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

"ESTUDIO DE GESTION DE RIESGOS PARA LA MITIGACION DE LOS PROBLEMAS DE INUNDACION EN CALLE QUEBRADOR, SANTA ANA, SAN JOSÉ"

PREPARADO PARA

CONSTICA S.A. – MUNICIPALIDAD DE SANTA ANA

AGOSTO, 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, Lunes 09 de agosto, 2021.
GT-INF-2021-397

Señores:
CONSTICA S.A.

Atención: **Ing. Emilia Jiménez Jiménez**
Proceso de Gestión de riesgos de Desastres
Municipalidad de Santa Ana

Estimados señores:

Mediante la siguiente nota quiero hacer constar que el presente informe denominado **"ESTUDIO DE GESTION DE RIESGOS PARA LA MITIGACION DE LOS PROBLEMAS DE INUNDACION EN CALLE QUEBRADOR, SANTA ANA, SAN JOSÉ"** 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 sobre el sector definido en Calle Quebrador, así como el análisis de riesgos y amenazas naturales que puedan ocasionar algún impacto sobre el futuro proyecto, que consta en el replanteo de la capa asfáltica y el sistema pluvial.

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: 2021.08.11 14:11:51 -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: 2021.08.11 14:01:34 -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 6
2.1.1. Características de la zona de aporte pluvial de la microcuenca del Río Uruca .. 6
2.1.2. Área de influencia pluvial directa en Calle Quebrador 9
- Hidrografía 9
- Precipitación 9
- Temperatura 12
- Humedad relativa del aire. 12
- Viento 12
- Heliofanía 12

2.1.3. Cálculos Hidrológicos 13
- Factor de Forma 13
- 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 19
- Cálculo del coeficiente de escorrentía (C) 21
- Cálculo del caudal máximo instantáneo de desfogue del proyecto 29

3- ÁNALISIS DE CONCESIONES CERCANAS Y APLICACIÓN DE AFOROS 31
- Concesiones cercanos 31
- Aforos aplicados 34

4- ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA EN EL SITIO DEL PROYECTO 37
- Modelación del Río Uruca mediante el HEC-RAS 5.0.7. 37
- Modelación mediante el EPA SWMM V.5.0 39
- Escorrentía cuencas (l/s) 41
- Nivel del agua en nodos (m) 42
- Capacidad de los conductos pluviales (%) 42
- Recomendaciones de diseño y valoración mediante Hcanales 49

5- ENCUESTAS REALIZADAS A LOS VECINOS DE CALLE QUEBRADOR 53

6- ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS 60
- Parámetro de pendiente 62
- Parámetro de susceptibilidad litológica 64
- Geología regional 64
- Parámetro de humedad 72
- Parámetro de susceptibilidad geomorfológica 73
- Disparo por lluvia 75
- Disparo por sismicidad 78
- Susceptibilidad al deslizamiento 83

7- ANÁLISIS GEOTÉCNICOS 86
8- ÁNALISIS DE RIESGOS NATURALES EN EL ÁREA DEL PROYECTO 89
- Amenaza de deslizamiento 91
- Amenaza de Inundación 92
- Amenaza de Alud Torrencial 96
- Amenaza Volcánica 97
- Amenaza Sísmica 98
- Valoración de amenaza 100
- Vulnerabilidad o Severidad 101
- Matriz de riesgo 101
- Escenario de riesgo 102
- Aplicación de matriz de riesgo 103
- Descripción de problemáticas en cada área de análisis interna 103
- Descripción de problemáticas en cada área de análisis externa 106
- Medidas de mitigación para reducir el riesgo en el escenario Interno 107
- Medidas de mitigación para reducir el riesgo en el escenario externo 109

9- OBRAS REALIZADAS 115
10- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 116
11- REFERENCIAS 120
12- ANEXOS 122

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.

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 el replanteo de la capa asfáltica y el sistema pluvial de Calle Quebrador, en el cantón de Santa Ana.

- **Objetivos Generales**

Determinar las condiciones hidrológicas, hidráulicas y de riesgos asociados amenazas naturales, para el replanteo de la capa asfáltica y el sistema pluvial sobre Calle Quebrador, 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.

- **Objetivos específicos**

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

Estimar el caudal de escorrentía que recibirá el sistema pluvial a ser construido para disminuir el riesgo de ocurrencia de inundaciones

Efectuar un trabajo comunitario que establezca la percepción social de la problemática de las inundaciones que se generan en la zona.

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

Establecer un modelo geotécnico de las condiciones del tramo de carretera a ser intervenido.

Evaluar mediante un método semicuantitativo la ocurrencia de amenazas naturales y riesgos asociados sobre el sector de Calle Quebrador.

- **Sitio de Estudio**

El lugar de estudio se trata de un sector sobre Calle Quebrador, además del análisis completo de la zona de aporte pluvial que lleva la escorrentía al espacio en estudio". El lugar se localiza específicamente en el distrito de Uruca, 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 sobre las coordenadas centrales **1097174 N / 479805 E** Proyección CRTM-05 (Figura N°1).

El sector de Calle Quebrador corresponde con la microcuenca del Río Uruca (Figura N°2), el cual traza al este del poblado de Paso Machete, donde las problemáticas de inundación se dan sobre las viviendas más colindantes a este cauce.

- **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.

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 del Ministerio de Agricultura y Ganadería, y el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.

2- ASPECTOS HIDROLÓGICOS

2.1.1. Características de la zona de aporte pluvial de la microcuenca del Río Uruca

El sitio de estudio se localiza sobre la microcuenca del río Uruca que aguas abajo tributa y forma parte de la cuenca del río Virilla, y se caracteriza especialmente por encontrarse inmersa en una zona urbana (Figura N°1).

La zona de aporte pluvial, que incluye el sector de Calle Quebrador, posee un área estimada de 18.233 km^2 o 1823.3 ha (Figura N°2).

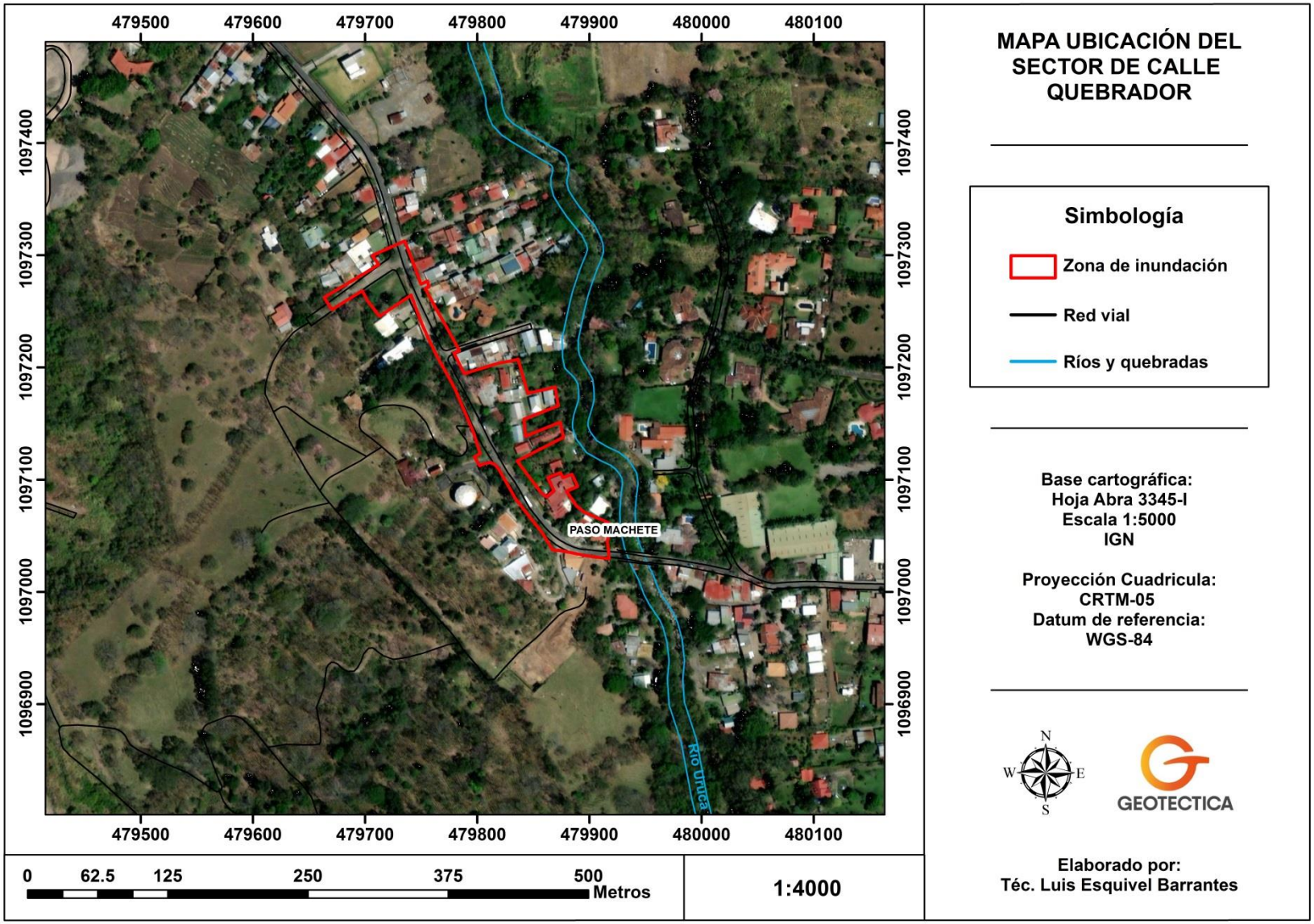


Figura N°1. Ubicación cartográfica de la urbanización del sector de Calle Quebrador.

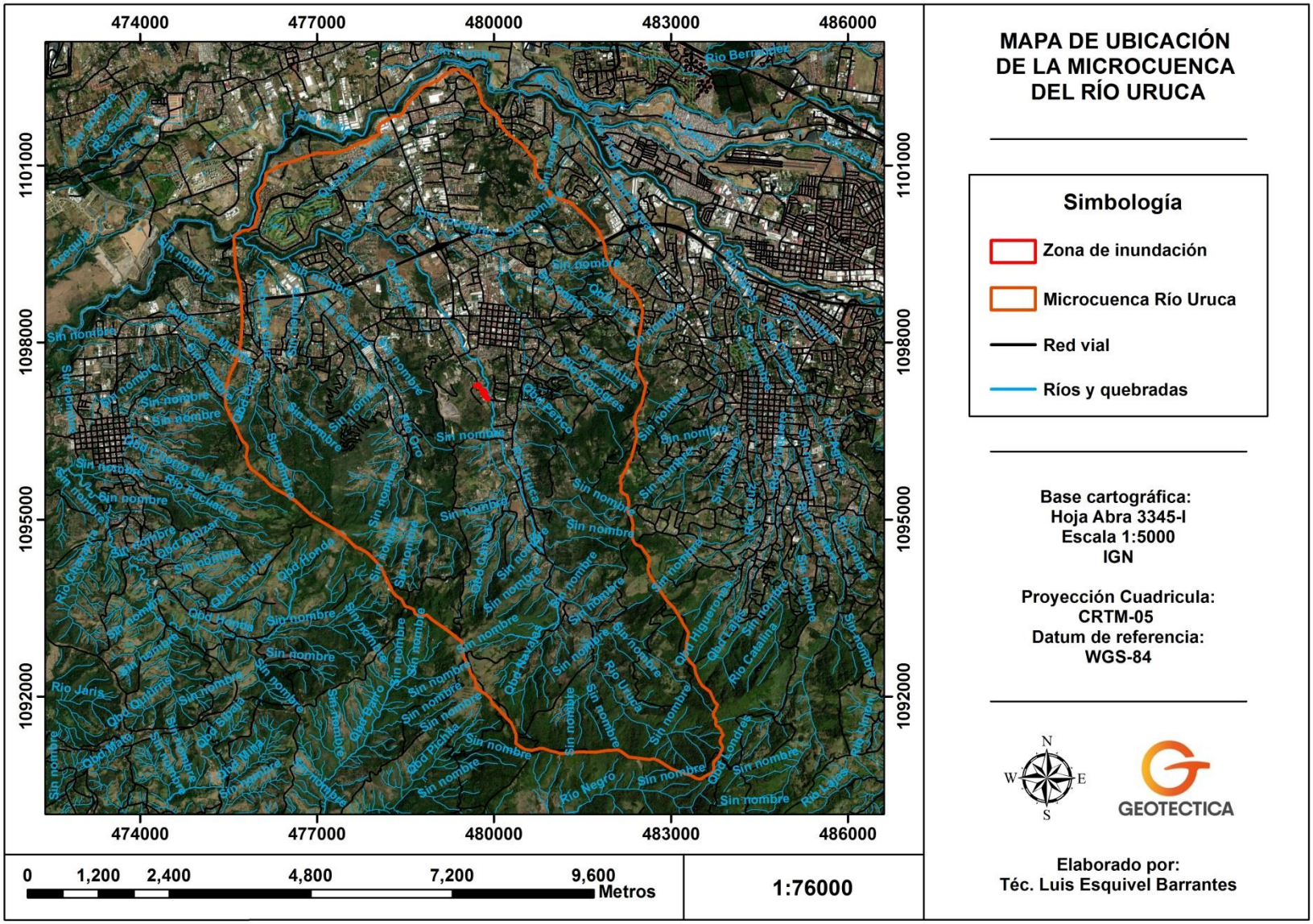


Figura N°2. Ubicación cartográfica de la urbanización del sector de Calle Quebrador.

De esta forma, debido al tamaño de la zona hidrológica de influencia del sitio en análisis (Figura N°1), 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 zona de aporte pluvial (Figura N°3), es necesario calcular la intensidad máxima de lluvia en el sector y el tiempo de concentración en la zona hidrográfica de influencia directa. La estimación del caudal de desfogue del proyecto, se calculará mediante la aplicación del Método de Mac Math y el Método Racional. La determinación de este valor establece que el cuerpo receptor de la escorrentía será el sistema pluvial que traza colindante a la red vial de Calle Quebrador.

2.1.2. Área de influencia pluvial directa en Calle Quebrador

La zona de influencia pluvial directa que tributa en el sistema colector pluvial posee un área de 27.8253 ha (Figura N°4), donde el flujo pluvial es impulsado desde la divisoria que genera el relieve en el Cerro Minas localizado aproximadamente a 500 m al oeste de Calle Quebrador o el poblado de Paso Machete. Se destaca que el uso de suelo en este sector está ocupado por un tajo, así como por asentamientos urbanos que hacen impermeables los suelos, además la pendiente por donde fluye la escorrentía es alta y la textura de suelo es de arcillas plásticas, parámetros que se combinan para potencial caudales de escorrentía importantes sobre las superficies del sitio en análisis.

- **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, Pilas, 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.

- **Precipitación**

Los datos climáticos recuperados corresponden con las estaciones climatológicas: Lornessa 84011 y Salitral de Santa Ana 84038, localizada en las coordenadas geográficas latitud 09° 56` Norte / Longitud 84º 11` Oeste, y 09° 55` Norte / Longitud 84º 11`respectivamente, estas se localizan a menos de 1.6 km del área del proyecto, el detalle se observa en la Figura N°5. Gráfico N°1, Gráfico N°2 y Anexo I).

Para la estación Lornessa 84011, la precipitación registrada es de 1653.5 mm anuales aproximadamente. Los meses de setiembre y octubre suelen ser los más lluviosos, aportando el 35.93 % de la precipitación promedio anual. La estación seca se extiende hasta abril, los meses dentro del periodo seco, en promedio registran lluvias desde los 6.8 hasta 64.7 mm aproximadamente, siendo el mes de enero el que presenta menor precipitación.

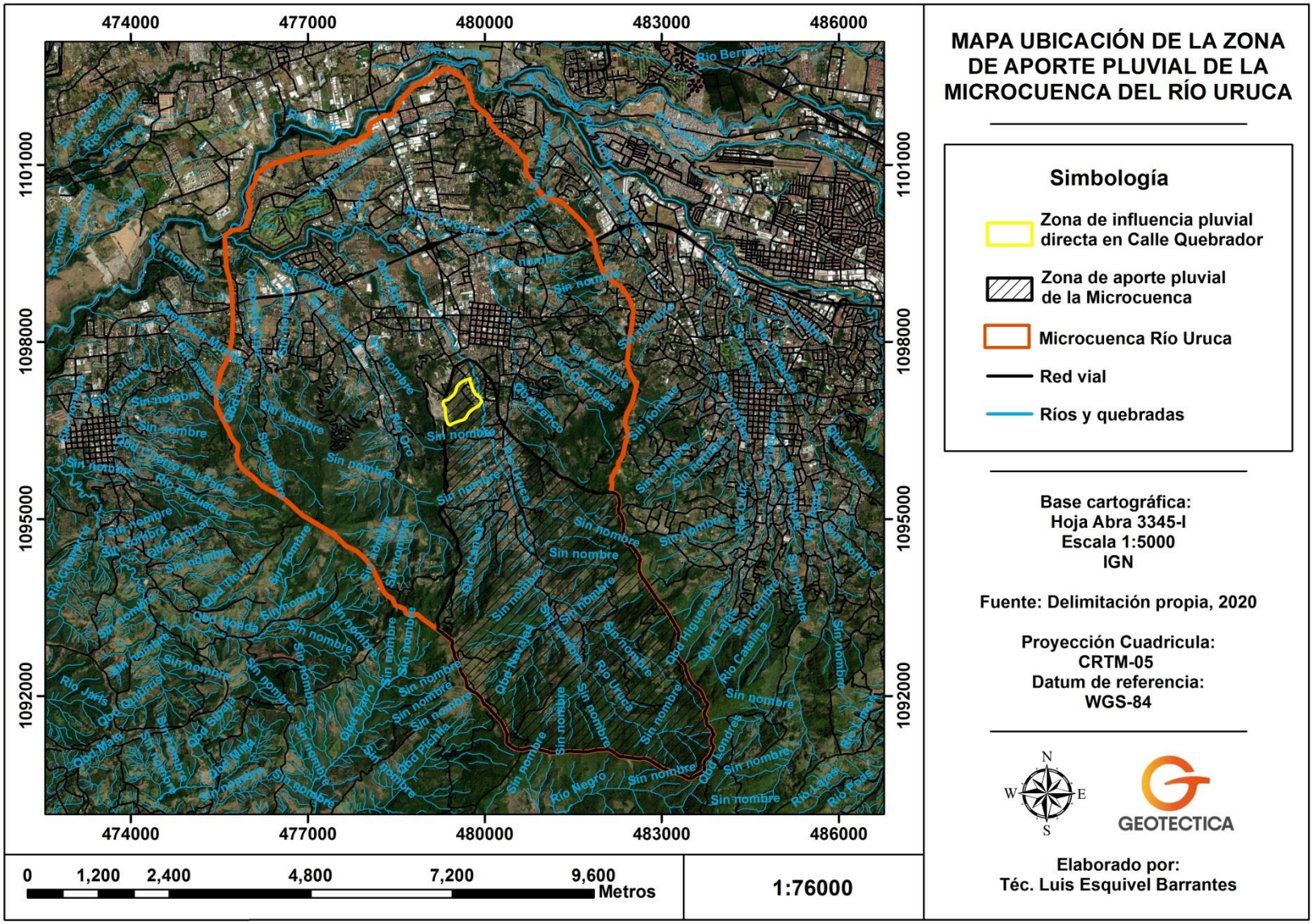


Figura N°3. Mapa área de aporte pluvial sobre Calle Quebrador.

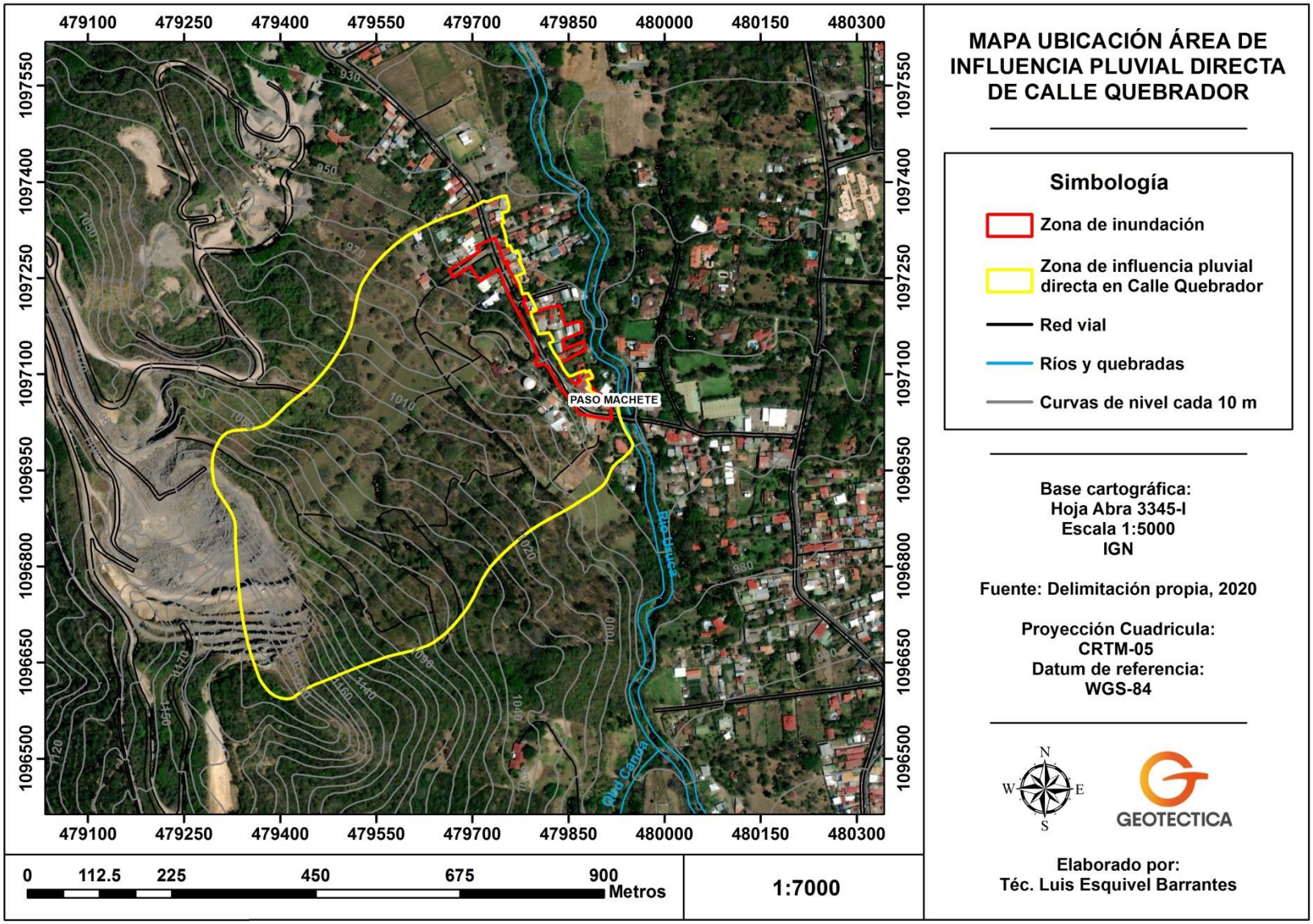


Figura N°4. Mapa área de aporte pluvial de la microcuenca del Río Uruca.

Mientras que para la estación Salitral de Santa Ana 84038, la precipitación anual registrada es de 1709.2 mm. Los meses con mayores precipitaciones son: setiembre y octubre (aportando el 35.07% de la precipitación anual), además la época seca concuerda con los meses: diciembre, enero, febrero y abril, fenómeno que coincide con la estación de Lornessa 84011.

Para la estación de Belén se presenta un promedio anual de 143 días con lluvia, mientras que para estación de Salitral de Santa Ana 84038 el promedio de días con lluvia es de 127.

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 octubre con un valor entre los 311.3 mm.

- **Temperatura**

La temperatura media mensual presenta poca variación de un mes a otro, esta se mantiene normalmente en los 23.4 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: 24.5°C para marzo, 24.9°C para abril y 24.1°C para mayo.

- **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.

2.1.3. 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 zona de aporte pluvial, a continuación, se muestran los valores estimados para la zona en mención

De esta forma, indicado lo anterior, para la microcuenca del Río Uruca, tenemos valores de ancho promedio de 5.0 Km, una longitud de 12.76 km y un área de microcuenca de 57.34 Km^2.

Dada la fórmula:

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

Dónde: B= Ancho (5.0 Km) y L= Longitud (12.76 Km)

Se tiene:

$$F1 = \frac{5.00\ Km}{12.76\ Km} = 0.39$$

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 (57.34 Km^2)
L= Longitud de la cuenca² (12.76 Km)

Por lo tanto:

$$F2 = \frac{57.34\ \ Km^2}{(12.76\ Km)^2} = 0.35$$

Para la microcuenca del Río Uruca, el factor de forma en relación con el ancho y el área, se presentan resultados similares de rangos aproximados del Factor Forma (Cuadro N°1) (Pérez, 1979) como una cuenca de forma ligeramente alargada; esto debido a que si la forma de la cuenca es aproximadamente circular, entonces el valor de Ff se acercará a uno, mientras que, las cuencas más alargadas, tendrán un Ff menor, lo que es inverso a lo que ocurre con el coeficiente de compacidad.

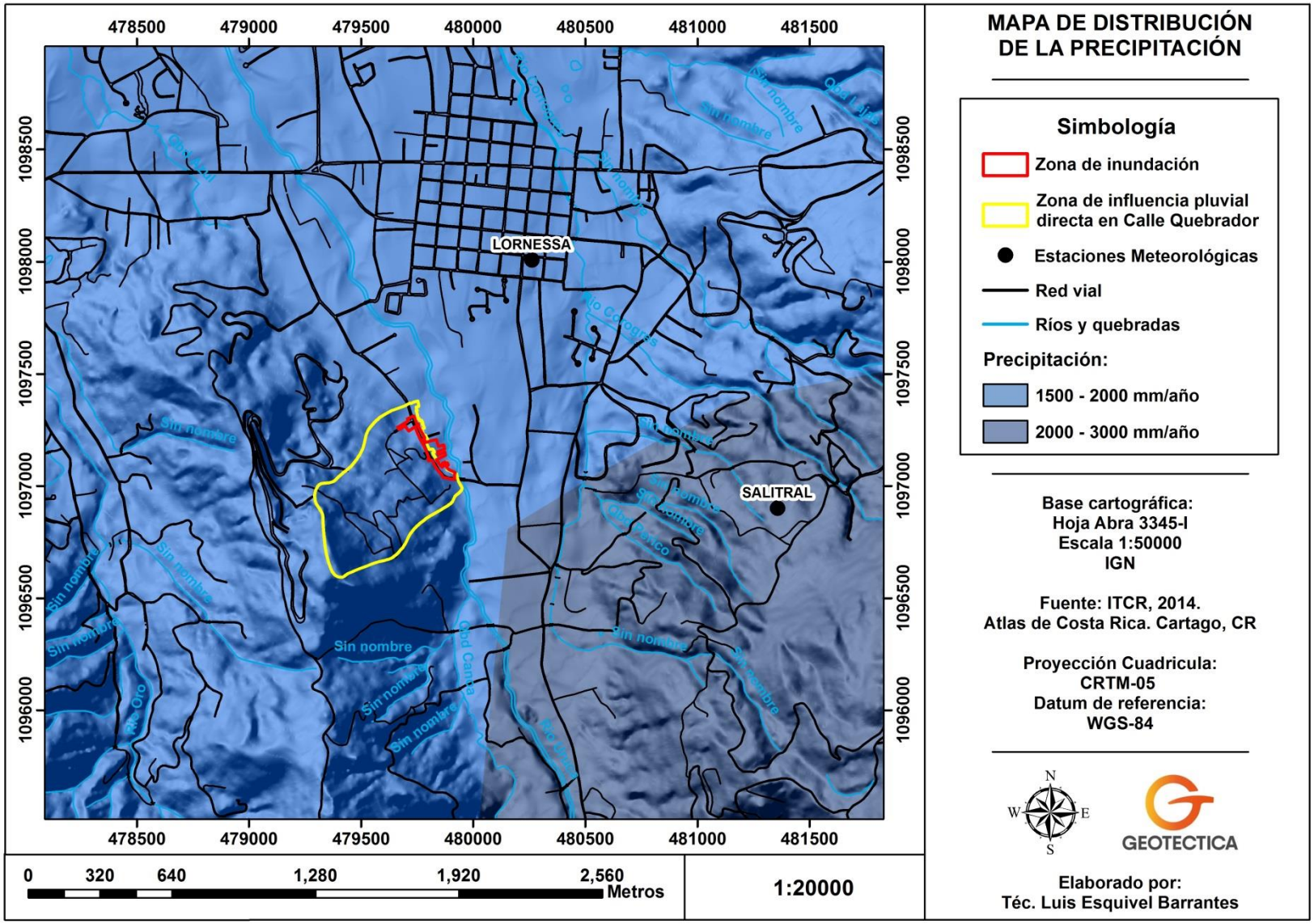


Figura N° 5. Mapa de distribución de precipitación anual. (Fuente: ITCR, 2014.)

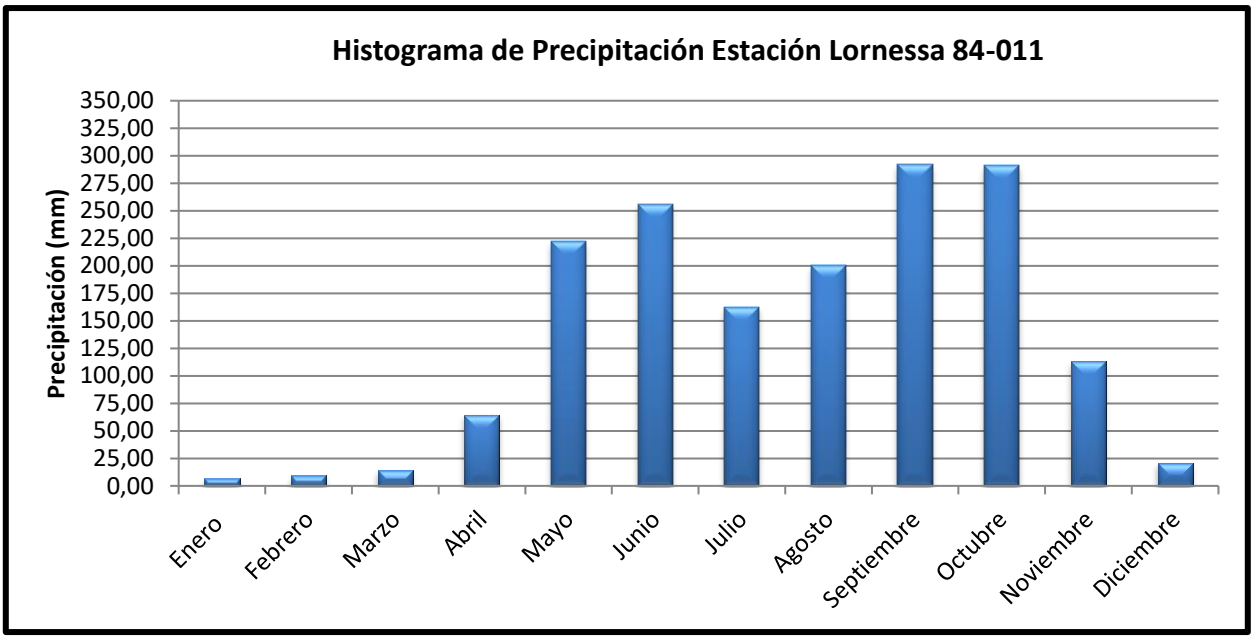


Grafico N° 1. Registro mensual acumulado de precipitación para estación Lornessa 84011. (Fuente: IMN, 2021).

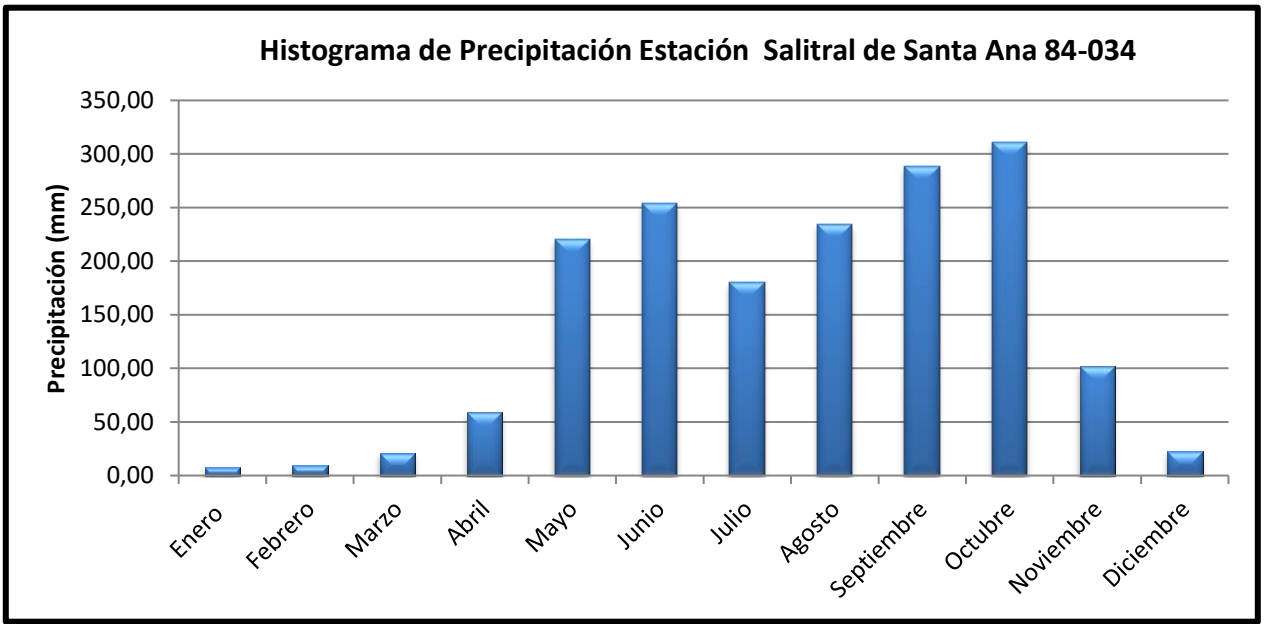


Grafico N° 2. Registro mensual acumulado de precipitación para estación Salitral de Santa Ana 84-19. (Fuente: IMN, 2021).

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 del Río Uruca es la siguiente:

P= 33.98Km
A= 57.34 Km^2

$$Kc = 0.28\,\frac{33.98\,Km}{\sqrt{57.34\,Km^2}} = 1.26$$

Por lo tanto, el Kc de la zona de aporte pluvial tiene un valor de 1.26, lo que indica una forma general de la cuenca 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 zona en análisis.

- **Cálculo del caudal de avenida máxima**

Para establecer el cálculo del caudal máximo de la zona de aporte del Río Uruca 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 sectores que componen el área total de drenaje que escurre hacia las estructuras de evacuación pluvial se determinó mediante la fórmula de Mac Math, cuya expresión, para el sistema métrico, es la siguiente:

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

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.
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 sitio en análisis, 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 sitio en análisis, 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 (tc); 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 zona en estudio, 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 7.3 km al noreste de Calle Quebrador.

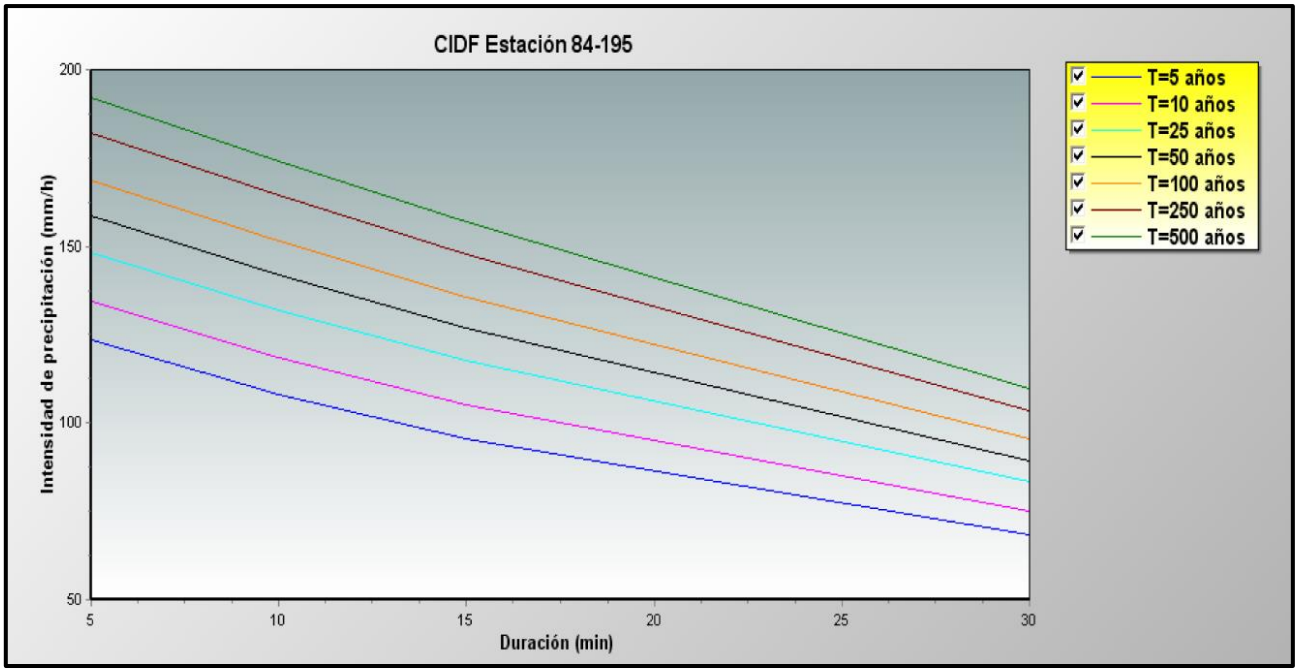


Grafico N° 3. Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno para la estación de Pavas. (Fuente: Rojas, 2011.)

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

Como se estableció anteriormente, para calcular la pendiente promedio del Río Uruca, 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 del río 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:

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

Donde:

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 el río está formado 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 Anexo 12.

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

S =pendiente media del cauce.
L = Longitud de la Río Uruca (15405.60m).
$\sum \frac{L1}{\sqrt{s1}}$ = Sumatoria, cuadro N°68 (70404.62).

Finalmente, S es:

$$S = \left(\frac{L}{\sum \frac{L1}{\sqrt{s1}}}\right)^2 = \left(\frac{15405.60}{70404.62}\right)^2 = 0.0478$$

De esta forma, utilizando este método, la S correspondiente para la microcuenca del Río Uruca es, S = **0.0478 o 4.78%.**

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. Para el perfil de longitudinal del Río Uruca, con dirección Norte 33° oeste hasta su punto de tributación, en los primeros 2500 m del cauce se genera la mayor diferencia de elevación, siendo estos tramos los que presentan mayores pendientes sobre el río (Figura N° 6).

- **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 del Río Uruca, el método aplicado para la obtención del valor tc implica la utilización de la fórmula de Kirpich.

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

Donde:

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.

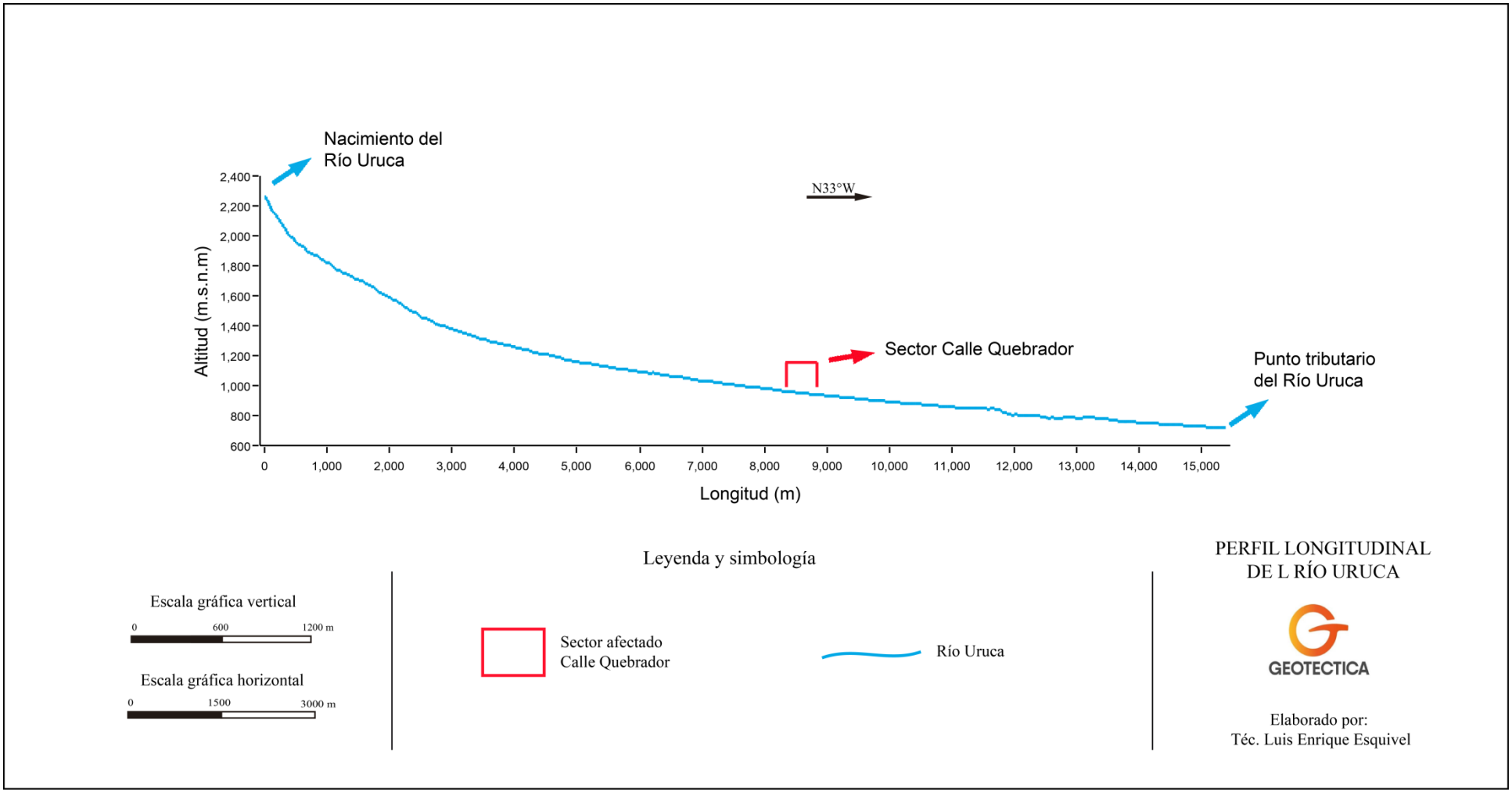


Figura N°6. Perfil longitudinal del Río Uruca.

Por lo tanto, el tc estimado del Río Uruca, definiendo una longitud de cauce de 15379.10 m, para el punto más alto del cauce con una altura aproximada de 2260 m.s.n.m; así como en el punto de desembocadura con una altura de 715 m.s.n.m. De esta forma, la diferencia de altura entre los puntos extremos del cauce principal brinda un valor ∆H=1545 metros.

Por lo tanto:

L= 15379.10 m

∆H= 1545 m

$$tc = 0.0195(\frac{15379.10^3}{1545})^{0.385} = 79.10\ min$$

En resumen, el valor del tiempo de concentración obtenido, para el caso de la microcuenca del Río Uruca que traza el sector de Calle Quebrador, nos indica el dato de intensidad en la curva IDF; para este caso, se asumirá un tiempo de concentración conservador de ***79.10 min.*** De esta forma *el* valor de intensidad varía según el periodo de retorno, establecido desde 53.9 mm/h en 5 años, hasta 85.8 mm/h en 500 años (Cuadro N°2).

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° 2. Valores para la intensidad de lluvia en función del periodo de retorno del Río Uruca

Valores de Intensidad de lluvia en función del periodo de retorno, para una duración estimada de 79.10 minutos							
Periodo de Retorno (años)	5	10	25	50	100	250	500
Intensidad (mm/h)	53.9	57.8	63.4	68.0	72.9	80.0	85.8

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° 3):

$$C=C_1+C_2+C_3$$

Donde:

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° 3. 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 (Figura N°3).

De esta forma, se llega a la siguiente expresión:

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

Donde:

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 del río Uruca, 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 del río Uruca presenta una cobertura de suelo principalmente asociada a bosque secundario, así como un área de alta densidad urbana (Figura N°7), abarcando entre los dos usos un área de 1204 ha, que corresponde al 66% del área total de la zona de aporte de la microcuenca del río Uruca.

Para 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 tres 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 del río Uruca y su respectiva clasificación de pendientes en los rangos que establece el método del Mac Math.

Las pendientes de la zona de aporte del río Uruca se han establecido con predominancia de valores entre 20 a >50%, localizadas en distintas partes de la zona de influencia pluvial. Respecto a las pendientes de 2,1 a 20%, estas poseen la menor presencia en la zona de estudio, esto en relación con 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°10). De esta forma, el valor de C compuesto para la zona de aporte pluvial de la microcuenca del Río Uruca es de 0.59 (Cuadro N°4):

Respecto a los valores de escorrentía obtenidos (Figura N°10), se puede mencionar que, en el área en análisis, la escorrentía se puede catalogar entre media y alta, ya que sus valores rondan entre 0.54% y 0.92%, por lo que actualmente se aporta una cantidad de agua importante al río Uruca, dichos valores se ven reflejados en la cobertura de suelo, donde predomina el uso urbano, además la textura de suelo está compuesta por materiales arcillosos. En relación con las pendientes estas se catalogan como medias y altas donde los rangos que predominan van desde 20% a >50%.

Cuadro N°4. 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 del Río Uruca
Uso de suelo	1823.3	177.73	C1 =0.10	0.59
Textura		397.37	C2=0.22	
% Pendiente		488.71	C3=0.27	

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° 5 y 6).
Para el caudal de avenida máxima de la Zona de aporte Pluvial del río Uruca, 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°2**).
A= área de la zona de aporte, en ha **(1823.3**).
S= pendiente promedio del cauce principal, en % (**0.0478**).

Cuadro N°5. Valores para el caudal de avenida máxima de la zona de aporte microcuenca del Río Uruca.

Valores de Intensidad de lluvia en función del periodo de retorno, para una duración estimada de 79.10 minutos							
Periodo de Retorno (años)	5	10	25	50	100	250	500
Intensidad (mm/h)	53.9	57.8	63.4	68.0	72.9	80.0	85.8
Caudal de avenida Máxima(m³/s)	63.98	68.61	75.26	80.72	86.54	94.96	101.85

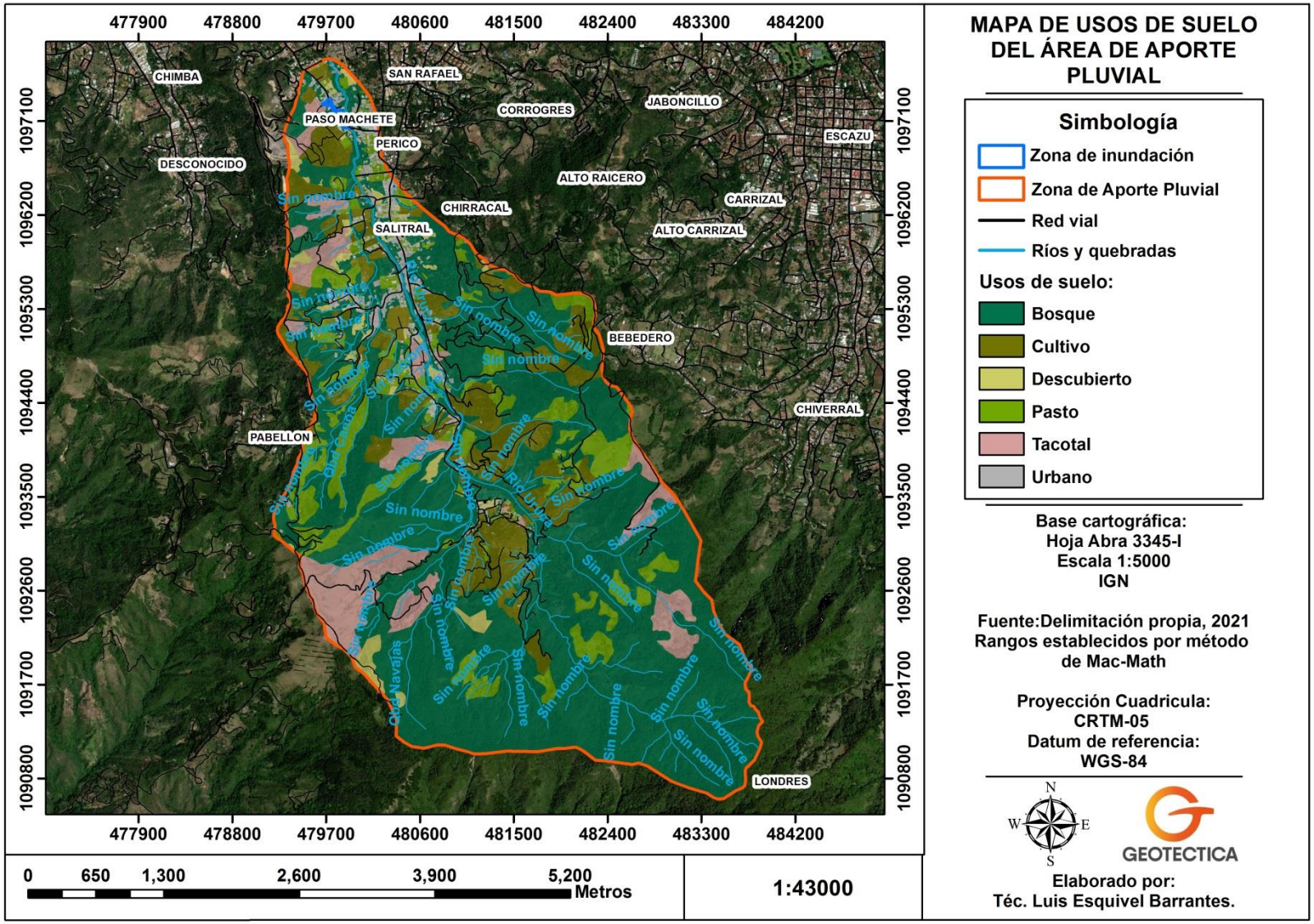


Figura N°7. Delimitación del uso del suelo de la zona de aporte pluvial de la microcuenca del Río Uruca.

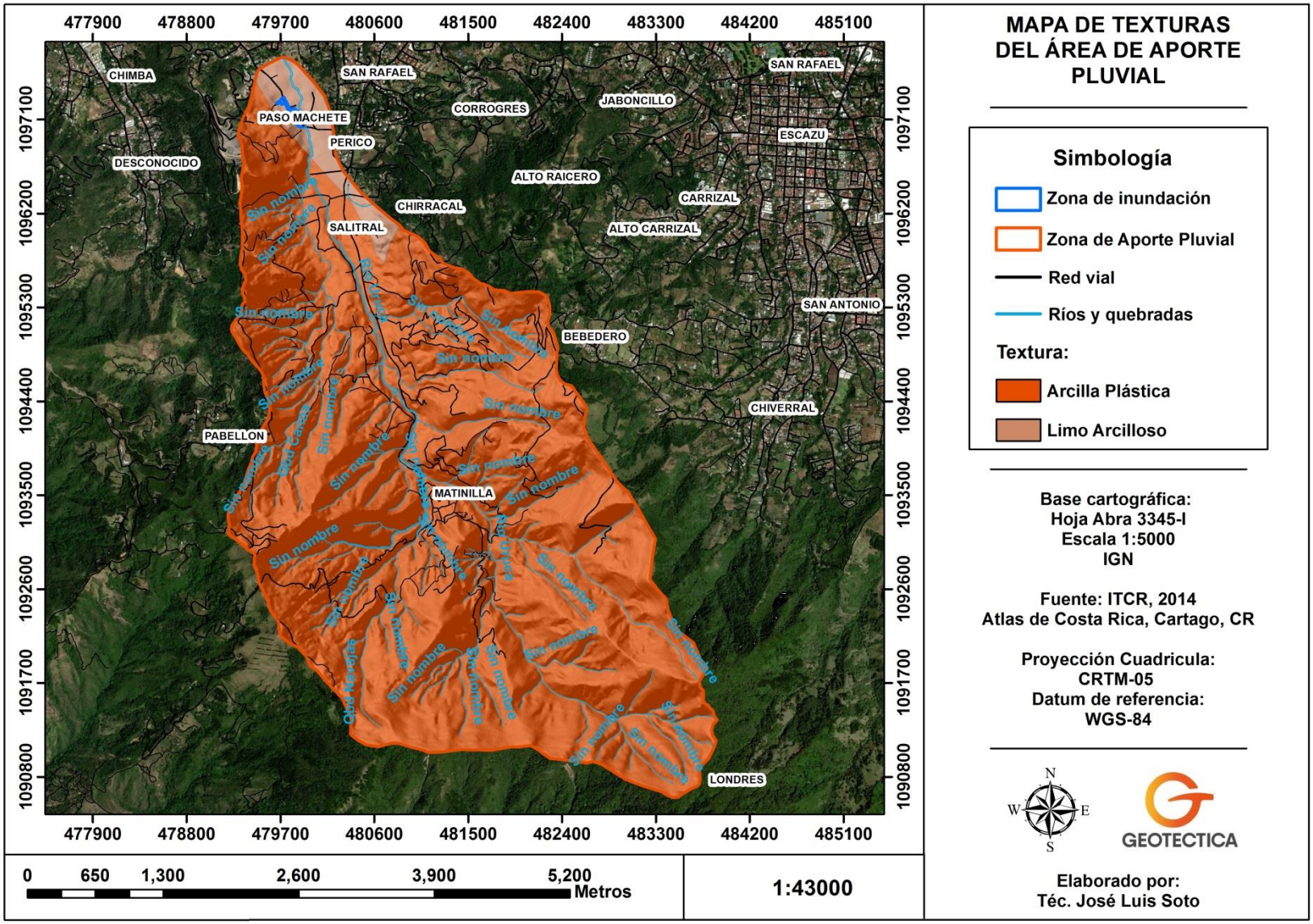


Figura N°8. Mapa de Textura de Suelos de la zona de aporte de la microcuenca del Río Uruca.

