° 11: Perforación P-2

Fotografía N° 12: Perfil refracción sísmica margen derecha (aguas abajo)

Fotografía N° 13: Perfil refracción sísmica margen izquierda (aguas abajo)

Fotografía N° 14: Perforación P-1 (Margen der. Aguas abajo)

Fotografía N° 15: Perforación P-2 (Margen izq. Aguas abajo)

San José, Costa Rica, 16 de marzo del 2021

Proyecto: Alcantarilla Santa Ana

Señor

Jesús Solís
Teléfono: 8944-9480
Correo: jsolis17@gmail.com
San José

Estimado Señor:

A continuación, le presento el resultado de los ensayos realizados al material existente del proyecto de referencia.

Información de la muestra

Fecha de recepción de la muestra: 2021-03-10
Identificación de la muestra: Ver anexo.
Descripción: Núcleos de roca.

Muestreo (s)

(X) Cliente
(-) Personal del laboratorio

Ingreso de Muestra:

(X) RC-05: 16358
(-) RC-84: No hay

Método de Muestreo: **Aplica** **(ver tabla de Ensayos realizados)** **No Aplica**

Plan de Muestreo: según en RC-101"Trabajos diarios en campo"

Fecha de realización del muestreo: No aplica
Lugar del muestreo: No aplica
Lugar de realización del ensayo: Laboratorio 01 LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.

Ensayos Realizados:

Nombre del Ensayo	Método de Ensayo	Ensayo Acreditado (*)	Ensayo No Acreditado (**)
Método de ensayo para la Resistencia a la compresión de núcleos de roca	-	-	X

(Ampliar o reducir esta tabla según lo requerido)

Los ensayos acreditados se identifican con un asterisco (*) y la leyenda "Ensayo Acreditado". Y para los no acreditados se identifican con dos asteriscos (**) y la leyenda "Ensayo no acreditado".Ensayo El laboratorio realizó el ensayo de acuerdo con los procedimientos y registros que forman parte del sistema de Gestión de calidad.

Observaciones:

La muestra se analiza tal cual como fue suministrada por el cliente.

Resultados de Ensayos

Anexo Nº	Descripción	Página (s)
1	Falla de Núcleos de roca	3

Con la mejor disponibilidad para aclarar, ampliar o comentar el informe,

Atentamente,

LUIS GUILLERMO DE LA TRINIDAD CHAVARRIA BRAVO (FIRMA) Firmado digitalmente por LUIS GUILLERMO DE LA TRINIDAD CHAVARRIA BRAVO (FIRMA) Fecha: 2021.03.17 12:56:07 -06'00'

Ing. Luis Guillermo Chavarría Bravo, M.Sc.
Gerente General
LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.
Encargado de aprobar el informe

ALEJANDRO GUASCH GARCIA (FIRMA) Firmado digitalmente por ALEJANDRO GUASCH GARCIA (FIRMA) Fecha: 2021.03.17 12:56:41 -06'00'

Ing. Alejandro Guasch Garcia
LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.
Encargado de elaborar el informe

Notas:

Nota1: Sin la aprobación de LGC Ingeniería de Pavimentos S.A. no se debe reproducir el informe, excepto cuando se reproduzca en su totalidad, para dar seguridad de que partes de un informe no se sacan de contexto.

Nota2: Estimado cliente cuando sea necesario, se le reportara la condición del ítem; en la casilla de observaciones. Por ejemplo, material contaminado, material muy húmedo tuvo que ser secado previo a las pruebas, etc.

Nota3: Los resultados obtenidos corresponden únicamente a los ítems ensayados.

Nota4: "La incertidumbre expandida reportada, se declara como la incertidumbre estándar de la medición multiplicada por un factor de cobertura k que corresponde a una probabilidad de cobertura aproximadamente del 95 %."La estimación de la incertidumbre se realiza con el "RC-37: Incertidumbre", se encuentra a disposición del cliente en el RC-78 Incertidumbres expandidas relativas para los métodos de ensayo".

Nota5: Los resultados de ensayo (s) que han sido por servicios externamente suministrados se encuentran identificados mediante el uso de paréntesis, cuadrados ([Resultado obtenido]).

Nota6: Cualquier observación o comentario sobre nuestros servicios, favor enviarlo a nuestro correo electrónico, lgcingenieriadepavimentos@gmail.com.

Nota7: Si desea formular una queja o reclamo, comunicarse con gestor de calidad o al correo gestordecalidad@lgcingenieria.net

Nota8: Si desea conocer el alcance del laboratorio puede visitar el sitio web del ECA www.eca.or.cr

Nota9: El símbolo de acreditación se utiliza en este registro únicamente si se incluyen resultados de ensayos dentro del alcance de acreditación de nuestro laboratorio.

C/c Archivo

Anexo N°1
Falla de Núcleos de roca

Tabla N°1

Método de ensayo para la Resistencia a la compresión de núcleos de roca

Identificación de la muestra	Descripción de la muestra	Fecha de muestreo	Fecha de falla	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm²)	Factor de corrección	Resistencia corregida (MPa)	Resistencia corregida (kg/cm²)
01-8774-2021	P-2 M4, Profundidad: 16,00 m -16,25 m	2021-03-05	2021-03-10	5	398,4	17,8	182	1,00	17,8	182
01-8775-2021	P-1 M2, Profundidad: 12,65 m -12,85 m	2021-03-05	2021-03-10	5	416,2	26,8	273	1,00	26,8	273
01-8776-2021	P-2 M3 Profundidad: 11,30 m -11,50 m	2021-03-05	2021-03-10	5	446,5	25,0	255	1,00	25,0	255
01-8777-2021	P-1 M1 Profundidad: 6,80 m -7,00 m	2021-03-05	2021-03-10	5	425,6	26,4	269	1,00	26,4	269

Tabla N°2 Información general

Identificación de la muestra	Longitud (L) (mm)	Diámetro Promedio (D) (mm)	Área (mm²)	L/D
01-8774-2021	90,40	47,55	1775,79	1,92
01-8775-2021	90,93	44,42	1549,35	2,06
01-8776-2021	90,54	46,99	1734,21	1,94
01-8777-2021	92,76	44,24	1537,16	2,10

----------Última Línea----------

Anexo 8

Matrices de Riesgo del sector interno, aplicada sin la medidas de mitigación.

Cuadro N° 56: Matriz de riesgo de sector interno A1, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A1: Sector de calle Ramiritos colindante a Taller Hnos Ramirez**	**Calle Ramiritos: Sector Colindante con calle los Gavilanes**	**En la actualidad se presentan problemáticas de inundación en las épocas lluviosas en el área 1, donde se ven involucradas las casas de los ciudadanos provocando pérdidas económicas y exponiendo su integridad física.**	**Índice de Severidad (S)**	3.0	5.0	2.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**9.0**	**19.25**	**4.9**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Medio**	**Alto**	**Bajo**	**Medio**

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Cuadro N° 57: Matriz de riesgo de sector interno A2, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A2: Sector de calle Ramiritos colindante a abastecedor los Chorros**	**Tramo de las secciones 0+250 y 0+260 presentan desbordamientos**	**En este sector dos secciones transversales no cuentan con la capacidad de evacuar las tormentas relacionadas a periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años por lo tanto tiene un grado de incidencia alto para inundación.**	**Índice de Severidad (S)**	3.0	5.0	2.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**9.0**	**19.25**	**4.9**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Medio**	**Alto**	**Bajo**	**Medio**

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Cuadro N° 58: Matriz de riesgo de sector interno A3, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A3: Sector de calle Ramiritos donde se encuentra el Centro de distribución EXPOCERAMICA (tienda de materiales para suelos):**	**Tramo colindante con la ruta 27 y Grupo SE3**	**En esta propiedad se tiene una alta densidad urbana, se encuentra aguas debajo del paso de alcantarillado, en campo se logró ver que en el cauce existe una gran cantidad de escombros en el cauce además hay presencia de socavación. Un posible desastre a ocurrir es la acumulación de residuos sólidos y sedimentos provocando una cabeza de agua lo cual repercutiría en daños estructurales, humanos y económicos. Por lo que se tiene un nivel alto de riesgo.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	5	1.0	3.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**19.25**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Alto**	**Bajo**	**Medio**