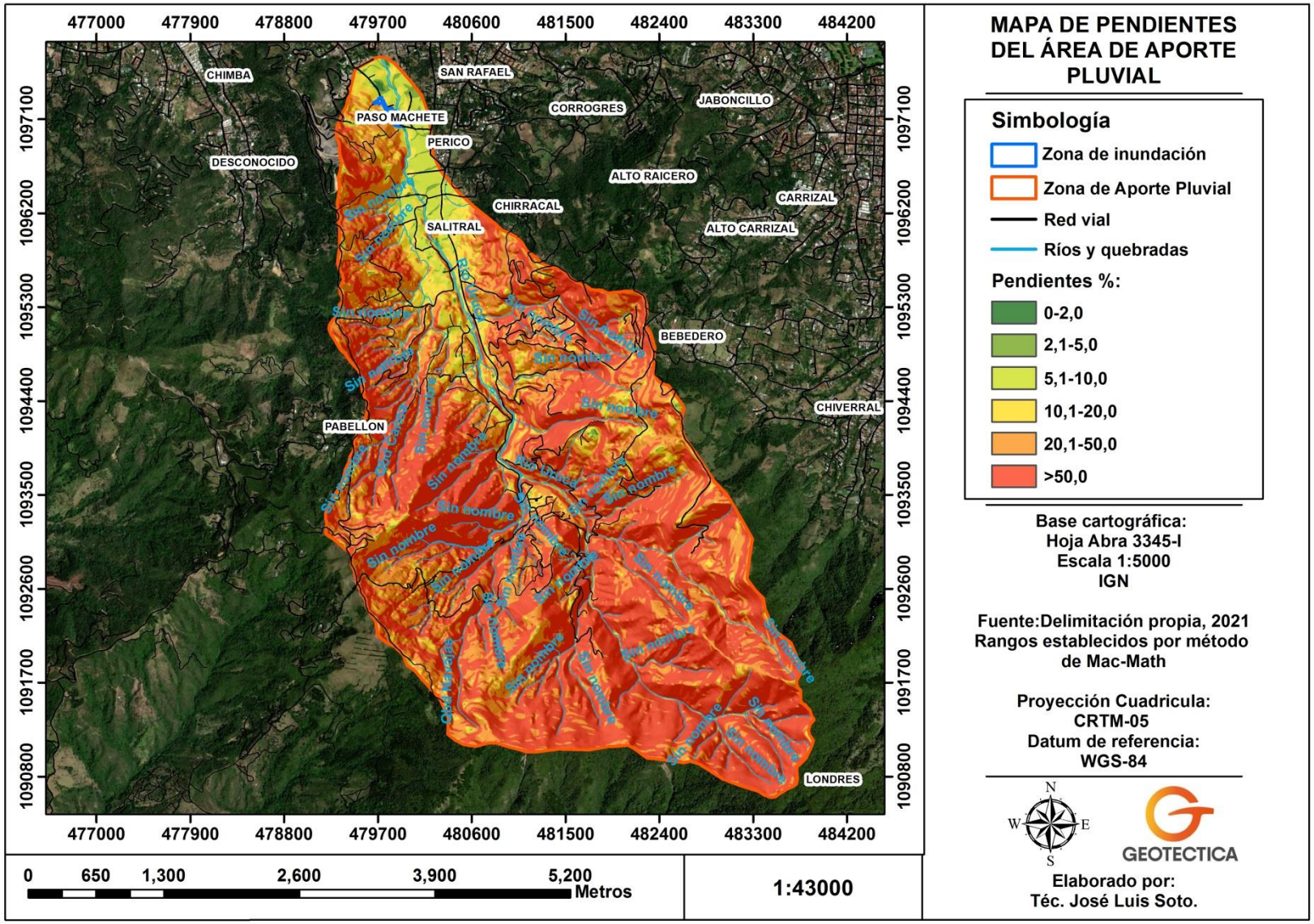


Figura N°9. Mapa de pendientes de la zona de aporte de la microcuenca del Río Uruca.

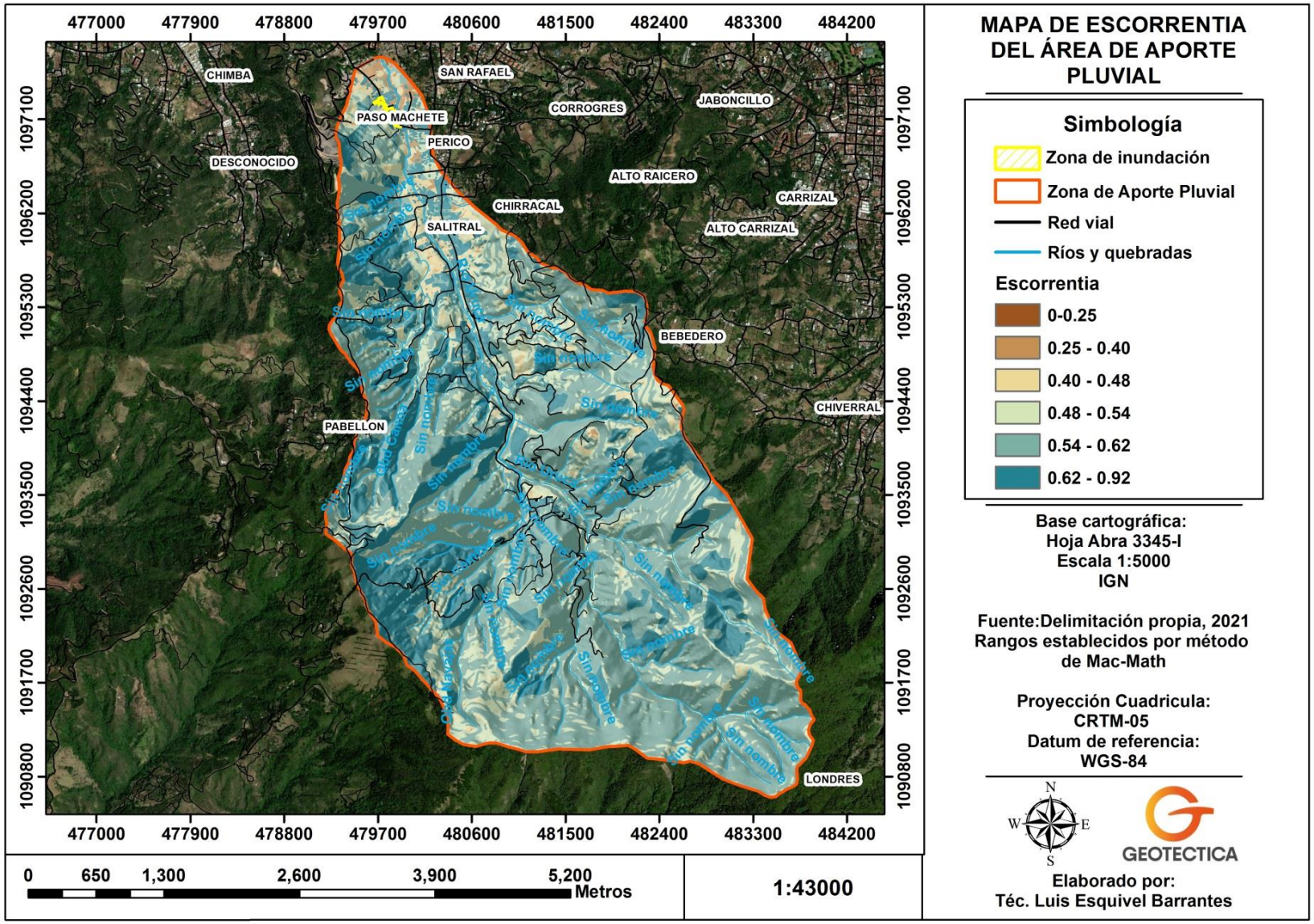


Figura N°10. Mapa de rangos de coeficiente de escorrentía de la zona de aporte de la microcuenca del Río Uruca.

- **Cálculo del caudal máximo instantáneo de desfogue del proyecto**

Para estimar el caudal máximo instantáneo aportado al sector de Calle Quebrador, se hará uso del Método Racional, el cual se calcula por medio de la siguiente expresión cuando se contempla el área de estudio en hectáreas:

De esta forma: $$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde:

Q= Caudal máximo con un periodo de retorno de T años, en m³/s.
C= Coeficiente de escorrentía que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelo, adimensional.
I= Intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración tc y un periodo de retorno de T años, en mm/h.
A= Área sector de influencia pluvial de Calle Quebrador, en Ha.

La zona de influencia pluvial directa de Calle Quebrador es de 27.82 ha, la misma aporta sus aguas al sistema pluvial de la localidad, el uso de suelo es variado, sin embargo predomina la densidad urbana, para efectos del cálculo de escorrentía se consideran los diversos usos que se presentan en este sector, así como sus distintas pendientes (predominantes entre 20-50 %) y texturas de suelo (predomina arcilla plástica), lo cual supone un cálculo correcto y preciso del caudal aportado al sistema colector.

Se realizó la estimación del caudal de avenida máxima para la zona de aporte pluvial del Río Uruca, donde se hace una comparación porcentual con el caudal que genera zona de influencia pluvial directa de Calle Quebrador, mismo que es calculado por el método Racional, este implica un 3.90 % relativo a un aporte de 3.15 m^3/s, en proporción con el caudal correspondiente a 80.72 m^3/s transportado a través de la zona de aporte de la microcuenca para una intensidad de 68.0 mm/h y un periodo de retorno de 50 años.

Respecto la estimación aplicada para un periodo de retorno de 100 años y una intensidad de 72.9 mm/h, se obtienen un resultado de 3.90%, porcentaje que concuerda con el cálculo realizado anteriormente para un periodo de retorno de 100 años.

Se deduce que la zona de influencia pluvial directa de Calle Quebrador aporta el 29.3% del caudal total que transporta el Río Uruca en la zona de aporte delimitada para generar el análisis hidrológico, sitio influenciado por la escorrentía de la parte alta de la microcuenca. Es importante mencionar que en el sitio se presentan problemáticas asociadas con inundación.

Cuadro N°6. Valores para el caudal máximo aportado en la zona de influencia directa de Calle Quebrador

Área (Ha)	27.82
C Escorrentía (C_1 0.16 + C_2 0.20 + C_3 0.24)	0.60
I para T=50 años (mm/h)	68.0
I para T=100 años (mm/h)	72.9
Q prom para I=50 años (m^3/s)	**3.15**
Q prom (m^3/s) para I=100 años	**3.38**

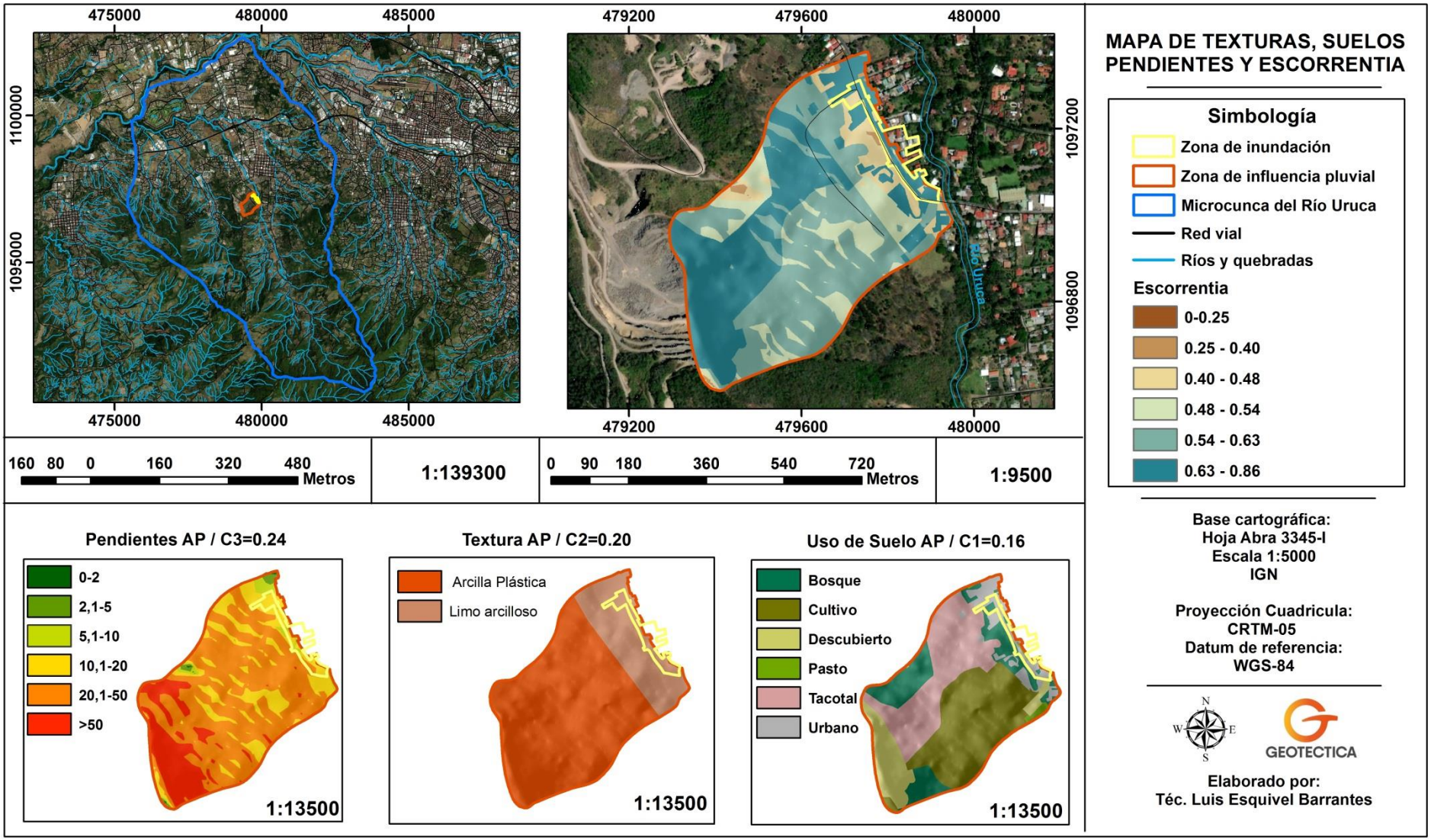


Figura N°11. Mapa de Pendientes, Textura y Uso de suelo del sector directo de Calle Quebrador.

3- ÁNALISIS DE CONCESIONES CERCANAS Y APLICACIÓN DE AFOROS

- **Concesiones cercanos**

Se ha realizado un análisis de concesiones registradas en la Dirección de Agua del MINAE para el área de estudio (Cuadro N° 7). En el mapa de la Figura N°8 se presenta la distribución espacial de estas fuentes, de las cuales algunas corresponden con concesiones de pozos perforados como también captaciones de ríos y quebradas de la zona.

Cuadro N° 7. Lista de concesiones registradas en la Dirección de Agua del MINAE para la zona de estudio.

Expediente	Longitud (m)	Latitud (m)	Estado	Nombre y Apellido	Fuente	Tipo de fuente	Uso	Q (l/s)
P-4678	479460	1097683	Cancelado	Quebradores Cerro Minas S.A.	Sin Numero	Acuífero	-	-
A-1715	479660	1097383	Cancelado	Quebradores Cerro Minas S.A.	Uruca	Rio	-	-
A-4679	479460	1097633	Cancelado	Consorcio Agrícola Industrial LA Palma S.A	Azul	Quebrada	-	-
P-10253	480030	1097147	Moroso pago de canon	Inmobiliaria Norisco S.A.	AB-2230	Acuífero	Consumo humano	0.03
A-164	480010	1097632	Moroso pago de canon	Hotel Europa S.A.	Uruca	Rio	Riego	5
P-3898	480060	1097682	Cancelado	JAIME GUELL Y CIA., LTDA.	Sin Numero	Acuífero		
P-8585	480040	1097302	Cancelado	Nuria Araya Chaverri	AB-1797	Acuífero		
P-11343	479360	1097683	Cancelado	Quebradores Cerro Minas S.A.	AB-1354	Acuífero	Industrial	7.9
P-10529	479980	1097262	Solicitud nueva	Estudios e Inversiones Alsa S.A.	Sin Numero	Acuífero	-	
P-15246	480074	1097177	Otorgado	Inmobiliaria Patisco S.A	AB-2506	Acuífero	Riego	0.2
A-9525	479561	1097538	Moroso pago de canon	Holcim Costa Rica, S.A.	Uruca	Rio	Industrial	0.3

Fuente (D.A, 2021).

Cerca del área de estudio las concesiones (Figura N°12) más cercanas (A-1715, P-11343 y P-4678) son otorgadas a Quebradores Cerro Minas S.A y Consorcio Agrícola industrial la Palma S.A (A-4679); sin embargo, el estado de estas se encuentra cancelado, por lo tanto, se desconoce si el caudal que transcurre por el canal es aprovechado o concesionado por otros entes o vecinos de la zona.

En relación con las concesiones y su estado actual descritas como canceladas se deben considerar los artículos Nº17, 25 y 168 de la ley de Aguas Nº 276, los cuales manifiestan:

Artículo 17

Es necesaria autorización para el aprovechamiento de las aguas públicas, especialmente dedicadas a empresas de interés público o privado. Esa autorización la concederá el Ministerio del Ambiente y Energía en la forma que se prescribe en la presente ley, institución a la cual corresponde disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia sobre las aguas de dominio público, conforme a la ley Nº 258 de 18 de agosto de 1941. Exceptúense las aguas potables destinadas a la construcción de cañerías para poblaciones sujetas al control de la secretaría de Salubridad Pública, según ley número 16 de 30 de octubre de 1941.
(Así reformado por el Transitorio V de la Ley Nº 7593 de 9 de agosto de 1996).

Artículo 25

Las concesiones se extinguirán:

I.- Por expiración del plazo para el cual fueron otorgadas;
II.- Por cesación del objeto para el cual se destinaba el aprovechamiento; y
III.- Por caducidad, que será declarada administrativamente por el Ministerio del Ambiente y Energía, previa audiencia de los interesados.
(Así reformado por el Transitorio V de la Ley Nº 7593 de 9 de agosto de 1996)

Artículo 168

El producto de todas las multas que se impongan por delitos o faltas que sanciona esta ley y los Códigos Penal y de Policía por motivo de aguas, corresponderá al Ministerio del Ambiente y Energía, previa deducción de lo que sea entregado a los denunciantes.
(Así reformado por el Transitorio V de la Ley Nº 7593 de 9 de agosto de 1996).

Dicho esto, por el estado en el que se encuentran las concesiones presentes en la comunidad se concluye que el aprovechamiento de las mismas se encuentra restringido, por lo tanto, su uso puede repercutir en problemas legales por lo establecido en la ley de aguas. Bajo estas condiciones, se recomienda realizar el cierre de la captación, de esta manera el flujo temporal que recorre por el canal no cargaría el sistema pluvial de la comunidad disminuyendo la posibilidad de que se den amenazas de inundación a lo largo del año: no obstante, el señor Arnoldo Jiménez vecino del sector no se inclina a que cierren el canal, a pesar de los daños estructurales que sufren las viviendas que están dentro de su terreno.

Igualmente, se deben efectuar las indagaciones finales para establecer que la empresa Quebrador Cerro Minas SA y otros agricultores de la zona, no estén utilizando el recurso hídrico de alguna manera que pueda ser afectada en el caso de clausurar el canal de riego.

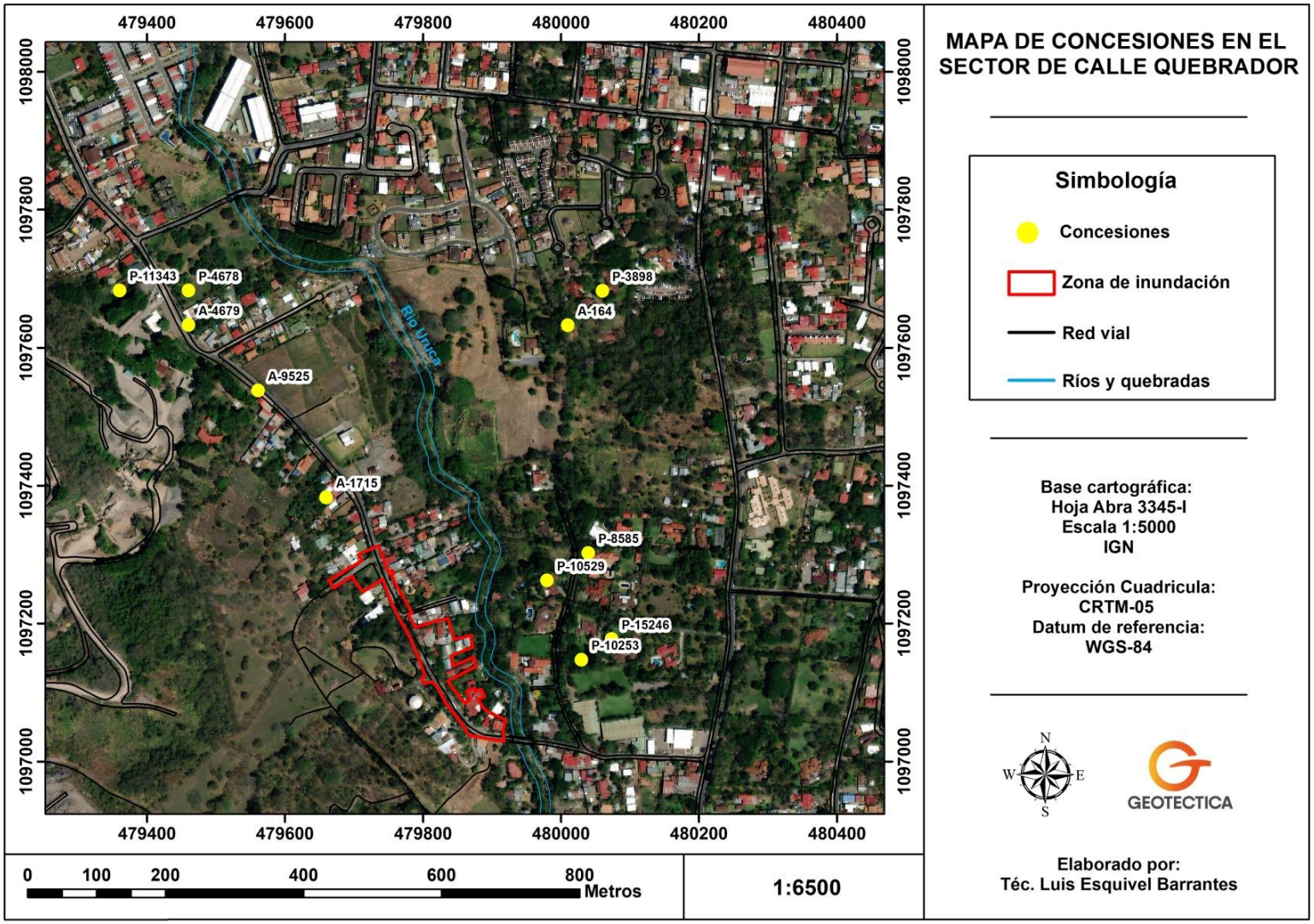


Figura N°12. Ubicación geoespacial de las concesiones en el sector de calle Quebrador.

- **Aforos aplicados**

Se realizaron una serie de aforos para estimar el caudal que transita por el canal de riego en diferentes sectores y así estimar el caudal de consumo de las aparentes concesiones. Cabe destacar que los aforos se realizaron en uno de los meses más secos del año siendo, por lo tanto, es probable que en época de invierno generarán un crecimiento considerable (Anexo 3).

En el sector número uno no se presenta ningún aprovechamiento por lo cual se puede considerar como el caudal total transportado por el canal. En el sector número dos existe un aprovechamiento de agua por medio de una tubería de PVC, que posee un uso aparente para riego de cultivos. Se desconoce si el caudal es concesionado en este caso, a pesar que las bases de datos consultadas no indican dicha concesión. Se ha procedido a realizar un aforo volumétrico, el caudal obtenido es muy pequeño respecto al punto número uno, sin embargo, se debe de considerar para realizar la modelación hidráulica.

En el sector número tres existe una desviación del canal donde un flujo tiene dirección hacía unos cultivos agrícolas de la zona, mientras que el otro flujo presenta una dirección hacia Quebradores Cerro Minas S.A. Se desconoce si el caudal está siendo utilizado, ya que según las bases de datos consultadas las concesiones en la zona se encuentran canceladas. Se pueden ver los valores de los aforos en el Cuadro N°8 y la ubicación geoespacial en la Figura N°13.

Cuadro N°8. Valores respectivos a los aforos realizados

Aforo	Este (X)	Norte (Y)	Método	Q (m^3/s)	Q (l/s)
1	479860	1097091	Flotador	0.01420	14.20
2	479755	1097272	Volumétrico	0.001736	1.740
3	479732	1097322	Flotador	0.0078	7.78

Fuente (Propia, 2021)

Se puede apreciar el croquis (Figura N°14) del sistema pluvial actual de Calle Quebrador, el cual está conformado por 15 tragantes, 8 pozos, 1 compuerta de control del flujo del Río Uruca, cunetas, alcantarillado y el canal de transporte, mismo que tiene la función canalizar el agua concesionada para el quebrador del tajo y el riego de cultivos.

Es importante resaltar que el caudal medido que pasa por el canal es de 14.20 l/s. Este caudal se divide en 3 flujos, el primero se desvía del canal en la parte media hacia la margen derecha del área en estudio por una tubería de 2 pulgadas aprovechando 1.74 l/s para riego (Flujo 3) del caudal total concesionado. El segundo continúa su recorrido por el canal hasta el cebollal aprovechando 7.78 l/s para este cultivo, el cual se ubica al norte de la zona en estudio (Flujo 1) y el tercero se desvía del canal hacia la margen izquierda del área en estudio para el quebrador del tajo, que transporta 4.68 l/s (Flujo 2), transportado desde la captación en el rio Uruca hasta las diferentes zonas donde serán utilizadas.

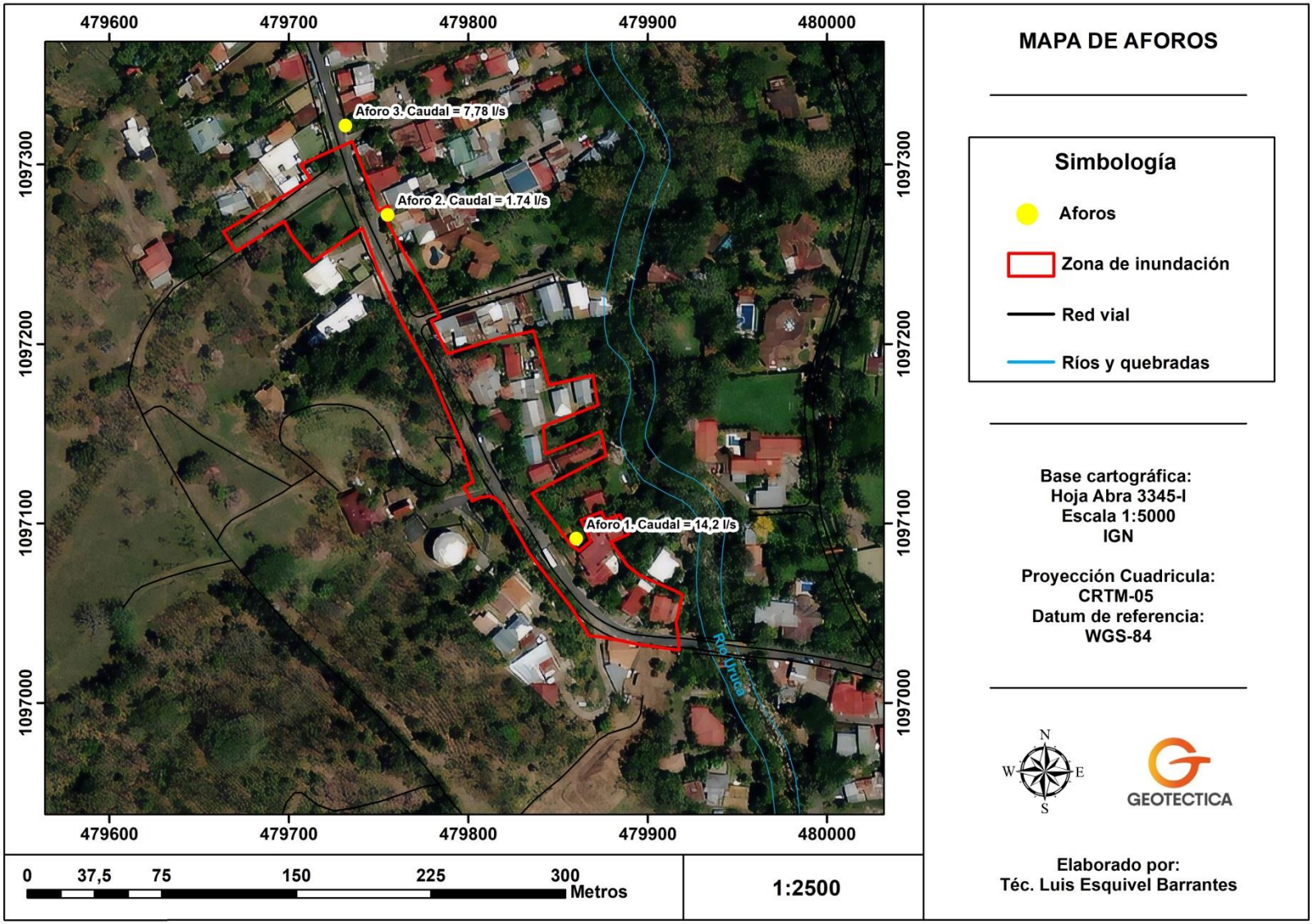


Figura N°13. Ubicación geoespacial de los aforos realizados en el sector de calle Quebrador.

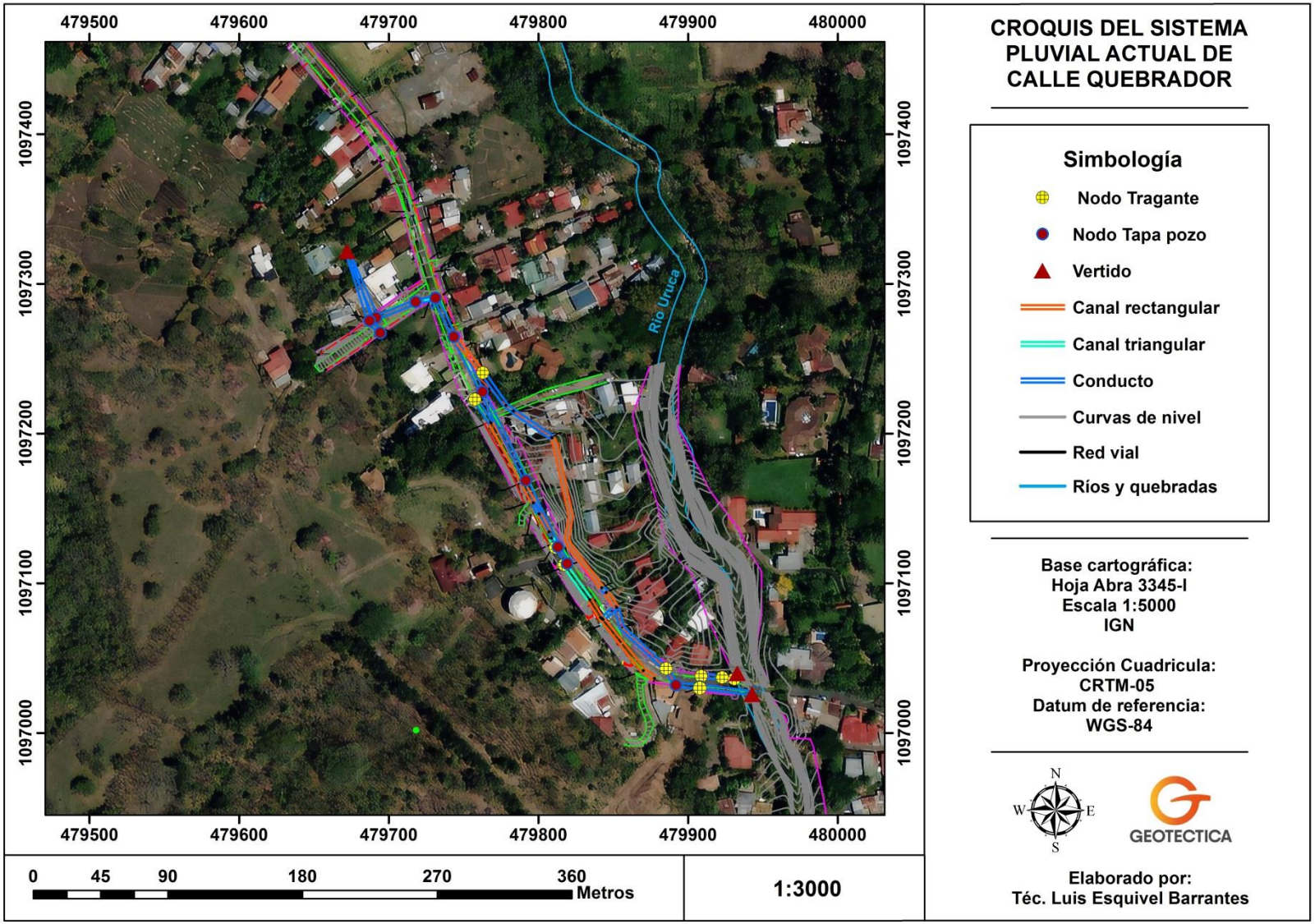


Figura N°14. Ubicación geoespacial de los elementos del sistema pluvial de calle Quebrador.

4- ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA EN EL SITIO DEL PROYECTO

- **Modelación del Río Uruca 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, considerando 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 el río analizado 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 y 250 años.

El modelo HEC-RAS requiere la inclusión de la geometría a detalle de las secciones del cauce, a partir de las cuales se obtienen los parámetros hidráulicos para el cálculo de las condiciones de flujo analizado, para el sitio en estudio se cuenta con 17 secciones trasversales para analizar (Figura N° 15). Estas secciones fueron obtenidas por medio del levantamiento topográfico a detalle.

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°3 se exponen las secciones transversales del río Uruca, así como sus tirantes críticos y normales para caudales de avenida máxima de 80.72 m^3/s (Pr: 50 años), 86.54 m^3/s (Pr: 100 años) y 94.96 m^3/s (Pr: 250 años). De los Cuadros N°49 y N°50 en el Anexo N°3 respecto al número de Froude (F) para los sectores analizados se obtienen valores entre 1.74 y 2.44 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. Respecto a la velocidad en el cauce se puede observar que los sitios con un número de Froude mayor a 1 no sobrepasan 8.24 m/s, resultados que demuestran velocidades importantes, con un régimen supercrítico.

En relación con las corridas realizadas en el software Hec-Ras 5.0.7 se puede definir que el río Uruca no presentará desbordamientos en los tramos analizados, ya que según la modelación el cauce posee la capacidad hidráulica para evacuar aguas producto de precipitaciones extraordinarias asociadas a tormentas con periodos de retorno indicados, por lo que se deduce que la comunidad de Calle Quebrador no va a presentar riesgos de inundación por posibilidad de desborde del Río Uruca; ya que, las secciones levantadas demuestran que las áreas transversales del cauce son adecuadas para soportar la carga pluvial que se generen por eventos extraordinarios.

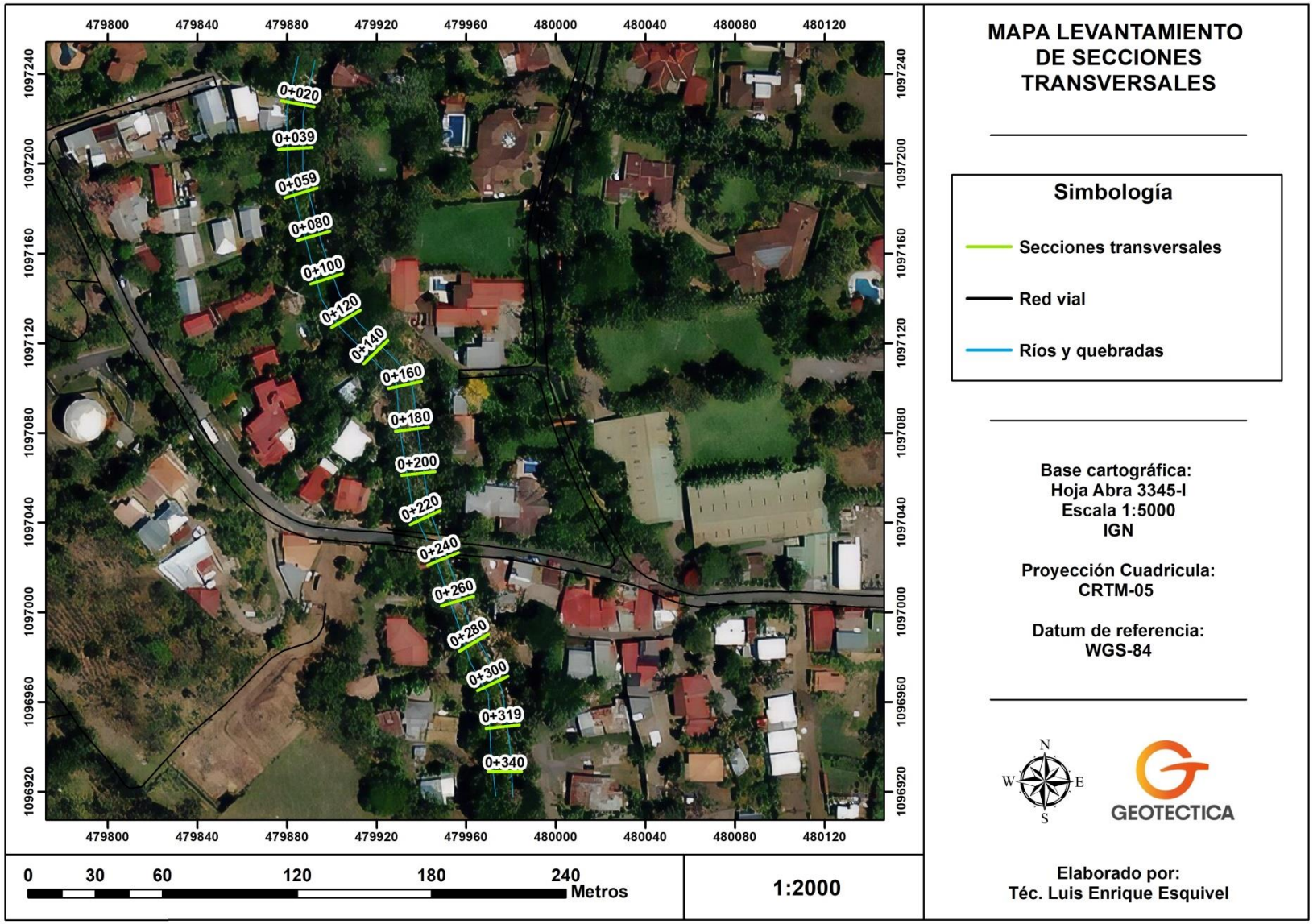


Figura N°15. Mapa de secciones transversales sobre el Río Uruca.

- **Modelación mediante el EPA SWMM V.5.0**

El modelo bajo el cual se desarrolla esta metodología es el Storm Water Management Model (SWMM) V.5.0, modelo unidimensional que representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental. Estos módulos y sus correspondientes objetos en el SWMM son los siguientes: el módulo de escorrentía que funciona con una serie de subcuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía y el módulo de transporte, el cual analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores (EPA 2005).

Los componentes físicos del primer módulo se corresponden con el pluviómetro y las sub-cuencas. El pluviómetro representa la lluvia y en él se introducen los datos de la misma (hietogramas de precipitación), las subcuencas representan las parcelas, conjunto de parcelas, manzanas, etc., dependiendo del nivel de precisión deseado, en todo caso, para cada subcuenca deben introducirse datos como área, ancho, pendiente, % de impermeabilidad, método de infiltración, curva número de las subcuencas, etc. Los componentes físicos del segundo módulo quedan representados por los nodos de conexión, los conductos, las salidas y los nodos de vertido. Los nodos de conexión para el drenaje superficial representan los nodos hacia donde descargan las subcuencas mientras que para el drenaje subterráneo estos representan las bocas de visita de los colectores y la conexión entre el drenaje superficial y subterráneo, ambos requieren como principal dato la cota del mismo (Rincón Ortíz & Muñoz, 2013).

La metodología de evaluación hidráulica por medio del software EPA SWMM fue aplicada al sistema pluvial completo de Calle Quebrador de Santa Ana, en la cual se han presentado algunas problemáticas asociadas con sobre flujo de escorrentía en el camino y las cunetas, y según lo mencionado por los vecinos de la zona, estas situaciones ocurren todos los años. Además, para los detalles de modelación en el software están en función al levantamiento topográfico in situ (Anexo 13).

Para el análisis hidráulico se procede con la selección de información donde se toman los datos de precipitación de la Estación de Aeropuerto de Pavas 84-195, mencionado por Rojas, (2011), de los cuales se utilizan los relacionados con un periodo de Retorno de 100 años, para una precipitación de 30 minutos continuos (Cuadro N°9). En base a los datos de lluvia se aplica una ecuación de ajuste para obtener los datos de precipitación a los 20 y 25 minutos del evento y poder graficar el histograma de precipitación con orden completo.

Cuadro N°9. Estación aeropuerto de Pavas 84-195, intensidades de precipitación máxima (mm/h) por duración y período de retorno a 100 años.

Duración (min)	Duración (h)	Intensidad (mm/h)	Lamina de Precipitación (mm)
5	0.083	168.62	14.05
10	0.167	151.57	25.27
15	0.250	135.85	33.96
30	0.500	94.90	47.45

Fuente: Rojas, 2011.

Respecto a los datos del Cuadro N°9 se aplica una gráfica para conocer la ecuación de ajuste de valores, y poder obtener los resultados de precipitación (mm) en los tiempos de 20 y 25 minutos (Grafico N°4). La ecuación de ajuste obtenida, se procede con la generación del Histograma de precipitación para una duración de 30 minutos, con valores en intervalos de 5 minutos, para un Periodo de Retorno de 100 años (Grafico N°5).

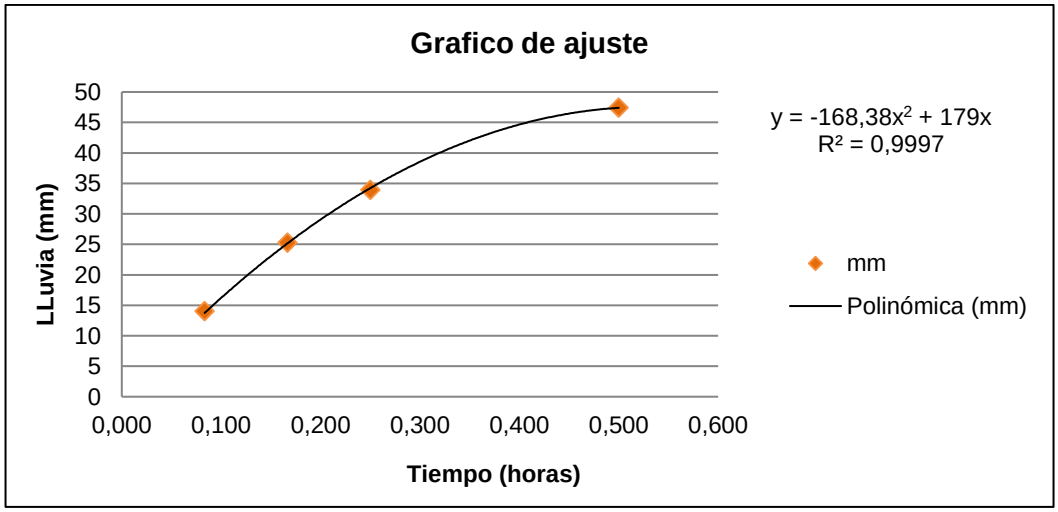


Grafico N°4. Ecuación de ajuste para conocer la precipitación que se puede generar en 30 minutos para la estación Pavas 84-195.

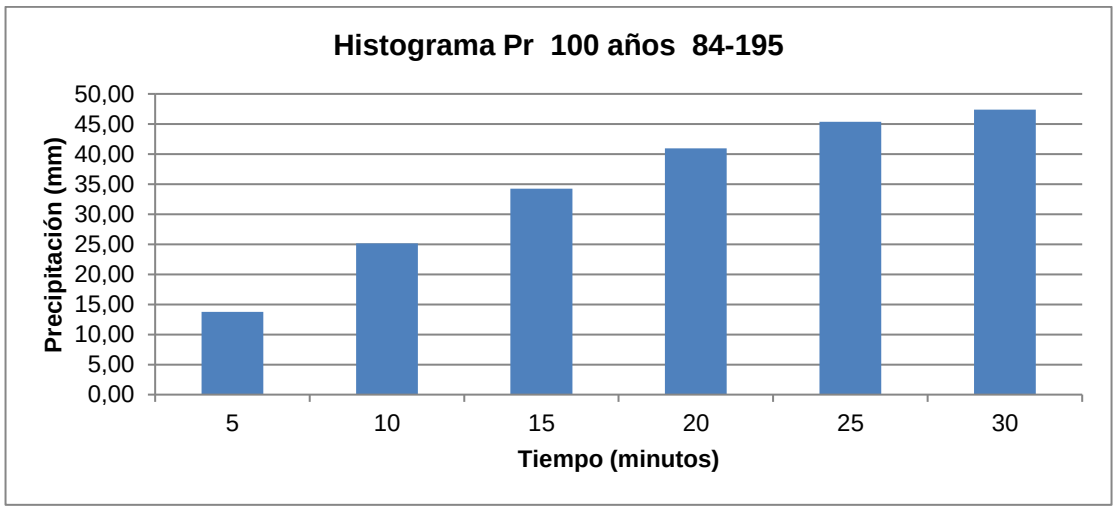


Grafico N°5. Histograma de precipitación en Periodo de Retorno de 100 años.

Según el AyA, (2017) para las tormentas de diseño, el periodo de retorno para la modelación de la red del alcantarillado pluvial debe ser como mínimo de 10 años, mientras que para el cálculo de la intensidad, duración o frecuencia se deben utilizar gráficas (curvas) generadas o seleccionadas por el diseñador, cuya información aplique para la zona de influencia del proyecto y esté sustentada en datos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional u otro organismo competente en esta materia.

Basados en lo anterior, se aplicará el análisis hidráulico a la red pluvial de Calle Quebrador, con un periodo de retorno de 100 años, esto con el objetivo de aplicar las recomendaciones en lo atinente al blindaje contra el cambio climático en la cuantificación de la capacidad del sistema, además se hará uso de las curvas IDF de la estación 84-195 generadas por Rojas, (2011).

El sistema pluvial en estudio quedó conformado por un pluviómetro donde se ingresaron los valores del histograma de precipitación para un periodo de retorno de 100 años, el poblado se esquematiza con 16 subcuencas o parcelas que representan los terrenos del sitio, mismos a los que se les incluyen los datos geométricos de las “cuenca” tales como; área, ancho de cuenca, % de área impermeable (obtenidos de la digitalización en ArcGis 10.5) y los coeficientes de rugosidad de Manning (estos en función del tipo material).

Respecto al sistema colector de Calle Quebrador, este se encuentra compuesto por: 10 pozos pluviales, 9 tragantes y 19 nodos de conexión, los cuales fueron ubicados por un GPS en campo, además las cotas fueron extraídas del levantamiento topográfico en campo, en conjunto de la creación de un modelo de elevación digital (DEM) elaborado en Arcgis 10.5.

En relación a los conductos el sistema principal este se compone por 7 líneas de alcantarillas que abarcan una longitud total promedio de 292 m. Las líneas secundarias se asocian con cunetas rectangulares, triangulares e irregulares mismas que tributan en el sistema principal, es importante mencionar que en el sitio traza un canal con flujo permanente, donde este es utilizado para el aprovechamiento de los cultivos y el quebrador del Tajo. Tras la generación del esquema completo de la red pluvial de Calle Quebrador de Santa Ana, se procede a realizar las corridas del programa considerando el histograma de precipitación mencionado anteriormente (Grafico N°5). Los parámetros de las corridas empleados en el modelo fueron los siguientes: método de cálculo hidráulico: onda cinemática, tiempo de simulación: 30 minutos, intervalo de tiempo para el cálculo hidráulico: intervalo de tiempo para análisis de resultados: 5 segundos. Las corridas fueron aceptadas, los errores de continuidad para el cálculo hidráulico no superaban el 10% como en efecto ocurrió.

En la Figura N°16 se establece el esquema elaborado en EPA SWMM de Calle Quebrador de Santa Ana, mientras que en la Figura N°17 se presenta el mismo con la simulación ejecuta tras un evento de precipitación de 30 minutos en periodo de retorno de 100 años.

Para el análisis hidráulico de la red pluvial y su capacidad de transporte se presentan varios perfiles que concuerdan con los conductos pluviales de Calle Quebrador, en los mismos se puede observar el diámetro de las alcantarillas, así como los pozos pluviales y los puntos de desfogue que componen la línea de evacuación pluvial. En total Calle Quebrador se compone de 10 perfiles de simulación.

- **Escorrentía cuencas (l/s)**

se puede observar la cantidad escurrimiento en l/s que se genera tras la simulación para un periodo de retorno de 100 años sobre Calle Quebrador (Figura N°18, Anexo 4), donde se obtienen rangos que van desde 62 l/s a 7316.66 l/s esto según la corrida generada en EPA SWMM, respecto a las “cuencas” C1 y C8 estás áreas son la que provoca mayor escurrimiento en el sitio de estudio (hasta a 7316.66 l/s en el momento más crítico del evento de 100 años, a 30 minutos), lo anterior se debe a él gran área y las pendientes altas del sitio, mismas que impulsan el flujo hasta la vía de Calle Quebrador.

Respecto a las demás cuencas estas poseen un menor flujo de escorrentía, mismo que según la modelación no sobrepasa los 5800 l/s (C4). Es importante mencionar que los cálculos realizados contemplan las características actuales del sitio, lo que contribuye a tener valores más certeros de la escorrentía (Cuadros N° 51 y 52 del Anexo 4).

- **Nivel del agua en nodos (m)**

Respecto a los nodos y su nivel de agua al momento del evento de precipitación, se obtiene que algunos de los pozos de registro pluvial (nodos) no están en capacidad de soportar eventos asociados a periodos de retorno de 100 años; aun así, se puede sostener que el nivel en la mayoría de pozos se encuentra entre 0 y 0.60 m (Figura N°19). Por otro lado, respecto a los nodos: PP-1, PP-3, PP-5, PP-8 y PP-9 estos poseen valores de nivel de agua entre 0.40 y 0.60 m; mientras que en el nodo PP-1 tributa el flujo total utilizado por las concesiones, el cual cuenta con una compuerta para desviar el flujo en los momentos críticos de precipitación.

Tras las mediciones a detalle en campo de los pozos de registro pluvial, se puede deducir que se darán desbordes, ya que en los nodos de color; verde, amarillo y rojo las profundidades son menores o iguales a los niveles de agua obtenidos tras la simulación, estos concuerdan con los nodos: PP-2, PP-4, PP-6, PP7 y PP-10 (Cuadros N° 53, 54, 55 y 56 del Anexo 4.1), además a esto contribuye la afectación por sedimentos u objetos que obstruyen el paso del agua pluvial.

- **Capacidad de los conductos pluviales (%)**

La modelación relacionada con las tuberías pluviales o conductos (Figura N°20), donde se cuantifica la capacidad de trasporte del flujo pluvial que se genera sobre Calle Quebrador, para un evento de precipitación en un periodo de retorno de 100 años; define que los conductos que poseen colores amarillos y rojos ocuparían entre 0.80 (80%) y 1.00 (100%) de su capacidad, por lo que se daría un colapso en las mismas al evento de precipitación de 30 minutos de forma creciente, estos se encuentran distribuidos en distintos espacios del poblado. Al mismo tiempo, el conducto TCP-2 que se localiza frente al plantel del AyA, este cuenta con una capacidad ocupada máxima por el evento pluvial de 0.91 (91%), además los conductos TCP-4 y TCP-5 mismos que transportan el flujo hasta el camino de lastre donde finaliza el tramo en análisis, poseen una capacidad de ocupación del 100%, por lo que se evidencia que las líneas mencionadas no cuentan con la posibilidad para evacuar las aguas pluviales de Calle Quebrador para un periodo de retorno de 100 años

Como se logra observar en el anexo 4.2 la mayoría de las tuberías pluviales poseen una capacidad de ocupación mayor a 0.30 (30%), esto para el evento en periodo de retorno de 100 años y una lluvia continua de 30 minutos con carácter creciente cada 5 minutos. Relacionando lo anterior con lo que dicta el AyA, 2017; “El valor máximo permisible del tirante hidráulico debe ser de 0,85 del diámetro interno de la tubería”, por lo que se deduce que la mayoría del sistema de cunetas y alcantarillas sobrepasan el parámetro de capacidad del tirante que recomienda el AyA.