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Cuadro N° 59: Matriz de riesgo de sector interno A4, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A4: Sector de calle Ramiritos colindante a Pachamama Indoor Farming Culture centro de jardinería**	**Tramo donde tres secciones transversales presentan desbordamientos**	**El área se ha visto afectada por inundaciones, esta se encuentra muy cercana al paso de alcantarillado, además tras la modelación hidráulica de la quebrada tres secciones transversales no cuentan con la capacidad de evacuar las tormentas relacionadas a periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años por lo tanto pueden incidir en los eventos de inundación que se presentan en la zona**	**Índice de Severidad (S)**	3.0	5.0	2.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**9.0**	**19.25**	**4.9**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Medio**	**Alto**	**Bajo**	**Medio**

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Cuadro N° 60: Matriz de riesgo de sector interno A5, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A5: Sector de calle Ramiritos colindante a CRCompus tienda de accesorios informáticos**	**Esta área se encuentra ubicada en calle los Moras al norte de Pet y Vet**	**El área A5 se podría ver afectada por eventos de inundación, igualmente que el A3 presenta condiciones similares ya que una acumulación de sólidos puede provocar una cabeza de agua.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	3.0	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**6.85**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Medio**	**Bajo**	**Medio**

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Cuadro N° 61: Matriz de riesgo de sector interno A6, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A6: Sector colindante a Autos Mahesa ector frente a pulpería Daysi Geral**	**Este tramo de la calle Gavilanes hasta la esquina donde se encuentra panadería la chispa**	**El área se encuentra lejos de los sitios de influencia donde las problemáticas ocurren con incidencia en época lluviosa.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	3.0	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**6.85**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Medio**	**Bajo**	**Medio**

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Cuadro N° 62 Matriz de riesgo de sector interno A7, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A7: Sector baldío colindante con el A1**	**Tramo que se encuentra en el medio de las A1 Y A5**	**En este sector es inexistente la densidad urbana, su uso de suelo está caracterizado por charral, por lo tanto alguna afectación en el sitio no provocará perdidas económicas o sociales.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	3.0	1.0	3.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**6.85**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Medio**	**Bajo**	**Medio**

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Anexo 9

Matrices de Riesgo del sector externo, aplicada sin las medidas de mitigación.

Cuadro N° 63: Matriz de riesgo sector externo A1, microcuenca de la quebrada Coyote y Poblados aguas arriba del AP

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Externo	**E1: Sector aguas arriba específicamente el puente en calle Zamora**	**Tramo desde la 27 a calle Zamora**	**Se presentan problemas de acumulación de residuos sólidos como troncos, hojas y desechos producidos por las actividades humanas los cuales puede provocar sedimentación y una cabeza de agua producto de la obstrucción del cauce.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	5.0	1.0	3.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**19.25**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Alto**	**Bajo**	**Medio**

Cuadro N° 64: Matriz de riesgo sector externo A2, microcuenca de la quebrada Coyote y Poblados aguas abajo del AP

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Externo	**E2: Sector de suelo descubierto colindante a Usados BMW**	**Tramo colindante con la ruta 27 cercano a calle Coyote**	**En la actualidad se desconoce si existe una problemática sin embargo el mapa de deslizamiento geomorfológico nos dice que este sector tiene un valor alto de incidencia.** **Además la escorrentía puede arrastra lodos de los terrenos que se encuentra descubiertos aguas arriba de la calle, donde se darían excesos de sedimentos sobre la vía vehicular, y se podría producir el colapso de los conductos pluviales y los tragantes del sistema.**	**Índice de Severidad (S)**	5.0	1.0	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**15**	**3.85**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Alto**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

Cuadro N° 65: Matriz de riesgo sector externo A3, microcuenca de la quebrada Coyote y Poblados aguas abajo del AP