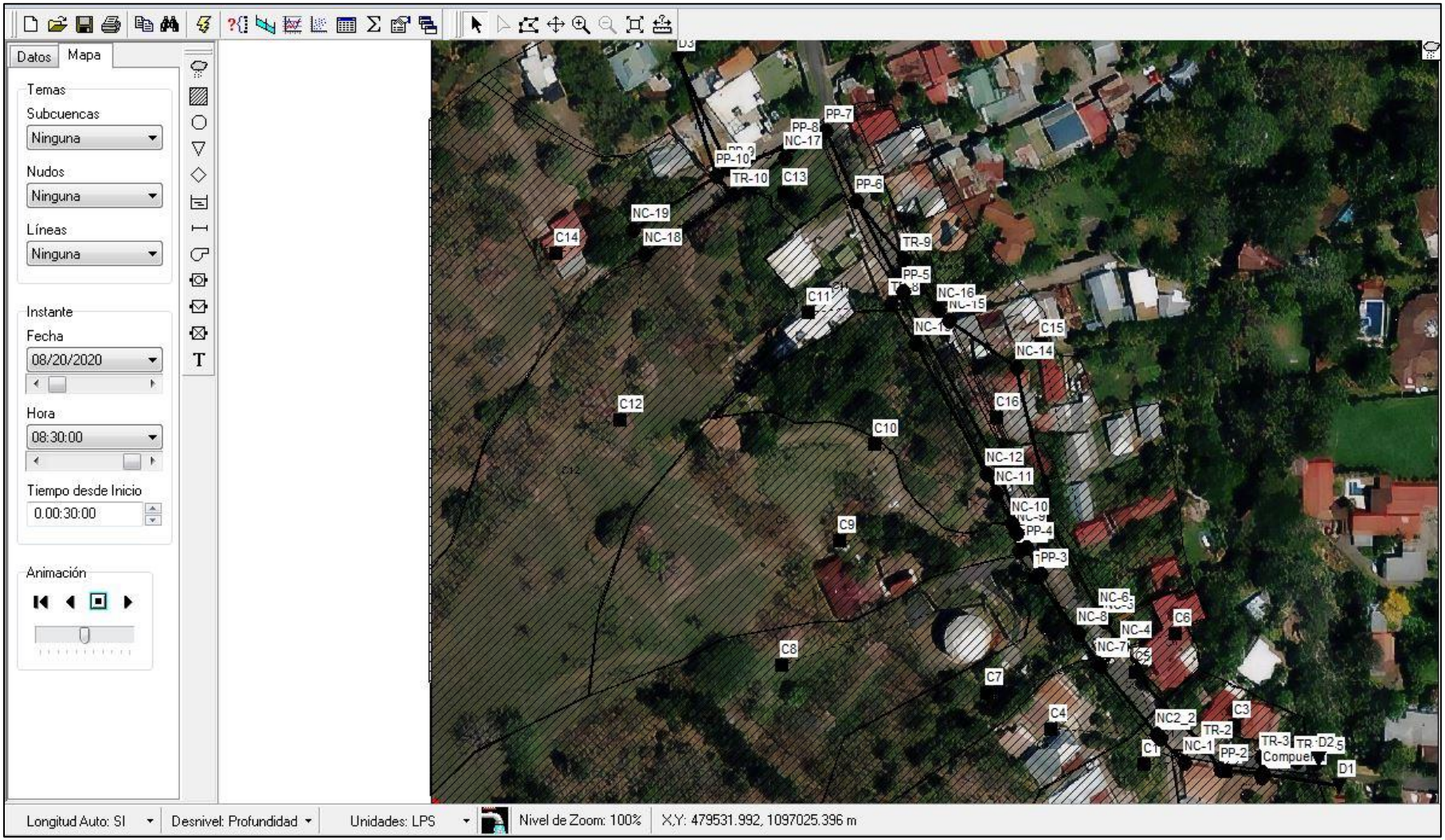


Figura N°16. Esquema de la red pluvial actual de Calle Quebrador elaborado en EPA SWMM.

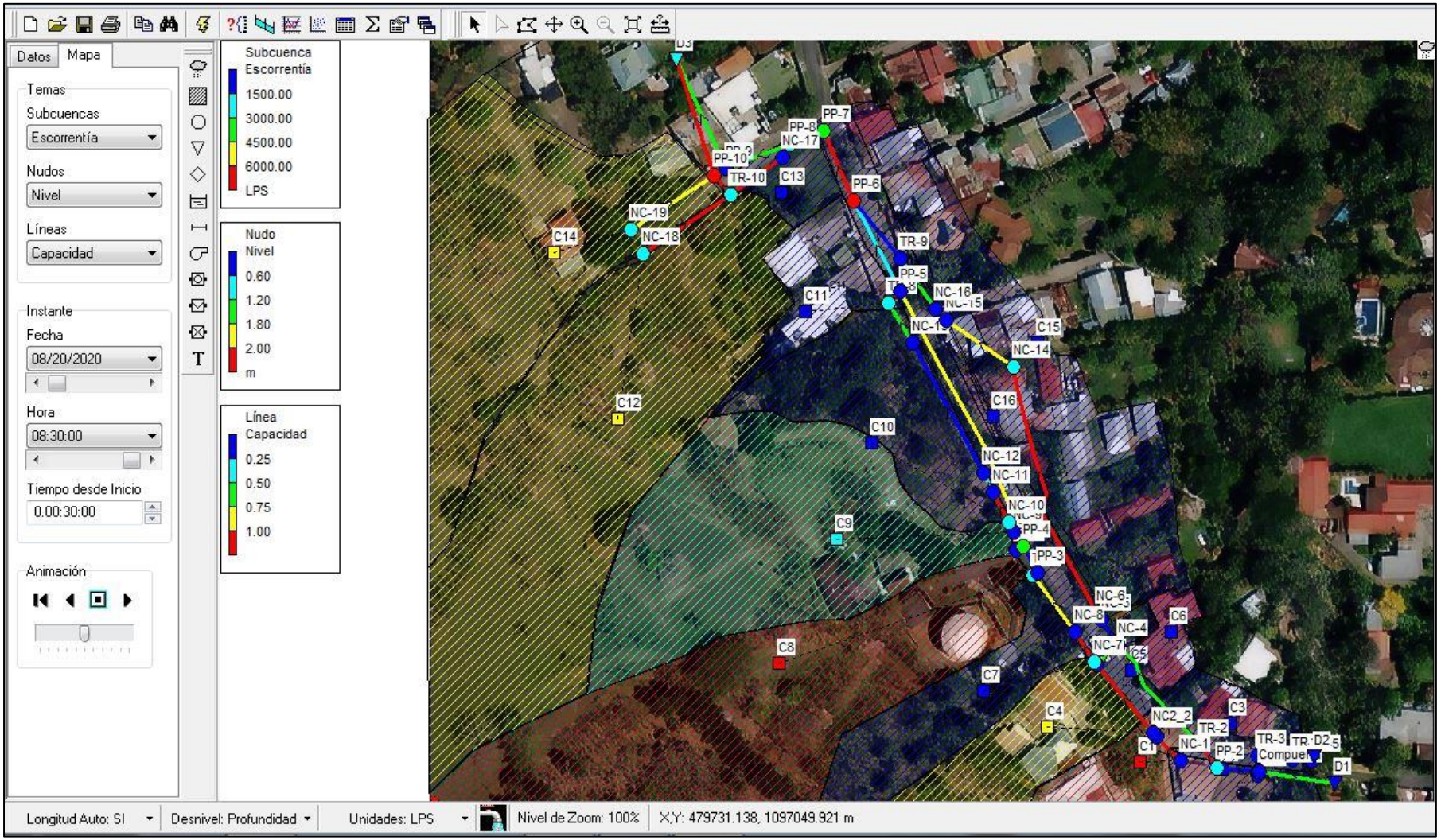


Figura N°17. Esquema de la red pluvial actual de Calle Quebrador elaborado en EPA SWMM.

Figura N°18. Esquema de la red pluvial de Calle Quebrador, y el análisis las "cuencas" o parcelas (terrenos del sitio).

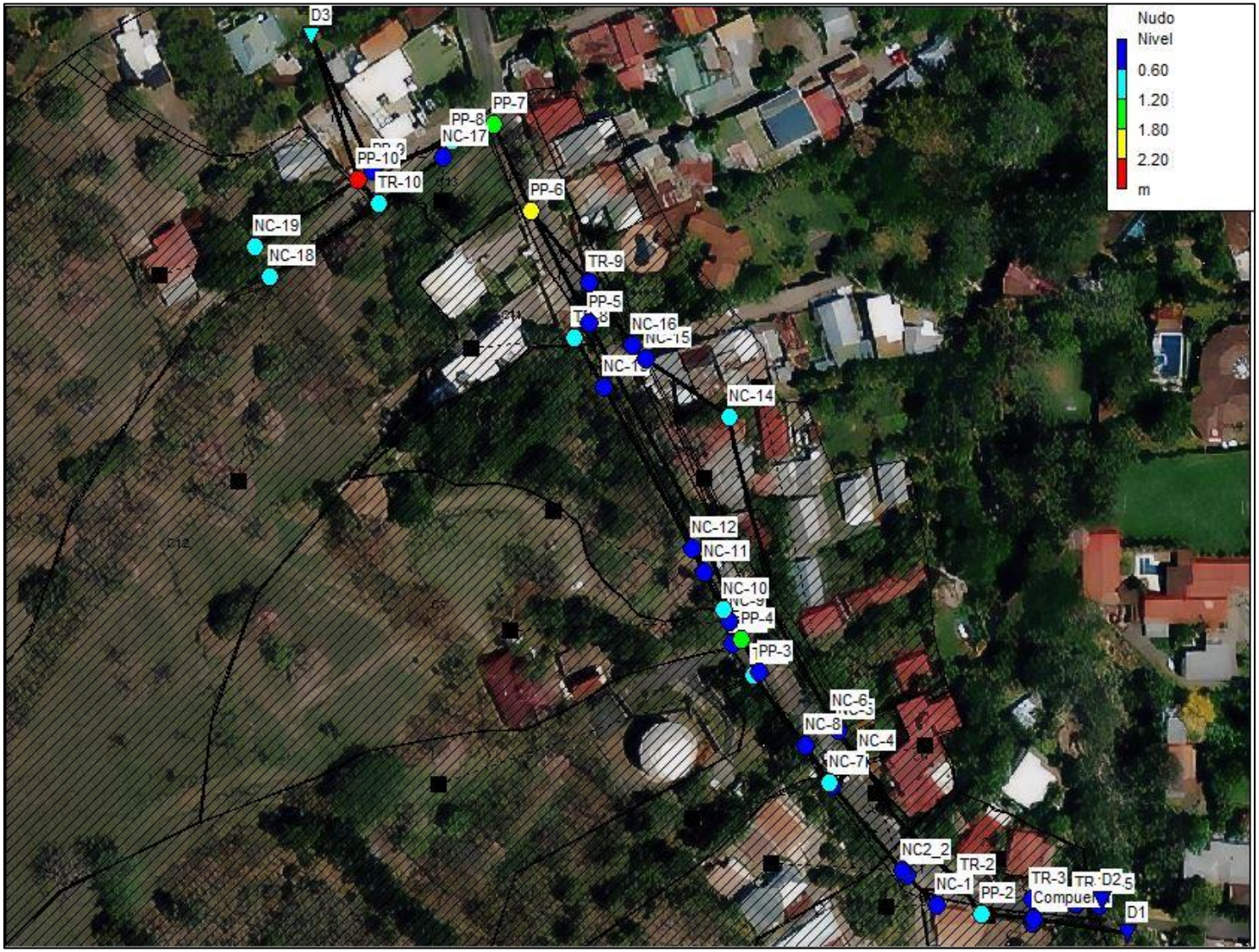


Figura N°19. Esquema de la red pluvial de Calle Quebrador, y el análisis de los nodos (pozos de registro pluvial).

.

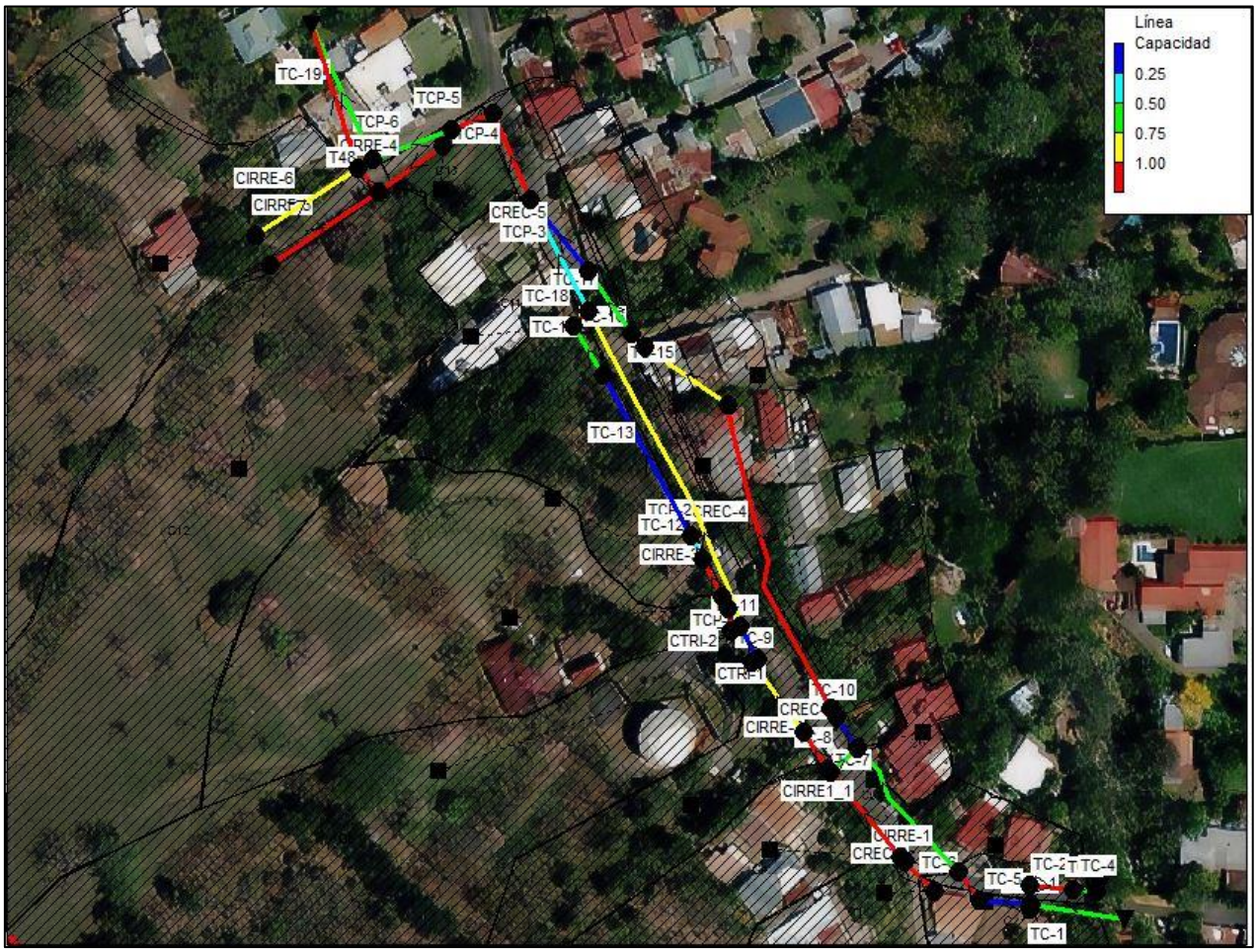


Figura N°20. Esquema de la red pluvial Calle Quebrador, y el análisis de los conductos (conductos de transporte pluvial).

El sistema pluvial se compone de diferentes estructuras (cunetas, canales o alcantarillas) este se distribuye de la siguiente forma:

Perfil de Línea Principal: El conjunto de alcantarillas que componen la línea principal varían su diámetro entre 0.60 y 0.80 m, este inicia exactamente al frente del plantel del AyA y culmina bajo el domicilio del sector norte de Calle Quebrador, para una longitud aproximada de 290 m (Figura N°53).

Los tramos de tubería que van desde PP-6 hasta el PP-8, mismas que cuentan con un diámetro de 0.80 m presentan un colapso total para un evento con periodo de retorno de 100 años, además la línea que van desde PP4- hasta PP-5 y que posee un diámetro de 0.60 m, estaría ocupando un 91% de su capacidad tras el evento analizado, lo que indica un tirante hidráulico máximo de 0.55 m para ese sector.

Perfil 1: Se compone de 24 m de alcantarilla (Figura N 54°), con un diámetro de 0.20 m, este inicia exactamente frente a la clínica de los Drs Méndez, y tributa directamente en el Río Uruca, sobre el margen derecho del puente, en dirección aguas abajo del cauce.

En relación al análisis hidráulico se debe mencionar que este tramo no posee la capacidad de evacuar las aguas, donde los conductos ocupan un 100% de su capacidad al momento del evento de precipitación, lo que se correlaciona con las fuertes inundaciones vividas en el pasado.

Perfil 2: El perfil 2 mismo que se observa en la Figura N°55, cuenta con la compuerta de desvió, este se localiza sobre el tragante TR-1, y evacua las aguas por medio de una línea de 31.5 m con alcantarillado de 0.70 cm, misma que tributa en el Río Uruca, esta línea pluvial es fundamental para el control de inundaciones, ya que al momento de los eventos esta compuerta se acciona y evacua el sobre flujo utilizado aguas abajo.

Perfil 3: El perfil 3 que se presenta en la Figura N°56, está compuesto por alcantarillas, canales revestidos en concreto y canales irregulares de rugosidad natural, la línea en su totalidad posee una longitud promedio de 300 m, según la modelación el canal que se conecta entre los nodos NC-4 y NC-14 no soporta la carga hidráulica generada por un evento de precipitación.

Perfil 4: Está compuesto principalmente por las cunetas que se localizan desde el camino frente a la clínica Drs Méndez hasta la alcantarilla que desvía y tributas las aguas en el canal rectangular que transporta el flujo de la concesión, esta línea posee una longitud media de 59 m, además se observa tras la modelación que el canal rectangular que se encarga de evacuar la escorrentía generada por la pendiente del camino (Fotografía N°1) no está en capacidad de transportar el flujo, lo que concuerda con las inundaciones que se han dado en el pasado.

Perfil 5: El perfil 5 se observa en la Figura N°58, este se compone por principalmente por un canal triangular revestido en concreto que se presenta en la Fotografía N°7, además este desfoga en un tragante con una alcantarilla de 0.45 cm que lleva el flujo a la línea principal. El perfil 5 posee una longitud media de 48 m y según la modelación soporta la carga pluvial que se puede generar en un evento extraordinario con periodo de retorno de 100 años.

Perfil 6: Posee una longitud media de 11 m, y se compone por un canal de concreto triangular que tributa en el tragante TR-7 (Figura N°59) que conecta mediante una alcantarilla de 0.45 m que desfoga en la línea principal. Según la modelación esta línea no posee la capacidad de evacuar el flujo que se genere por un evento extraordinario con periodo de retorno de 100 años.

Perfil 7: El perfil 7 se visualiza en la Figura N°60, este se compone principalmente por alcantarillas y cunetas irregulares de rugosidad natural. Según la modelación realizada la cuneta no cuenta con las dimensiones idóneas por lo que no soporta la carga hidráulica, además la alcantarilla que conecta entre TR-8 y PP-5 no cuenta con la capacidad de llevar las aguas pluviales a la línea principal.

Perfil 8: Este se compone principalmente por alcantarillas y cunetas irregulares de rugosidad natural (Figura N°61). Este perfil se localiza en la parte baja del AP siendo esta línea la que traza bajo la habitación y concluye en el terreno del Tajo Cerro Minas, es importante mencionar que sobre este sector la escorrentía es importante, además en el pasado se han dado inundaciones.

La línea 8 cuenta con una longitud media de 100 m, y según la modelación hidráulica las estructuras no soportan la carga que se puede generar para un evento con periodo de retorno de 100 años.

Perfil 9: El perfil 9 se observa en la en la Figura N°62, este se compone principalmente por alcantarillas y cunetas irregulares de rugosidad natural. Este perfil se localiza en la parte baja del AP siendo esta línea la que traza bajo la habitación y concluye en el terreno del Tajo Cerro Minas y posee características similares al perfil 8, según la modelación este no soporta la carga hidráulica, lo que potencia las inundaciones en el sector.

- **Recomendaciones de diseño y valoración mediante Hcanales**

De esta forma, tomando en consideración la pendiente del sector, la visita de campo y el análisis hidrológico efectuado, se estima que, para la zona de influencia pluvial directa de Calle Quebrador en relación a un periodo de retorno de 100 años se obtienen una avenida máxima de 3.38 m^3/s; caudal que se divide en varios sectores los cuales por su topografía impulsan el agua hacia distintos puntos de Calle Quebrador (Figura N°21).

Se aplicará la cuantificación considerando el caudal de avenida máximo por un periodo de retorno de 100 años y el caudal aforado en situ (caudal que se utiliza para el quebrador y los cultivos), mismo que ocupa un espacio importante en los conductos y las cunetas del sistema colector local. Para la cuantificación se utilizarán los caudales de las avenidas máximas calculadas por el método Racional, siendo estos aplicados a las subzonas del aporte pluvial directa de Calle Quebrador, es importante mencionar que dentro de este se contemplan las características de los factores de escorrentía actuales (Cuadro N°10).

Cuadro N°10. Valores para el caudal máximo aportado en los distintos sectores de influencia directa de Calle Quebrador

Subsectores	Área (ha)	Líneas de aportes	Coeficiente de escorrentía (C)	Intensidad de precipitación (mm/h)	Caudal Racional (m^3/s)	Caudal de aporte (m^3/s)	Caudal de diseño (m^3/s)
Subsector 1	6.26	Línea 1	0.60	72.9	0.7610	0	0.7610
Subsector 2	21.32	Línea 2			2.5907	0.5791	3.170

Para el diseño se deben considerar los flujos de escorrentía y los aportes permanentes que van a existir en el sistema colector, incluyendo el líquido aprovechado por las concesiones, transportado en el canal natural que traza por el terreno del señor Arnoldo Jiménez, mismo que tributa al sistema colector y aporta un caudal critico de 0.3931 m^3/s, además según lo mencionado por los funcionarios del AyA el rebalse del tanque puede producir un caudal de 0.186 m^3/s.

Con este dato se realiza la estimación del diámetro de la tubería requerida para el transporte de esta cantidad de agua, bajo un coeficiente de rugosidad comprendido para tuberías de concreto (Cuadro N° 11).

Cuadro N° 11. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning para algunos materiales.

Material	n
Acero	0.014
Fierro fundido	0.013
Hierro forjado	0.015
Metal corrugado	0.022
Cemento concreto	0.014
Asbesto	0.014

Si se supone que el flujo es uniforme, la capacidad del conducto estará dada por la ecuación:

$$D = \left[\frac{3.21nQ}{S^{\frac{1}{2}}}\right]^{\frac{3}{8}}$$

Dónde:

D = el diámetro del colector, en m
n = coeficiente de rugosidad de Manning
Q = gasto de diseño, en m^3/s
S = pendiente del colector a diseñar

De esta forma, en el Cuadro N°12 se indica el diámetro obtenido para la tubería con capacidad de transportar el caudal de avenida máxima instantáneo generado por el área tributaria y el proyecto en operación.

Cuadro N° 12. Diámetro de tubería requerido según caudal máximo instantáneo para el AP

Sector del futuro sistema	Q aportado (m^3/s)	Coeficiente de Manning (Concreto)	S (posible pendiente de sistema de conductos)	Diámetro de tubería (m)	Diámetro comercial de tubería recomendado (m)
Subsector 1	0.7610	0.014	0.018	0.60	0.70
Subsector 2	3.170	0.014	0.031	0.92	1.00

Fuente: Propia, 2021.

Tras los diámetros obtenidos del cálculo anterior se procede a verificar si las mismas soportan la carga que se genere por un evento de precipitación extraordinario asociado a un periodo de retorno de 100 años, esto en combinación de un escenario critico donde se deba evacuar el agua del tanque del AyA (186 l/s) y el canal natural que transporta el flujo del Río Uruca ocupe toda su capacidad (393.1 l/s).

El número de Froude (F) para los sectores analizados genera valores entre 1.74 y 2.27 (Cuadro N°13), lo que significa un régimen supercrítico, caracterizado por velocidades altas, donde las ondas o perturbaciones son arrastradas por la velocidad de flujo aguas abajo, con mayor influencia de las fuerzas gravitacionales, lo que puede ocasionar deterioros al concreto con el que están revestidos los canales (Figuras N°63 y N°64 del Anexo 6).

Cuadro N°13. Valores obtenidos según el Hcanales para los caudales máximos en Pr 100 años en los sectores elegidos de Calle Quebrador

Subsector	Caudal para modelación (m^3/s)	Diámetro recomendado (m)	Forma de canal	Tirante de agua Hcanales (y) (m)	Área Hidráulica Hcanales (A) (m^2)	Numero de Froude Hcanales (F)	Capacidad de ocupación del canal por el flujo pluvial (%)	Tipo de flujo Hcanales
Subsector 1	0.7610	0.70	Cilíndrico	0.42	0.24	1.74	60	Supercrítico
Subsector 2	3.170	1.0	Cilíndrico	0.68	0.57	2.27	68	Supercrítico

Considerando el rediseño de la línea pluvial 01 que va desde la Clínica Drs Méndez hasta el puente del Río Uruca en la parte alta de Calle Quebrador, se recomienda la implementación de un sistema colector compuesto por un diámetro mínimo de 0.70 m 0 700 mm, según la modelación realizada en Hcanales para este sector se obtendría un tirante máximo de 0.42 m, lo que corresponde con una capacidad máxima de ocupación de 60% esto en relación a un diámetro de 0.70 m.

Para el diseño de la línea pluvial 02, misma que recorre desde el tanque del AyA hasta el punto de desfogue en la parte baja del Río Uruca, exactamente trazando el camino de lastre que se encuentra colindante a la pulpería Daisy Geral, se recomienda la implementación de un sistema con diámetro de 1.0 m o 1000 mm, mismo que al analizarlo mediante Hcanales, arroja que se obtendría una ocupación del conducto de 68%.

Para el rediseño del sistema pluvial, la capacidad de las alcantarillas no debe sobrepasar el 85% del diámetro total. En relación a la velocidad y al diseño de los pozos pluviales, se deben implementar técnicas de construcción idóneas, donde estas regulen la velocidad y garanticen el buen funcionamiento del sistema.

Para los conductos tubulares no se acepta reducir el diámetro en la dirección del flujo, de tal forma que, en un pozo, el diámetro de la tubería de salida debe ser igual o mayor al diámetro de entrada; lo que también aplica cuando hay cambios de dirección o pendiente.

Se debe implementar un mantenimiento continuo a los conductos y un programa de vigilancia de alcantarillas, donde se evite la generación excesiva de sedimentos y obstrucciones, lo que contribuye al funcionamiento idóneo del sistema pluvial. Por otro lado, es importante el control de residuos sólidos en las cunetas, ya que estos pueden ser arrastrados por el agua y depositarse sobre las rejillas de los tragantes, ocasionando un sobre flujo pluvial en la superficie de la carretera y las aceras colindantes.

En la zona se recabó información con vecinos y personas que conocen los efectos que provocan las precipitaciones fuertes quienes indican que en varios sectores de Calle Quebrador se han presentado desbordamientos, por la información obtenida del relato de los pobladores, se recomienda la implementación de medidas alternas para evitar futuros impactos sobre el poblado en mención.

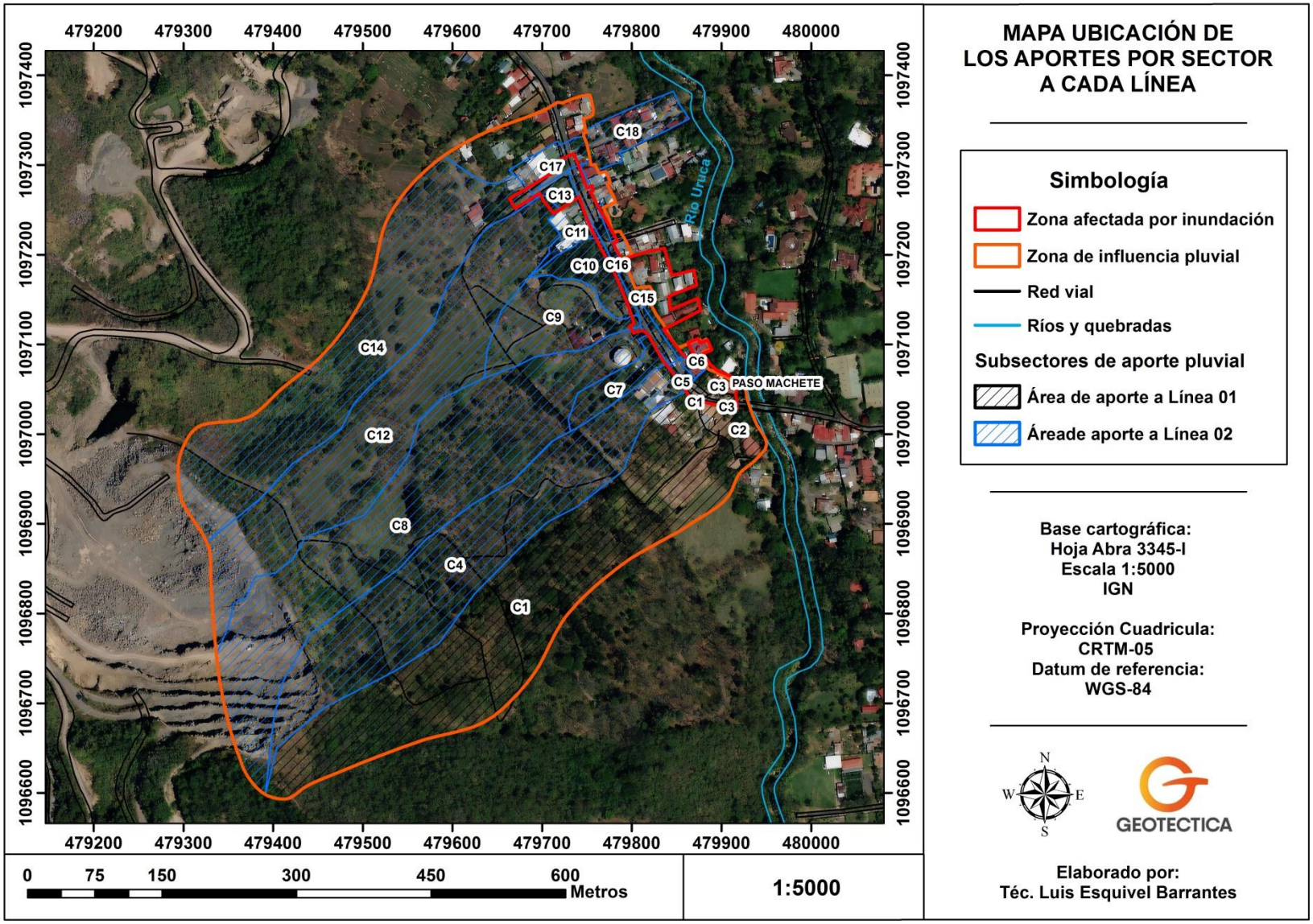


Figura N°21. Mapa de aporte por sector a cada línea a diseñar sobre Calle Quebrador.

5- ENCUESTAS REALIZADAS A LOS VECINOS DE CALLE QUEBRADOR

En el presente apartado se aplicará un análisis a las encuestas realizadas a los vecinos de Calle Quebrador, mismas que son de gran utilidad para conocer las problemáticas ambientales que se dan en el sitio de estudio, además de contar con el relato de los vecinos donde nos expresan sus experiencias vividas en el pasado y como la comunidad se ha adaptado para subsanar los conflictos que potencias los eventos naturales.

La encuesta se compone por diez (10) preguntas específicas que contribuyen con la recabación de información actual, donde se hará un análisis a detalles por cada una de estas.

1. ¿Ha tenido usted o su familia afectaciones por alguna inundación?

Según el Grafico N°6, que corresponde con la opinión de los vecinos de varios sectores de Calle Quebrador se deduce que el 54% de los encuestados opina que ha tenido afectaciones directas por alguna inundación en el pasado, mientras que solo un 43% opina que no ha tenido afectaciones por este fenómeno natural.

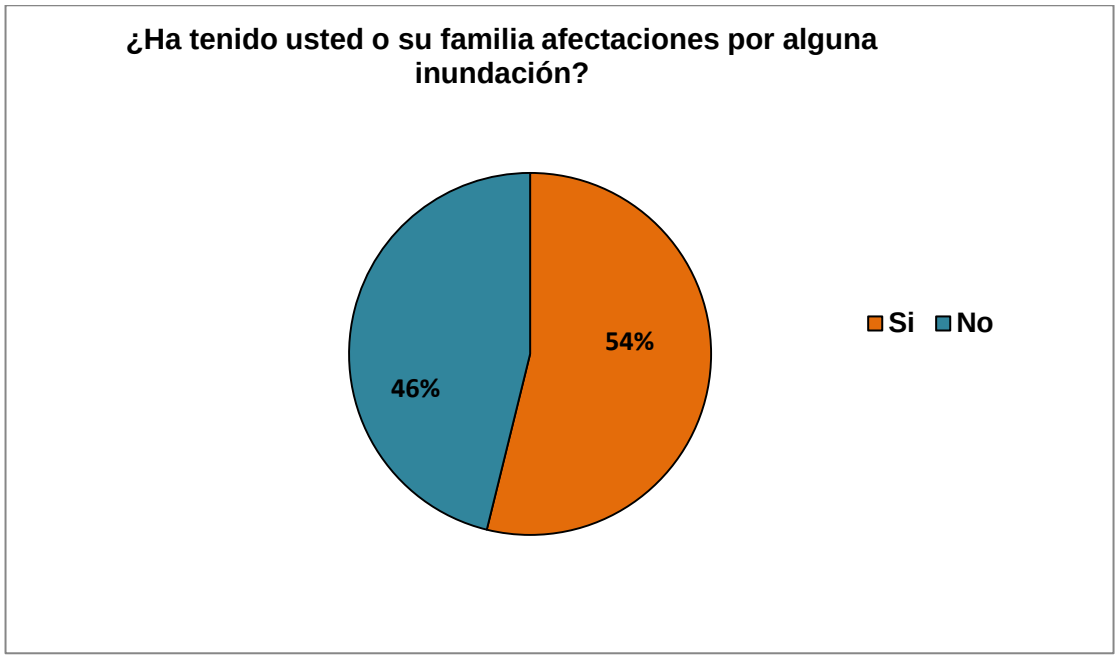


Grafico N° 6. Porcentaje de opinión sobre afectaciones por inundación.

2. ¿Ha realizado usted alguna tarea para reducir el impacto de la inundación?

Se puede mencionar que la mayoría de vecinos no han realizado alguna medida estructural o no estructural para reducir los impactos de inundación, donde el 54% (Grafico N°7) no han aplicado alguna medida, mientras que el 43% de los vecinos si ha realizado acciones para reducir el impacto por inundaciones.

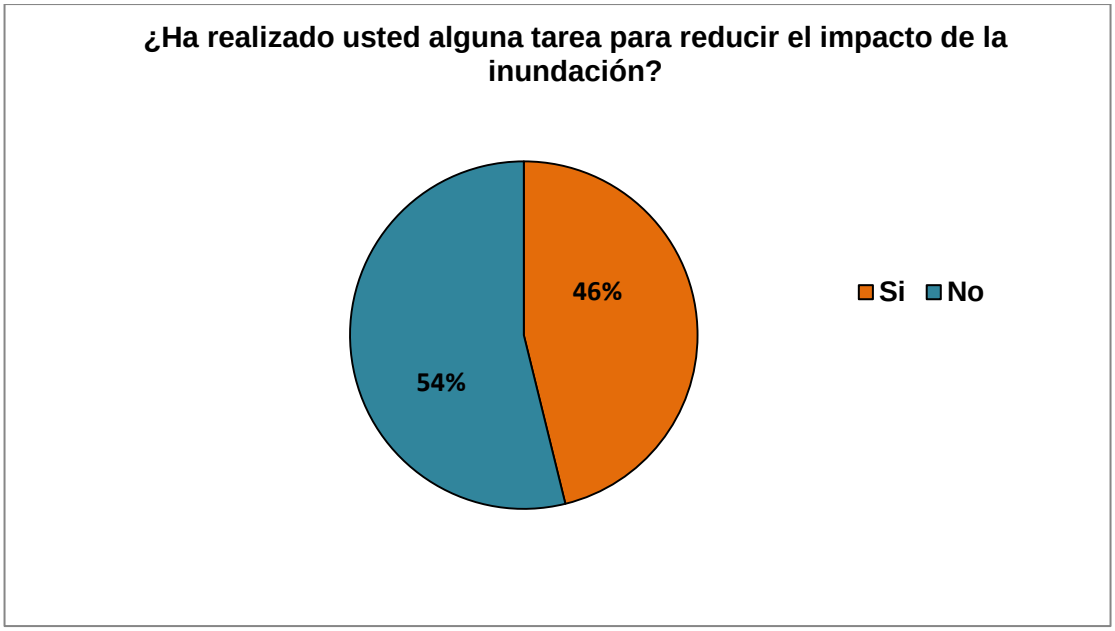


Grafico N° 7. Porcentaje de opinión sobre tareas para reducir el impacto de inundación.

3. ¿Tiene usted conocimiento de las áreas que se inundan en su comunidad?

Del grafico N°8, se extrae que la gran mayoría de vecinos conocen los sectores específicos que se inundación en Calle Quebrador, donde el 85% de los vecinos puede indicar las zonas más vulnerables y los sitios más afectados en el pasado. Respecto al 15% restante no conoce los sitios que han presentado inundaciones en el pasado.

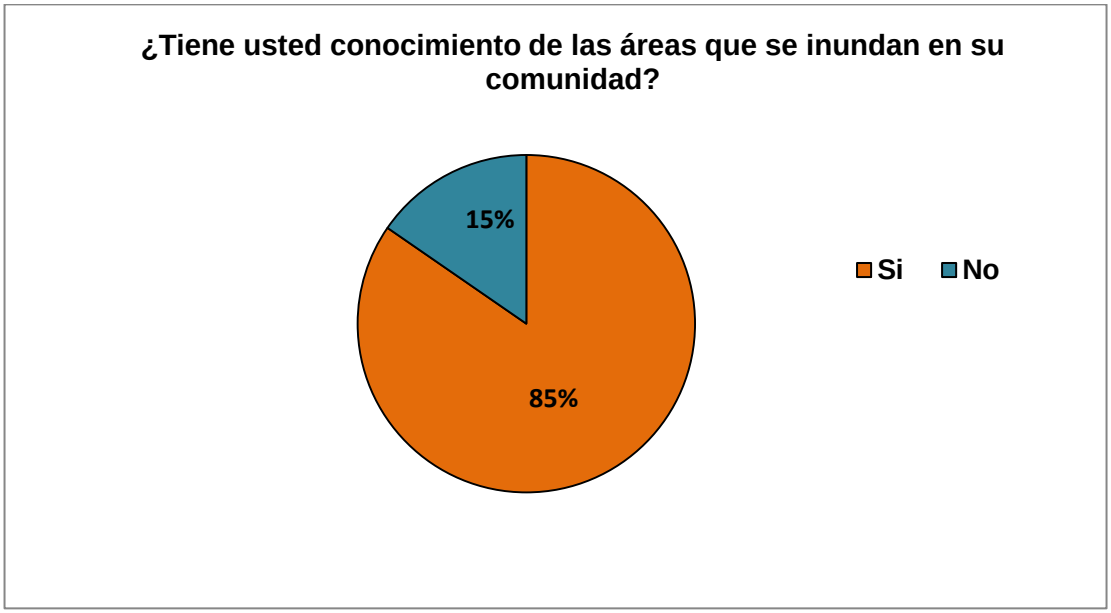


Grafico N° 8. Porcentaje de opinión sobre tareas para reducir el impacto de inundación.

4. ¿Ha notado un descenso de lodos en los eventos de precipitación?

Se puede deducir que la mayoría de vecinos opinan que, si hay descenso de lodos o materiales de tamaño importante (Gráfico N°9), donde el 62% ha percibido grandes cantidades de lodos que son arrastrados por la escorrentía que se genera al momento de eventos de precipitación.

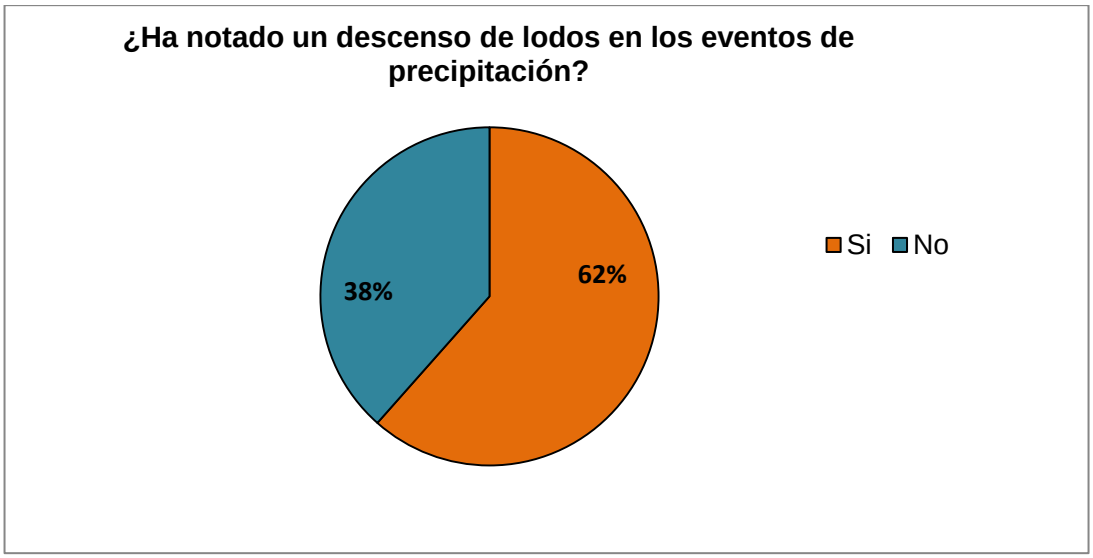


Grafico N° 9. Percepción del descenso de lodos en los eventos de precipitación.

5. ¿En cuál mes del año se presenta más eventos de precipitación?

El Grafico N°10 indica que se puede deducir que los meses más lluviosos según el criterio de los vecinos son: agosto, septiembre y octubre, mientras que los meses de junio y julio son los de menos incidencia pluvial.

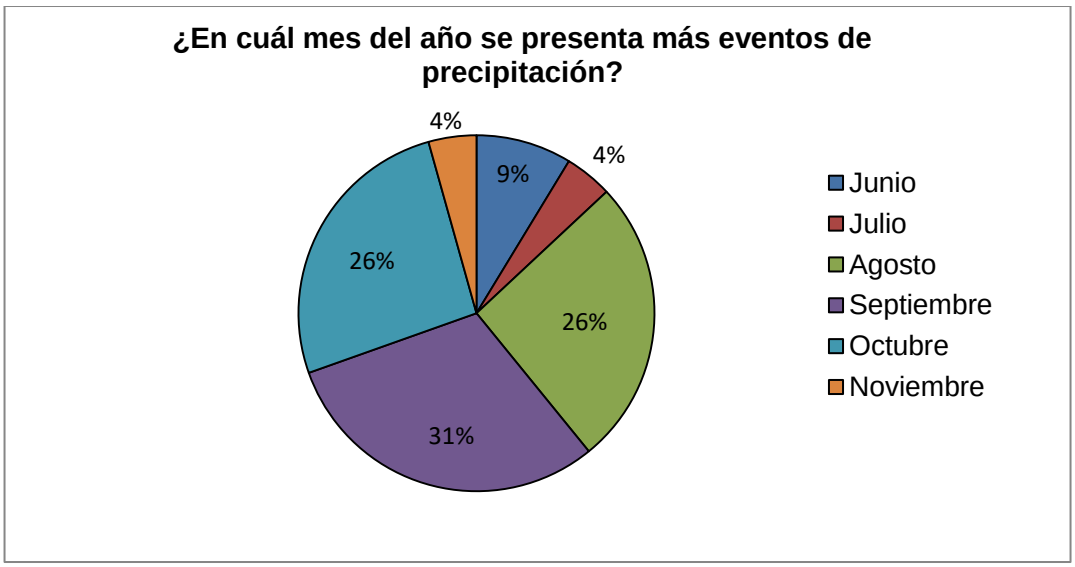


Grafico N° 10. Meses con más eventos de precipitación durante el año.

6. ¿El rebalse que produce el tanque de almacenamiento del AyA afecta algunas viviendas?

Los vecinos de Calle Quebrador son del criterio que en relación con los rebalses que se producen en el tanque del AyA, si se han dado afectaciones a viviendas, donde el 62% de los encuestados opinan y relatan que esto ha sucedido en el pasado, no con mucha frecuencia, pero se han generado problemáticas asociadas a lo mencionado (Grafico N°11).

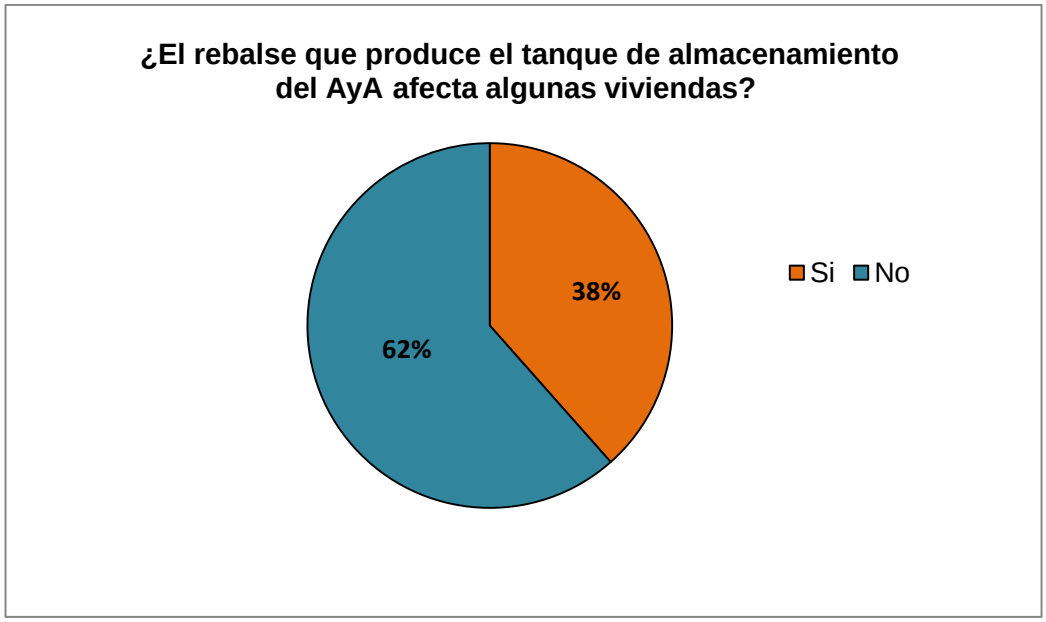


Grafico N° 11. Opinión de los vecinos sobre el rebalse del tanque del AyA.

7. ¿Existe un comité de ciudadanos en la comunidad para solucionar las problemáticas que se presentan?

Así mismo a la pregunta 7, tras la aplicación de la pregunta se deduce que no existe un comité de vecinos que impulsen a la coordinación de medidas preventivas, donde el 100% opina que no existe tal organización. Lo que contribuye con las afectaciones del pasado, además hace notar la poca comunicación entre los pobladores de Calle Quebrador, el detalle de los resultados se puede observar en el Grafico N°12.

Es importante mencionar que el Señor Luis Robles hace el control de la compuerta del agua tomada del Río Uruca, la cual cierra al momento de ver indicios de precipitación, donde esta se bloquea desviando el flujo de nuevo hacia el cauce, lo que contribuye de forma importante en la mitigación de los impactos que se den por inundación.

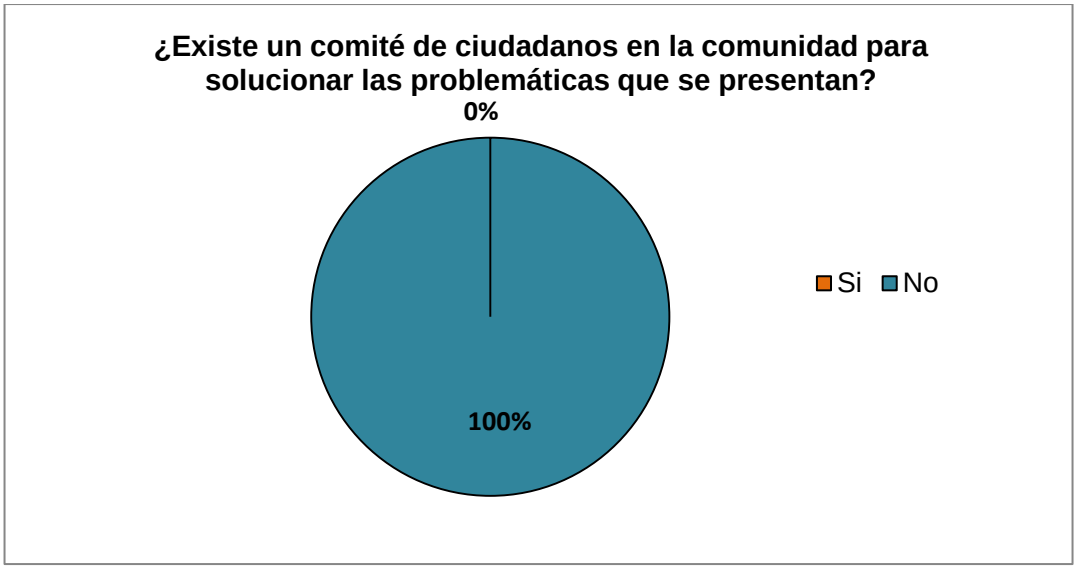


Grafico N° 12. Conocimiento sobre alguna organización que lidere las medidas preventivas.

8. ¿Se han presentado deslizamientos en la comunidad o poblados cercanos?

Un 62% de los vecinos opinan que no se han presentado eventos asociados a deslizamientos en el pasado, sin embargo, el otro 38% opina que han existido dichos impactos, donde se indica que el sector colindante al puente del Río Uruca, frente a la Clínica Drs Méndez ha sufrido moviendo de masas y arrastres importantes de material (Grafico N°13).

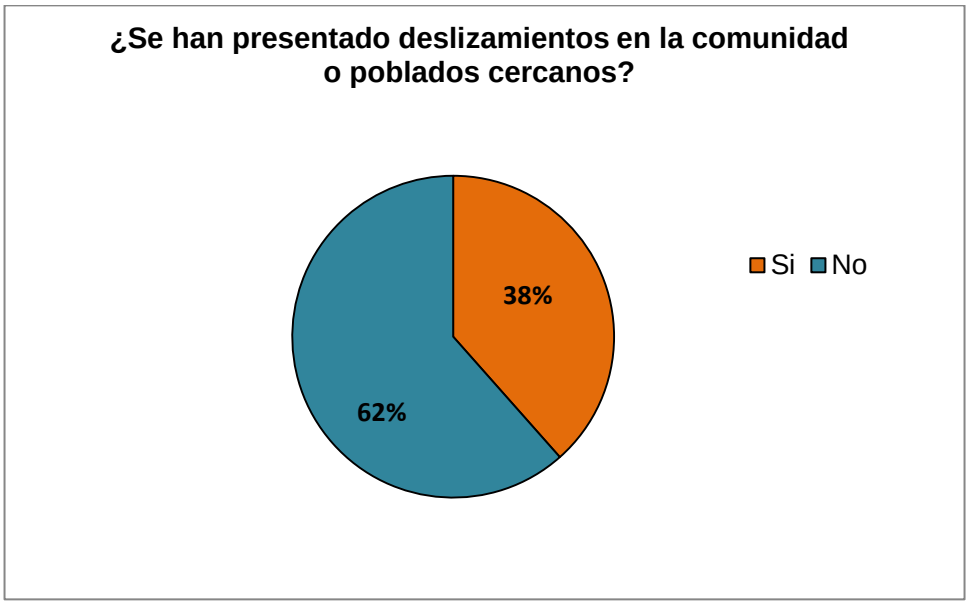


Grafico N° 13. Opinión de los vecinos sobre eventos de deslizamiento.

9. ¿Realizan actividades de mantenimiento sobre el sistema pluvial en la comunidad?

El 77% opinan que no se hace ningún tipo de mantenimiento al sistema pluvial de Calle Quebrador, lo que refleja el potencial de inundación en varios sectores (Grafico N°14).

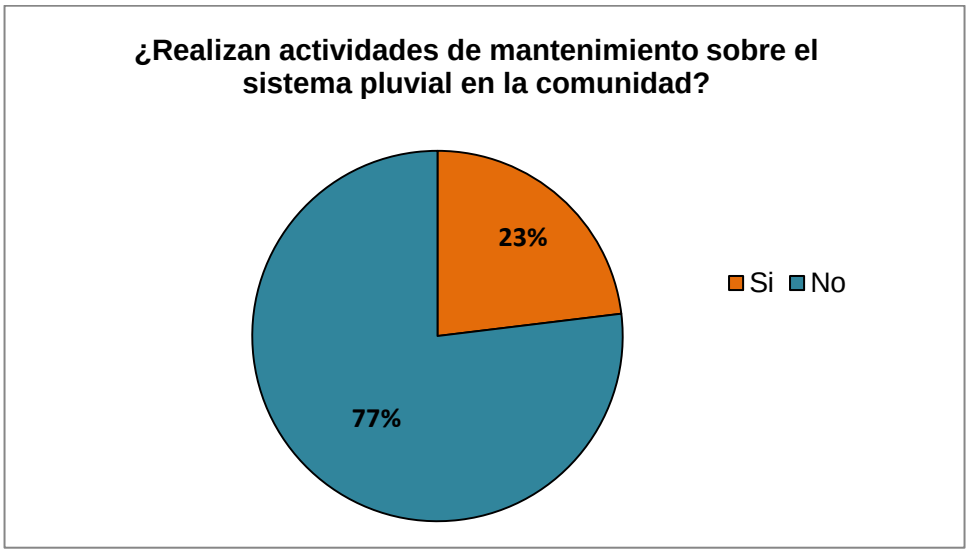


Grafico N° 14. Opinión sobre las actividades de mantenimiento en el sistema pluvial.

10. ¿Podría señalar qué áreas considera usted que se pueden inundar?

Tras la recabación de información se logran identificar siete (7) Áreas vulnerables a inundación, de estas la que presenta mayor severidad es la A1 donde el 34% de los encuestados opina que este sitio es el más severo (Grafico N°15). La distribución geoespacial de estas áreas se observa en la Figura N°22.

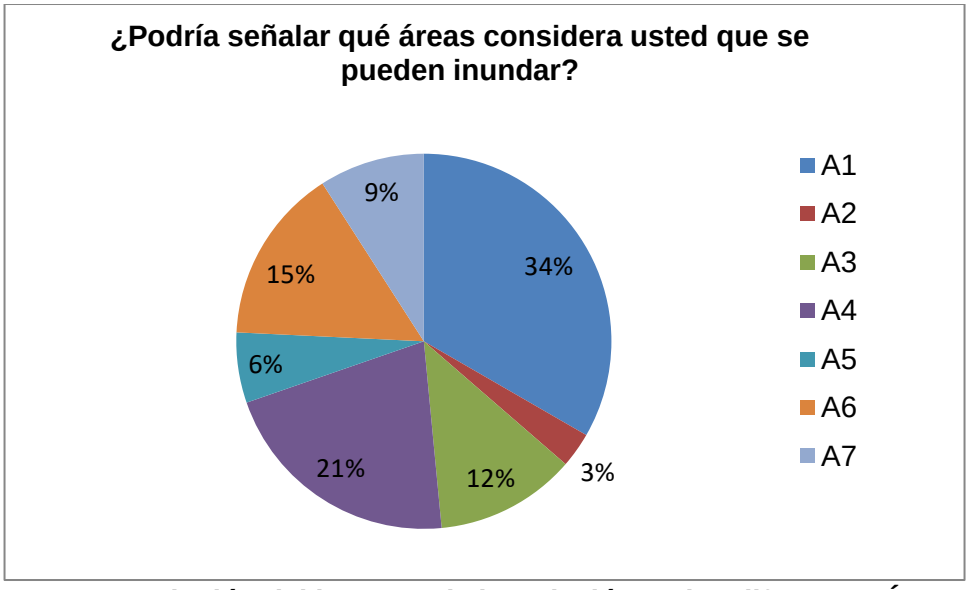


Grafico N° 15. Descripción del impacto de inundación en las diferentes Áreas (A1-A7).