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Externo	**A3: Sector aguas arriba específicamente el puente en calle Quintanilla**	**El puente se encuentra a 147 m de la Ruta 27**	**Esta área presenta problemas de acumulación de residuos sólidos como troncos, hojas y desechos producidos por las actividades humanas, además el cauce traza por debajo de unas casas y se nota que se han presentado indicios de socavación Como problemática a futuro, se pueden dar inundaciones por la cercanía de las construcciones respecto al cauce y el desplome de las mismas por la socavación en las bases.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	5	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**19.25**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Alto**	**Bajo**	**Medio**

Cuadro N° 66: Matriz de riesgo sector externo A4, microcuenca de la quebrada Coyote y Poblados aguas abajo del AP

***Actual, sin medidas de mitigación.**

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Externo	**A4: Sector aguas arriba de la microcuenca de la quebrada Coyote (Villa Real).**	**Cauce de la quebrada Coyote donde traza el condominio Villa Real**	**A lo largo del cauce se verifican gran cantidad de desfogues los cuales caen directamente en el cauce de la quebrada Coyote, algunos de los desfogues se ven de dudosa precedencia ya que se notaban malos olores y aguas muy turbias. En el recorrido del cauce también se encontró gran cantidad de escombros no naturales los cuales obstruyen el correcto funcionamiento del cauce. Como problemática a futuro, se pueden dar erosiones de los taludes por la obstrucción que pueden provocar los materiales encontrados y los desfogues, como la generación de malos olores por los vertidos al cauce.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.5	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**5.7**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Medio**	**Bajo**	**Medio**

Anexo 10

Matrices de Riesgo del sector interno, considerando la implementación de las medidas de mitigación

Cuadro N° 67: Matriz de riesgo de sector interno A1, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A1: Sector de calle Ramiritos colindante a Taller Hnos Ramirez**	**Calle Ramiritos: Sector Colindante con calle los Gavilanes**	**En la actualidad se presentan problemáticas de inundación en las épocas lluviosas en el área 1, donde se ven involucradas las casas de los ciudadanos provocando pérdidas económicas y exponiendo su integridad física.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.5	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**5.35**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 68: Matriz de riesgo de sector interno A2, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A2: Sector de calle Ramiritos colindante a abastecedor los Chorros**	**Tramo de las secciones 0+250 y 0+260 presentan desbordamientos**	**En este sector dos secciones transversales no cuentan con la capacidad de evacuar las tormentas relacionadas a periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años por lo tanto tiene un grado de incidencia alto para inundación.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.5	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**5.35**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 68: Matriz de riesgo de sector interno A3, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A3: Sector de calle Ramiritos donde se encuentra el Centro de distribución EXPOCERAMICA (tienda de materiales para suelos):**	**Tramo colindante con la ruta 27 y Grupo SE3**	**En esta propiedad se tiene una alta densidad urbana, se encuentra aguas debajo del paso de alcantarillado, en campo se logró ver que en el cauce existe una gran cantidad de escombros en el cauce además hay presencia de socavación. Un posible desastre a ocurrir es la acumulación de residuos sólidos y sedimentos provocando una cabeza de agua lo cual repercutiría en daños estructurales, humanos y económicos. Por lo que se tiene un nivel alto de riesgo.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.0	1.0	3.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.85**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 69: Matriz de riesgo de sector interno A4, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A4: Sector de calle Ramiritos colindante a Pachamama Indoor Farming Culture centro de jardinería**	**Tramo donde tres secciones transversales presentan desbordamientos**	**El área se ha visto afectada por inundaciones, esta se encuentra muy cercana al paso de alcantarillado, además tras la modelación hidráulica de la quebrada tres secciones transversales no cuentan con la capacidad de evacuar las tormentas relacionadas a periodos de retorno de 50, 100, 250 y 500 años por lo tanto pueden incidir en los eventos de inundación que se presentan en la zona**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.5	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**5.35**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 70: Matriz de riesgo de sector interno A5, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario considerando que se hayan implementados las medidas de mitigación**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A5: Sector de calle Ramiritos colindante a CRCompus tienda de accesorios informáticos**	**Esta área se encuentra ubicada en calle los Moras al norte de Pet y Vet**	**El área A5 se podría ver afectada por eventos de inundación, igualmente que el A3 presenta condiciones similares ya que una acumulación de sólidos puede provocar una cabeza de agua.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.0	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.85**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 71: Matriz de riesgo de sector interno A6, área de calle Ramiritos.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario considerando que se hayan implementados las medidas de mitigación**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A6: Sector colindante a Autos Mahesa**	**Este tramo de la calle Gavilanes hasta la esquina donde se encuentra panadería la chispa**	**El área se encuentra lejos de los sitios de influencia donde las problemáticas ocurren con incidencia en época lluviosa.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.0	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.85**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 72: Matriz de riesgo de sector interno A7, área de calle Ramiritos.