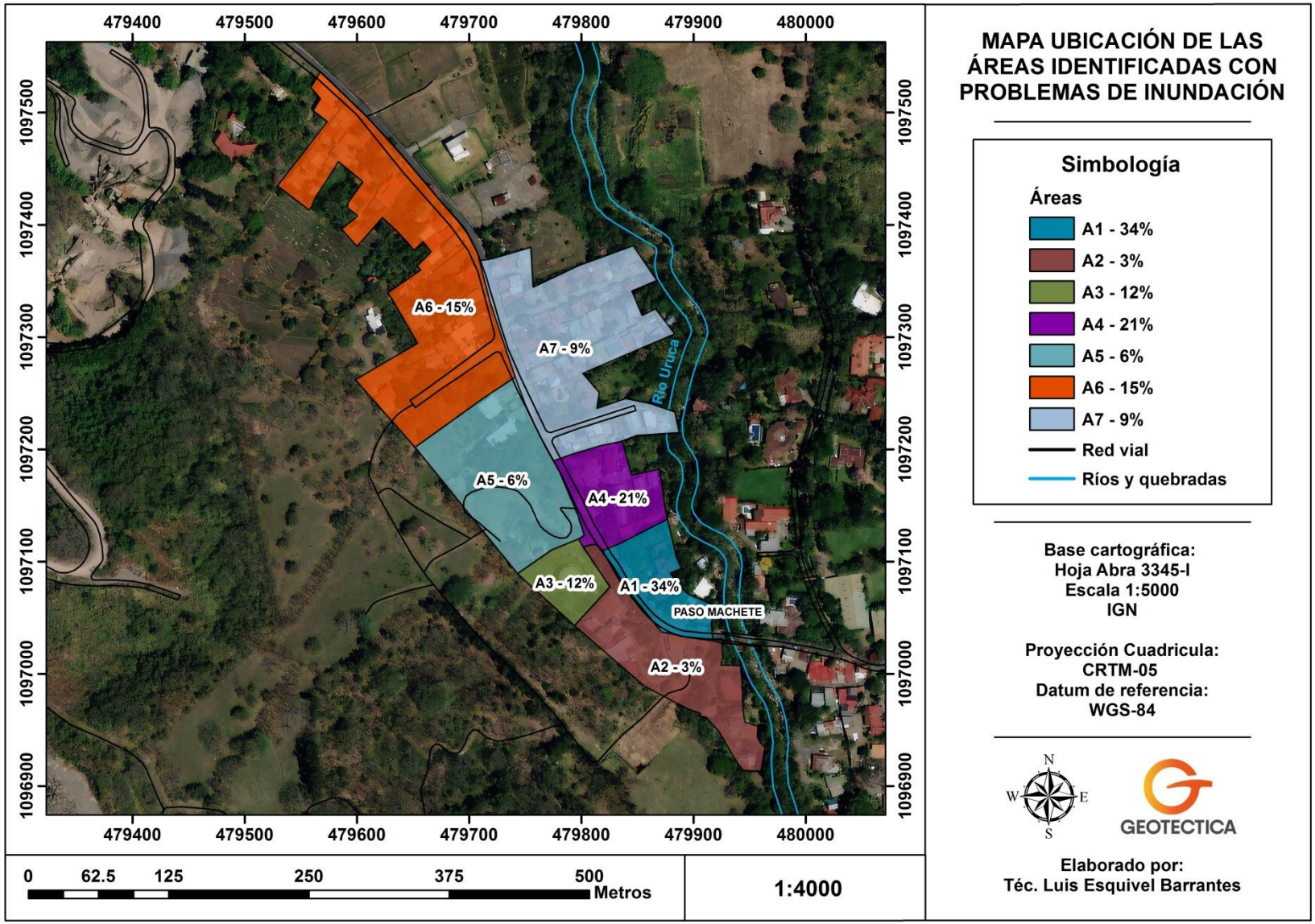


Figura N°22. Mapa de áreas identificadas por vecinos en la encuesta aplicada.

6- ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD 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):

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

Donde:

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):

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

Donde:

DS: valor del parámetro de disparo por sismicidad.
DLl: 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° 14: 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° 15: 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 (Figura N°23) muestra la presencia de todas las clases de pendiente mostradas en el cuadro anterior. Sin embargo, el rango de pendiente con el mayor porcentaje del total del área corresponde con las pendientes entre 15-140 %, representadas con los colores amarillo y naranja, mientras el rango con el menor porcentaje son las pendientes entre 0 y 15% colores verdes.

Es importante mencionar que la mayoría de pendientes entre medias y altas se observan en la margen izquierda en dirección aguas abajo del Río Uruca, sector que abarca el sitio de Calle Quebrador.

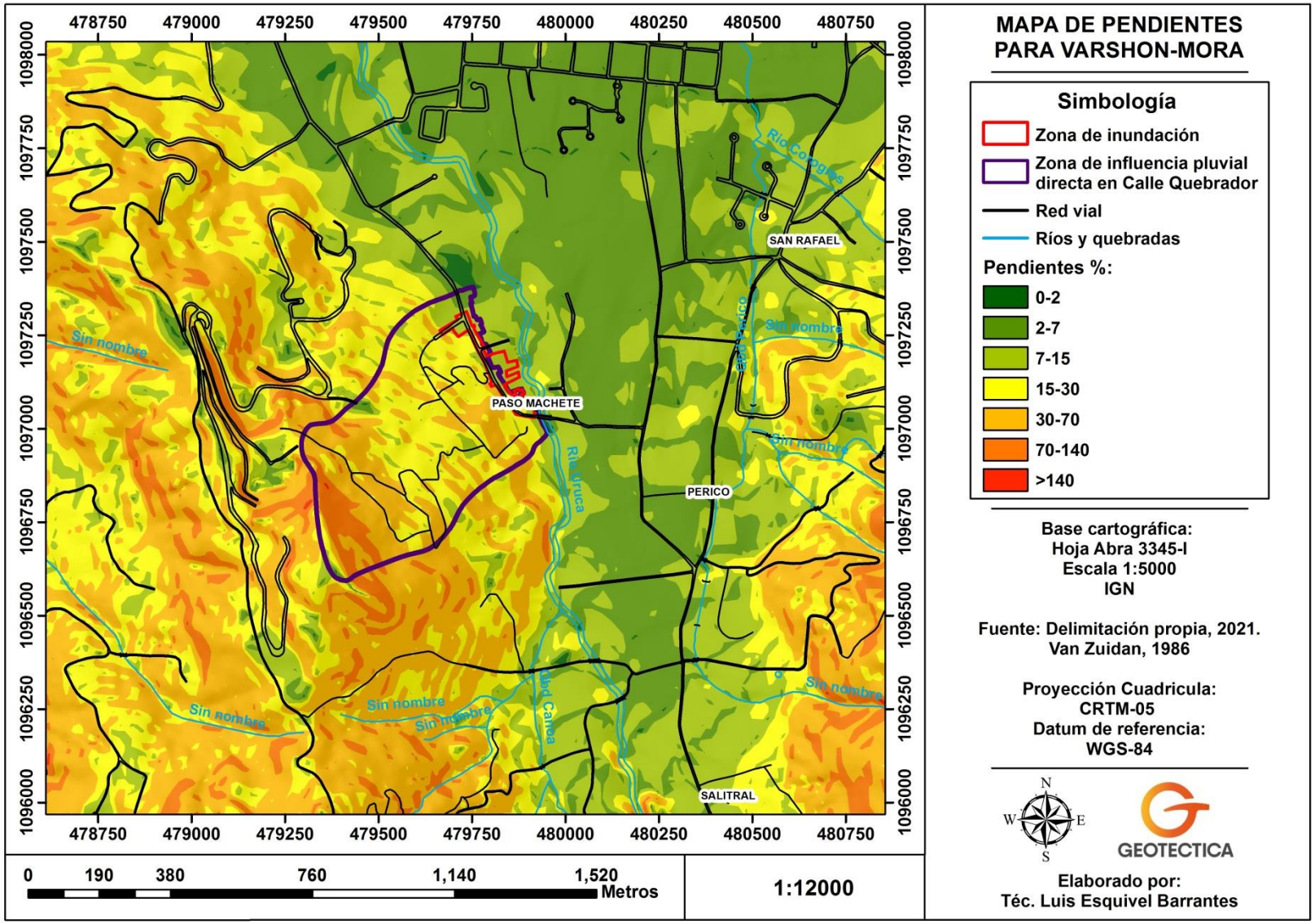


Figura N°23. Mapa de pendientes alrededor de la Calle Quebrador para el método MVM.

- **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°24, 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:

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 río Uruca y sobre el cual se asienta la población de Santa Ana.

Cuadro N° 16: 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.

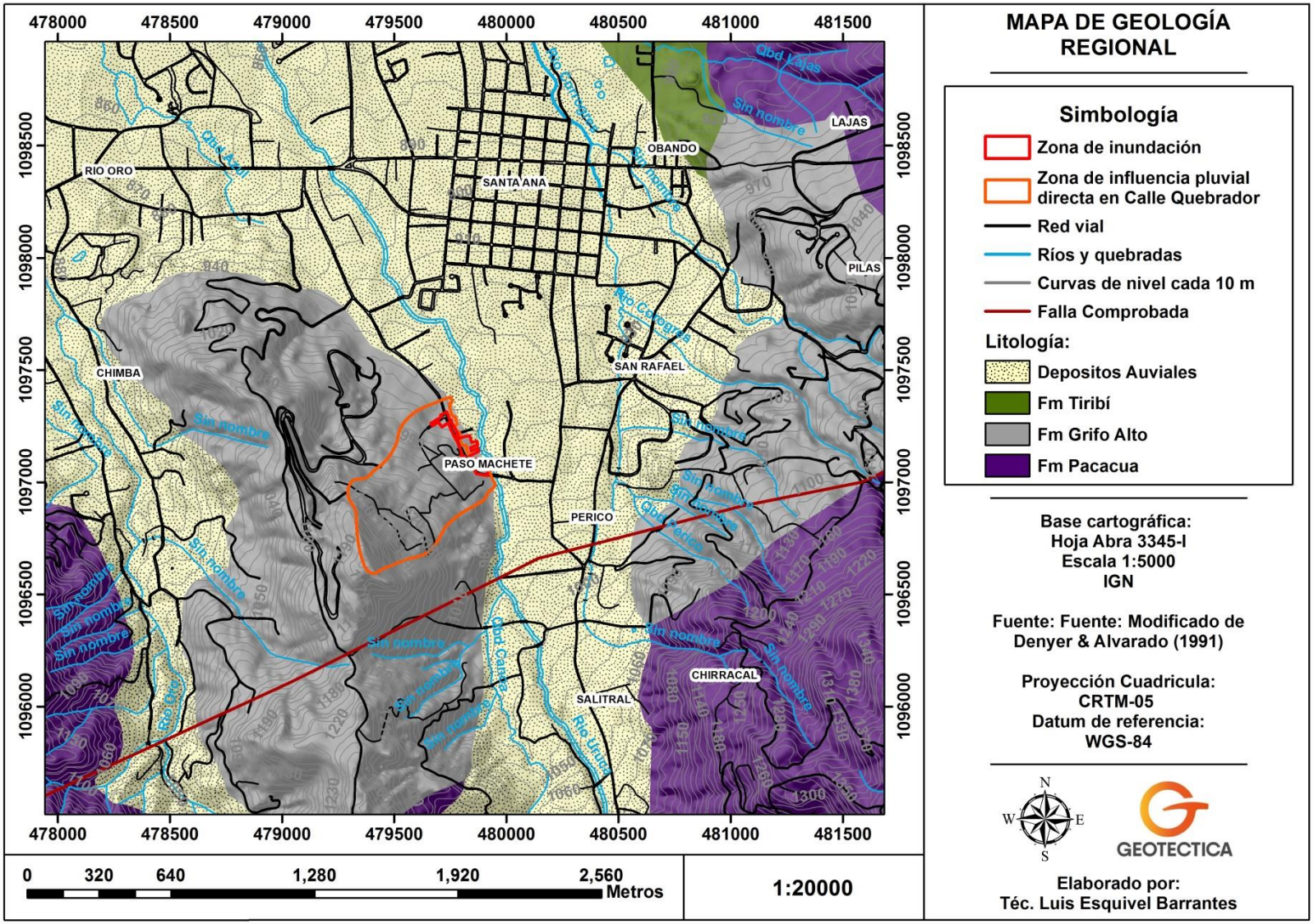


Figura N°24. Mapa geológico regional alrededor de Calle Quebrador.

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° 17: 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° 17, 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

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

Donde:
Y = N° de fracturas (prom.) / longitud (m).
En el Cuadro N°18, se exponen el valor RQR para cada formación descrita en la Geología regional del sitio en estudio

Cuadro N° 18: 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°18, 19, 20 Y 21, mismos que corresponden con el valor RMR para cada formación que complementa para el sitio en análisis.

Cuadro N° 19: 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° 20: 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° 21: 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° 22: 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 Quebrador 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°23, se presenta la categoría resultante.

Cuadro N° 23. 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° 24: 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 84-199 Belén, 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° 25: Promedio de precipitación mensual (mm) para la estación meteorológica 84-011 Lornessa y su valor de susceptibilidad.

Mes	Promedio precipitación mensual (mm)	Valor (MVM)
Enero	6.8	0
Febrero	9.3	0
Marzo	14.2	0
Abril	64.7	0
Mayo	222.3	1
Junio	256.1	1
Julio	162.7	1
Agosto	200.3	1
Septiembre	291.9	1
Octubre	291.4	1
Noviembre	112.9	0
Diciembre	20.9	0
Total		**6**

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° 26: 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 84-195 Belén, y de acuerdo a la norma del Cuadro N°26, 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, comprendiendo un área de 25 km^2, de lo cual se identificaron siete (7) unidades geomorfológicas. Esto se realiza basado en el análisis de imágenes aéreas, mapas e información cartográfica reciente y se clasifican las unidades mediante el sistema ITC de Holanda, el cual usado en el país. A continuación, se describen estas unidades y en la Figura N°14 se observa su distribución espacial.

Unidades Geomorfológicas de origen denudacional

Laderas denudacionales de baja pendiente

Se localizan principalmente en las zonas bajas del cantón de Escazú y Santa Ana, principalmente sobre depósitos aluviales y coluviales recientes, además presentan pendientes que no superan los 5° de inclinación. Los terrenos dentro de esta unidad presentan formas onduladas principalmente en los centros poblacionales.

Laderas denudacionales de media pendiente

Se refieren a terrenos que presentan pendientes entre los 5° y 15° de inclinación, se presentan principalmente en las transiciones de zonas planas a zonas montañosas, en este caso se encuentran rodeando la zona montañosa que comprende los poblados de Bebedero, San Antonio de Escazú y localidades cercanas al límite cantonal entre Santa Ana y Escazú. Estas laderas presentan una moderada disectación por parte de flujos de agua superficiales.

Laderas denudacionales de pendiente moderada

Corresponden principalmente con las zonas ubicadas en las partes medias-altas de la zona montañosa y presentan una disectación media debida a los cursos de agua establecidos en la zona, propiciados por la pendiente y el efecto de la gravedad. Presentan una pendiente entre los 15° y 35°. Sobre esta unidad se encuentran localizados varios sitios (dentro del área analizada), entre ellas Corrogres, Chirracal y Alto Raicero, dentro de estas se encuentran áreas con mayor propensión a deslizamientos (apartado analizado más adelante).

Laderas denudacionales de alta y muy alta pendiente

Se encuentran situadas en las partes montañosas exclusivamente y varias corresponden con formas asociadas a fallas y movimientos en masa de terrenos. Tienen pendientes superiores a los 35° de inclinación y se localizan principalmente en los alrededores del Alto Tapezco y cercanías de Salitral de Santa Ana.

Movimientos en masa

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

Unidades Geomorfológicas de origen fluvial

Abanico aluvial

Corresponde con una forma asociada al depósito de materiales del río Uruca, este se extiende desde las cercanías de Salitral hasta la ciudad de Santa Ana donde la pendiente disminuye y propicia el depósito de materiales de granulometrías finas y bloques desde decimétricos hasta métricos. Esta corresponde con una forma que presenta gran dinámica en el depósito de los materiales provenientes de las partes montañosas.

Unidades Geomorfológicas de origen estructural

Consisten en laderas muy empinadas hasta aproximadamente verticales producto de la caída o desprendimiento de materiales rocosos que estas provocan en el paisaje, tales formas sugieren algún tipo de asociación con fallas cercanas y los rasgos estructurales distintivos. Estos han sido analizados dentro del apartado de fotointerpretación y corresponden con morfologías destacables cercanas al área de estudio.

Se distinguen claramente dos escarpes, uno en la parte alta del río Corrogres y asociado a la falla Salitral y otro localizado en las cercanías del poblado de Bebedero al costado norte del cerro Tapezco e igualmente asociado a la traza de una falla que cruza el área denominada de manera informal falla Bebedero. Es importante destacar que el análisis geomorfológico complementa los métodos de susceptibilidad a deslizamientos y se utilizan como insumo a estos dado que esto es un parámetro de importancia en tales análisis.

En el siguiente cuadro 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° 27: Valoración del parámetro de susceptibilidad geomorfológica.

Unidad geomorfológica	Valor del parámetro Sgm
Laderas denudacionales de baja pendiente	1
Laderas denudacionales de pendiente media	2
Laderas denudacionales de pendiente moderada	3
Laderas denudacionales de alta y muy altapendiente	5
Zonas de movimiento de masas	5
Escarpes	5
Abanico aluvial	1

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 del río Uruca, donde la precipitación es de 150 mm, clasificándose con valores, según el método MVM, de 2, tal y como lo muestra el Cuadro N° 28.

Cuadro N° 28: 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°25, donde se observa la distribución de la precipitación en 24 horas en un periodo de retorno de 100 años.

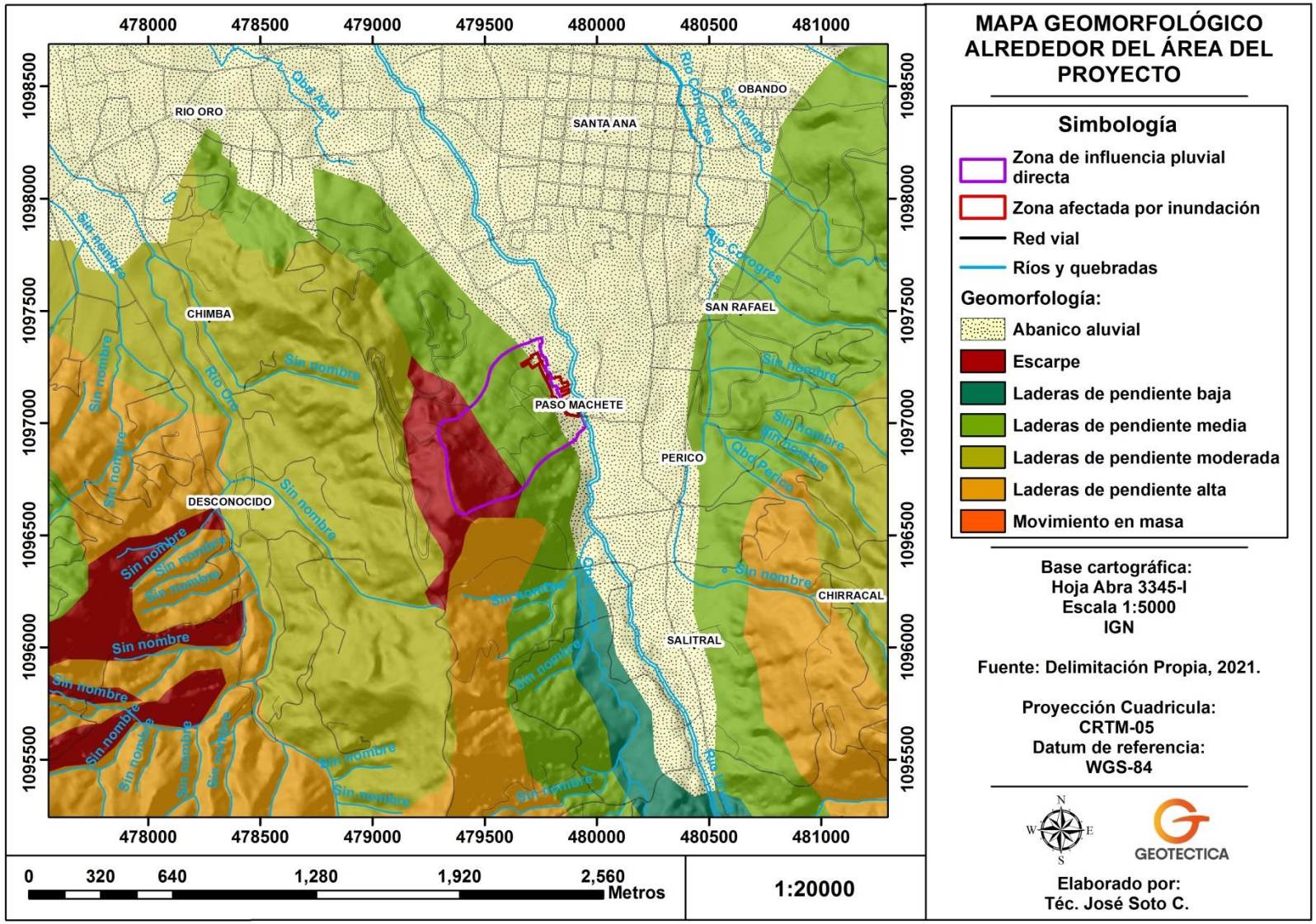


Figura N° 25. Mapa de rasgos geomorfológicos alrededor de Calle Quebrador.

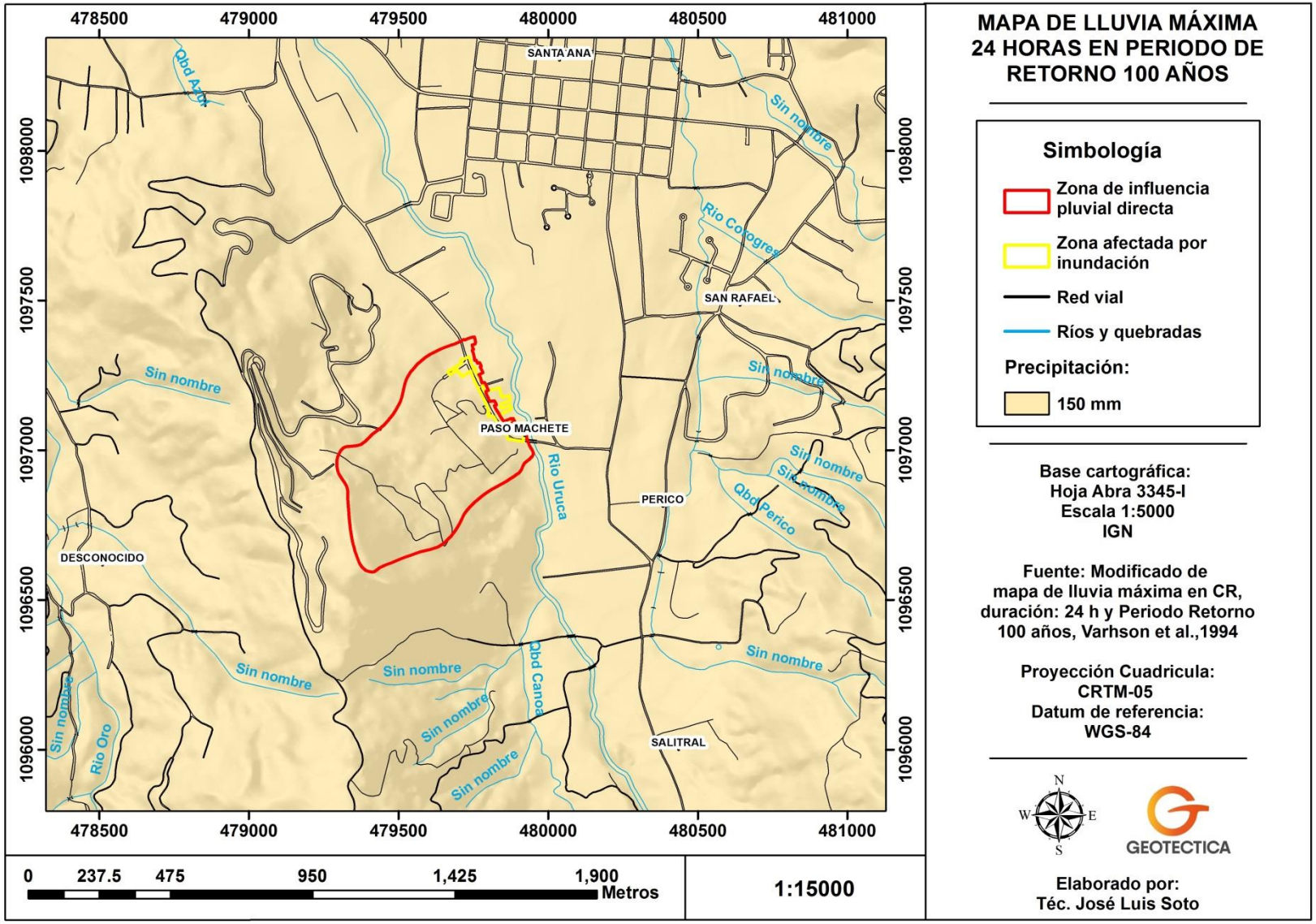


Figura N° 26: Mapa de lluvia máxima en 24 h para un periodo de retorno de 100 años, modificado de (Vahrson, 1994).

- **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° 29: 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° 30 se exponen en forma de resumen las principales estructuras y fallas, ubicadas en las cercanías del sitio de estudio.

Cuadro N°30. Lista de fallas comprobadas ubicadas en los alrededores

Falla	Tipo (según literatura)	Fuente bibliográfica	Distancia con Calle Quebrador
Escazú	Inversa	Montero et al, (2005)	3315
Belo Horizonte	Inversa	Denyer et al, (2003)	4753
Salitral	Sinestral con componente inversa	Montero et al, (2005)	599
Bebedero	Inversa	Denyer et al, (2003)	1279

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.

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 con el modelo de sombras y la fotointerpretación realizada (Figuras N°27 y 28).

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

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.

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.

Cuadro N° 31: 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 predominantes en la zona. Las partes altas del sitio en análisis presenta algunos sectores con susceptibilidad al deslizamiento entre Alto y Muy alto, debido a las pendientes pronunciadas.

La geología muestra 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°29).

Método Mora-Vahrson-Mora, parámetro geomorfología

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 Alto (Figura N° 30).

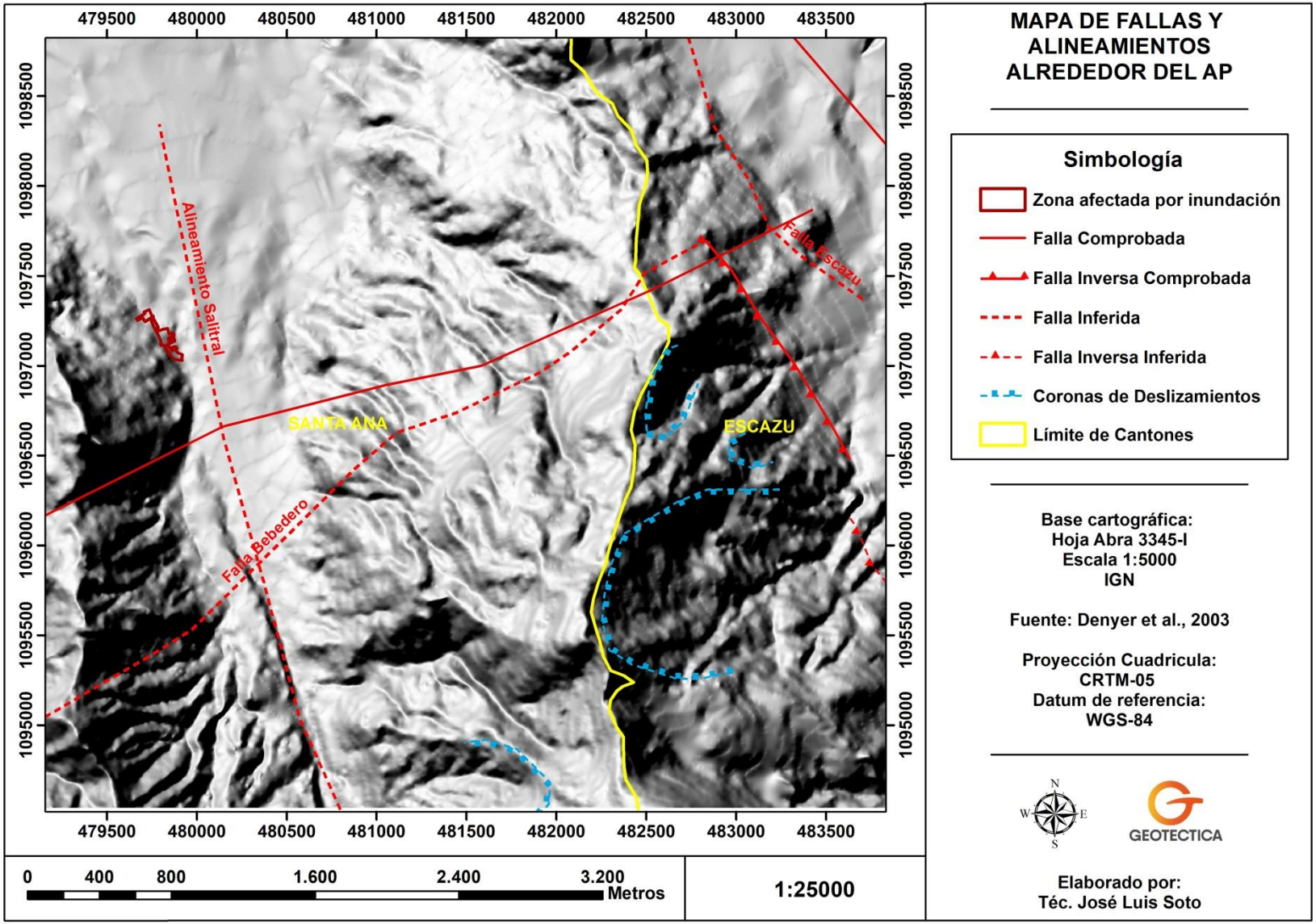


Figura N° 27: Mapa de fallas y alineamientos alrededor del AP con modelo de sombras (Denyer et al, 2003).

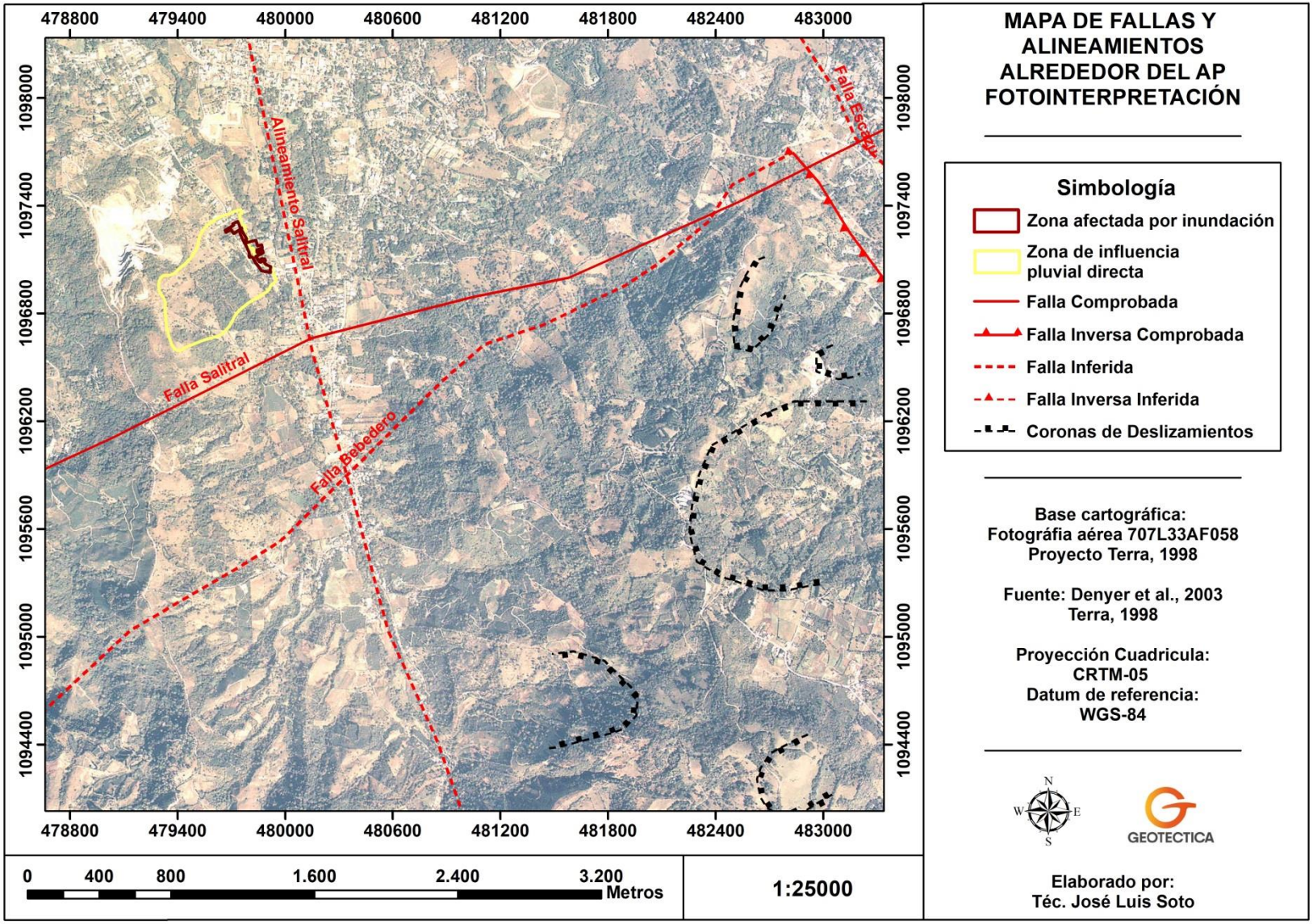


Figura N° 28: Mapa de fallas y alineamientos alrededor del AP con modelo de sombras (Terra, 1998).

7- ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

El proyecto se ha de construir y reconstruir sobre una unidad geotécnica caracterizada por la presencia de bloques de roca rígidos dentro de matriz arcilloarenosa con fragmentos de grava. Los bloques son principalmente de lava, angulares y de tamaños métricos; mientras que la matriz es arcillo arenoso café anaranjaduzca bastante plástica, con fragmentos de roca tipo grava. En estado saturado esta matriz pierde fuertemente la resistencia y la capacidad de soporte.

Esta unidad presente valores de permeabilidad bajos, sin embargo, en condiciones de saturación se considera sumamente plástica y con alto potencial de moldearse con presencia de esfuerzos.

Se ha realizado una serie de 4 ensayos DCP por parte de la empresa Castro & De La Torre SA, en el tramo de carretera a ser tratado. Este tramo de carretera presenta un ensayo al principio otro al final y dos intermedios; lo cuales están denominados como M#1, M#2, M#3 y M#4 (Anexo N°7). El ensayo M#3 es el que presenta una capacidad menor, rondando los valores de resistencia menores a 10 ton/m^2; lo cual indica que se trata de un sitio donde se debe efectuar mejores inspecciones a la hora de la colocación de la tubería dado que se trata de un suelo con probable mayor contenido de matera organiza y mayor contenido de humedad. Igualmente, en el sitio M#2, la parte más profunda del ensayo parece indicar la presencia de material con menor resistencia, por lo que esta sería otra zona a verificar en el proceso de excavaciones. Los ensayos M#1 y M#4 (Foto N°1), presentan resistencias altas.

Dado la presencia de resistencias bajas, en los ensayos #2 y #3, se considera que se debe ser muy estricto en las condiciones de compactación base y laterales en la colocación de las tuberías El material penetrado se correlaciona con limos arcillosos con bloques, producto del material coluvial de la zona.

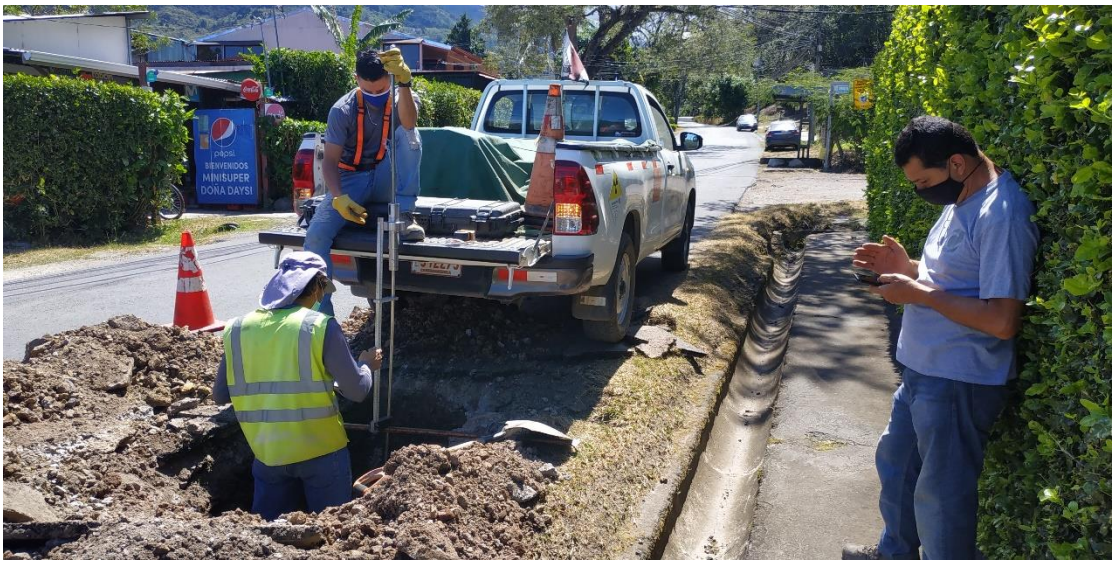


Foto N°1. Ejecución del ensayo DCP #4.

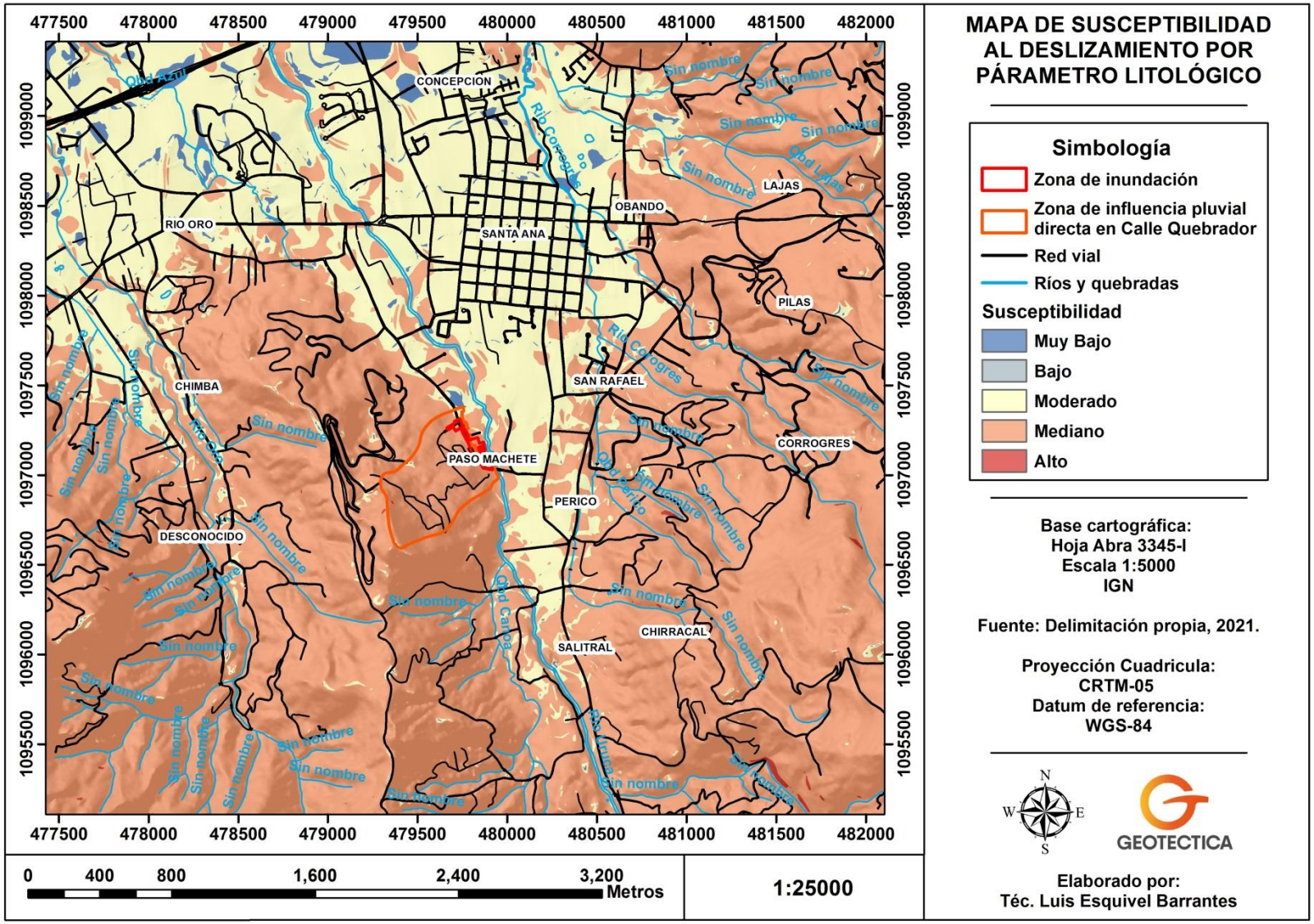


Figura N° 29: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos, parámetro litológico.

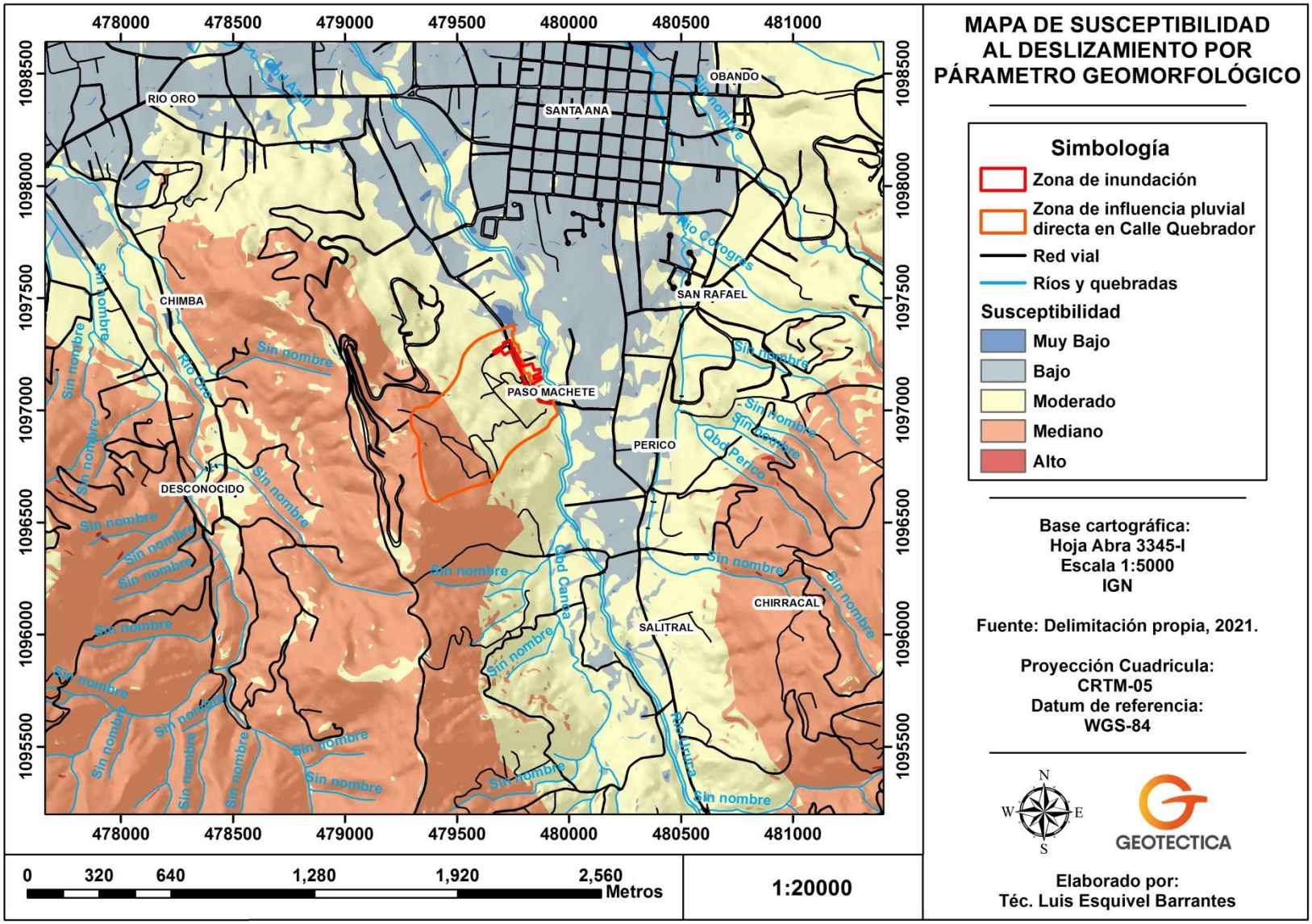


Figura N° 30: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos tomando en cuenta el parámetro geomorfológico.

8- ÁNALISIS DE RIESGOS NATURALES EN EL ÁREA DEL PROYECTO

Para la aplicación de esta metodología alrededor de Calle Quebrador, 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° 32: 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°33.

Cuadro N° 33: 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 a menos de 100 m del río Uruca, 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° 34 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° 34: 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 60% aproximadamente, mientras que la precipitación en base a los tres meses más lluviosos según la estación de Lornessa 84011 es de 279.8 mm, por lo que se le asigna un valor de 1 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° 35: 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 entre 100 y 200 m del río Uruca, mientras que la altura sobre el tirante de agua es de 3.5 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 3.

Tras la cuantificación de Amenazas respecto a Inundación sobre el sitio de estudio, se estima que la misma posee un Índice total de 3.35, por lo que su nivel de amenaza es Alto (rango entre 3.01 a 4.00), en el Cuadro N° 36 se presenta un resumen de los valores obtenidos tras la estimación a detalle sobre el área del proyecto.

Cuadro N° 36: 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	0.2
		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	0.5
	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	0.6
		Alto	4		
		Medio	3		
		Bajo	2		
		Muy Bajo	1		
Índice Total					**3.35**

Fuente: MIDEPLAN, 2014.

- **Amenaza de Alud Torrencial**

En relación con el área del proyecto con eventos de alud torrencial, este se localiza cerca de un valle aluvial, por lo que se hará un análisis a detalle de esta amenaza sobre la calle Quebrador 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 Alto para una puntuación de 5, esto debido a que los eventos ocurridos en el pasado han sido cerca de la zona directa de calle Quebrador y la microcuenca del río Uruca.

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° 37, 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 Alto, para un índice total de 3.85 (Rango entre 3.01 – 4.00).

Cuadro N°37: 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	1.75
		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						**3.85**

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 29 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°38 se presenta la matriz de combinación 3, misma que combina los parámetros de zona sísmica y tipo de sitio.

Cuadro N° 38: 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 655 m de distancia de la falla salitral, por lo que su índice de incidencia es muy Bajo, para un puntaje de 1 (Figura N° 20).

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. (Cuadro N°39)

Cuadro N° 39: 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 10 y 50% aproximadamente, mientras que por Zona Sísmica este se cataloga como III. El valor a utilizar para estos parámetros es de 5. En el Cuadro N°40, 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° 40: 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	2
		Alto	4		
		Medio	3		
		Bajo	2		
		Muy Bajo	1		
Índice Total					**4.6**

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 3.35, mientras el flujo de lodos o alud torrencial posee un índice es de 3.85, respecto a la amenaza sísmica el resultado es de 4.6, y para la amenaza de deslizamiento el índice es de 4.6. La media de los resultados de índice anteriores es de 4.1 (Índice promedio = $\frac{3.75+1.70+3.0+3.0}{4} = 4.1$). En el siguiente cuadro se exponen los niveles y escalas respecto a cada índice de amenazas, esto según MIDEPLAN, 2014.

Cuadro N°41: 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°41 se deduce que “Tras las amenazas obtenidas se debe considerar que para 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."

- **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 Quebrador, y los parámetros establecidos para la cuantificación de variables asociadas a los niveles de daño, se muestran el Cuadro N°42.

Cuadro N° 42: 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°41, 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°43, 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° 43: 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 de la infraestructura vial a la que tienen acceso al proyecto a desarrollar. En el siguiente cuadro se presentan las variables para definir los diferentes escenarios para la evaluación de amenazas.

Cuadro N° 44: 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 lel Cuadros N° 45, 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 Quebrador, además en el Cuadro N° 46 se observa la cuantificación para el sector externo, donde se analiza la microcuenca del río Uruca, así como los poblados y calles aguas abajo de calle Quebrador, 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 Quebrador), 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 Quebrador colindante a la clínica Drs. Méndez:

En la actualidad se presentan problemáticas de inundación y flujo de lodos 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, además el flujo de lodos puede provocar un colapso del alcantarillado aumentando la probabilidad de inundación.

Además, por la problemática de deslizamientos que se presenta en el A2 existe la posibilidad de que se puede extender hacia el A1 aumentando las problemáticas ya presentes.

Cabe resaltar que el flujo de la concesión del Río Uruca es regulado por un vecino, mismo que debe estar atento para activar la compuerta y desviar las aguas de nuevo al cauce, por lo que cabe la posibilidad de que no se accione el sistema y se dé un excedente que sobrepase la capacidad hidráulica del sistema, provocando inundaciones en esta área.

Área 2 (A-2): Sector de calle Quebrador diagonal a la clínica Drs. Méndez:

Al lado de la calle quebrador se presentan problemáticas de deslizamientos y arrastre de lodos, por las condiciones topográficas y el uso de suelo que presenta el A2 y los alrededores son un detonante durante la época lluviosa para dichas problemáticas.
Alrededor del A2 se presentan movimientos de tierras a esto sumando el impacto que genera el quebrador se produce una escorrentía importante.

Cabe resaltar que en el tragante colindante a puente del Río Uruca se presenta una estructura hidráulica de compuerta manual, misma que es utilizada para la regulación del flujo extraído del cauce, el señor Luis Robles se ha encargado de la gestión del sistema, por lo que se antepone otro posible escenario de riesgo, siendo este relacionado con la posibilidad de la no regulación de la compuerta, lo que daría como producto un flujo de crecida al momento de un evento de precipitación fuerte, es importante mencionar que el canal natural que trae el líquido desde la captación del Río Uruca y que traza el terreno del señor Arnoldo Jiménez posee dimensiones de 0.35 m de profundidad y 0.85 m de ancho, con una forma cóncava

irregular, este es impulsado por una pendiente promedio de 5 %, por lo que esta estructura podría aportar un caudal de 393.1 l/s en un momento crítico de precipitación al sistema colector local.

Área 3 (A-3): Sector de calle Quebrador donde se encuentra tanque de almacenamiento del AyA:

En esta área se encuentra el tanque de almacenamiento que pertenece al AyA y abastece a la comunidad de Calle Quebrador, es importante mencionar que hasta la fecha actual no se han presentado problemas potenciados por algún rebalse o lavado, no obstante, si se diera la ocurrencia de un evento atípico en época lluviosa, la combinación de ambas variables daría como producto el colapso del sistema pluvial, ocasionando inundaciones en varios sectores del sitio en análisis.

Como parte de la gestión del riesgo se debe mencionar que el tanque regula su nivel de forma automática por medio de un sistema electrónico de telemetría, mismo que puede ser extraído por alguna acción de vandalismo, ya que es relativamente sencillo acceder al área del plantel, en caso de que ocurra lo mencionado; como posible escenario se debe mencionar que se aportaría un caudal de 186 l/s al sistema pluvial colector, lo que contribuiría con un posible colapso del sistema colector local.

Otro posible escenario a ocurrir es el desplome del tanque del AyA, donde esto podría ser potenciado por un evento sísmico de gran magnitud, mismo que ocasionaría daños a la estructura, liberando así el volumen de agua almacenado, donde este se desplazaría hasta las viviendas que se localizan al frente, generando daños estructurales y humanos graves.

Área 4 (A4) Sector de calle Quebrador 54 metros Noreste del plantel del AyA:

El área se ha visto afectada por el rebalse del canal provocando inundaciones en las casas aledañas, esto se puede dar gracias a un evento extraordinario de precipitación o el aporte de alguna otra fuente que no esté contemplada en su capacidad, como el rebalse del tanque de almacenamiento, ya que en la época lluviosa cualquier aporte demás puede provocar dicha situación.

Ante el desplome del tanque del AyA esta área seria afectada, dado esto por su ubicación. En el pasado las viviendas de este sector han sufrido afectaciones por el colapso del canal que transporta el flujo de las concesiones.

Área 5 (A5): Sector colindante con lote donde se ubica tanque del AyA y al oeste de calle Machete:

El área A5 presenta problemas por el arrastre de lodos que son impulsados por la escorrentía ocasionando afectaciones a esta zona y a las viviendas que se encuentran en frente (áreas 4 y 7). Esto podría generar obstrucciones en el sistema pluvial ocasionando inundaciones en estas áreas.

Área 6 (A6) Sector frente a pulpería Daysi Geral y colindante a pastizal en pie de cerro Minas

Actualmente en el área A6 se encuentra el alcantarillado que traza por debajo de las viviendas de esta zona, en este sector se han presentado problemas de inundación y arrastre de lodos, esto según las indicaciones de los vecinos. Además, por el arrastre de materiales se pueden obstruir el sistema, disminuyendo la capacidad hidráulica del mismo.

Área 7 (A7): Sector de calle Machete en frente y sur de la pulpería Daysi Geral:

En este sector las cunetas se encuentran muy deterioradas, además según el análisis hidráulico realizado en los apartados anteriores el sistema no posee la capacidad de evacuar el agua pluvial.

En relación a los resultados de los riesgos del sector interno sin la aplicación de medidas de mitigación, con los escenarios actuales de los distintos tramos se presenta el Cuadro N°44, donde se expone un resumen de la cuantificación obtenida en cada área, donde el color verde representa un riesgo bajo, mientras que el amarillo corresponde con riesgo medio y el rojo con riesgo alto.

Cuadro N° 45: resumen de la cuantificación de riesgos del sector interno sin medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	9.0	16.75	19.25	9.2
A2	15.0	16.25	19.25	9.2
A3	6.0	16.75	5.77	9.2
A4	6.0	16.75	9.62	9.2
A5	3.0	10.05	15.4	9.2
A6	3.0	16.75	11.55	9.2
A7	3.0	16.75	11.55	9.2

Fuente: Propia, 2021.

Tras los resultados que se presentan en el Cuadro N°20 se puede mencionar que en todas las áreas internas analizadas se presenta un riesgo alto a eventos de inundación, donde la calle Quebrador en la actualidad sufre los impactos productos a este tipo desastre natural, tales como: inundación de viviendas, daños en zonas verdes, deterioro de estructuras, exceso de sedimentos y lodos en pisos de viviendas, muebles y electrodomésticos dañados, problemas en cocheras, colapso de cunetas, colapso de aceras y flujos de escorrentía superiores a la rasante de las vías de tránsito vehicular.

Respecto al flujo de lodos el riesgo es alto en el área, donde se dan impactos de sedimentación en los conductos y tragantes pluviales. En relación al flujo de lodos se presentan estructuras hidráulicas colapsadas, generando impactos más severos en los sectores más bajos de calle Quebrador, contribuyendo a la activación de inundaciones.

En el Anexo 4 del presente documento se observar las matrices a detalle aplicadas a todas las áreas del sector interno de calle Quebrador.

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

Área 1 (E1): Sector aguas arriba del puente de calle machete hasta la colindancia con Ruta 311:

El puente se encuentra a 258 m de la Ruta 311 esta área presenta problemas de acumulación de residuos sólidos como troncos, hojas y desechos producidos por las actividades humanas los cuales puede provocar que el sistema pluvial se obstruya y provoque el colapsó del mismo.

Área 2 (E2) Sector del tajo Cerro Minas y aguas abajo de este hacia el área en estudio:

En la actualidad se presentan problemáticas con el manejo de residuos sólidos en la zona cercana al tajo ya que este se encuentra aprovechando los materiales del cerro lo que provoca el arrastre de materiales y sedimentos producto de esta actividad hacia el área en estudio.

Además, la escorrentía puede arrastra lodos de los terrenos que se encuentra descubiertos aguas arriba de la calle, donde se dan 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 después del cebollal en calle Machete hasta Hotel Luisiana

Sobre el Área 3, que corresponde con el sector colindante al cebollal, la problemática radica en el arrastre de residuos sólidos y sedimentos, donde se logran observar varios elementos que obstaculizan el paso natural del flujo de las cunetas, mismo que contribuye a cambios en la velocidad y por ende potenciando a la modificación de la hidráulica del sistema.

Como problemática a futuro, se pueden dar inundaciones por la obstrucción total del sistema, dando la probabilidad de tener impactos sobre estructuras y espacios colindantes.

Cuadro N° 46: Resumen de la cuantificación de riesgos del sector externo sin medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	10.0	5.7	9.2
A2	6.0	3.35	15.4	9.2
A3	3.0	6.7	5.7	9.2

Fuente: Propia, 2021.

Tras los resultados que se presentan en el Cuadro N°45 se puede mencionar que sobre las áreas externas A1 y A3 se presenta un riesgo medio 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 sistema pluvial, al acumularse durante el tiempo puede potenciar desbordes sobre las cunetas, afectando vías, aceras y otras estructuras cercanas a los tramos en mención. En mención a las áreas el riesgo a inundación es medio.

Respecto al flujo de lodos y deslizamientos el riesgo es bajo en las áreas externas A1 y A3 analizadas, mientras que para el área A2 el riesgo es alto. 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 el río Uruca.

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

Según la cuantificación realizada del sector interno en el Cuadro N°45, se obtiene un valor de riesgo entre medio y alto para inundación y flujos lodos en Calle Quebrador (Anexo 9), por lo tanto, se aplicarán una serie de medidas compensatorias para reducir el eventual riesgo, las cuales se darán de forma sostenible y eficiente.

Según el análisis hidráulico realizado en calle Quebrador los factores que activan las inundaciones están relacionados con la red pluvial, y el canal que transporta el caudal para las concesiones, ya que cuando se presentan precipitaciones extraordinarias o condiciones adversas con la escorrentía, la capacidad hidráulica de la red pluvial colapsa.

Para mitigar el riesgo de inundación se recomienda la implementación de medidas Estructurales y no Estructurales sobre los sectores más vulnerables de calle Quebrador, 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 la red pluvial en análisis se recomienda realizar acciones acordes a las limitantes que presenta calle Quebrador. Es importante mencionar que el Río Uruca no tiene influencia sobre las inundaciones que se han presentado en el pasado, no obstante, si la compuerta donde se capta el canal de riego de la concesión no es cerrada al momento de los eventos de precipitación se potenciarán las inundaciones por el aporte de agua del cauce al sistema pluvial. Específicamente, para este caso, este canal de riego debe ser clausurado, tomando en cuenta que el caudal utilizado en las concesiones es extremadamente pequeño y las concesiones que habían estado activas se encuentran clausuradas.

Lo ideal es implementar una mejora en el diseño de la red pluvial, donde se cumpla rigurosamente con todo lo que se solicita en la Norma Técnica del AyA, 2017. Es importante que en el rediseño considere todas las especificaciones técnicas de ingeniería, tales como: periodo de retorno, capacidad del tirante hidráulico, velocidad, presión, pendiente, diámetros y materiales.

Se puede realizar un rediseño automatizado de la compuerta de la concesión del río Uruca, esto con el fin de solventar cualquier descontrol en el desvió del flujo hacia el cauce.

Considerar el rediseño de rejillas en puntos específicos donde se produce el mayor flujo de lodos, esto con el fin de evitar la acumulación excesiva de sedimentos en el sistema colector pluvial.

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 continuo a los conductos, donde se evite la generación excesiva de sedimentos, lo que contribuye al funcionamiento idóneo del sistema pluvial, es importante el control de residuos sólidos en las cunetas, ya que estos pueden ser arrastrados por el agua y depositados sobre las rejillas de los tragantes, ocasionando un sobre flujo pluvial sobre la carretera y las aceras colindantes. 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 para el manejo de los flujos de lodos, que aparentemente son potenciados por la actividad que se desarrolla en el tajo Cerro Minas, donde la escorrentía pluvial arrastra estos sedimentos finos, depositando los mismos sobre las estructuras hidráulicas encargadas de la evacuación de las aguas pluviales, llevando a un estado de colapso lo que contribuye con las inundaciones que afectan las viviendas y vías públicas.

Respecto al tanque de almacenamiento del AyA se recomienda que la entidad genere un plan de contingencia completo de control y manejo de los flujos excedentes, que pueden ser potenciados por el fallo en la telemetría, o por un lavado de emergencia que se deba realizar de forma inmediata, y este sea presentado de forma clara a la Municipalidad de Santa Ana.

Se debe plantear un conversatorio con la comunidad para cambiar el abastecimiento para aplicar el riego en los cultivos, por lo que es de suma importancia que se llegue a un acuerdo consensuado, ya que es indispensable que a los agricultores de la zona se les garantice el abastecimiento para riego de manera acorde a los planteamientos de ingeniería y la legislación actual. Es importante que se considere lo que menciona la ley de Aguas en relación a las concesiones, y que esta se gestione de forma correcta cumpliendo todos los parámetros legales apegados al aprovechamiento por concesión de cuerpos de agua superficiales.

Se debe valorar la opción de plantear un sistema de riego completo que trace por los terrenos que necesitan el agua para los cultivos, es importante que este diseño contemple todas las premisas técnicas necesarias para el funcionamiento óptimo y sustentable del sistema, además se debe considerar el criterio de cálculo que emite el Manual Técnico de Dotaciones para solicitud de caudal de concesiones del Departamento de Aguas del MINAE.

Por lo mencionado anteriormente la severidad relacionada con la inundación disminuirá de forma importante, librando a calle Quebrador de cualquier riesgo asociado con la inundación, tras la aplicación de las medidas de mitigación (Cuadro N°47, Anexo 9).

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 y flujo de lodos. El sector de Calle Quebrador 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.

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

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	5.0	3.85	9.2
A2	4.5	3.35	5.0	9.2
A3	3.0	3.35	3.85	9.2
A4	4.5	5.0	3.35	9.2
A5	3.0	5.0	5.78	9.2
A6	3.0	5.0	5.78	9.2
A7	3.0	3.35	3.85	9.2

Fuente: Propia, 2021.

El riesgo al deslizamiento es de 3.0, además la pendiente que predomina entre media y alta y los taludes se componen de materiales de calidad aceptable desde la perspectiva geotécnica, mientras que para los flujos de lodo el valor obtenido ronda entre 3.35 y 5.78. Es importante mencionar que las viviendas de calle Quebrador cumplen con lo establecido por el código sísmico de Costa Rica para el desarrollo de construcciones.

El riesgo de inundación se reduce a un intervalo entre 3.35 y 5.0 esto debido a que, según el caudal de avenida máxima obtenido, no se generarían desbordamientos por el río Uruca, específicamente en el sector que traza calle Quebrador. Así mismo, se considera la implementación de las medidas estructurales de rediseño de la red pluvial, la cual potencia los eventos de inundación ocurridos en el pasado, lo que radicaría las problemáticas actuales.

- **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 hasta la ruta 311, el tajo Cerro Minas y sector aguas abajo del cebollal; 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 (Figura N°48).

Es necesario el desarrollo de las medidas no estructurales, para el sitio en análisis, como lo es aplicar una limpieza exhaustiva, ya que al momento de la inspección se observaron objetos sobre las cunetas, obstruyendo el flujo hidráulico, provocando una mayor severidad a inundaciones o desbordes. Así mismo, implementar un seguimiento de limpieza o mantenimiento para que el área hidráulica del rio Uruca para que permanezca libre, esto con el fin de evitar la reducción de la sección del cuerpo de agua, permitiendo flujo constante.

Para desarrollar medidas no estructurales lo ideal es generar un convenio institucional apoyado por las comunidades aleñadas al río Uruca, 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 el río Uruca, 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 importe 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. En el Cuadro N°46 se exponen en forma de resumen la cuantificación del riesgo, donde se consideran las medidas de mitigación. Los detalles de las matrices de las 4 áreas externas se observan en el Anexo 10.

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

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	3.35	3.85	9.2
A2	3.0	3.35	3.85	9.2
A3	3.0	3.35	3.85	9.2

Fuente: Propia, 2021.

El riesgo al deslizamiento es de 3.0, en relación a los flujos de lodo el valor es de 3.85, además la amenaza sísmica es de 9.2 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 (Figuras N°31, 32 y 33).

Es importante tener contacto con el personal del Tajo Cerro Minas, esto para verificar el uso del quebrador con el flujo de agua que transporta el canal, ya que según la recabación de información sobre concesiones en Dirección de Agua el permiso de este uso se encuentra cancelado actualmente. Además, se debe realizar una reunión con los agricultores que aprovechan el agua del canal para el riego de sus cultivos y verificar el caudal de aprovechamiento y sus necesidades en relación a lo mencionado, ya que de poder reducir este flujo permanente en el sistema colector se reduciría de forma directa el riesgo a inundaciones. 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.

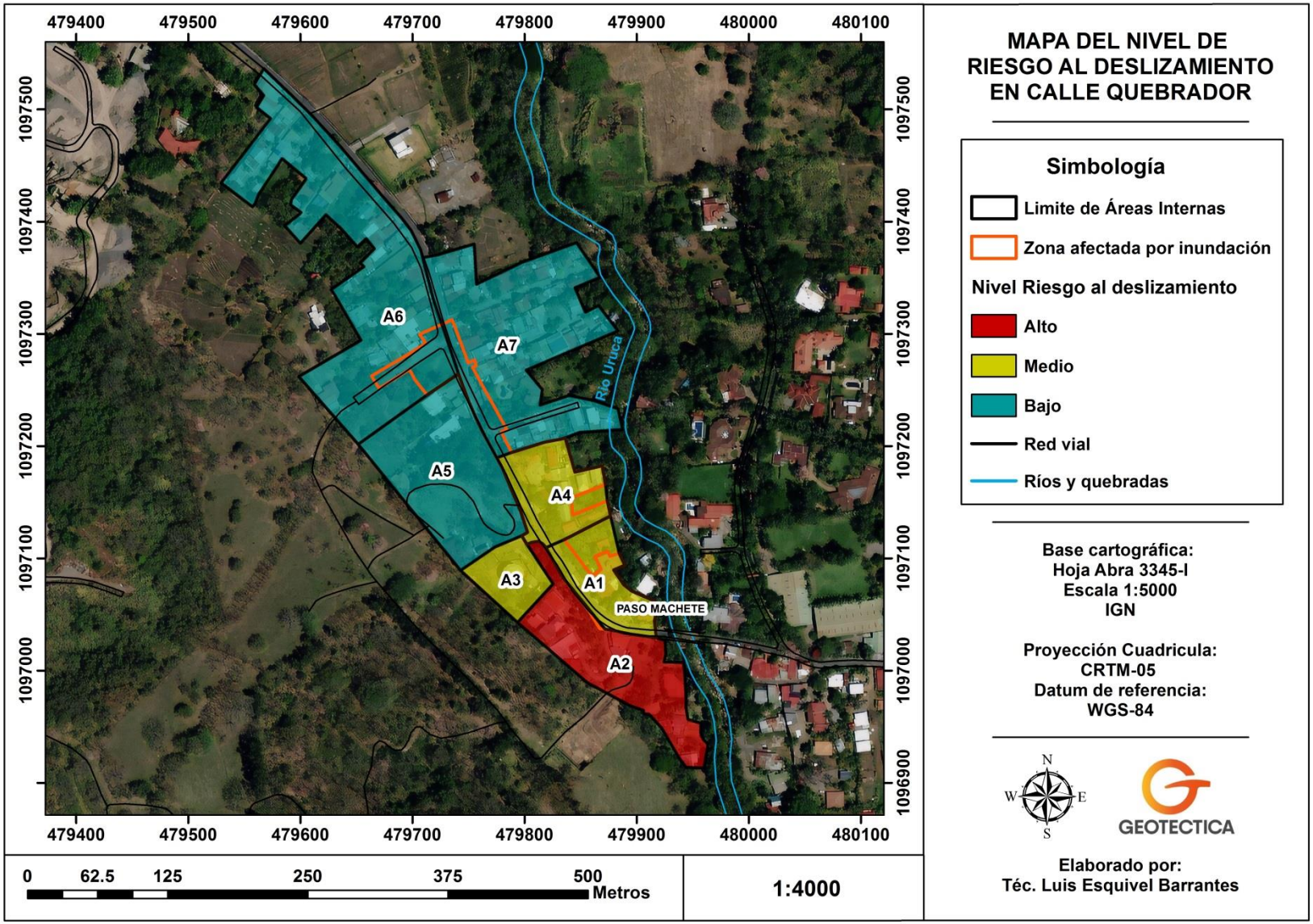


Figura N° 31: Mapa de Riesgo a inundaciones según la aplicación de la matriz en Calle Quebrador.

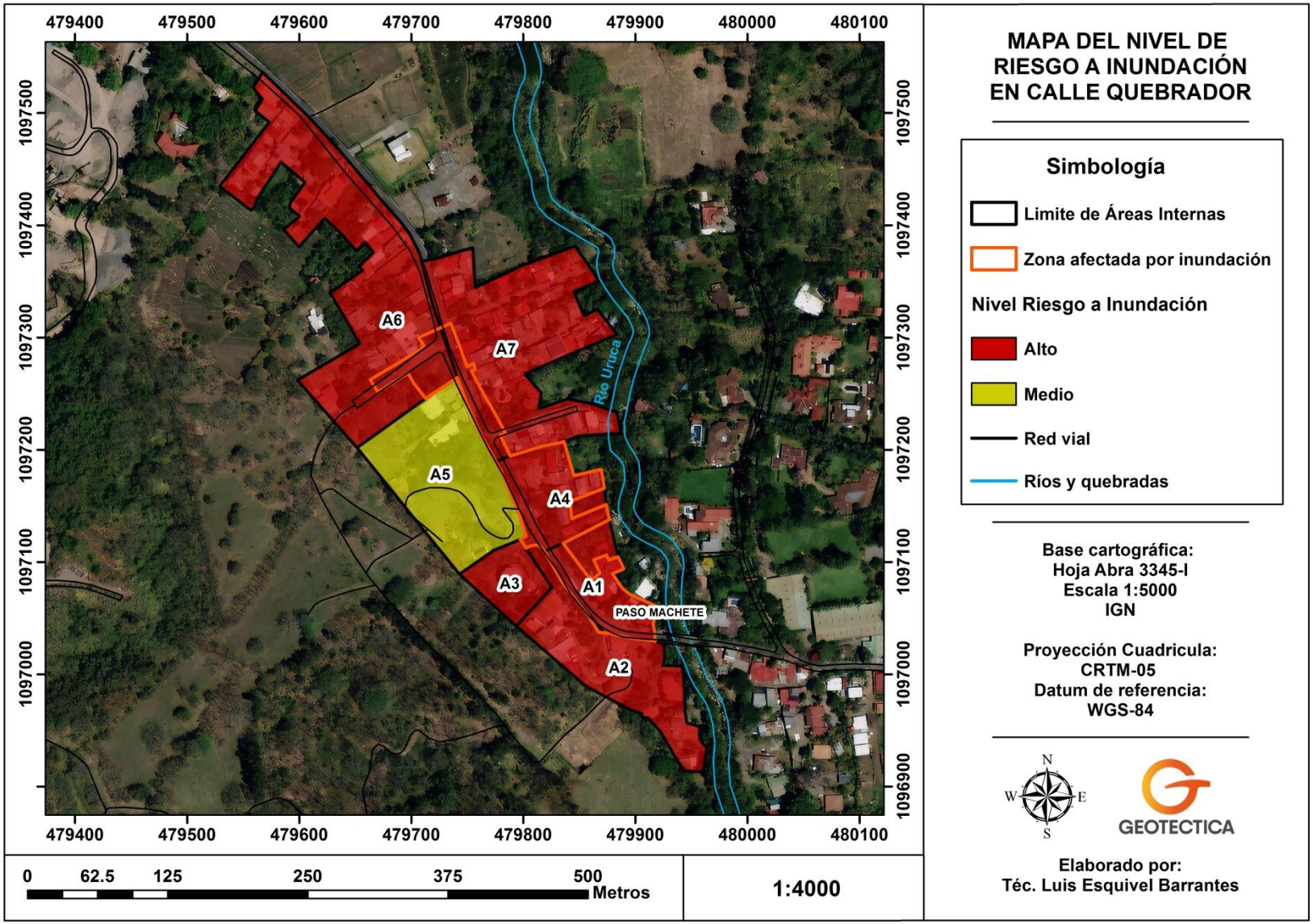


Figura N° 32: Mapa de Riesgo a inundaciones según la aplicación de la matriz en Calle Quebrador.

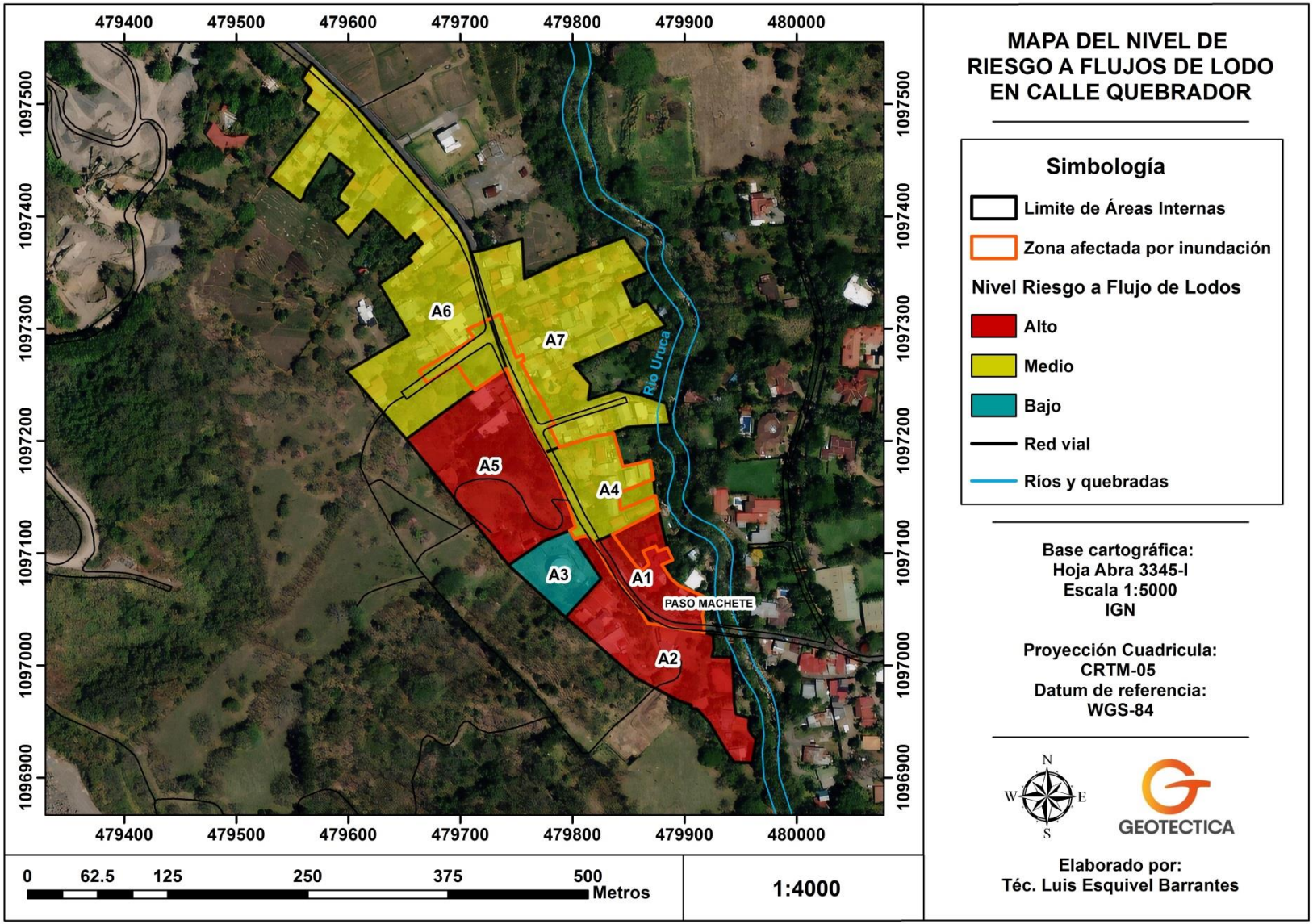


Figura N° 33: Mapa de Riesgo a la ocurrencia de flujo de lodos según la aplicación de la matriz en Calle Quebrador.

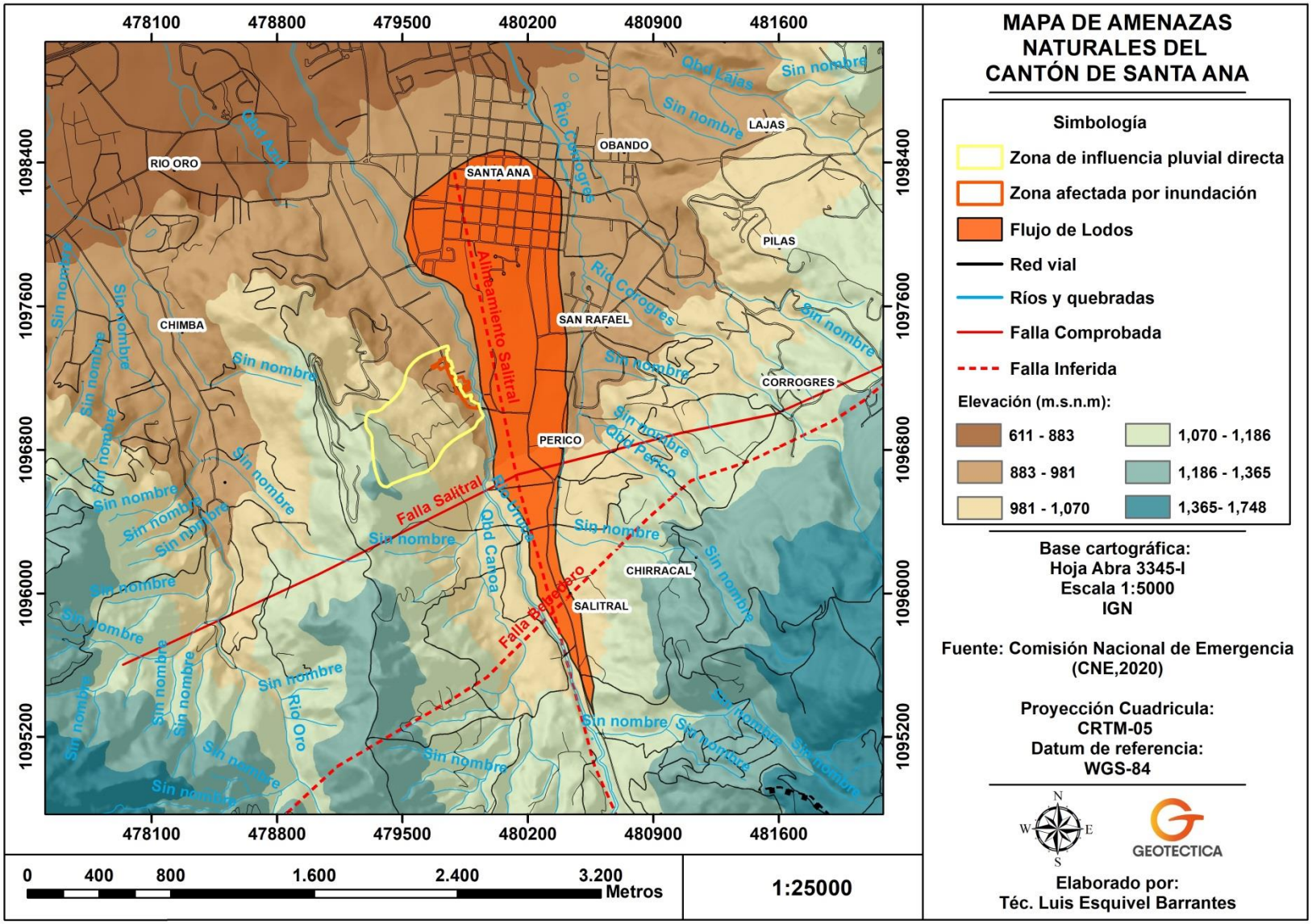


Figura N° 34: Mapa de Amenazas Naturales alrededor de Calle Quebrador (Fuente: según la CNE, 2021).

9- OBRAS REALIZADAS

En general para la primera etapa de este proyecto se ejecutaron varias actividades complejas de construcción y mejoramiento, están fueron desarrolladas conforme lo establecido en los análisis previos ejecutados. Para la construcción se consideran los detalles necesarios para el replanteo del sistema colector pluvial que traza sobre calle Quebrador poblado que ha sido afectado en el pasado por eventos de inundación.

En relación a las obras realizadas, se debe mencionar que a nivel visual se observó una mejora en la calidad de las obras, así como un uso adecuado de los recursos, esto si se comparan las obras actuales versus las estructuras que existían en el pasado. En este proyecto los recursos fueron suficientes para solventar las problemáticas relacionadas con las inundaciones.

Como parte de las mejoras se colocó tubería plástica de PVC tipo Rib Loc, misma que es externamente perfilada e internamente lisa, lo que permite utilizar valores de rugosidad de n de Manning entre 0.009 y 0.010, generando un desempeño hidráulico optimo en vías de condominios, urbanizaciones o carreteras secundarias.

Según el rediseño del sitio en estudio se utilizaron 117 m de tubería PVC Rib Loc en diámetro de 750 mm, características que conforman la línea de evacuación pluvial principal. Mientras que para las conexiones entre los tragantes pluviales y los pozos de registro se instaló tubería PVC Rib Loc de 450 mm de diámetro.

Como parte de las obras se aplicó la construcción de un cordón de caño tipo cuneta de 65 cm de ancho, esto se desarrolló en una distancia de 226 m aproximadamente, además estas estructuras van colindantes con las aceras peatonales de 1.5 m de ancho. La intervención de las aceras sobre calle Quebrador fue de 188 m de longitud aproximadamente.

Para las mejoras de la carretera se realizó un replanteo de la capa asfáltica sobre el sitio en estudio, para esto se colocó una capa asfáltica de 5 cm de espesor, misma que fue complementada con una sub base granular de 20 cm, una base estabilizada BE- 25 de 20 cm, y el suministro de imprimación de 1.20 l/m^2, esto se desarrolló en un área de 756 m^2 aproximadamente.

Dentro de la misma obra se dio la adecuación de diez (10) entradas vecinales, además de la demarcación de la vía replanteada. Es importante mencionar que para el desarrollo óptimo de las obras se contó con la señalación respectiva, así como con el uso correcto de equipo de protección personal por parte de los colaboradores involucrados en los trabajos ya concluidos.

En el Anexo 11 del presente documento se observan varias fotografías tomadas al momento de la ejecución de las obras, donde se visualiza el detalle espacial de los sitios replanteados sobre el poblado de calle Quebrador. Los sectores elegidos para la ejecución de las obras concuerdan con las zonas más vulnerables a inundación. Estas áreas fueron elegidas tras el análisis realizado sobre la gestión de riesgos.

Se ha tomado en cuenta para la construcción de esta primera etapa todos los elementos para la mitigación del riesgo en el diseño y construcción, sin embargo, para las siguientes etapas se debe supervisar el mismo manejo sobre las medidas de mitigación mencionadas.

10-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El lugar de estudio se trata de un sector sobre Calle Quebrador, además del análisis completo de la zona de aporte pluvial que lleva la escorrentía al espacio en estudio. El lugar se localiza específicamente en el distrito de Uruca, 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 sobre las coordenadas centrales 1097174 N / 479805 E Proyección CRTM-05.

El sitio de estudio se localiza sobre la microcuenca del río Uruca que aguas abajo tributa y forma parte de la cuenca del río Virilla, esta se caracteriza especialmente por encontrarse inmersa en una zona urbana. La zona de aporte pluvial, que incluye el sector de Calle Quebrador, posee un área estimada de 18.233 km^2 o 1823.3ha.

La zona de influencia pluvial directa que tributa en el sistema colector pluvial posee un área de 27.8253 ha, donde el flujo pluvial es impulsado desde la divisoria que genera el relieve en el Cerro Minas localizado aproximadamente a 500 m al oeste de Calle Quebrador o el poblado de Paso Machete, es importante mencionar que el uso de suelo en este sector está ocupado por un tajo, así como por asentamientos urbanos que hacen impermeables los suelos, además la pendiente por donde fluye la escorrentía es alta y la textura de suelo es de arcillas plásticas, parámetros que se combinan para potencial caudales de escorrentía importantes sobre las superficies del sitio en análisis.

Para la microcuenca del Río Uruca, en relación con el ancho y el área, el resultado corresponde con 0.37 aproximadamente, definiendo rangos aproximados del Factor Forma como una cuenca relativamente alargada; 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.

Utilizando la ecuación de Taylor y Schwarz, con el criterio de 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, se estima una pendiente S para la microcuenca del Río Uruca de 0.0478 o 4.78%.

Se realizó la estimación del caudal de avenida máxima para la zona de aporte pluvial del Río Uruca, donde se hace una comparación porcentual con el caudal que genera zona de influencia pluvial directa de Calle Quebrador, mismo que es calculado por el método Racional, este implica un 3.90 % relativo a un aporte de 3.15 m^3/s, en proporción con el caudal correspondiente a 80.72 m^3/s transportado a través de la zona de aporte de la microcuenca para una intensidad de 68.0 mm/h y un periodo de retorno de 50, 100 y 250 años.

Se deduce que la zona de influencia pluvial directa de Calle Quebrador aporta el 29.3% del caudal total que transporta el Río Uruca en la zona de aporte delimitada para generar el análisis hidrológico, sitio influenciado por la escorrentía de la parte alta de la microcuenca. Es importante mencionar que en el sitio se presentan problemáticas asociadas con inundación.

La modelación hidráulica realizada para el Río Uruca, indica que los sectores analizados mediante las secciones levantadas demuestran que las áreas transversales del cauce tienen la capacidad adecuada para soportar la carga pluvial que generen los eventos extraordinarios.

En relación a los tramos analizados el número de Froude es mayor a 1, por lo que se deduce que las velocidades en estos sectores son importantes, donde se genera un régimen supercrítico, el cual se caracteriza por velocidades altas, donde las ondas o perturbaciones son arrastradas por la velocidad de flujo aguas abajo. En este tipo de régimen las fuerzas inerciales presentan una influencia mucho mayor que las fuerzas gravitacionales, donde se generan velocidades altas y pendientes altas con profundidades más pequeñas.

En relación a las corridas realizadas en el software Hec-Ras 5.0.7 se puede definir que el Río Uruca no presentara desbordamientos en los tramos analizados, por lo que se concluye que los problemas que se han presentado en el sector de calle Quebrador no son a raíz del cauce, ya que según la modelación este posee la capacidad hidráulica para evacuar las aguas producto de precipitaciones extraordinarias asociadas a tormentas con periodos de retorno de 50, 100 y 250 años.

Considerando el rediseño de la línea pluvial 01 que va desde la Clínica Drs Méndez hasta el puente del Río Uruca en la parte alta de Calle Quebrador, se recomienda la implementación de un sistema colector compuesto por un diámetro mínimo de 0.70 m 0 700 mm, según la modelación realizada en Hcanales para este sector se obtendría un tirante máximo de 0.42 m, lo que corresponde con una capacidad máxima de ocupación de 60% esto en relación a un diámetro de 0.70 m.

Para el diseño de la línea pluvial 02, misma que recorre desde el tanque del AyA hasta el punto de desfogue en la parte baja del Río Uruca, exactamente trazando el camino de lastre que se encuentra colindante a la pulpería Daisy Geral, se recomienda la implementación de un sistema con diámetro de 1.0 m o 1000 mm, mismo que al analizarlo mediante Hcanales, implica que se obtendría una ocupación del conducto de 68%.

Se debe implementar una mejora en el diseño de la red pluvial, donde se cumpla rigurosamente con todo lo que se solicita en la Norma Técnica del AyA, 2017, para lo cual es necesario tomar las medidas esenciales como: periodo de retorno, capacidad del tirante hidráulico, velocidad, presión, pendiente, diámetros, materiales y distancia correcta entre los elementos como pozos pluviales y tragantes en cunetas, además de la posición correcta del sistema en caminos y vías.

Para el rediseño del sistema pluvial, la capacidad de las alcantarillas no debe sobrepasar el 85% del diámetro total. En relación a la velocidad y al diseño de los pozos pluviales, se deben implementar técnicas de construcción idóneas, donde estas regulen la velocidad y garanticen el buen funcionamiento del sistema.

Para los conductos tubulares no se acepta reducir el diámetro en la dirección del flujo, de tal forma que, en un pozo, el diámetro de la tubería de salida debe ser igual o mayor al diámetro de las tuberías de entrada; lo anterior también aplica cuando hay cambios de dirección o de pendiente. En aquellas alcantarillas donde no existan cabezales de entrada o de salida se recomienda construir éstas estructuras.

Se debe implementar un mantenimiento continuo a los conductos, donde se evite la generación excesiva de sedimentos, lo que contribuye al funcionamiento idóneo del sistema pluvial, es importante el control de residuos sólidos en las cunetas, ya que estos pueden ser arrastrados por el agua y depositarse sobre las rejillas de los tragantes, ocasionando un sobre flujo pluvial sobre la carretera y las aceras colindantes.

Se recomienda desarrollar un programa de vigilancia de alcantarillas y realizar inspecciones periódicas con el fin de detectar oportunamente problemas de obstrucciones, socavación, degradación o cualquier otra situación que pueda poner en peligro la integridad de las estructuras. Para el diseño pluvial lo ideal es utilizar un caudal con periodo de retorno de 100 años, esto con el fin de obtener un diseño con la capacidad de evacuar las aguas pluviales que se generen en calle Quebrador.

Según el análisis hidráulico realizado en calle Quebrador los factores que activan las inundaciones están relacionados con la red pluvial, y el canal que transporta el caudal para las concesiones, ya que cuando se presentan precipitaciones extraordinarias o condiciones adversas con la escorrentía, la capacidad hidráulica de la red pluvial colapsa.

Para el caso del sector interno, en la red pluvial en análisis se recomienda realizar acciones acordes a las limitantes que presenta calle Quebrador, es importante mencionar que el Río Uruca no tiene influencia sobre las inundaciones que se han presentado en el pasado, no obstante, si la compuerta donde se capta la concesión no es cerrada al momento de los eventos de precipitación se potenciarán las inundaciones por el aporte del cauce al sistema.

El sector de Calle Quebrador 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 media y alta y los taludes se componen de materiales de calidad aceptable desde la perspectiva geotécnica, mientras que para los flujos de lodo el valor obtenido ronda entre 3.35 y 5.78.

El riesgo de inundación se reduce a un intervalo entre 3.35 y 5.0 esto debido a que, según el caudal de avenida máxima obtenido, no se generarían desbordamientos por el río Uruca. Específicamente en el sector de calle Quebrador se considera la implementación de las medidas estructurales de rediseño de la red pluvial, la cual eliminaría los eventos de inundación ocurridos en el pasado, lo que erradicaría las problemáticas actuales.

Es importante tener contacto con el personal del Tajo Cerro Minas, esto para verificar el uso del quebrador con el flujo de agua que transporta el canal, ya que según la recabación de información sobre concesiones en Dirección de Agua el permiso de este uso se encuentra cancelado actualmente. Además, se debe realizar una reunión con los agricultores que aprovechan el agua del canal para el riego de sus cultivos y verificar el caudal de aprovechamiento y sus necesidades en relación a lo mencionado, ya que de poder reducir este flujo permanente en el sistema colector se reduciría de forma directa el riesgo a inundaciones.

Respecto al tanque de almacenamiento del AyA se recomienda que la entidad genere un plan de contingencia completo de control y manejo de los flujos excedentes, que pueden ser potenciados por el fallo en la telemetría, o por un lavado de emergencia que se deba realizar de forma inmediata, y este sea presentado de forma clara a la Municipalidad de Santa Ana.

Según lo mencionado por los artículos; 17, 25 y 168 se concluye que el aprovechamiento de las concesiones del tajo Cerro Minas se encuentra restringido, por lo tanto, su uso puede repercutir en problemas legales por lo establecido en la ley de aguas Nº 276.

En este sentido, se recomienda realizar el cierre de la captación, de esta manera el flujo temporal que recorre por el canal no cargaría el sistema pluvial de la comunidad disminuyendo la posibilidad de que se den amenazas de inundación a lo largo del año; no obstante, el señor Arnoldo Jiménez vecino del sector no se inclina a que cierren el canal, a pesar de los daños estructurales que sufren las viviendas que están dentro de su terreno.

Se debe programar un conversatorio con la comunidad para replantear el abastecimiento para aplicar el riego en los cultivos, es de suma importancia que se llegue a un acuerdo consensuado, ya que es indispensable que a los agricultores de la zona se les garantice el abastecimiento para riego, es importante que se considere lo que menciona la ley de Aguas en relación a las concesiones, y que esta se gestione de forma correcta cumpliendo todos los parámetros legales apegados al aprovechamiento por concesión de cuerpos de agua superficiales.

Se debe valorar la opción de plantear un sistema de riego completo que trace por los terrenos que necesitan el agua para los cultivos, es importante que este diseño contemple todas las premisas técnicas necesarias para el funcionamiento óptimo y sustentable del sistema; además, se debe considerar el criterio de cálculo que emite el Manual Técnico de Dotaciones para solicitud de caudal de concesiones del Departamento de Aguas del MINAE.

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.

Según el rediseño del sitio en estudio se utilizaron 117 m de tubería PVC Rib Loc en diámetro de 750 mm, características que conforman la línea de evacuación pluvial principal. Mientras que para las conexiones entre los tragantes pluviales y los pozos de registro se instaló tubería PVC Rib Loc de 450 mm de diámetro.

Como parte de las obras se aplicó la construcción de un cordón de caño tipo cuneta de 65 cm de ancho, esto se desarrolló en una distancia de 226 m aproximadamente, además estas estructuras van colindantes con las aceras peatonales de 1.5 m de ancho. La intervención de las aceras sobre calle Quebrador fue de 188 m de longitud aproximadamente.

Para las mejoras de la carretera se realizó un replanteo de la capa asfáltica sobre el sitio en estudio, para esto se colocó una capa asfáltica de 5 cm de espesor, misma que fue complementada con una sub base granular de 20 cm, una base estabilizada BE- 25 de 20 cm, y el suministro de imprimación de 1.20 l/m^2, esto se desarrolló en un área de 756 m^2 aproximadamente.

Dentro de la misma obra se dio la adecuación de diez (10) entradas vecinales, además de la demarcación de la vía replanteada. Es importante mencionar que para el desarrollo óptimo de las obras se contó con la señalización respectiva, así como con el uso correcto de equipo de protección personal por parte de los colaboradores involucrados en los trabajos finales.

Se recomienda que, para el rediseño estructural del sistema pluvial de las siguientes fases, se consideren los caudales estimados en el presente documento, donde se considere tanto el caudal de avenida máxima como los caudales aportados por las distintas actividades ya mencionadas.

11-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

ASTM DESIGNATION D5777, 1995: "Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pa.

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

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

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R., 1983: Hidrología subterránea. Tomo I. -1157 págs. Ed. Omega, Barcelona

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

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

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

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

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.

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 . Departamento de Hidrogeología, SENAS (SENARA).

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

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

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

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.

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

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 mecánicas)

ESTACION : 84 11 LORNESSA, SANTA ANA **Latitud: 09 ° 56 ' N Longitud: 84 ° 11 ' O Altitud. 909 m.s.n.m**

Elementos	Períodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
LLUVIA	1941	1986	6.8	9.3	14.2	64.7	222.3	256.1	162.7	200.3	291.9	291.4	112.9	20.9	**137.8**	1653.5
TEM.MAX.	1970	1986	28.4	29.6	30.8	31.3	29.7	28.4	28.3	28.4	27.9	27.7	27.7	28.0	**28.9**	
TEM.MIN.	1970	1986	17.9	17.9	18.1	18.6	18.4	18.1	18.4	18.0	17.4	17.5	17.9	18.2	**18.0**	
TEM.MED.	1970	1986	23.1	23.7	24.5	24.9	24.1	23.2	23.3	23.2	22.7	22.6	22.8	23.1	**23.4**	
VIENTO DIR. PREDOMINANTE																
Promedio dias con lluvia >= 0.1 mm.			1	1	2	6	17	20	16	18	23	22	12	4	142.8	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 mecánicas)

ESTACION : 84 38 SALITRAL DE SANTA ANA **Latitud: 09 ° 55 ' N Longitud: 84 ° 10 ' O Altitud. 1100 m.s.n.m**

Elementos	Períodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
LLUVIA	1964	1988	7.8	9.4	21.0	59.4	219.9	254.0	180.1	234.4	288.2	311.3	101.5	22.2	**142.4**	1709.2
VIENTO DIR. PREDOMINANTE																
Promedio dias con lluvia >= 0.1 mm.			1	1	2	5	15	19	14	17	21	21	10	3	126.9	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.

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	

														Total
VIENTO DIR. PREDOMINANTE	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
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

Aplicación de Aforos al canal que transporta las concesiones

Fotografía N°1. Aforo 1, canal para transporte de concesión total. Coordenadas: 479860E /1097091N proyección CRTM-05.

Fotografía N°2. Aforo 2, aplicación volumétrica sobre tubería que desvía parte del flujo a otros cultivos: 479755E / 1097272N proyección CRTM-05.

Fotografía N°3. Aforo 3, aplicado al canal que transporta el flujo de concesión hacia cultivos de cebolla el agua pluvial. Coordenadas: 479687E /1097275N proyección CRTM-05.

Fotografía N°4. Sector de desvió hacia cultivos. Coordenadas: 479705E /1097390N proyección CRTM-05.

GEOTECTICA

CLIENTE
CONSTICA S.A

CUERPO DE AGUA
Concesiones

CANTÓN: Santa Ana

OPERADOR:	Téc. Luis Enrique Esquivel
FECHA:	25/02/2021
ALTURA (m.s.n.m):	963
CLIMA:	Soleado

FOTOGRAFIA DEL AFORO

FORMA DEL CANAL

⇩

RECTANGULAR

DATOS DEL AFORO CON FLOTADOR

Medida	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)
1	3.00	6.70	0.45
2		6.48	0.46
3		3.85	0.78
4		3.88	0.77
5		6.05	0.50
Promedio de Velocidad (m/s)			0.59

Altura lamina del agua (m)	0.0400
Ancho del canal (m)	0.75

ECUACIÓN

$$Q = V.A.Fc$$

RESULTADOS

Caudal Total	(l/s) =	14.20
Caudal Total	(m^3/s)=	0.01420
Área Total	(m^2) =	0.0300
Factor de correción	(adimencional)	0.8

GEOTECTICA

CLIENTE
CONSTICA S.A

CUERPO DE AGUA
Canal

DATOS DEL AFORO

Volumen del recipiente (Litros)	Aforo	Tiempo (segundos)	Caudal (l/s)
18.9	1	11.00	1.718
	2	12.00	1.575
	3	10.00	1.890
	4	11.00	1.718
	5	10.50	1.800

RESPONSABLE:	Hidrogeól. Carlos Alonso Vargas	**LOCALIDAD:**	Calle Quebrador
PROCESADOR:	Téc. Luis E Esquivel	**PROVINCIA:**	San José
OPERADOR:	Téc. Luis E Esquivel	**CANTÓN:**	Santa Ana
PROYECTO:	Calle Quebrador	**DISTRITO:**	Pozos

AFORO:	Canal
FECHA:	25/02/2021
NORTE (m):	1097271
ESTE (m):	479755
ALTURA (m.s.n.m):	961
CLIMA:	Soleado

ECUACIÓN

$$Q = \frac{V(l)}{t\ (s)}$$

RESULTADOS

Caudal total (l/s)	1.740
Caudal total (m^3/s)	0.001740
Tiempo de llenado del recipiente (segundos)	10.90

GEOTECTICA

OPERADOR:	Téc. Luis Enrique Esquivel
FECHA:	25/02/2021
ALTURA (m.s.n.m):	983
CLIMA:	Soleado

CLIENTE

CONSTICA S.A

CUERPO DE AGUA

Concesiones

CANTÓN: Santa Ana

FOTOGRAFIA DEL AFORO

FORMA DEL CANAL

⇩

RECTANGULAR

DATOS DEL AFORO CON FLOTADOR

Medida	Distancia (m)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)
1	5.00	9.79	0.51
2		11.72	0.43
3		10.05	0.50
4		10.05	0.50
5		10.05	0.50
Promedio de Velocidad (m/s)			0.49

Altura lamina del agua (m)	0.0500
Ancho del canal (m)	0.40

ECUACIÓN

$$Q = V.A.Fc$$

RESULTADOS

Caudal Total	(l/s) =	7.78
Caudal Total	(m^3/s)=	0.00778
Área Total	(m^2) =	0.0200
Factor de correción	(adimencional)	0.8

Anexo 3

Modelación Hidráulica mediante HEC-RAS 5.0.7.

Reach	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)	
c_q	319.9999	50 años	80.72	961.89	963.34	964.17	966.15	0.065226	7.41	10.89	9.50	2.21
c_q	319.9999	100 años	86.54	961.89	963.40	964.26	966.31	0.064551	7.55	11.46	9.60	2.21
c_q	319.9999	250 años	94.96	961.89	963.49	964.39	966.54	0.063749	7.74	12.27	9.76	2.20
c_q	300	50 años	80.72	960.27	961.93	962.79	964.84	0.063803	7.56	10.68	8.99	2.22
c_q	300	100 años	86.54	960.27	961.99	962.89	965.02	0.063579	7.71	11.23	9.14	2.22
c_q	300	250 años	94.96	960.27	962.08	963.02	965.26	0.063185	7.90	12.02	9.33	2.22
c_q	280	50 años	80.72	958.89	960.65	961.52	963.56	0.064545	7.55	10.69	9.18	2.24
c_q	280	100 años	86.54	958.89	960.71	961.60	963.74	0.064529	7.71	11.23	9.33	2.24
c_q	280	250 años	94.96	958.89	960.79	961.73	963.98	0.064304	7.91	12.00	9.52	2.25
c_q	260	50 años	80.72	958.24	960.16	960.82	962.26	0.043971	6.41	12.58	10.50	1.87
c_q	260	100 años	86.54	958.24	960.21	960.91	962.43	0.044670	6.60	13.11	10.67	1.89
c_q	260	250 años	94.96	958.24	960.28	961.04	962.68	0.044851	6.86	13.86	10.92	1.92
c_q	240	50 años	80.72	957.39	959.55	960.13	961.47	0.031479	6.15	13.13	8.07	1.54
c_q	240	100 años	86.54	957.39	959.63	960.23	961.62	0.031149	6.24	13.86	8.21	1.53
c_q	240	250 años	94.96	957.39	959.75	960.38	961.84	0.031208	6.41	14.81	8.39	1.54
c_q	220	50 años	80.72	955.92	957.71	958.57	960.55	0.058298	7.46	10.81	8.22	2.08
c_q	220	100 años	86.54	955.92	957.78	958.67	960.71	0.057335	7.58	11.42	8.34	2.07
c_q	220	250 años	94.96	955.92	957.88	958.81	960.93	0.056298	7.73	12.28	8.52	2.06
c_q	200	50 años	80.72	954.53	955.99	956.88	959.17	0.077728	7.90	10.22	9.53	2.44
c_q	200	100 años	86.54	954.53	956.04	956.96	959.35	0.076941	8.05	10.75	9.66	2.44
c_q	200	250 años	94.96	954.53	956.12	957.08	959.59	0.075821	8.24	11.52	9.82	2.43

Cuadro N°49. Información obtenida en Hec-Ras 5.0.7

Reach	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)	
c_q	180	50 años	80.72	953.17	954.52	955.37	957.57	0.078460	7.73	10.45	10.26	2.44
c_q	180	100 años	86.54	953.17	954.57	955.46	957.76	0.078501	7.90	10.95	10.38	2.46
c_q	180	250 años	94.96	953.17	954.64	955.58	958.02	0.078469	8.14	11.67	10.54	2.47
c_q	160.0001	50 años	80.72	952.09	953.84	954.54	956.11	0.048863	6.67	12.10	10.31	1.97
c_q	160.0001	100 años	86.54	952.09	953.90	954.63	956.29	0.049506	6.85	12.63	10.42	1.99
c_q	160.0001	250 años	94.96	952.09	953.97	954.75	956.53	0.050405	7.09	13.39	10.60	2.01
c_q	140	50 años	80.72	951.02	952.58	953.33	955.06	0.054399	6.98	11.56	9.91	2.07
c_q	140	100 años	86.54	951.02	952.63	953.43	955.23	0.054494	7.14	12.13	10.05	2.08
c_q	140	250 años	94.96	951.02	952.71	953.55	955.46	0.054564	7.35	12.93	10.23	2.09
c_q	120	50 años	80.72	949.88	951.32	952.10	953.91	0.059826	7.13	11.32	10.18	2.16
c_q	120	100 años	86.54	949.88	951.38	952.19	954.08	0.059664	7.28	11.88	10.30	2.16
c_q	120	250 años	94.96	949.88	951.45	952.30	954.31	0.059452	7.49	12.68	10.47	2.17
c_q	100	50 años	80.72	949.15	950.84	951.44	952.76	0.038514	6.14	13.14	10.55	1.76
c_q	100	100 años	86.54	949.15	950.90	951.53	952.92	0.039054	6.31	13.72	10.67	1.78
c_q	100	250 años	94.96	949.15	950.97	951.66	953.14	0.039743	6.53	14.55	10.85	1.80
c_q	80.00002	50 años	80.72	948.03	949.78	950.46	951.94	0.041991	6.50	12.42	9.55	1.82
c_q	80.00002	100 años	86.54	948.03	949.85	950.56	952.09	0.042014	6.64	13.04	9.69	1.83
c_q	80.00002	250 años	94.96	948.03	949.94	950.69	952.31	0.041985	6.82	13.93	9.90	1.83
c_q	59.99998	50 años	80.72	947.18	948.92	949.60	951.08	0.043205	6.52	12.39	9.81	1.85
c_q	59.99998	100 años	86.54	947.18	948.98	949.68	951.24	0.043281	6.66	13.00	9.97	1.86
c_q	59.99998	250 años	94.96	947.18	949.07	949.81	951.45	0.043348	6.84	13.88	10.18	1.87
c_q	39.99993	50 años	80.72	946.34	948.07	948.76	950.22	0.042981	6.50	12.42	9.56	1.82
c_q	39.99993	100 años	86.54	946.34	948.13	948.84	950.37	0.042929	6.63	13.05	9.72	1.83
c_q	39.99993	250 años	94.96	946.34	948.22	948.98	950.58	0.042873	6.81	13.95	9.94	1.83
c_q	20.00006	50 años	80.72	945.49	946.94	947.66	949.27	0.050723	6.76	11.95	9.79	1.95
c_q	20.00006	100 años	86.54	945.49	947.01	947.75	949.43	0.050385	6.89	12.56	9.90	1.95
c_q	20.00006	250 años	94.96	945.49	947.09	947.87	949.64	0.049925	7.07	13.43	10.04	1.95

Cuadro N°50. Información obtenida en Hec-Ras 5.0.7

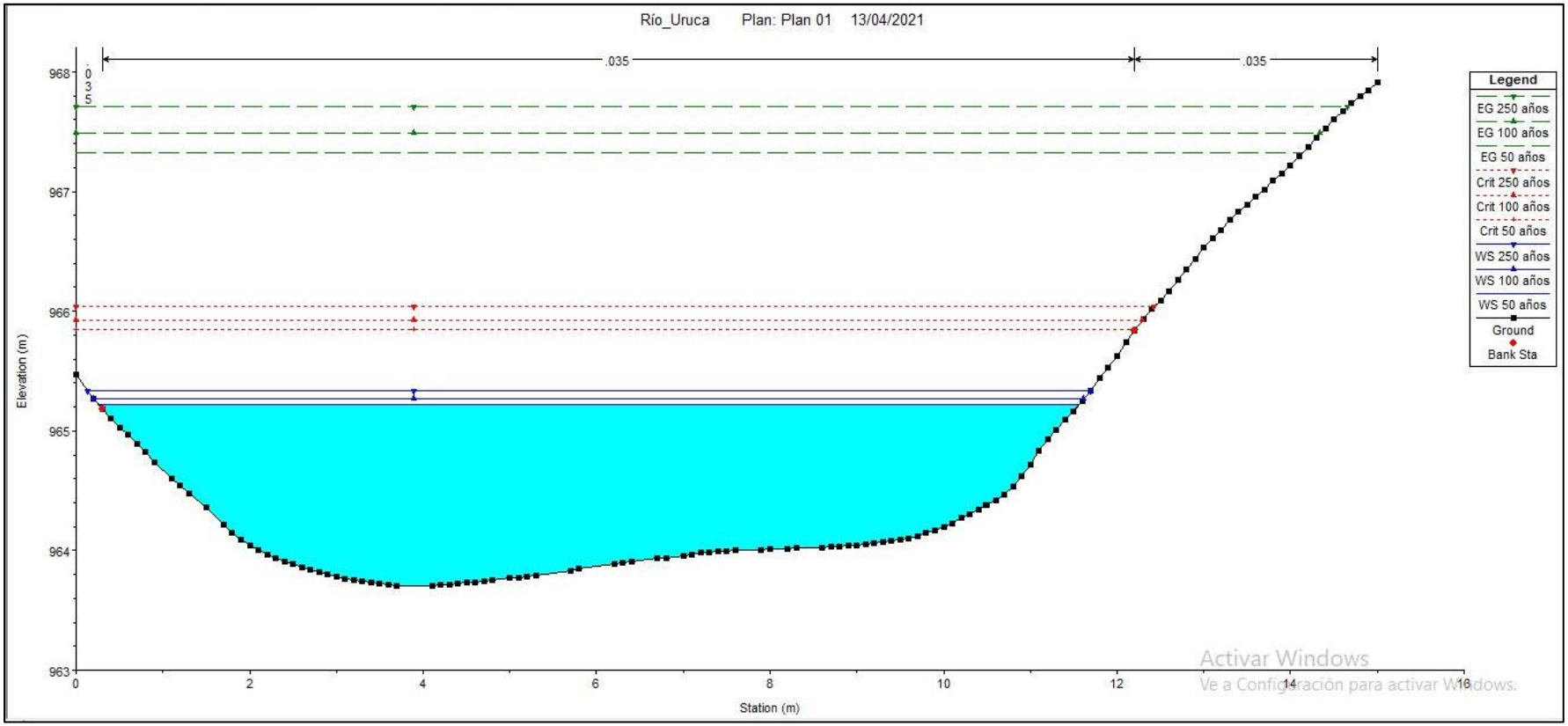


Figura N°35. Sección 0+340.