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario considerando que se hayan implementados las medidas de mitigación**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Interno	**A7: Sector baldío colindante con el A1**	**Tramo que se encuentra en el medio de las A1 Y A5**	**En este sector es inexistente la densidad urbana, su uso de suelo está caracterizado por charral, por lo tanto alguna afectación en el sitio no provocará perdidas económicas o sociales.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.0	1.0	3.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.85**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

Anexo 11

Matrices de Riesgo del sector externo, considerando la implementación de las medidas de mitigación

Cuadro N°73: Matriz de riesgo sector externo A1, microcuenca de la quebrada Coyote y Poblados aguas arriba del AP

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Externo	**E1: Sector aguas arriba específicamente el puente en calle Zamora**	**Tramo desde la 27 a calle Zamora**	**Se presentan problemas de acumulación de residuos sólidos como troncos, hojas y desechos producidos por las actividades humanas los cuales puede provocar sedimentación y una cabeza de agua producto de la obstrucción del cauce.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.5	1.0	3.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**5.35**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 74: Matriz de riesgo sector externo A2, microcuenca de la quebrada Coyote y Poblados aguas arriba del AP

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Externo	**E2: Sector de suelo descubierto colindante a Usados BMW**	**Tramo colindante con la ruta 27 cercano a calle Coyote**	**En la actualidad se desconoce si existe una problemática sin embargo el mapa de deslizamiento geomorfológico nos dice que este sector tiene un valor alto de incidencia.** **Además la escorrentía puede arrastra lodos de los terrenos que se encuentra descubiertos aguas arriba de la calle, donde se darían excesos de sedimentos sobre la vía vehicular, y se podría producir el colapso de los conductos pluviales y los tragantes del sistema.**	**Índice de Severidad (S)**	2.0	1.0	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**6.0**	**3.35**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Medio**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 75: Matriz de riesgo sector externo A3, microcuenca de la quebrada Coyote y Poblados aguas arriba del AP

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Externo	**A3: Sector aguas arriba específicamente el puente en calle Quintanilla**	**El puente se encuentra a 147 m de la Ruta 27**	**Esta área presenta problemas de acumulación de residuos sólidos como troncos, hojas y desechos producidos por las actividades humanas, además el cauce traza por debajo de unas casas y se nota que se han presentado indicios de socavación Como problemática a futuro, se pueden dar inundaciones por la cercanía de las construcciones respecto al cauce y el desplome de las mismas por la socavación en las bases.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.5	1.0	1.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**5.35**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 76: Matriz de riesgo sector externo A4, microcuenca de la quebrada Coyote y Poblados aguas arriba del AP

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.85	2.45	3.0
Externo	**A4: Sector aguas arriba de la microcuenca de la quebrada Coyote (Villa Real).**	**Cauce de la quebrada Coyote donde traza el condominio Villa Real**	**A lo largo del cauce se verifican gran cantidad de desfogues los cuales caen directamente en el cauce de la quebrada Coyote, algunos de los desfogues se ven de dudosa precedencia ya que se notaban malos olores y aguas muy turbias. En el recorrido del cauce también se encontró gran cantidad de escombros no naturales los cuales obstruyen el correcto funcionamiento del cauce. Como problemática a futuro, se pueden dar erosiones de los taludes por la obstrucción que pueden provocar los materiales encontrados y los desfogues, como la generación de malos olores por los vertidos al cauce.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.0	1.0	3.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.85**	**2.45**	**9.0**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**