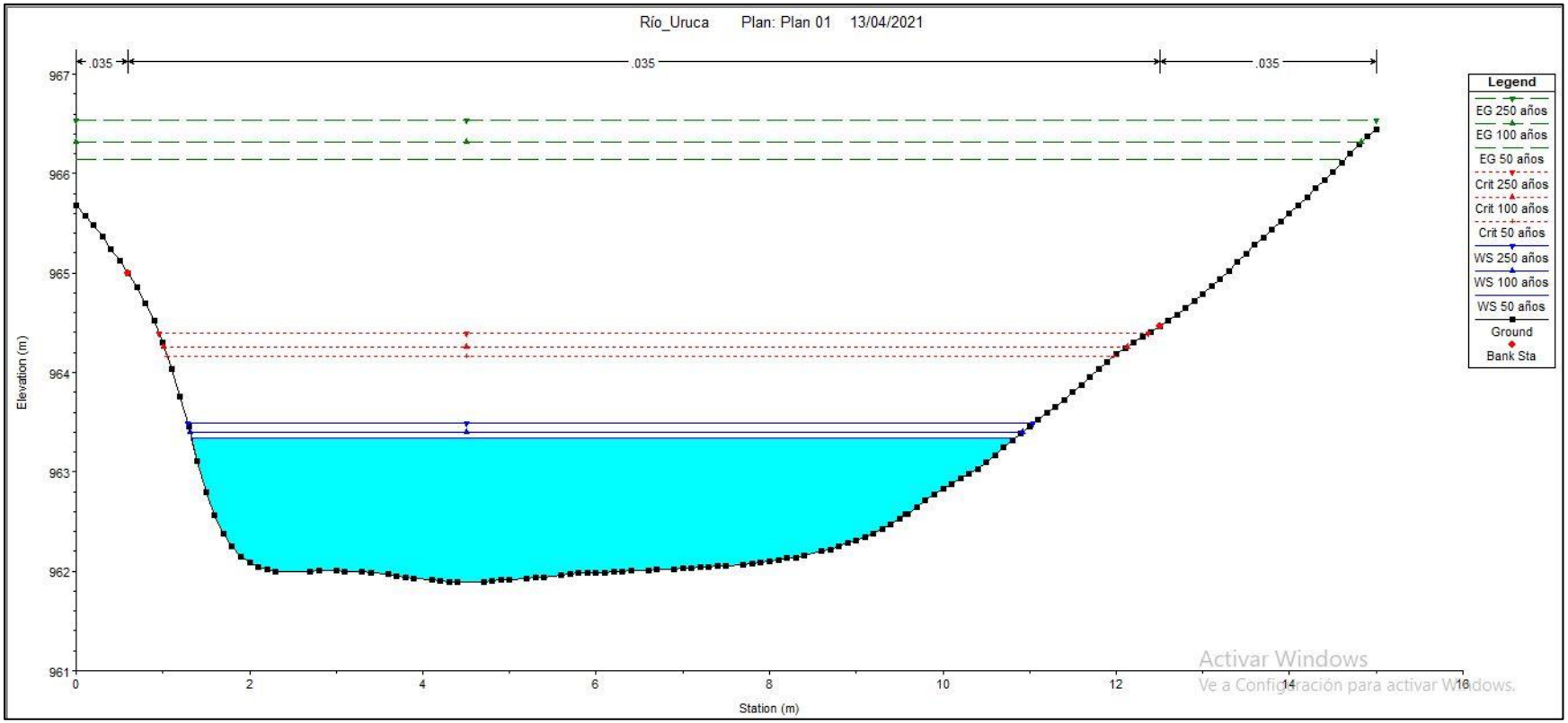


Figura N°36. Sección 0+319.

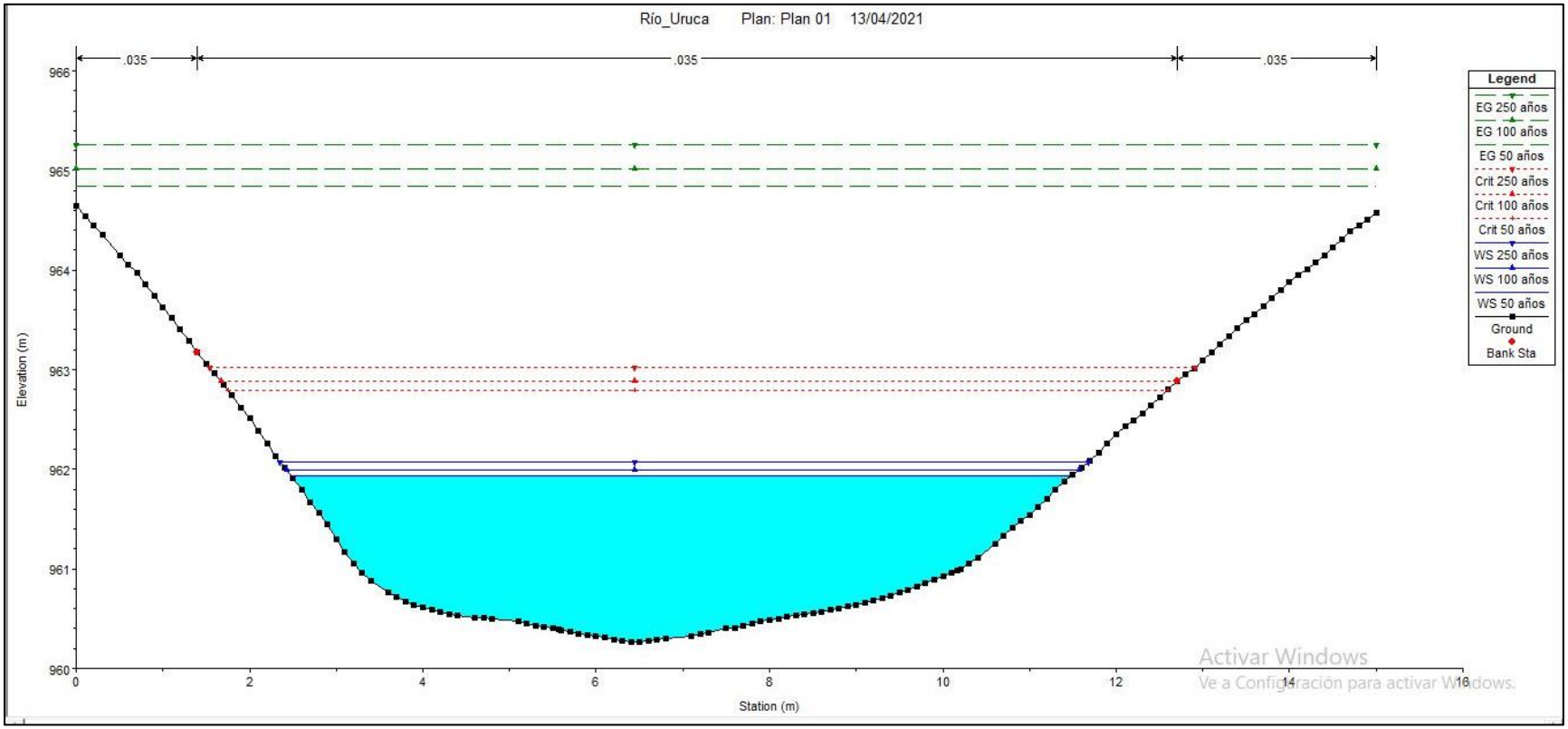


Figura N°37. Sección 0+300.

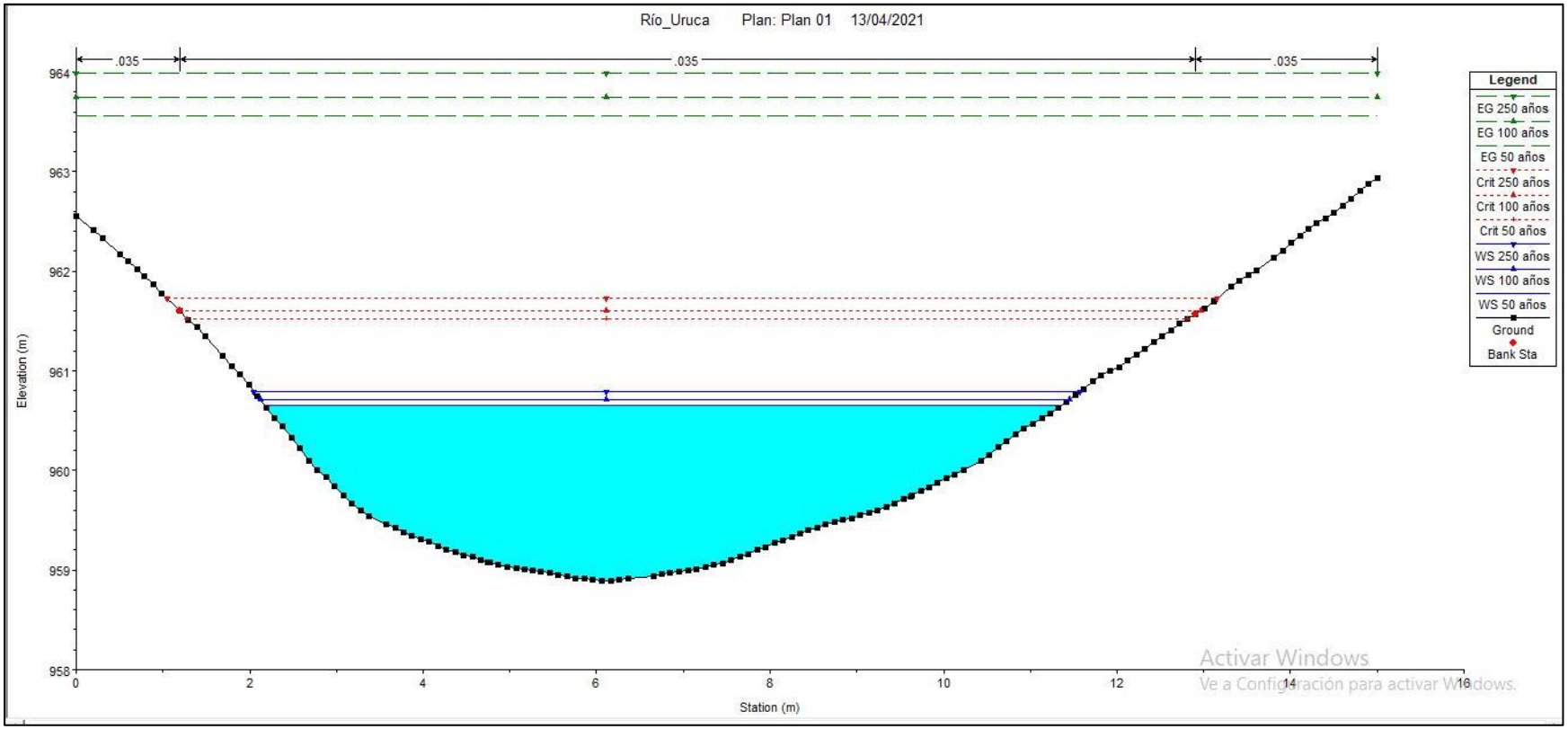


Figura N°38. Sección 0+280.

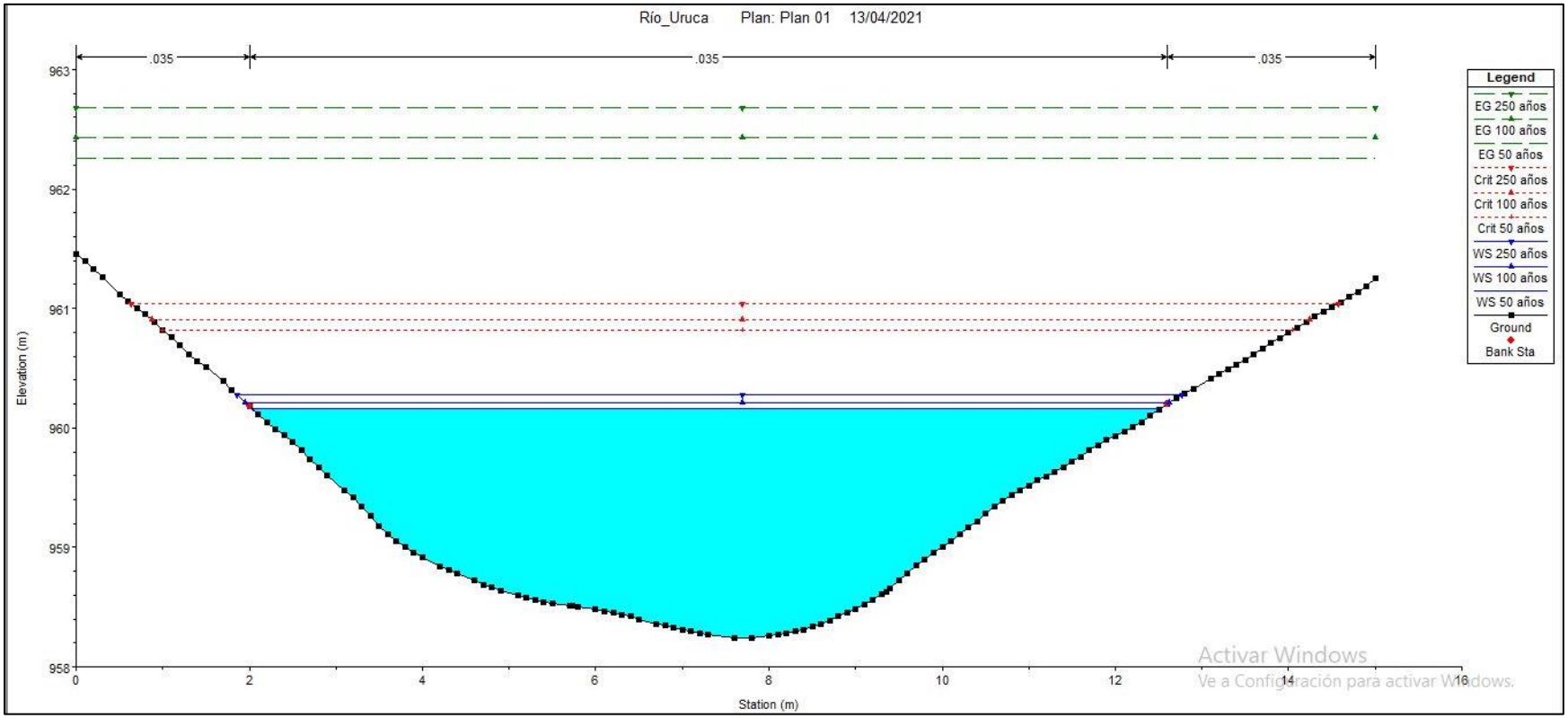


Figura N°39. Sección 0+260.

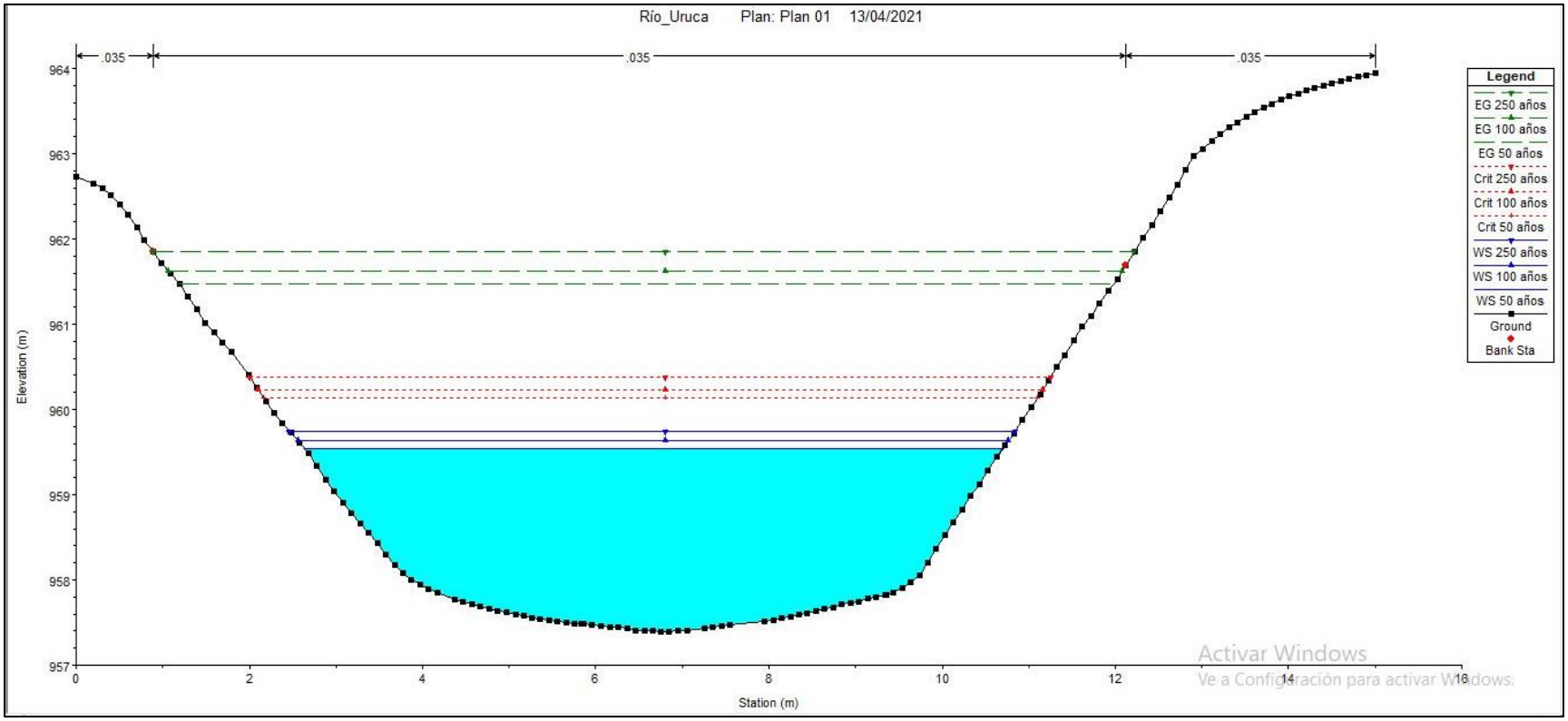


Figura N°40. Sección 0+240.

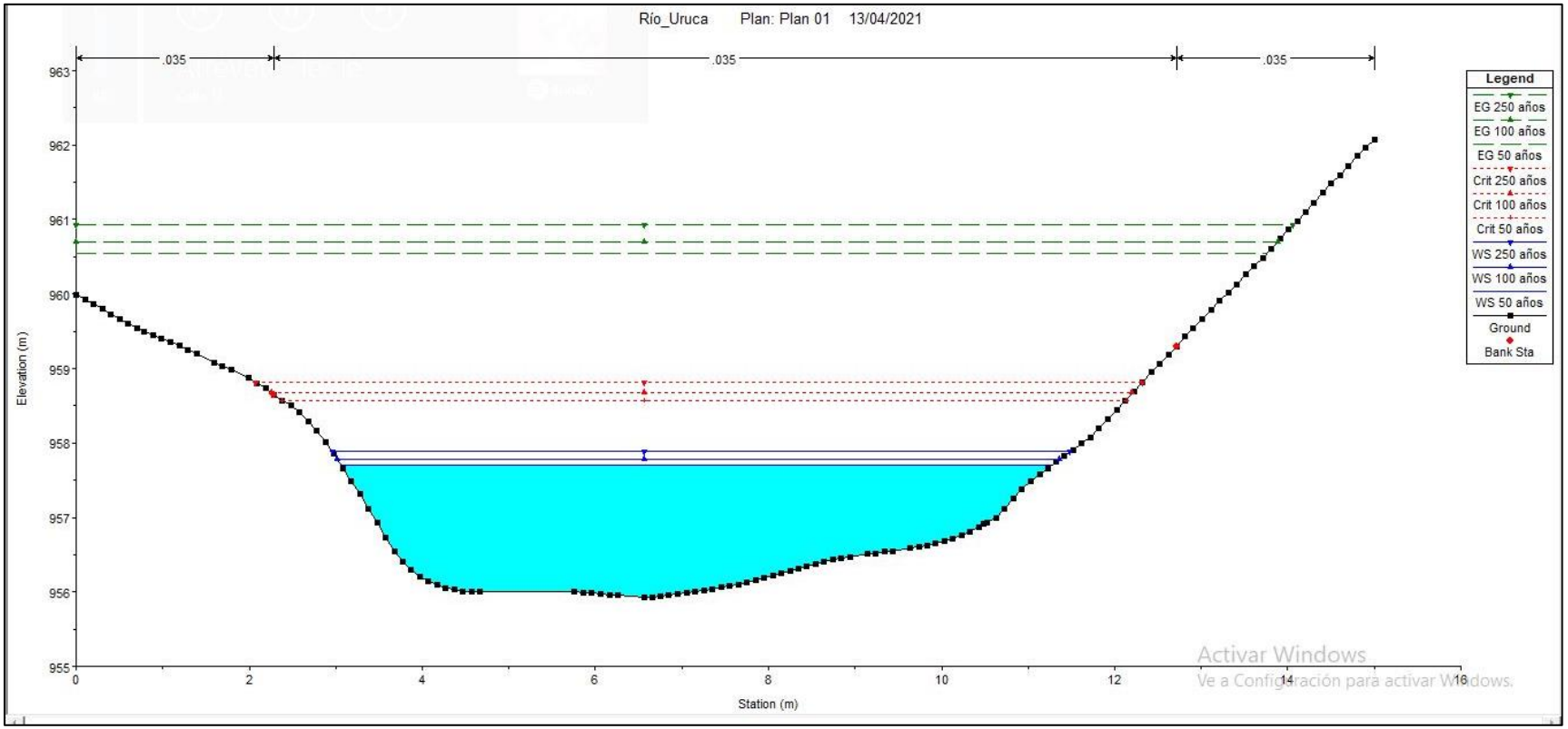


Figura N°41. Sección 0+220.

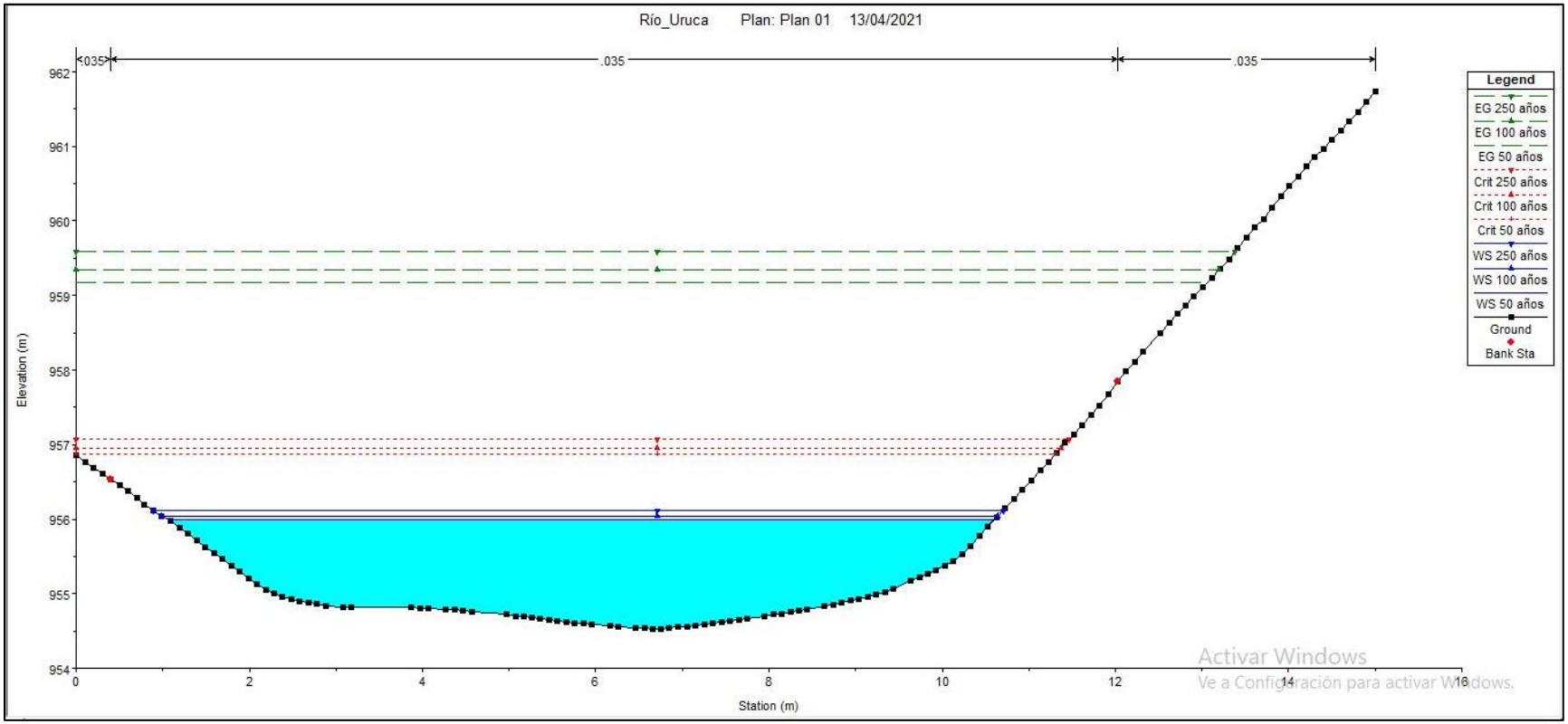


Figura N°42. Sección 0+200.

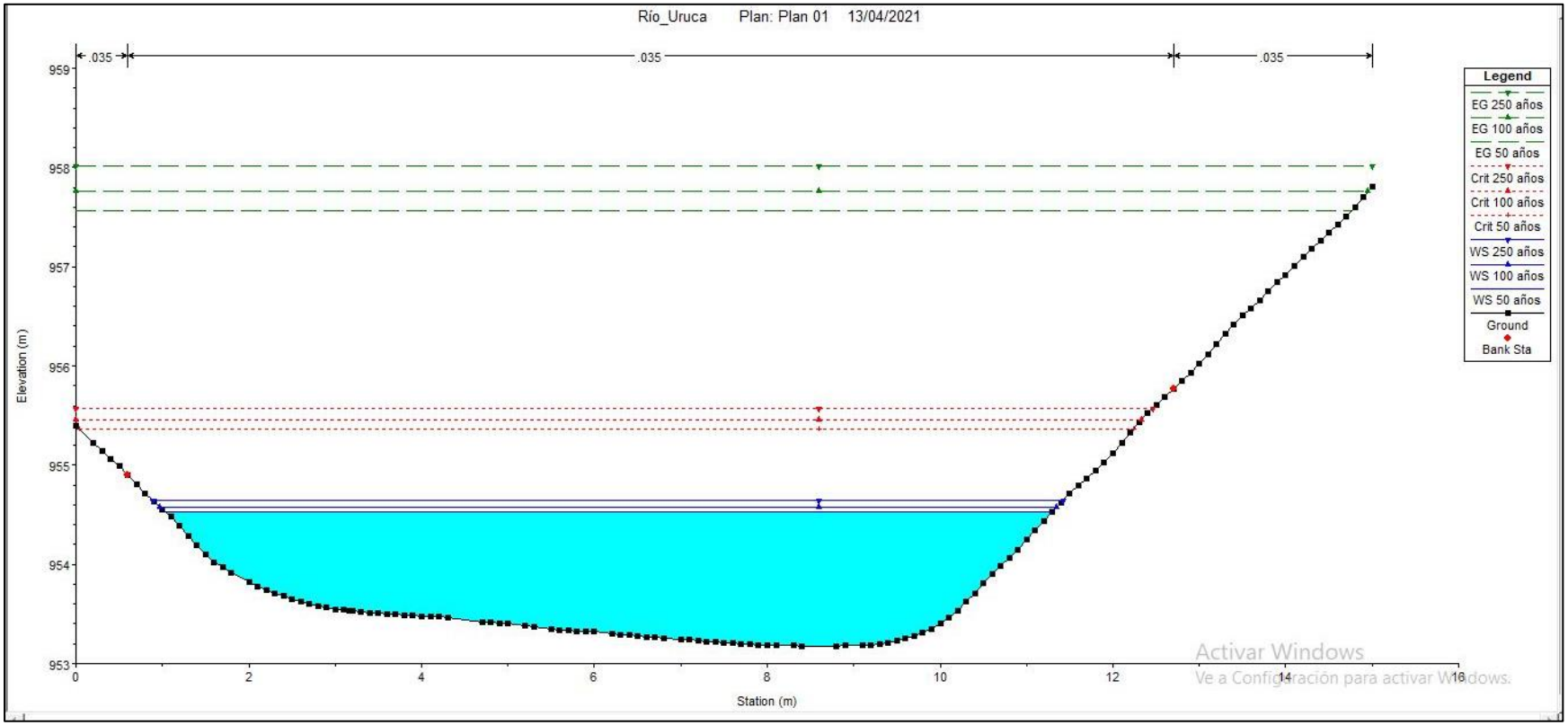


Figura N°43. Sección 0+180.

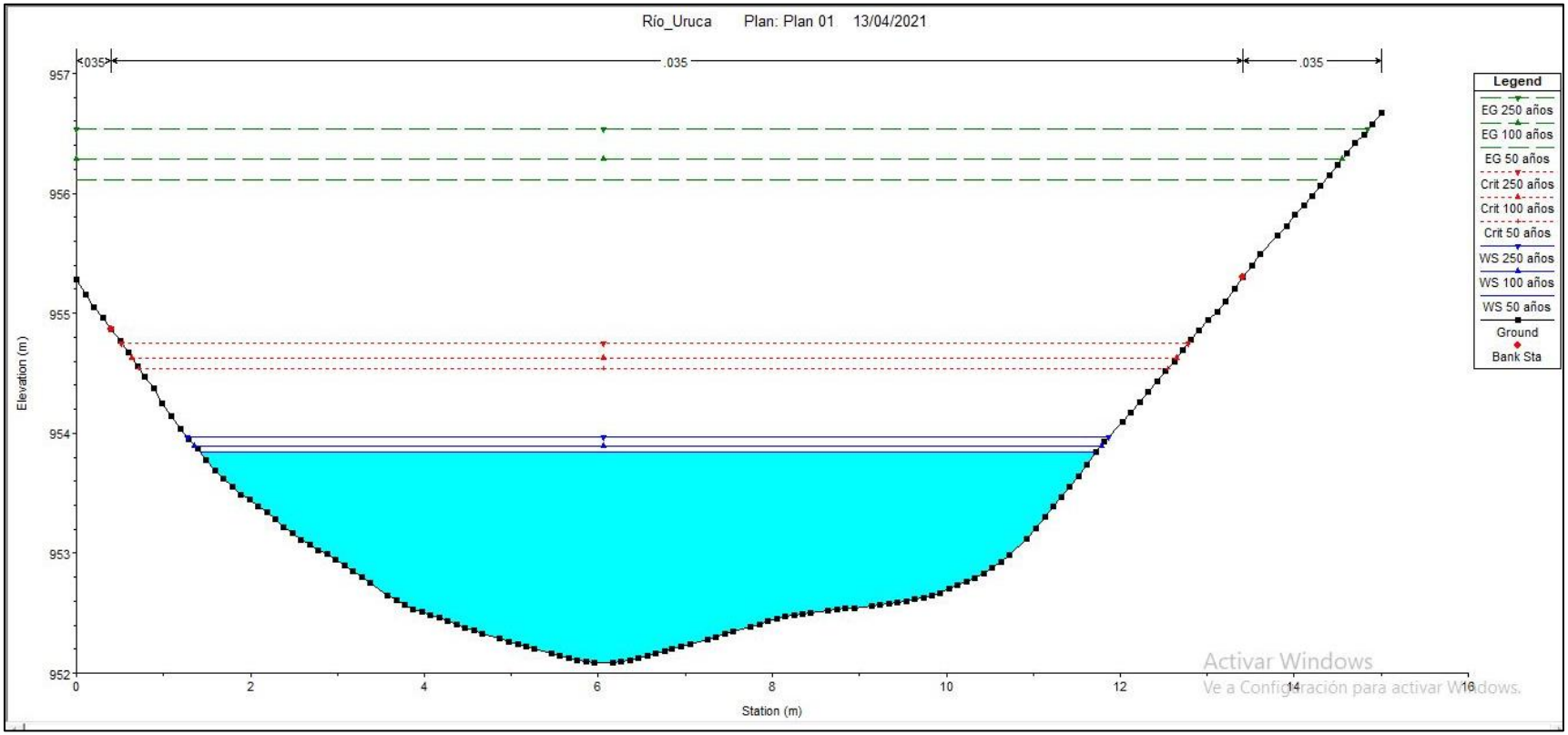


Figura N°44. Sección 0+160.

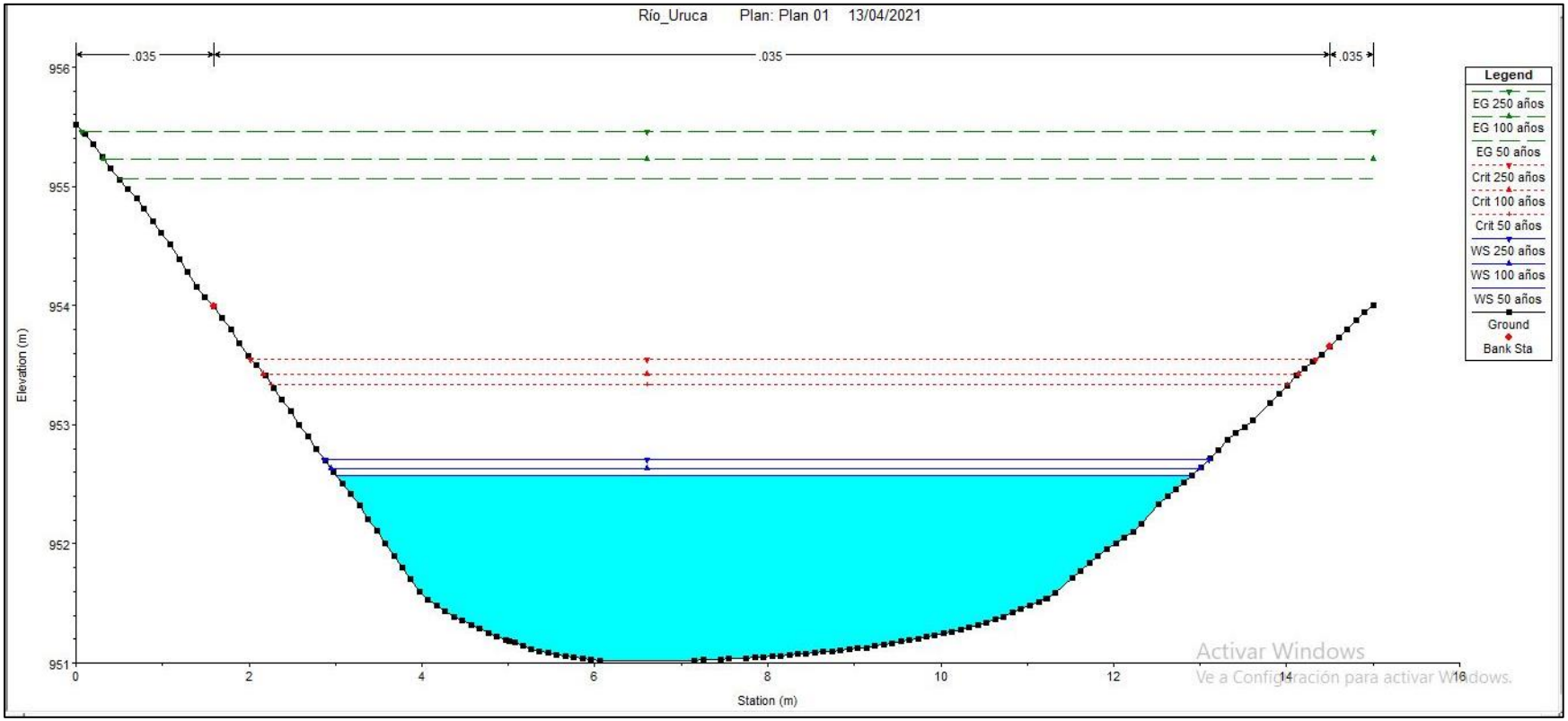


Figura N°45. Sección 0+140.

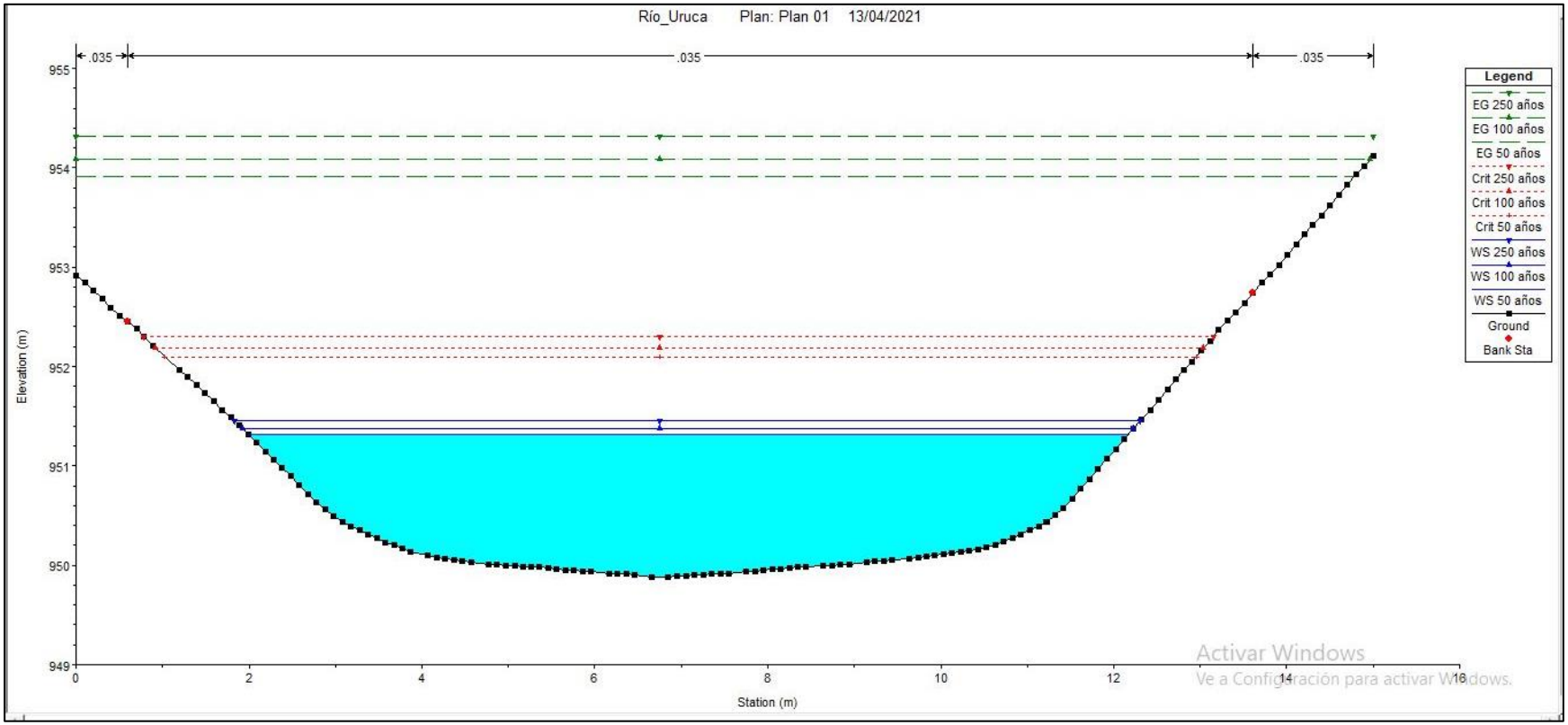


Figura N°46. Sección 0+120.

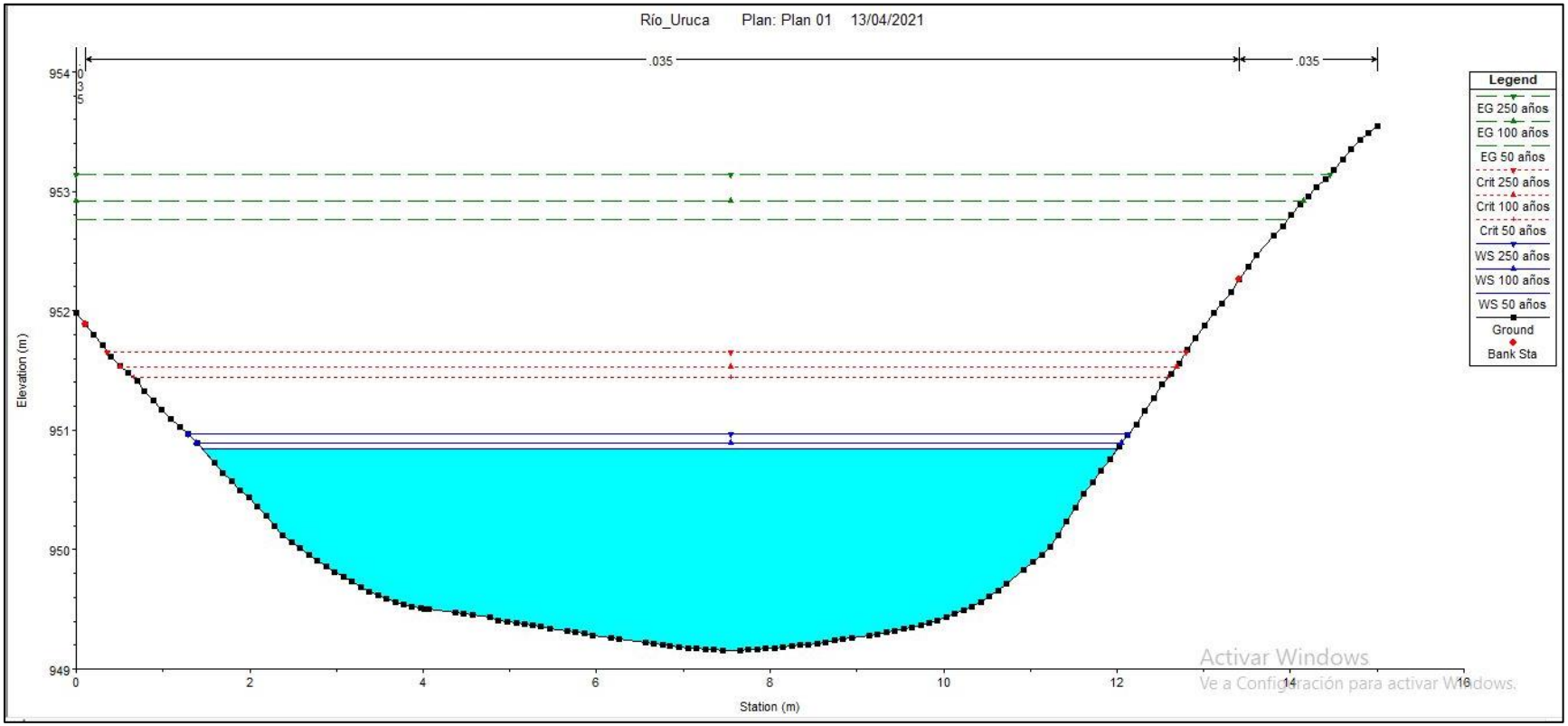


Figura N°47. Sección 0+100.

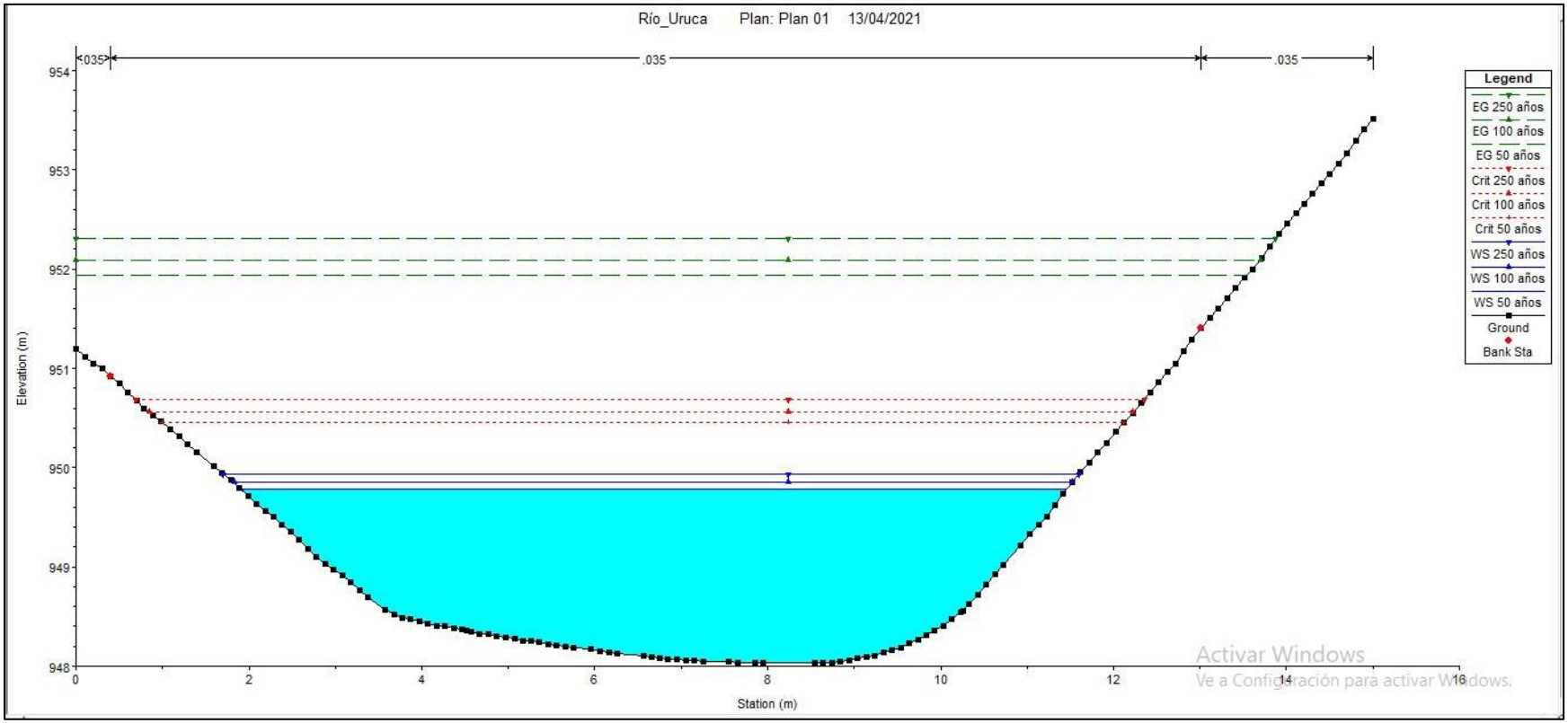


Figura N°48. Sección 0+80.

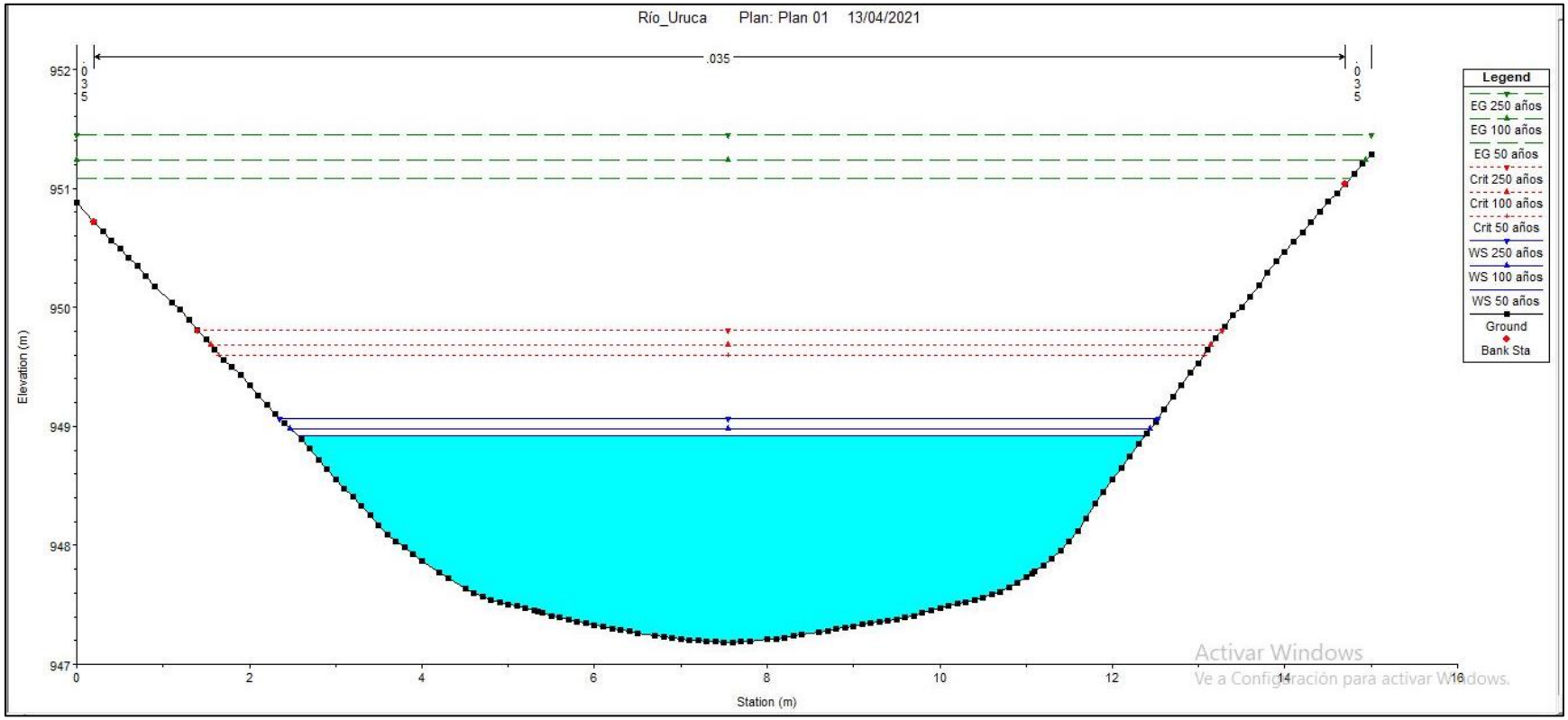


Figura N°49. Sección 0+59.

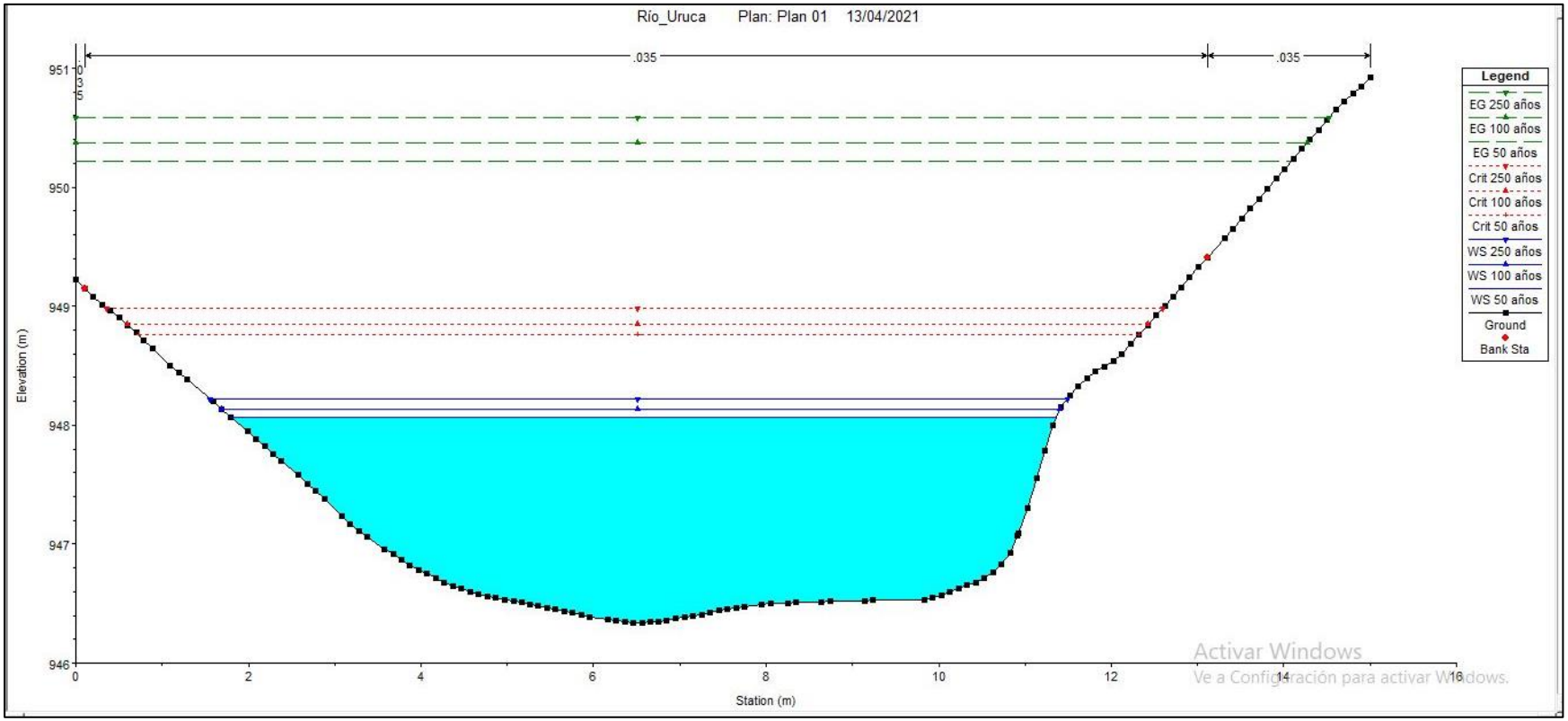


Figura N°50. Sección 0+39.

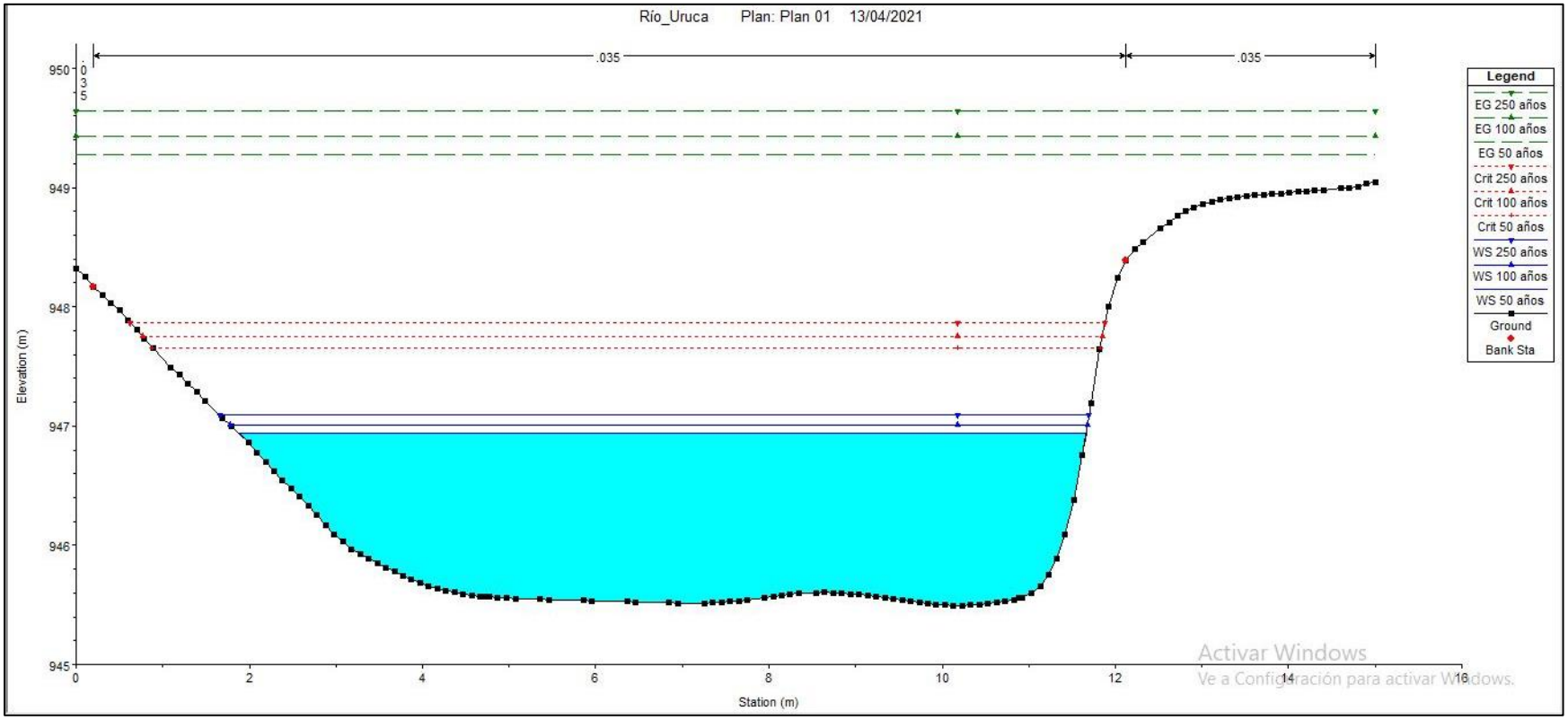


Figura N°51. Sección 0+20.

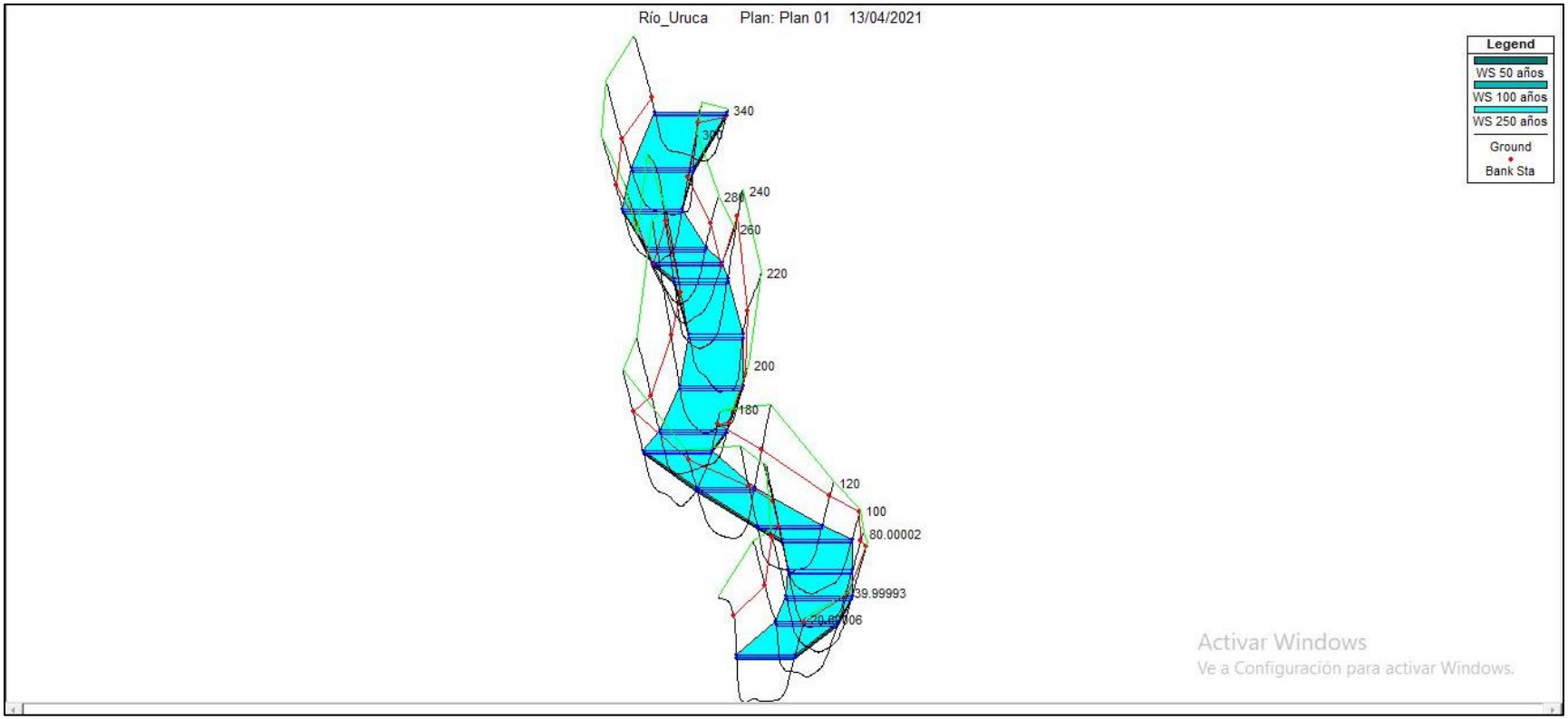


Figura N°52. Secciones transversales.

Anexo 4.0

Valores de escorrentía de las sub cuencas obtenidos en EPASWMM 5vE

Días	Horas	Cuenca C1	Cuenca C2	Cuenca C3	Cuenca C4	Cuenca C5	Cuenca C6	Cuenca C7	Cuenca C8
0	00:05:00	100.33	18.80	59.99	479.29	16.17	36.66	50.02	80.27
0	00:10:00	838.50	184.35	129.30	1402.87	32.59	67.09	214.52	948.19
0	00:15:00	2415.93	306.04	178.68	2767.89	44.87	91.28	353.26	2695.17
0	00:20:00	4346.82	382.85	215.04	4126.58	53.94	109.22	442.77	4619.27
0	00:25:00	6081.56	431.42	238.76	5157.47	59.85	120.89	498.79	6167.04
0	00:30:00	7316.66	455.11	249.95	5772.64	62.64	126.42	526.05	7151.80

Cuadro N° 51 valores de escorrentía.

Días	Horas	Cuenca C9	Cuenca C10	Cuenca C11	Cuenca C12	Cuenca C13	Cuenca C14	Cuenca C15	Cuenca C16
0	00:05:00	24.62	23.19	32.53	62.29	16.04	73.57	248.30	41.61
0	00:10:00	380.59	242.69	140.66	653.50	65.67	761.49	628.94	111.54
0	00:15:00	862.61	425.97	219.58	1891.69	104.04	2143.26	915.76	207.71
0	00:20:00	1219.37	540.53	271.20	3337.90	129.00	3673.55	1113.82	318.89
0	00:25:00	1438.39	611.70	304.14	4571.75	144.81	4912.23	1241.46	421.87
0	00:30:00	1549.42	646.61	320.08	5404.18	152.48	5705.09	1302.35	498.99

Cuadro N° 52 valores de escorrentía.

Anexo 4.1

Valores de los nudos obtenidos en EPASWMM 5vE

Días	Horas	Nudo NC-4	Nudo NC-5	Nudo NC-6	Nudo NC-7	Nudo NC-8	Nudo TR-6	Nudo PP-3	Nudo TR-7	Nudo PP-4	Nudo NC-9
0	00:05:00	0.31	0.31	0.69	0.17	0.16	0.50	0.29	0.09	0.16	0.09
0	00:10:00	0.31	0.36	0.99	0.35	0.35	1.10	0.45	0.21	0.31	0.21
0	00:15:00	0.31	0.37	1.00	0.46	0.46	1.10	0.45	0.29	0.46	0.29
0	00:20:00	0.31	0.37	1.00	0.52	0.52	1.10	0.45	0.30	1.40	0.30
0	00:25:00	0.31	0.37	1.00	0.56	0.56	1.10	0.45	0.30	1.40	0.30
0	00:30:00	0.31	0.38	1.00	0.60	0.57	1.10	0.45	0.30	1.40	0.30

Cuadro N° 53 valores de nivel en los nudos.

Días	Horas	Nudo NC-10	Nudo NC-11	Nudo NC-12	Nudo NC-13	Nudo TR-8	Nudo PP-5	Nudo NC-14	Nudo NC-15	Nudo NC-16	Nudo TR-9
0	00:05:00	0.07	0.06	0.06	0.06	0.10	0.15	0.68	0.35	0.35	0.34
0	00:10:00	0.17	0.17	0.15	0.18	0.26	0.31	0.98	0.46	0.46	0.43
0	00:15:00	0.60	0.20	0.19	0.23	0.90	0.45	1.00	0.47	0.47	0.44
0	00:20:00	0.60	0.20	0.19	0.23	0.90	0.50	1.00	0.47	0.47	0.44
0	00:25:00	0.60	0.20	0.19	0.23	0.90	0.50	1.00	0.47	0.47	0.44
0	00:30:00	0.60	0.20	0.19	0.23	0.90	0.50	1.00	0.47	0.47	0.44

Cuadro N° 54valores de nivel en los nudos.

Días	Horas	Nudo PP-6	Nudo PP-7	Nudo PP-8	Nudo PP-9	Nudo PP-10	Nudo TR-10	Nudo NC-17	Nudo NC-18	Nudo NC-19	Nudo Compuerta
0	00:05:00	0.39	0.50	0.50	0.44	0.19	0.12	0.11	0.12	0.08	0.47
0	00:10:00	1.60	1.50	0.80	0.56	2.72	0.31	0.20	0.32	0.23	0.47
0	00:15:00	2.10	1.50	0.80	0.56	2.72	0.57	0.20	0.57	0.40	0.47
0	00:20:00	2.10	1.50	0.80	0.56	2.72	0.80	0.20	0.80	0.57	0.47
0	00:25:00	2.10	1.50	0.80	0.56	2.72	0.80	0.20	0.80	0.68	0.47
0	00:30:00	2.10	1.50	0.80	0.56	2.72	0.80	0.20	0.80	0.75	0.47

Cuadro N° 55 valores de nivel en los nudos.

Días	Horas	Nudo TR-1	Nudo PP-1	Nudo PP-2	Nudo TR-2	Nudo TR-3	Nudo TR-4	Nudo TR-5	Nudo NC-1	Nudo NC-2	Nudo NC-3
0	00:05:00	0.02	0.06	0.12	0.12	0.31	0.20	0.50	0.22	0.31	0.31
0	00:10:00	0.02	0.06	0.87	0.35	0.31	0.20	0.50	0.35	0.35	0.31
0	00:15:00	0.02	0.06	1.16	0.40	0.31	0.20	0.50	0.35	0.35	0.31
0	00:20:00	0.02	0.06	1.16	0.40	0.31	0.20	0.50	0.35	0.35	0.31
0	00:25:00	0.02	0.06	1.16	0.40	0.31	0.20	0.50	0.35	0.35	0.31
0	00:30:00	0.02	0.06	1.16	0.40	0.31	0.20	0.50	0.35	0.35	0.31

Cuadro N° 56 valores de nivel en los nudos.

Anexo 4.2

Valores de las líneas obtenidos en EPASWMM 5vE

Días	Horas	Línea CREC-1	Línea TC-2	Línea TC-3	Línea TC-4	Línea TC-5	Línea TC-6	Línea TC-7	Línea CREC-2	Línea TC-1	Línea TC-8
0	00:05:00	0.03	1.00	0.72	1.00	0.08	0.31	0.26	0.63	0.66	0.52
0	00:10:00	0.03	1.00	0.72	1.00	0.08	0.89	0.64	1.00	0.67	0.52
0	00:15:00	0.03	1.00	0.72	1.00	0.08	1.00	0.66	1.00	0.67	0.52
0	00:20:00	0.03	1.00	0.72	1.00	0.08	1.00	0.66	1.00	0.67	0.52
0	00:25:00	0.03	1.00	0.72	1.00	0.08	1.00	0.66	1.00	0.67	0.52
0	00:30:00	0.03	1.00	0.72	1.00	0.08	1.00	0.66	1.00	0.67	0.52

Cuadro N° 57 valores de capacidad en las tuberías.

Días	Horas	Línea CIRRE-2	Línea CTRI-1	Línea TC-9	Línea CREC-3	Línea TC-10	Línea CREC-4	Línea TCP-1	Línea CTRI-2	Línea TC-11	Línea TCP-2
0	00:05:00	0.29	0.37	0.64	0.19	0.51	0.68	0.17	0.30	0.08	0.26
0	00:10:00	0.61	0.63	1.00	0.22	0.59	0.98	0.22	0.71	0.24	0.52
0	00:15:00	0.81	0.77	1.00	0.23	0.61	1.00	0.22	0.96	0.37	0.76
0	00:20:00	0.91	0.84	1.00	0.23	0.62	1.00	0.22	1.00	0.39	0.91
0	00:25:00	0.99	0.88	1.00	0.24	0.62	1.00	0.22	1.00	0.39	0.91
0	00:30:00	1.00	0.88	1.00	0.24	0.63	1.00	0.22	1.00	0.39	0.91

Cuadro N° 58 valores de capacidad en las tuberías.

Días	Horas	Línea CIRRE-3	Línea TC-12	Línea TC-13	Línea TC-14	Línea TC-15	Línea TC-16	Línea TC-17	Línea TC-18	Línea TCP-3	Línea CREC-5
0	00:05:00	0.32	0.10	0.06	0.15	0.56	0.47	0.42	0.24	0.16	0.13
0	00:10:00	0.85	0.26	0.16	0.45	0.77	0.61	0.54	0.66	0.35	0.18
0	00:15:00	1.00	0.31	0.20	0.57	0.79	0.62	0.55	1.00	0.45	0.19
0	00:20:00	1.00	0.31	0.20	0.57	0.79	0.62	0.55	1.00	0.47	0.20
0	00:25:00	1.00	0.31	0.20	0.57	0.79	0.62	0.55	1.00	0.47	0.21
0	00:30:00	1.00	0.31	0.20	0.57	0.79	0.62	0.55	1.00	0.47	0.21

Cuadro N° 59 valores de capacidad en las tuberías.

Días	Horas	Línea TCP-4	Línea TCP-5	Línea TCP-6	Línea TCP-7	Línea CIRRE-4	Línea CIRRE-5	Línea CIRRE-6	Línea TC-19	Línea CIRRE-1	Línea TC-20
0	00:05:00	0.48	0.62	0.43	0.54	0.73	0.15	0.09	0.32	0.97	0.14
0	00:10:00	0.91	1.00	0.52	0.70	1.00	0.42	0.26	1.00	1.00	0.37
0	00:15:00	1.00	1.00	0.52	0.70	1.00	0.76	0.47	1.00	1.00	0.67
0	00:20:00	1.00	1.00	0.52	0.70	1.00	1.00	0.66	1.00	1.00	1.00
0	00:25:00	1.00	1.00	0.52	0.70	1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00
0	00:30:00	1.00	1.00	0.52	0.70	1.00	1.00	0.88	1.00	1.00	1.00

Cuadro N° 60 valores de capacidad en las tuberías.

Anexo 5

Modelamiento hidráulico de las líneas pluviales analizadas por medio del software EPA SWMM 5 v E

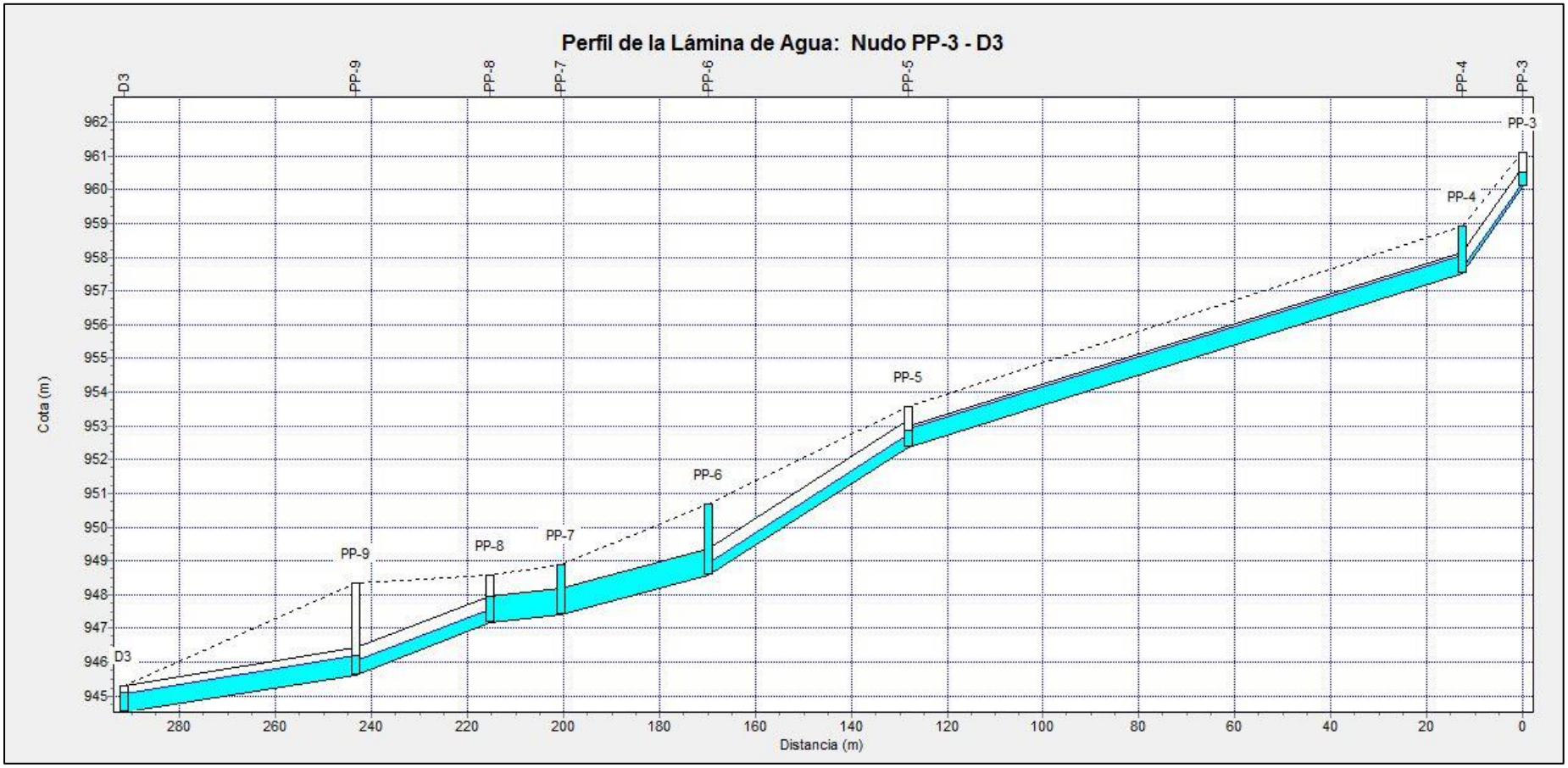


Figura N° 53. Perfil pluvial principal.

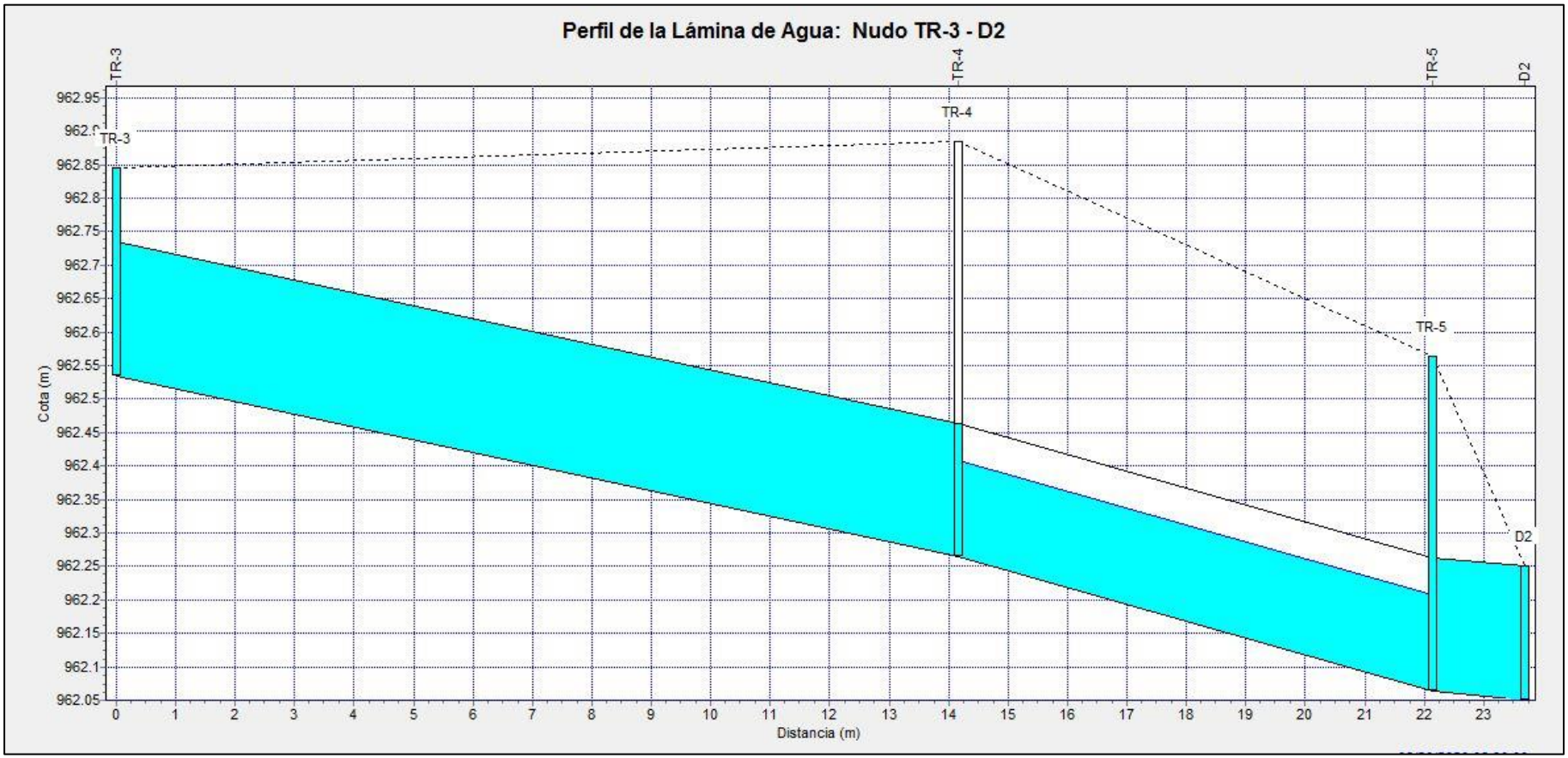


Figura N° 54. Perfil pluvial 01.

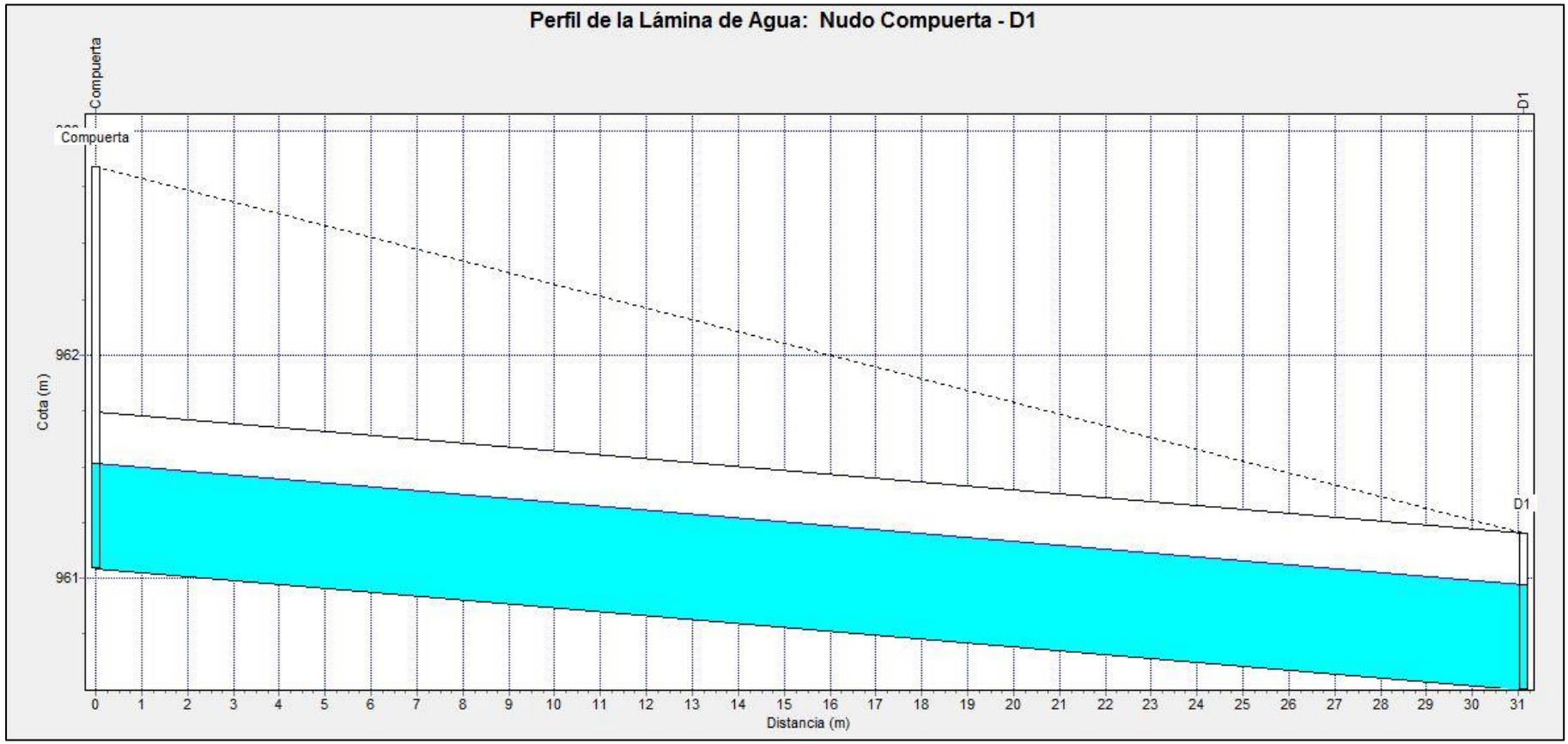


Figura N° 55. Perfil pluvial 02.

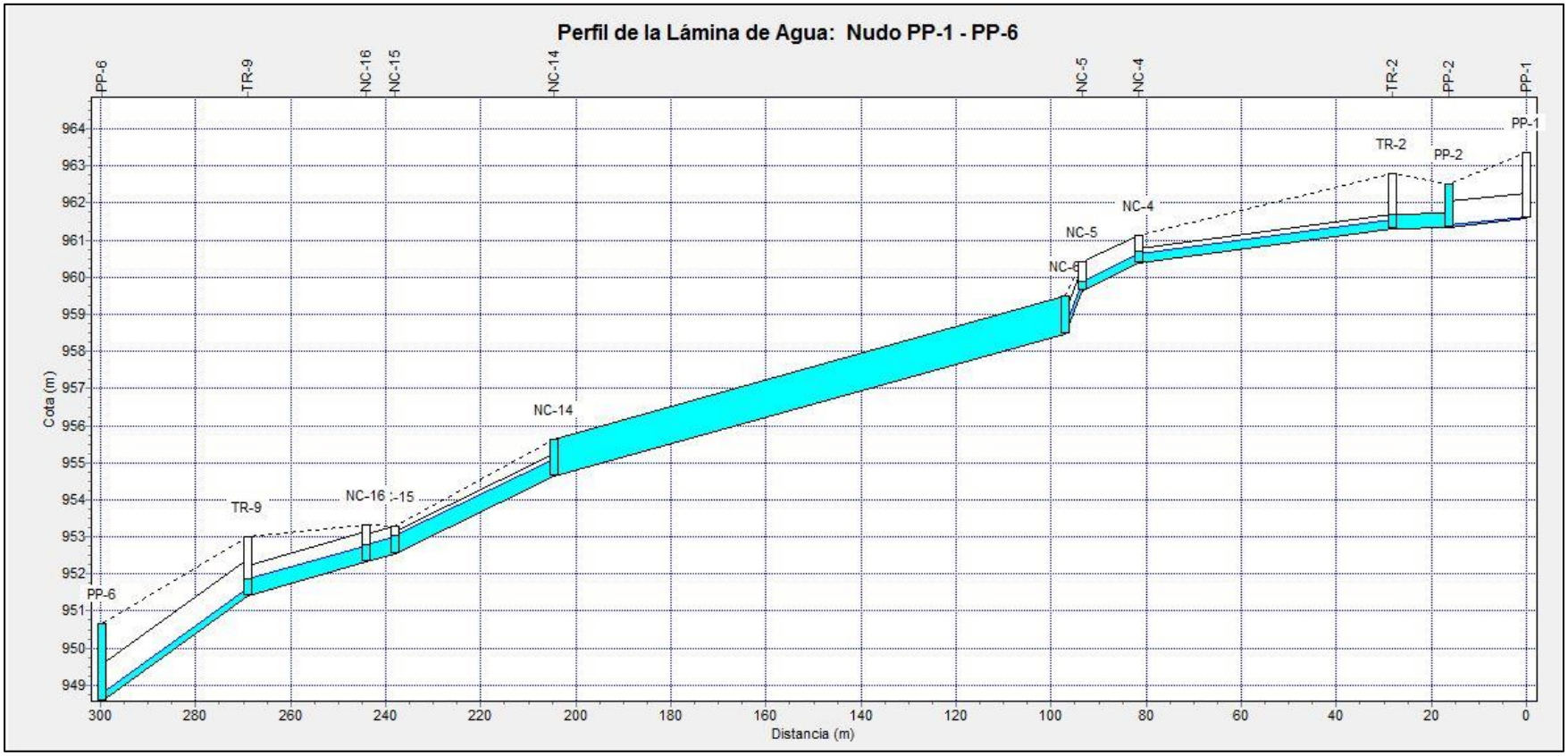


Figura N° 56. Perfil pluvial 03.

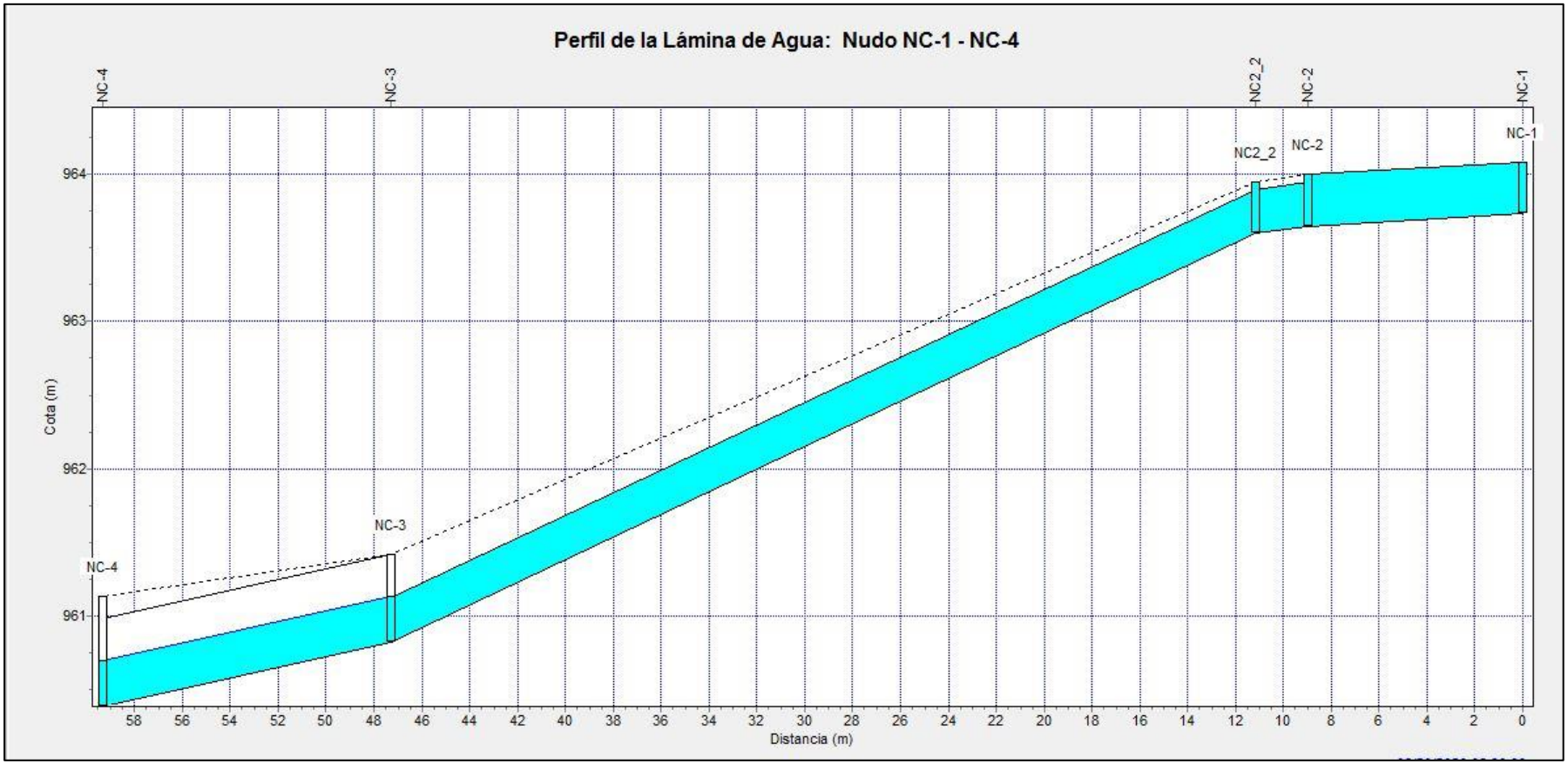


Figura N° 57. Perfil pluvial 04.

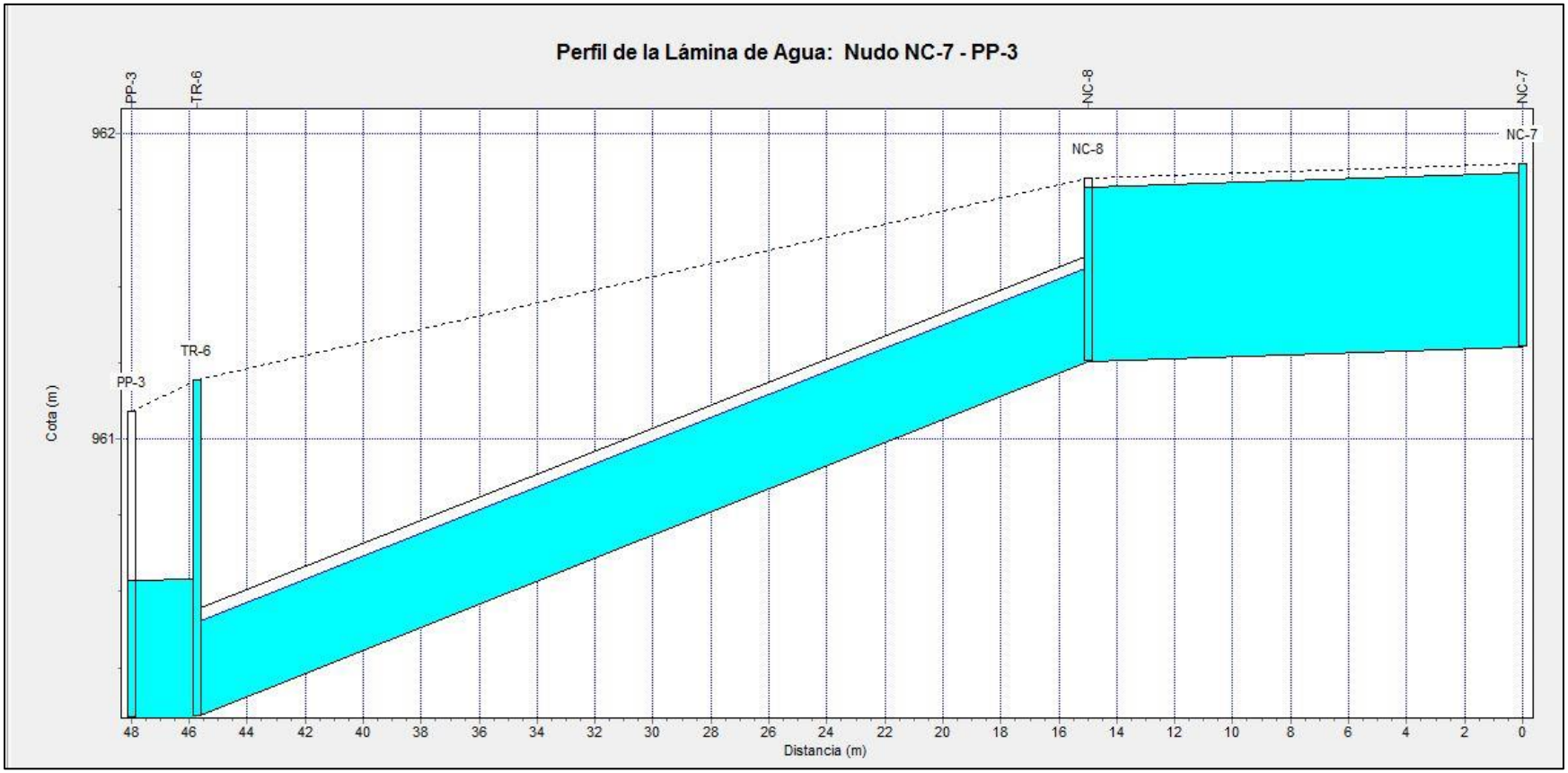


Figura N° 58. Perfil pluvial 05.

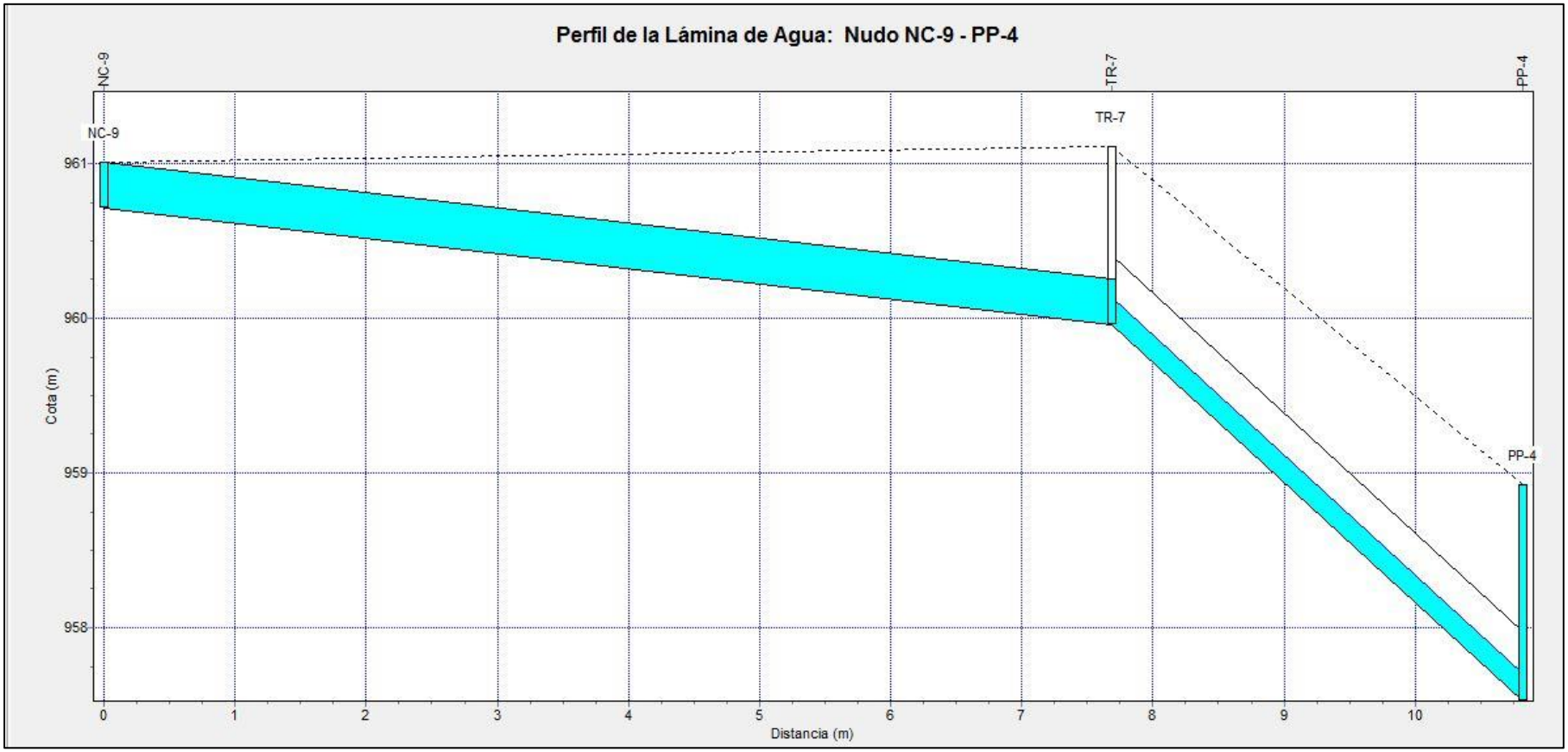


Figura N° 59. Perfil pluvial 06.

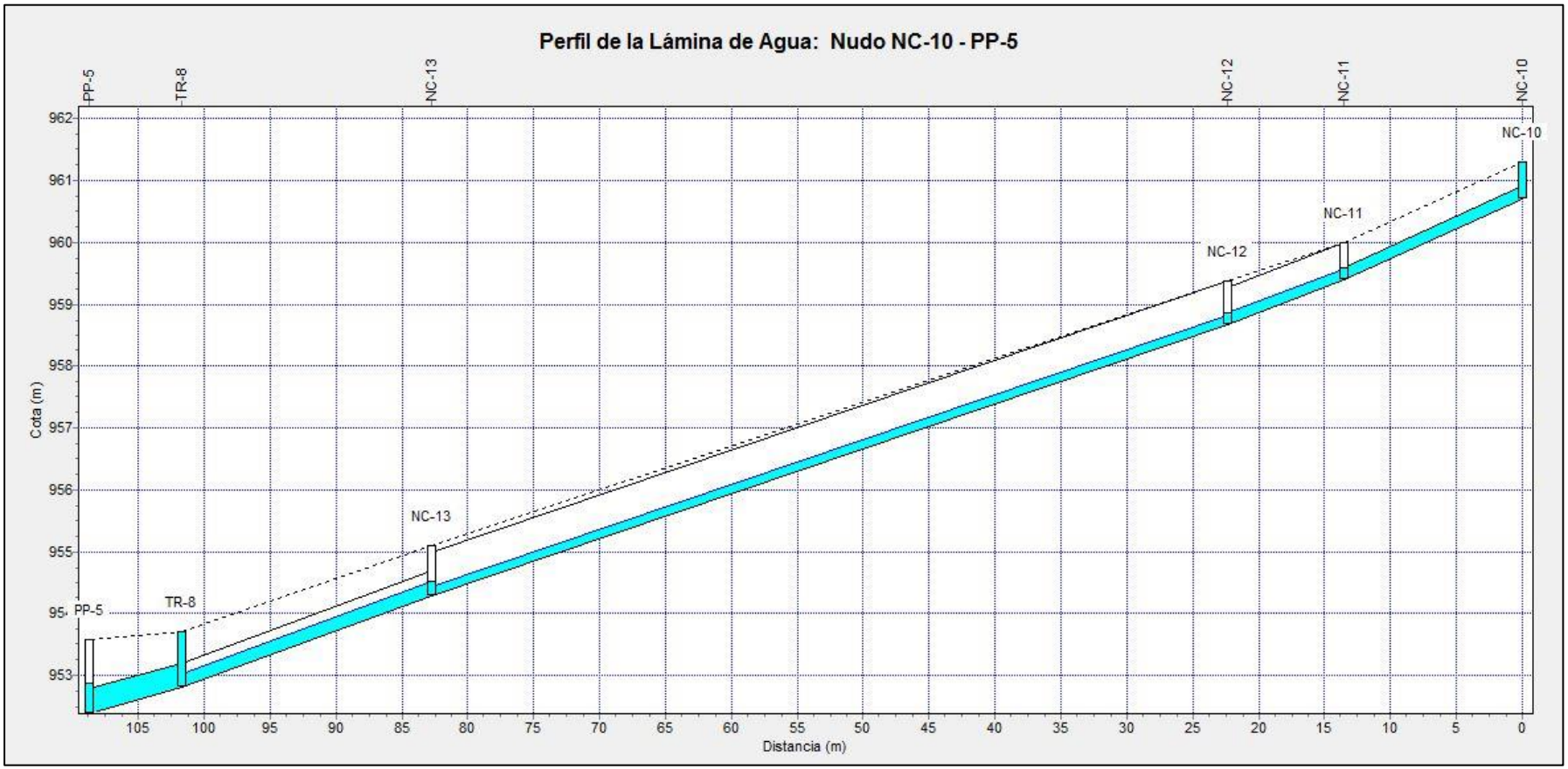


Figura N° 60. Perfil pluvial 07.

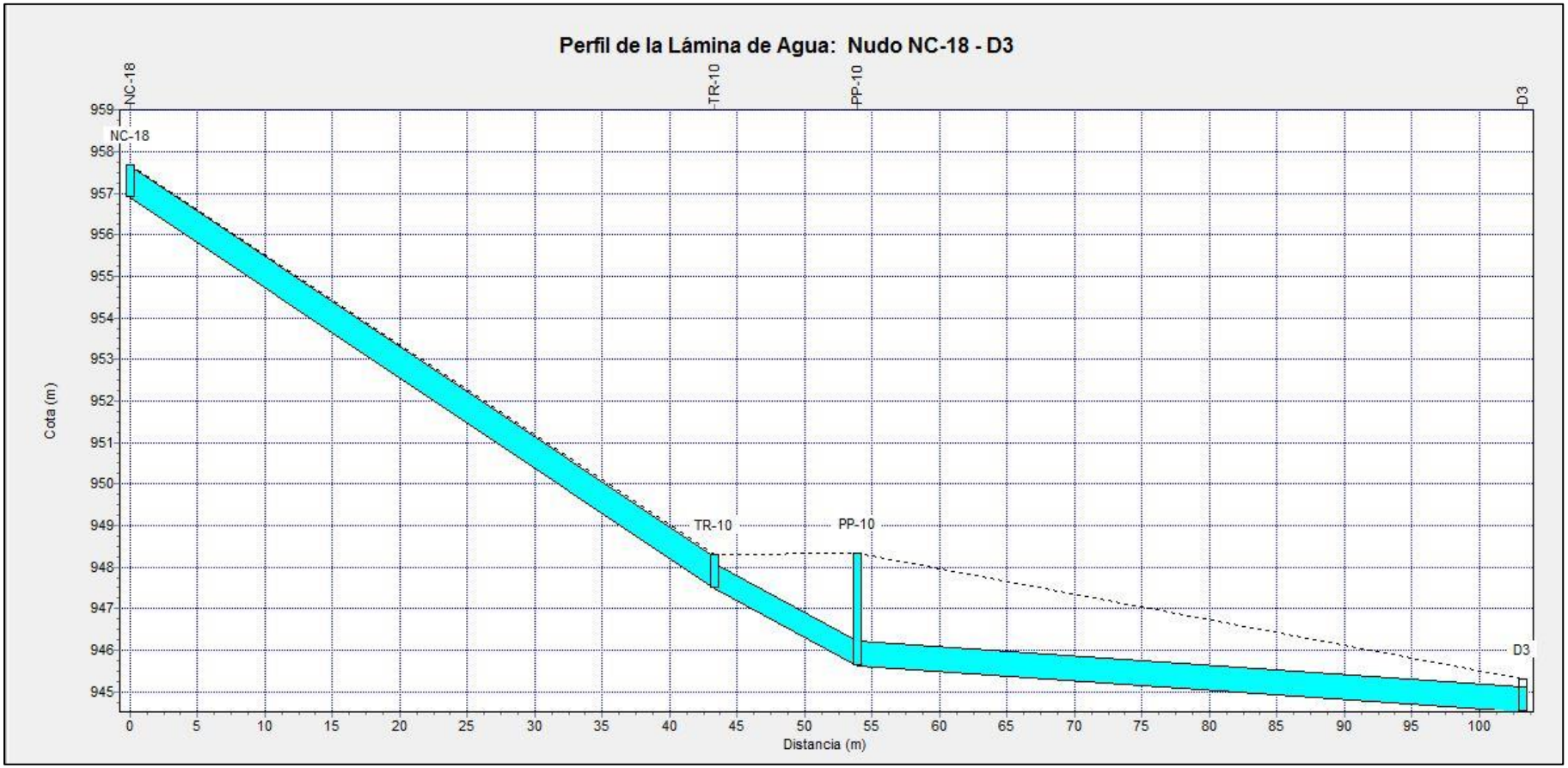


Figura N° 61. Perfil pluvial 08.

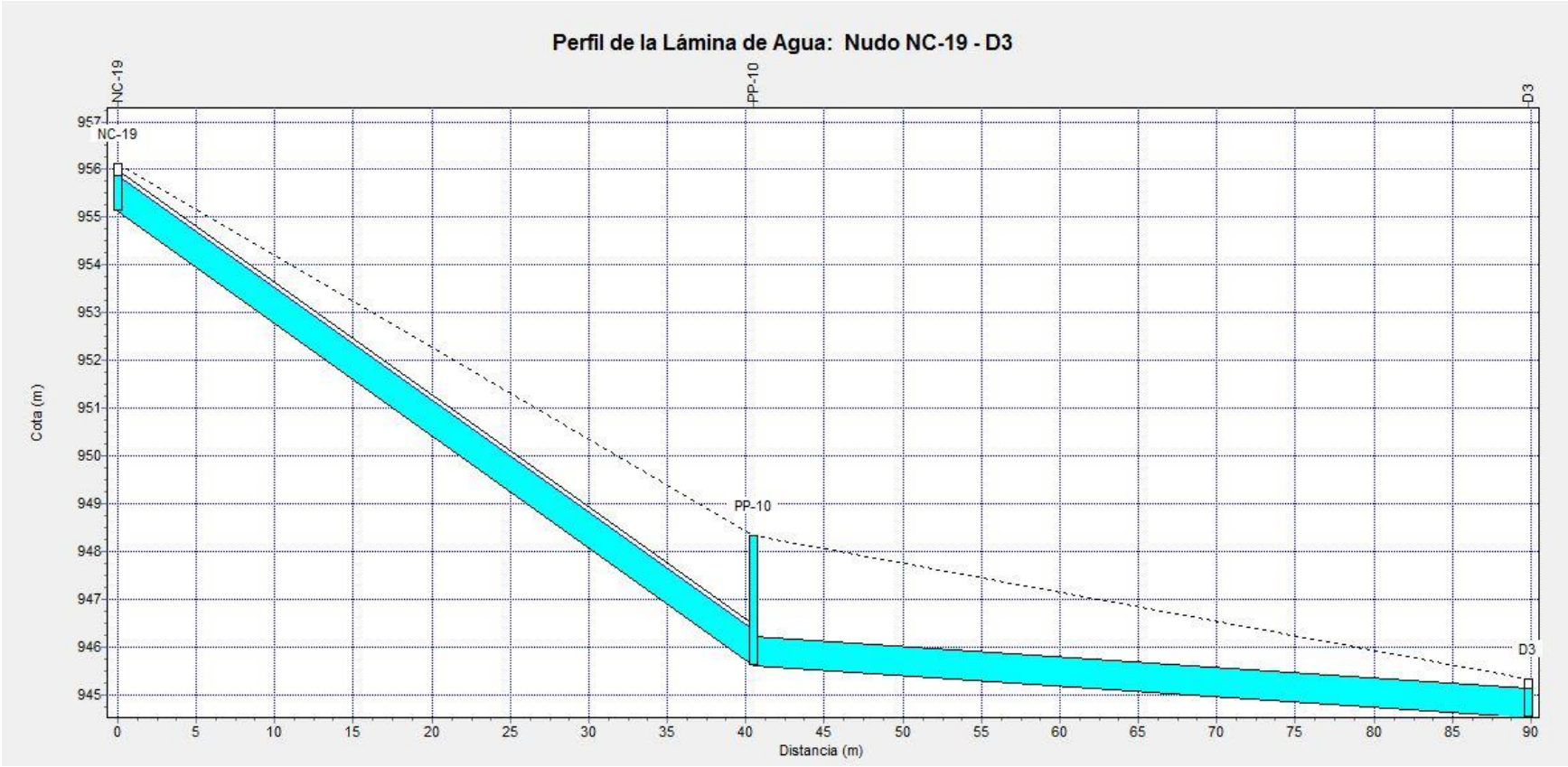


Figura N° 62. Perfil pluvial 09.

Anexo 6

Modelación Hidráulica mediante HCANALES

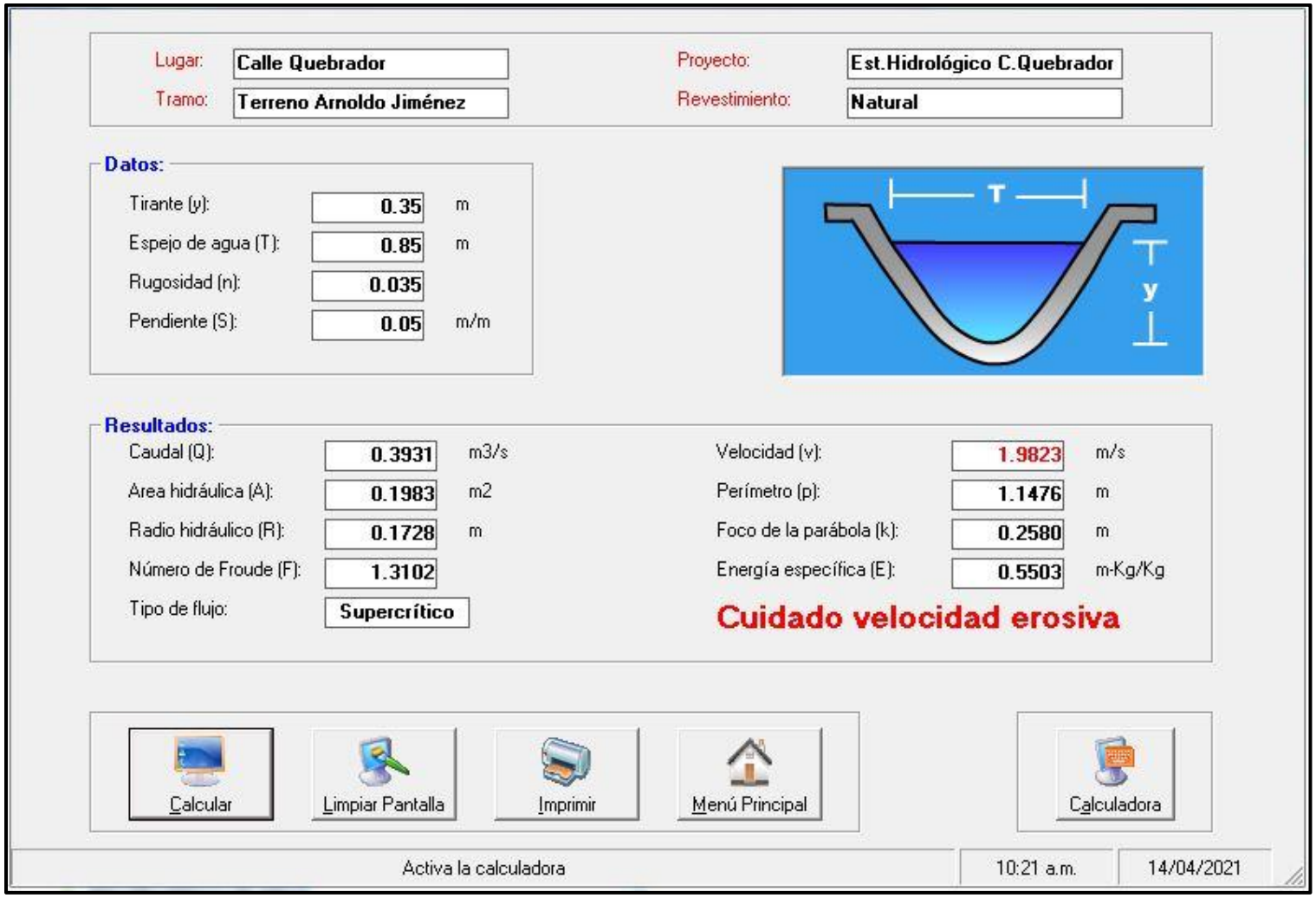


Figura N° 62. Valores a detalle del caudal crítico que puede fluir por el canal natural que traza por el terreno de Arnoldo Jiménez.

.

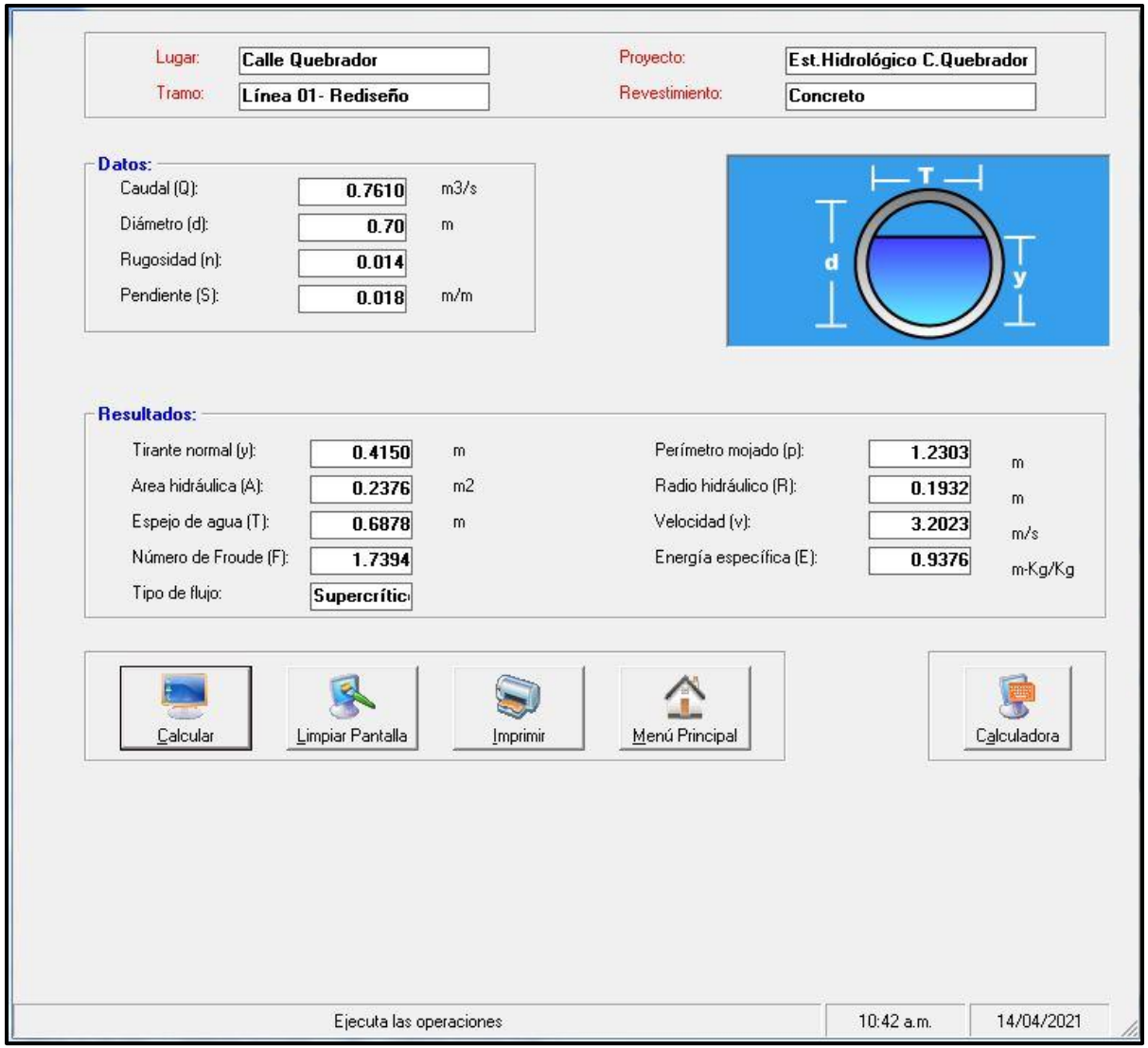


Figura N° 63. Valores a detalle de del rediseño del futuro sistema colector que transporta el flujo desde la Clínica Drs Méndez hasta el puente del Río Uruca, estimación de capacidad hidráulica para Periodo de Retorno 100 años.

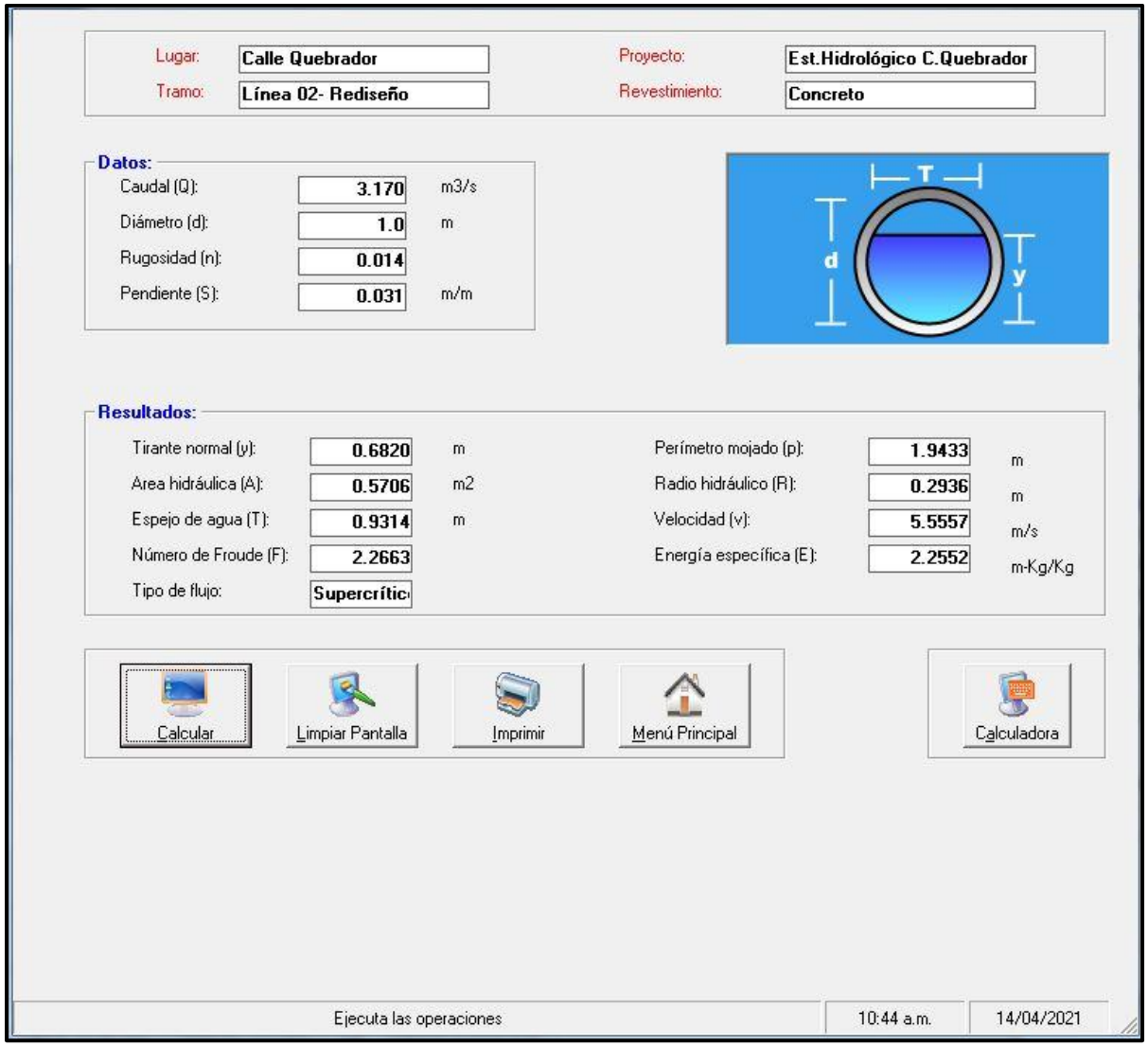


Figura N° 64. Valores a detalle de del rediseño del futuro sistema colector que transporta el flujo desde el plantel del AyA Méndez hasta la parte baja del Río Uruca, estimación de capacidad hidráulica para Periodo de Retorno 100 años.

Anexo 7

Ensayos DCP realizados en cuatro puntos del tramo de la calle a intervenir

INFORME DE ENSAYO

Inf. # 2021-02-1260

Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación Nº LE-045
Acreditada a partir de: 2007.09.19
Alcance disponible en www.eca.or.cr

Cliente: **DESARROLLO URBANISTICO Y OBRAS CONSTICA SOCIEDAD ANONIMA**

Fecha: 09/02/2021

Dirigido a: ING. ALBERT DUOCASTELLA BULLON

Proyecto: CALLE DE ACCESO QUEBRADOR SANTA ANA

Fecha de Muestreo: 03/02/2021

Procedimiento y Plan de Muestreo: A solicitud del cliente.

Descripción de las Muestras: Subrasante constituida por suelos cohesivos naturales de sitio.

Identificación de la muestra LB: 6853-1

Procedencia de las Muestras: No aplica.

Fecha Recepción de las Muestras: 04/02/2021 Técnico (s): 9

Lugar de realización de los ensayos: En campo

Fecha de ejecución de los ensayos: 03/02/2021

Finalidad de los Ensayos: Determinar el valor de CBR de campo (DCP) al material de sitio, de acuerdo con la especificación ASTM D 6951, Instrucción de ensayo IE-28*.

Los resultados que se presentan a continuación se refieren únicamente a las muestras ensayadas y/o pruebas de campo realizadas y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos.

El Informe de Ensayo no es válido sin la firma respectiva de aprobación. No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de Castro & De la Torre.

INFORME DE ENSAYO

1.- TRABAJO REALIZADO:

Nos solicitaron efectuar cuatro pruebas de CBR en sitio con el método DCP (ASTM D-6951, Instrucción de ensayo IE-28*); las cuales se realizaron bajo el nivel de carpeta asfáltica; cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 1.1.- *Sondeos y valor de CBR de campo por el método DCP:*

Sondeo	Nivel de inicio de prueba	Estacionamiento	Profundidad Metros (m) [b]	Valor CBR			Descripción del material	Material asociado a
				Max	*Min*	*Prom*		
DCP-1	-1,30 m	0+068 Calle Machete	0,00 a 0,74[a]	48,1	3,2	12,2	Limo arcillo arenoso de color café amarillento con piedras.	Subrasante
DCP-2	-0,60 m	0+191 Calle Machete	0,00 a 0,90	61,8	7,0	17,3	Limo arcillo arenoso de color café amarillento.	Subrasante
DCP-3	-0,90 m	0+263 Calle Machete	0,00 a 0,93	13,1	3,4	7,0	Limo arcilloso de color café oscuro	Subrasante
DCP-4	-1,00 m	0+376 Calle Machete	0,00 a 0,37[a]	79,4	10,2	31,6	Limo arcillo arenoso de color café amarillento con piedras.	Subrasante

[a] Rebote en piedras.
[b] Tomada a partir del nivel de inicio de la prueba.

Nota: La estación 0+000 se toma a partir del puente que pasa sobre el Río Uruca, el cual se encuentra ubicado en Calle Machete, Santa Ana, San José, en el sentido del puente hacia el Quebrador Cerro Minas.

INFORME DE ENSAYO

2.- GRÁFICOS DEL VALOR DE CBR OBTENIDO VRS PROFUNDIDAD

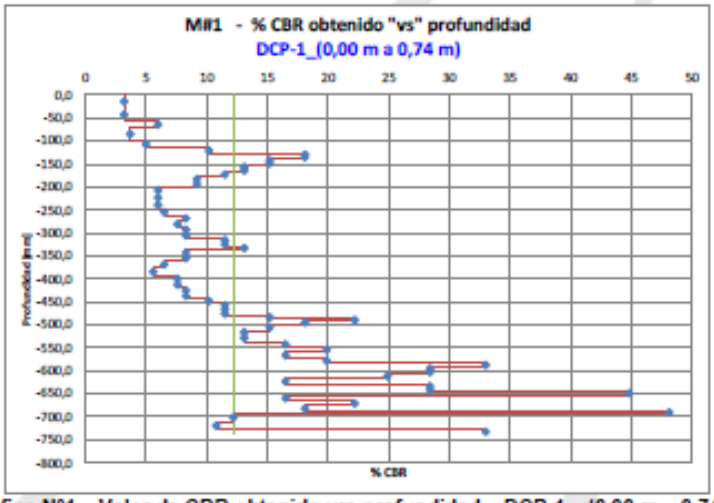


Gráfico N°1 – Valor de CBR obtenido vrs profundidad – DCP-1 – (0,00 m – 0,74 m)

INFORME DE ENSAYO

Pág. 4 de 5

Inf. # 2021-02-1260

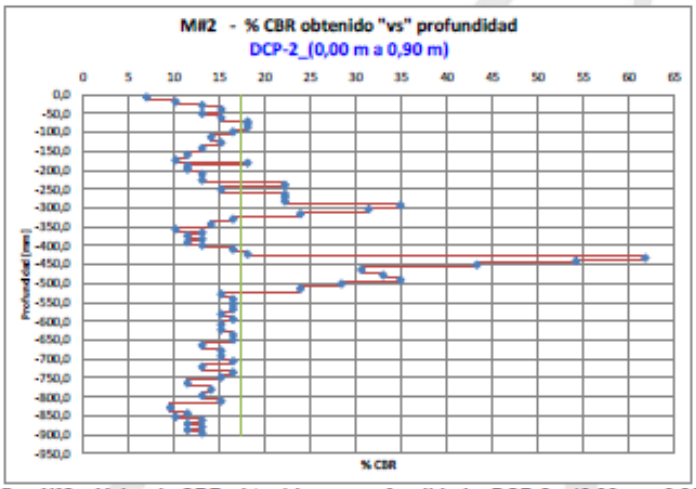


Gráfico N°2 – Valor de CBR obtenido vrs profundidad – DCP-2 – (0,00 m – 0,90 m)

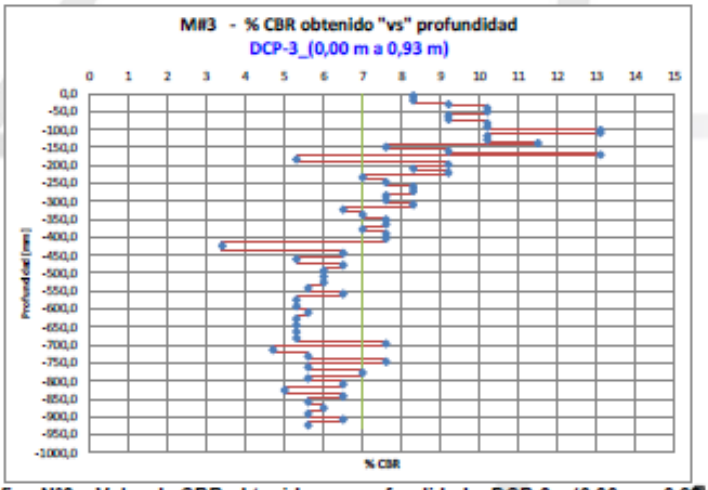


Gráfico N°3 – Valor de CBR obtenido vrs profundidad – DCP-3 – (0,00 m – 0,93 m)

Su proyecto en suelo firme
Laboratorio de Materiales - Ingenieros Geotécnicos - Mecánica de Suelos - Control de Calidad - Inspección
Acreditada
INTE ISO/IEC 17025*
INTE ISO/IEC 17020*

INFORME DE ENSAYO

Inf. # 2021-02-1260

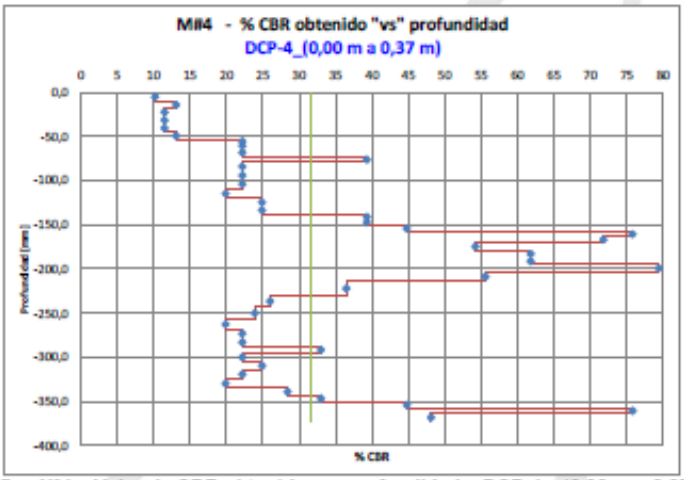


Gráfico N°4 – Valor de CBR obtenido vrs profundidad – DCP-4 – (0,00 m – 0,37 m)

APROBACIÓN:

CLAUDIO EUGENIO ARAYA MORA (FIRMA)

Firmado digitalmente por CLAUDIO EUGENIO ARAYA MORA (FIRMA)
Fecha: 2021.02.09 15:26:14 -06'00'

Ing. C. Eugenio Araya M., M.Eng.
Gerente Técnico de Laboratorio

Ver alcance en www.eca.or.cr, LE-045

*Alcances LE-045 y OI-025
Ver alcances en www.eca.or.cr

www.cyt.cr
FUNDADA EN 1963
Tel: 2232 2273 - Fax: 2296 0076
correo-e: info@cyt.cr
Castro & DeLaTorre
INGENIEROS CONSULTORES

Anexo 8

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

Cuadro N° 61: Matriz de riesgo de sector interno A1, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A1:Sector de calle Quebrador colindante a la clínica dental Drs. Méndez**	**Calle Quebrador: Sector cercano sobre el puente que traza el río Uruca colindante a la clínica dental Drs. Méndez.**	**Inundaciones en viviendas y presencia de arrastre de lodos, además de la posible extensión de deslizamiento del A2.** **Colapso de conductos pluviales por medio de exceso de escorrentía.**	**Índice de Severidad (S)**	3.0	5.0	5.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**9.0**	**16.75**	**19.25**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Medio**	**Alto**	**Alto**	**Medio**

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

Cuadro N° 62: Matriz de riesgo de sector interno A2, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A2: Sector de calle Quebrador diagonal a la clínica dental Drs. Méndez**	**Tramo de calle Quebrador 15 metros al frente de la clínica dental Drs. Méndez donde cambia la pendiente del terreno considerablemente con un uso de suelo descubierto**	**El área presenta una problemática de deslizamientos en el pasado además del arrastre de lodos en la época lluviosa.** **Otro posible escenario es la omisión del control de la compuerta que se ubica en el tragante colindante al puente del Río Uruca.**	**Índice de Severidad (S)**	5.0	5.0	5.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**15.0**	**16.25**	**19.25**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Alto**	**Alto**	**Alto**	**Medio**

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

Cuadro N° 63: Matriz de riesgo de sector interno A3, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A3: Sector de calle Quebrador donde se encuentra tanque de almacenamiento del AyA**	**Tramo de calle quebrador colindante al A2 donde se encuentra ubicado el plantel del AyA dirección Noreste de la clínica dental Drs. Méndez**	**En el área no hay definida una problemática constante sin embargo el rebalse en época lluviosa contribuyó al desbordamiento del canal que transporta un caudal para concesiones, además gracias a la ubicación y las condiciones alrededor se pueden dar situaciones las cuales pueden provocar un desastre, como el desplome del tanque.**	**Índice de Severidad (S)**	2.0	5	1.5	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**6.0**	**16.75**	**5.77**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Medio**	**Alto**	**Bajo**	**Medio**

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

Cuadro N° 64: Matriz de riesgo de sector interno A4, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A4: Sector de calle Quebrador 54 metros Noreste del plantel del AyA**	**Tramo que es perpendicular al A1 donde se encuentra una importante densidad urbana**	**Se presentan problemáticas de inundación, algunas viviendas se han visto afectadas por el desbordamiento del canal donde el líquido ha provocado pérdidas económicas, además un escenario posible seria la posibilidad de una falla en el tanque del AyA, el cual provocaría daños irreversibles a las estructuras presentes en este sector.**	**Índice de Severidad (S)**	2.0	5.0	2.5	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**6.0**	**16.75**	**9.62**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Medio**	**Alto**	**Medio**	**Medio**

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

Cuadro N° 65: Matriz de riesgo de sector interno A5, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A5: Sector colindante con lote donde se ubica tanque del AyA y al oeste de calle Machete**	**Esta área se ubica entre el lote donde se ubica tanque del AyA y al oeste calle Machete**	**Se presentan problema por el arrastre de lodos y escorrentía trayendo problema a esta zona y la que se encuentran frente a las áreas A4 y A7. Esto puede generar la obstrucción de las cunetas de la calle y por ende inundaciones** **Otro posible escenario se relaciona con las inundaciones en viviendas y carreteras por el sobre flujo de escorrentía, además del arrastre de lodos del tajo y colapso de conductos pluviales y tragantes por acumulación de sedimentos.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	3.0	4.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**10.05**	**15.4**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Medio**	**Alto**	**Medio**

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

Cuadro N° 66: Matriz de riesgo de sector interno A6, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A6: Sector frente a pulpería Daysi Geral y colindante a pastizal en pie de cerro Minas**	**Este tramo de la calle va desde el frente de la pulpería Daysi Geral hasta la zona de pastizal que este al pie del cerro Minas**	**Actualmente en esta área se encuentra el alcantarillado que pasa por debajo de las casas de esta zona en esta área se han presentado problemas de inundación y arrastre de lodos. Además se presentan arrastre de materiales los cuales pueden obstruir los canales y el sistema de alcantarillado de esta zona disminuyendo la capacidad de los mismos. Se presentan problemas de inundaciones afectando a las viviendas que se encuentran en esta calle**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	5.0	3.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**16.75**	**11.55**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Alto**	**Medio**	**Medio**

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

Cuadro N° 67 Matriz de riesgo de sector interno A7, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	***Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A7: Sector de calle Machete en frente y sur de la pulpería Daysi Geral**	**Tramo de la calle que va desde el frente del terreno colindante donde está el tanque del AyA hasta la pulpería Daysi Geral**	**En este sector de la calle los canales de desfogue o cunetas están deterioradas estos podrían no tener la capacidad de evacuar las agua pluviales, además por el arrastre de lodos y escorrentía que se dan en las áreas colindantes se pueden obstruir estos y ocasionar inundaciones. Además por esta calle se aportan la escorrentía pluvial generando un sobre flujo que se aportan de las área colindantes a esta calle ocasionando inundaciones**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	5.0	3.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**16.75**	**11.55**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Alto**	**Medio**	**Medio**

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

Anexo 8

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

Cuadro N° 68: Matriz de riesgo sector externo A1, microcuenca del río Uruca 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	3.35	3.85	4.6
Externo	**E1: Sector aguas arriba del puente de calle machete hasta la colindancia con ruta 311**	**Tramo desde la ruta 311 hasta el puente de calle Machete**	**Se observa gran cantidad de materiales sólidos en las cunetas como troncos, hojas y basura lo cual puede provocar el colapso del sistema pluvial, afectando la infraestructura del puente**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	3.0	1.5	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**10.0**	**5.7**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Medio**	**Bajo**	**Medio**

Cuadro N° 69: Matriz de riesgo sector externo A2, microcuenca del río Uruca 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	3.35	3.85	4.6
Externo	**E2: Sector del tajo Cerro Minas y aguas debajo de este hacia el área en estudio**	**Desde el tajo Cerro Minas hasta el AP**	**En la actualidad se presentan problemáticas con el manejo de residuos sólidos en la zona cercana al tajo ya que este se encuentra aprovechando el material del cerro lo que provoca el arrastre de materiales y sedimentos producto de esta actividad hacia el área en estudio. Además la escorrentía puede arrastra lodos de los terrenos que se encuentra descubiertos aguas arriba de la calle, donde se dan excesos de sedimentos sobre la vía vehicular, y se produce el colapso de los conductos pluviales y los tragantes del sistema.**	**Índice de Severidad (S)**	2.0	1.0	4.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**6.0**	**3.35**	**15.4**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Medio**	**Bajo**	**Alto**	**Medio**

Cuadro N° 70: Matriz de riesgo sector externo A3, microcuenca del río Uruca Pilas 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	3.35	3.85	4.6
Externo	**A3: Sector después del cebollal en calle Machete hasta Hotel Luisiana**	**Después de donde se ubica el cebollal colindante a calle Machete aguas abajo hasta el Hotel Luisina**	**Sector colindante al cebollal, la problemática radica en el arrastre de residuos sólidos y sedimentos, donde se logran observar varios elementos que obstaculizan el paso natural del flujo de las cunetas, mismo que contribuye a cambios en la velocidad y por ende potenciando a la modificación de la hidráulica del sistema. Como problemática a futuro, se pueden dar inundaciones por la obstrucción total del sistema, dando la probabilidad de tener impactos sobre estructuras y espacios colindantes debido a que estos se encuentran muy cerca del cauce del rio.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	2	1.5	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**6.7**	**5.7**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Medio**	**Bajo**	**Medio**

Anexo 9

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

Cuadro N° 71: Matriz de riesgo de sector interno A1, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A1:Sector de calle Quebrador colindante a la clínica dental Drs. Méndez**	**Calle Quebrador: Sector cercano sobre el puente que traza el río Uruca colindante a la clínica dental Drs. Méndez.**	**Inundaciones en viviendas y presencia de arrastre de lodos, además de la posible extensión de deslizamiento del A2.** **Colapso de conductos pluviales por medio de exceso de escorrentía.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.5	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**5.0**	**3.85**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 72: Matriz de riesgo de sector interno A2, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A2: Sector de calle Quebrador diagonal a la clínica dental Drs. Méndez**	**Tramo de calle Quebrador 15 metros al frente de la clínica dental Drs. Méndez donde cambia la pendiente del terreno considerablemente con un uso de suelo descubierto**	**El área presenta una problemática de deslizamientos en el pasado como un arrastre de lodos en la época lluviosa, a los alrededores se aprecia movimientos de tierra los cuales provocan una mayor escorrentía por lo cual la problemática se puede agravar a un futuro y extenderla al A1 que se encuentra muy cerca**	**Índice de Severidad (S)**	1..5	1.0	1..5	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**4.5**	**3.35**	**5.02**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 73: Matriz de riesgo de sector interno A3, área de calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A3: Sector de calle Quebrador donde se encuentra tanque de almacenamiento del AyA**	**Tramo de calle quebrador colindante al A2 donde se encuentra ubicado el plantel del AyA dirección Noreste de la clínica dental Drs. Méndez**	**En el área no hay definida una problemática constante sin embargo el rebalse en época lluviosa contribuyó al desbordamiento del canal que transporta un caudal para concesiones además gracias a la ubicación y las condiciones del alrededor se pueden dar situaciones las cuales pueden provocar un desastre como el desplome del tanque o una falla estructural.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.0	1.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.35**	**3.85**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 74: Matriz de riesgo de sector interno A4, área calle Quebrador.

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario actual**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Interno	**A4: Sector de calle Quebrador 54 metros Noreste del plantel del AyA**	**Tramo que es perpendicular al A1 donde se encuentra una importante densidad urbana**	**Se presentan problemáticas de inundación, unas casas se han visto afectadas por el desbordamiento del canal donde el líquido ha entrado a las casas provocando pérdidas económicas, además una falla o accidente en el tanque afectaría gravemente a estas viviendas ya que solo con el rebalse han existido problemáticas.**	**Índice de Severidad (S)**	1.5	1.5	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**4.5**	**5.0**	**3.35**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 75: Matriz de riesgo de sector interno A5, área de calle Quebrador.

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	3.35	3.85	4.6
Interno	**A5: Sector colindante con lote donde se ubica tanque del AyA y al oeste de calle Machete**	**Esta área se ubica entre él lote donde se ubica tanque del AyA y al oeste calle Machete**	**Se presentan problema por el arrastre de lodos y escorrentía trayendo problema a esta zona y la que se encuentran frente a esta área 4 y 7. Esto puede generar la obstrucción de las cunetas de la calle y por ende inundaciones en estas áreas. Realizando prácticas como el manejo de los residuos que se generan aguas arriba y canalizar el agua de escorrentía para disminuir la velocidad y cantidad que baja de esta.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	2	1.5	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**5.02**	**5.78**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 76: Matriz de riesgo de sector interno A6, área de calle Quebrador.

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	3.35	3.85	4.6
Interno	**A6: Sector frente a pulpería Daysi Geral y colindante a pastizal en pie de cerro Minas**	**Este tramo de la calle va desde el frente de la pulpería Daysi Geral hasta la zona de pastizal que este al pie del cerro Minas**	**Actualmente en esta área se encuentra el alcantarillado que pasa por debajo de las casas de esta zona en esta área se han presentado problemas de inundación y arrastre de lodos. El arrastre de materiales puede obstruir los canales y el sistema de alcantarillado de esta zona disminuyendo la capacidad de los mismos. Realizando algunas modificaciones en el sistema pluvial de desfogue y se realizando una constante limpieza de los sistemas se disminuirían los problemas presentes en esta zona.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.5	1.5	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**5.02**	**5.78**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 77: Matriz de riesgo de sector interno A7, área de calle Quebrador.

***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	3.35	3.85	4.6
Interno	**A7: Sector de calle Machete en frente y sur de la pulpería Daysi Geral**	**Tramo de la calle que va desde el frente del terreno colindante donde está el tanque del AyA hasta la pulpería Daysi Geral**	**En este sector de la calle los canales de desfogue o cunetas están deterioradas estos podrían no tener la capacidad de evacuar las agua pluviales, además por el arrastre de lodos y escorrentía que se dan en las áreas colindantes se pueden obstruir estos y ocasionar inundaciones. Teniendo en cuenta que se mejore el sistema de desfogue y se realiza una constante limpieza de los sistemas se disminuirían estos problemas en esta zona.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1	1.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.35**	**3.85**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

Anexo 10

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

Cuadro N°78: Matriz de riesgo sector externo A1, microcuenca del río Uruca 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	3.35	3.85	4.6
Externo	**E1: Sector aguas arriba del puente de calle machete hasta la colindancia con ruta 311**	**Tramo desde la ruta 311 hasta el puente de calle Machete**	**Se observa gran cantidad de materiales sólidos en las cunetas como troncos, hojas y basura lo cual puede provocar el colapso del sistema pluvial, afectando la infraestructura del puente**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.0	1.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.35**	**3.85**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 79: Matriz de riesgo sector externo A2, microcuenca del río Uruca y Poblados aguas abajo del AP

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	***Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Externo	**E2: Sector del tajo Cerro Minas y aguas debajo de este hacia el área en estudio**	**Desde el tajo Cerro Minas hasta el AP**	**En la actualidad se presentan problemáticas con el manejo de residuos sólidos en la zona cercana al tajo ya que este se encuentra aprovechando el material del cerro lo que provoca el arrastre de materiales y sedimentos producto de esta actividad hacia el área en estudio. Además la escorrentía puede arrastra lodos de los terrenos que se encuentra descubiertos aguas arriba de la calle, donde se dan excesos de sedimentos sobre la vía vehicular, y se produce el colapso de los conductos pluviales y los tragantes del sistema.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.0	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.35**	**3.85**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Cuadro N° 80: Matriz de riesgo sector externo A3, microcuenca del río Uruca y Poblados aguas abajo del AP

Matriz de Riesgo								
Sector	**Área**	**Tramo (Tr)**	**Escenario**	**Amenaza**	**Deslizamiento**	***Inundación**	**Flujo de lodos**	**Sísmica**
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.35	3.85	4.6
Externo	**A3: Sector después del cebollal en calle Machete hasta Hotel Luisiana**	**Después de donde se ubica el cebollal colindante a calle Machete aguas abajo hasta el Hotel Luisina**	**Sector colindante al cebollal, la problemática radica en el arrastre de residuos sólidos y sedimentos, donde se logran observar varios elementos que obstaculizan el paso natural del flujo de las cunetas, mismo que contribuye a cambios en la velocidad y por ende potenciando a la modificación de la hidráulica del sistema. Como problemática a futuro, se pueden dar inundaciones por la obstrucción total del sistema, dando la probabilidad de tener impactos sobre estructuras y espacios colindantes debido a que estos se encuentran muy cerca del cauce del rio.**	**Índice de Severidad (S)**	1.0	1.0	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	**3.0**	**3.35**	**3.85**	**9.2**
				Nivel de Riesgo	**Bajo**	**Bajo**	**Bajo**	**Medio**

***Aplicación de medidas de mitigación.**

Anexo 11

Fotografías de los sectores más vulnerables a problemáticas de inundación en Calle Quebrador

Fotografía N°5. Sector H0, canal que desfoga en el Río Uruca. Coordenadas: 479926E /1097039N proyección CRTM-05.

Fotografía N°6. Sector H1, canal para transporte de concesión. Coordenadas: 479848E /1097077N proyección CRTM-05.

Fotografía N°7. Sector H2, canal trapezoidal colindante al plantel del AyA Coordenadas: 479860E / 1097093N proyección CRTM-05.

Fotografía N°8. Sector H3, canal parabólico colindante a vivienda donde traza la tubería pluvial. Coordenadas: 479687E /1097275N proyección CRTM-05.

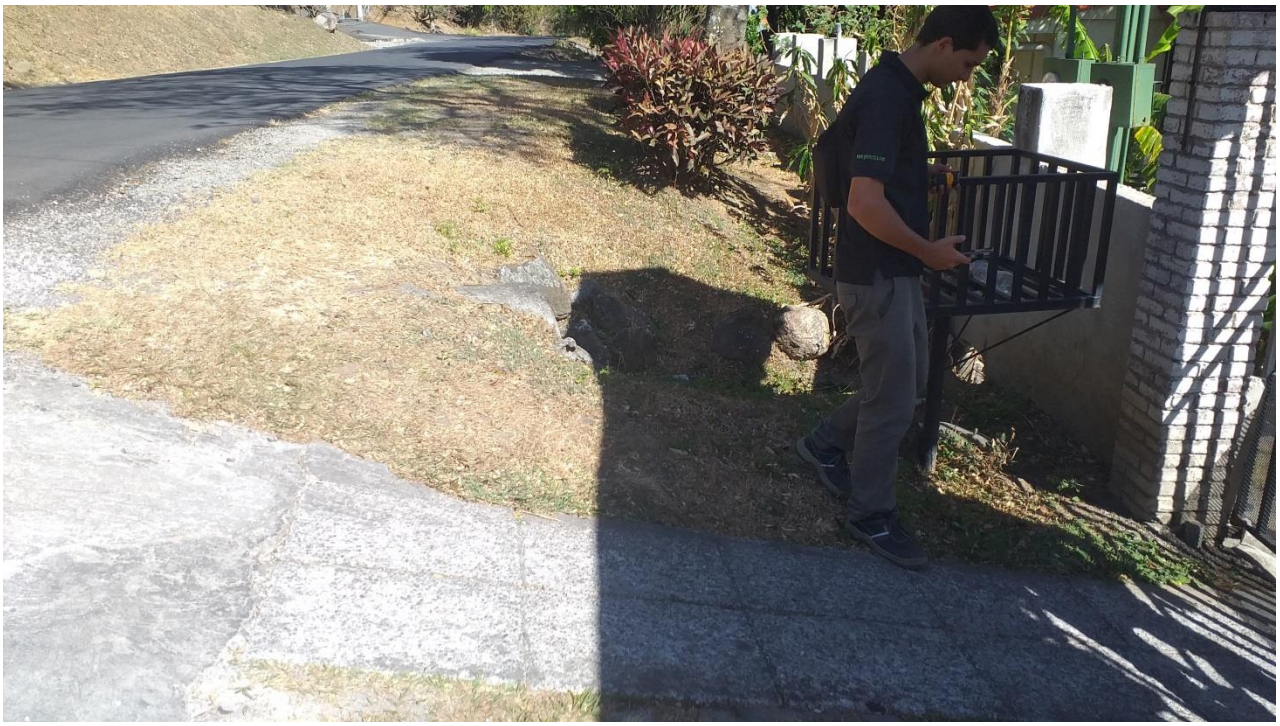
Fotografía N°9. Sector H4, canal que transporta la concesión que va para el cultivo cebolla. Coordenadas: 479731E / 1097321N proyección CRTM-05.

Fotografía N°10. Aporte de Aguas residuales al sistema pluvial. Coordenadas: 479785E / 1097215N proyección CRTM-05.

Fotografía N°11. Sector de la Clínica Drs Méndez, sitio con grandes problemáticas de inundación y flujo de lodos: 479883E /1097042N proyección CRTM-05.

Fotografía N°12. Entrada frente a Clínica Drs Méndez, sitio que impulsa escorrentía y arrastre de materiales, además se han dado deslizamientos según criterio de vecinos: 479865E / 1097042N proyección CRTM-05.

Fotografía N°13. Vivienda con alto potencial de inundación: 479862E /1097062N proyección CRTM-05.



Fotografía N°14. Desvió de concesión hacia propiedad donde inicia el canal utilizado para el transporte de las concesiones: 479849 E / 1097081 N proyección CRTM-05.

Fotografía N°15. Entrada a plantel del AyA, se aprecian los canales que llevan la escorrentía y el flujo del rebalse hasta el sistema pluvial: 479822E /1097115N proyección CRTM-05.

Fotografía N° 16. Caja pluvial donde tributan las aguas del plantel del AyA, mismas que se conectan al pozo pluvial que se observa en la Fotografía: 479822E /1097115N proyección CRTM-05.

Fotografía N°17. Vivienda vulnerable frente al plantel del AyA, según relato de vecinos ha sido afecta por el rebalse: 479820E /1097116N proyección CRTM-05.

Fotografía N°18. Paso de flujo permanente, donde se dan las deviaciones a los distintos lugares de aprovechamiento, frente a vivienda con piscina: 479750E / 1097241N proyección CRTM-05.

Fotografía N°19. Sector con problemáticas de inundación por colapso del sistema por el sobre flujo de escorrentía: 479687E /1097275N proyección CRTM-05.

Fotografía N°20. Canal que lleva el agua hasta las estructuras que se observa en la fotografía anterior: 1097274 E / 479686 N proyección CRTM-05.

Fotografía N°21. Reunión con funcionario del AyA para conocer los detalles del análisis de riesgo esto dentro del plantel.

Fotografía N°22 .Fotografía panorámica del tanque de almacenamiento del AyA.

Fotografía N°23. Levantamiento topográfico a detalle dentro del plantel del AyA.

Fotografía N°24 .Vista panorámica de la vía interna de ingreso al plantel del AyA.

Fotografía N°25. Tuberías de abastecimiento del tanque del AyA dentro del plantel.

Fotografía N°26 .Contacto de tuberías que salen del plantel y trazan bajo la carretera.

Fotografía N°27. Tubería que abastece el tanque de almacenamiento del AyA que traza por el puente y la carretera.

Fotografía N°28. Tubería que abastece el tanque de almacenamiento del AyA que traza por el puente y la carretera.

Fotografía N°29. Construcción de pozo pluvial para el sistema colector.

Fotografía N°30. Construcción de cordón de caño para la evacuación pluvial.

Fotografía N°31. Construcción de aceras peatonales en calle Quebrador.

Fotografía N°32. Trabajos para colocación de tubería pluvial.

Fotografía N°33. Colocación de tubería pluvial RIC-LOB.

Fotografía N°34. Armado de pozo pluvial con tubería RIC-LOB colocada.

Fotografía N°35. Armado de tragante pluvial para el sistema colector.

Fotografía N°36. Vista panorámica de algunas zonas intervenidas por la obra de mejoramiento.

Anexo 12

Valores utilizados para el cálculo de la pendiente promedio del Río Uruca

Cuadro N°81.0: Valores para la pendiente del Río Uruca.

Alturas	Longitud (m)	S	$L/\sqrt{s}$
715	0	0	0
720	213.03	213.03	0.05
730	357.39	570.42	0.03
740	500.74	1071.16	0.02
750	256.19	1327.35	0.04
760	380.50	1707.85	0.03
770	55.33	1763.18	0.18
780	151.19	1914.37	0.07
790	985.00	2899.37	0.01
800	253.60	3152.97	0.04
810	304.62	3457.59	0.03
820	127.50	3585.09	0.08
830	8.15	3593.23	1.23
840	25.28	3618.51	0.40
850	695.98	4314.48	0.01
860	232.96	4547.44	0.04
870	245.25	4792.68	0.04
880	379.14	5171.83	0.03
890	195.29	5367.11	0.05
900	293.40	5660.51	0.03
910	212.37	5872.88	0.05
920	239.38	6112.26	0.04
930	255.50	6367.76	0.04
940	232.66	6600.42	0.04
950	237.61	6838.02	0.04
960	202.73	7040.75	0.05
970	177.50	7218.25	0.06
980	210.22	7428.47	0.05
990	206.76	7635.24	0.05
1000	162.58	7797.82	0.06
1010	218.26	8016.08	0.05
1020	179.70	8195.78	0.06
1030	224.81	8420.59	0.04
1040	119.62	8540.21	0.08
1050	121.62	8661.84	0.08
1060	208.19	8870.02	0.05
1070	151.63	9021.66	0.07
1080	124.39	9146.04	0.08
1090	203.34	9349.38	0.05
1100	181.50	9530.88	0.06
1110	178.52	9709.40	0.06
1120	138.41	9847.81	0.07
1130	142.44	9990.26	0.07

Fuente: Propia, 2021.

Cuadro N°81.1: Valores para la pendiente del Río Uruca.

Alturas	Longitud (m)	S	$L/\sqrt{s}$
1140	102.38	10092.63	0.10
1150	156.54	10249.18	0.06
1160	169.72	10418.90	0.06
1170	164.65	10583.55	0.06
1180	45.61	10629.16	0.22
1190	97.12	10726.28	0.10
1200	79.22	10805.50	0.13
1210	142.89	10948.39	0.07
1220	155.60	11104.00	0.06
1230	23.77	11127.77	0.42
1240	87.72	11215.49	0.11
1250	95.30	11310.79	0.10
1260	117.59	11428.38	0.09
1270	78.24	11506.62	0.13
1280	131.91	11638.53	0.08
1290	47.52	11686.05	0.21
1300	133.72	11819.77	0.07
1310	97.71	11917.48	0.10
1320	63.24	11980.73	0.16
1330	84.57	12065.30	0.12
1340	69.75	12135.05	0.14
1350	63.10	12198.15	0.16
1360	77.75	12275.89	0.13
1370	67.60	12343.50	0.15
1380	66.58	12410.07	0.15
1390	63.48	12473.55	0.16
1400	85.52	12559.08	0.12
1410	81.07	12640.15	0.12
1420	42.13	12682.27	0.24
1430	42.10	12724.37	0.24
1440	58.03	12782.40	0.17
1450	72.20	12854.60	0.14
1460	37.96	12892.56	0.26
1470	20.90	12913.47	0.48
1480	24.44	12937.91	0.41
1490	73.98	13011.89	0.14
1500	37.00	13048.89	0.27
1510	39.27	13088.16	0.25
1520	39.91	13128.07	0.25
1530	28.44	13156.51	0.35
1540	35.28	13191.78	0.28
1550	36.38	13228.17	0.27
1560	37.61	13265.78	0.27

Fuente: Propia, 2021.

Cuadro N°81.2: Valores para la pendiente del Río Uruca.

Alturas	Longitud (m)	S	$L/\sqrt{s}$
1570	53.08	13318.86	0.19
1580	39.55	13358.42	0.25
1590	39.84	13398.25	0.25
1600	52.22	13450.47	0.19
1610	49.92	13500.39	0.20
1620	42.48	13542.88	0.24
1630	25.73	13568.61	0.39
1640	25.75	13594.36	0.39
1650	33.74	13628.09	0.30
1660	43.85	13671.94	0.23
1670	40.75	13712.68	0.25
1680	48.77	13761.45	0.21
1690	41.34	13802.79	0.24
1700	45.45	13848.24	0.22
1710	74.79	13923.03	0.13
1720	45.19	13968.23	0.22
1730	40.76	14008.98	0.25
1740	56.89	14065.88	0.18
1750	49.07	14114.95	0.20
1760	49.11	14164.06	0.20
1770	51.29	14215.35	0.19
1780	31.73	14247.08	0.32
1790	31.07	14278.14	0.32
1800	19.85	14298.00	0.50
1810	12.54	14310.54	0.80
1820	78.60	14389.14	0.13
1830	41.91	14431.05	0.24
1840	23.41	14454.46	0.43
1850	44.55	14499.01	0.22
1860	31.86	14530.88	0.31
1870	55.16	14586.04	0.18
1880	51.63	14637.67	0.19
1890	48.05	14685.72	0.21
1900	23.13	14708.85	0.43
1910	20.84	14729.68	0.48
1920	22.75	14752.43	0.44
1930	38.77	14791.21	0.26
1940	38.86	14830.07	0.26
1950	41.46	14871.53	0.24
1960	14.41	14885.94	0.69
1970	16.88	14902.81	0.59
1980	17.60	14920.41	0.57
1990	26.34	14946.75	0.38

Fuente: Propia, 2021.

Cuadro N°81.3: Valores para la pendiente del Río Uruca.

Alturas	Longitud (m)	S	$L/\sqrt{s}$
2000	44.72	14991.48	0.22
2010	9.94	15001.42	1.01
2020	16.86	15018.28	0.59
2030	8.80	15027.09	1.14
2040	15.04	15042.13	0.66
2050	21.38	15063.50	0.47
2060	15.48	15078.99	0.65
2070	21.56	15100.55	0.46
2080	10.98	15111.53	0.91
2090	19.83	15131.36	0.50
2100	11.56	15142.92	0.87
2110	13.88	15156.80	0.72
2120	23.20	15179.99	0.43
2130	14.31	15194.31	0.70
2140	14.76	15209.06	0.68
2150	29.17	15238.24	0.34
2160	17.90	15256.14	0.56
2170	16.89	15273.03	0.59
2180	15.32	15288.34	0.65
2190	9.83	15298.17	1.02
2200	9.84	15308.01	1.02
2210	9.83	15317.84	1.02
2220	9.23	15327.07	1.08
2230	20.59	15347.66	0.49
2240	12.29	15359.95	0.81
2250	23.16	15383.10	0.43
2260	22.48	15405.59	0.44
2000	44.72	14991.48	0.22
2010	9.94	15001.42	1.01
2020	16.86	15018.28	0.59
2030	8.80	15027.09	1.14
2040	15.04	15042.13	0.66
2050	21.38	15063.50	0.47
2060	15.48	15078.99	0.65
2070	21.56	15100.55	0.46
2080	10.98	15111.53	0.91
2090	19.83	15131.36	0.50
2100	11.56	15142.92	0.87
2110	13.88	15156.80	0.72
2120	23.20	15179.99	0.43
2130	14.31	15194.31	0.70
2140	14.76	15209.06	0.68
2150	29.17	15238.24	0.34

Fuente: Propia, 2021.

Cuadro N°81.4: Valores para la pendiente del Río Uruca.

Alturas	Longitud (m)	S	$L/\sqrt{s}$
2160	17.90	15256.14	0.56
2170	16.89	15273.03	0.59
2180	15.32	15288.34	0.65
2190	9.83	15298.17	1.02
2200	9.84	15308.01	1.02
2210	9.83	15317.84	1.02
2220	9.23	15327.07	1.08
2230	20.59	15347.66	0.49
2240	12.29	15359.95	0.81
2250	23.16	15383.10	0.43
2260	22.48	15405.59	0.44
2160	17.90	15256.14	0.56

Fuente: Propia, 2021.

GEOTECTICA
SOMOS CONSULTORES DE LA TIERRA

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