



**INFORME FINAL SOBRE EL
MEJORAMIENTO DEL SISTEMA
PLUVIAL DE LA COMUNIDAD
BOSQUES DE SANTA ANA**

**CONTRATACIÓN DIRECTA
N° 2020CD-000175-0002400001**

**PREPARADO PARA
MUNICIPALIDAD DE SANTA ANA.**

JULIO, 2021

**Heredia, Viernes 9 de julio, 2021.
GT-INF-2020-371**

**Señores:
Municipalidad de Santa Ana**

Atención: Ing. Emilia Jiménez Jiménez
Proceso de Gestión del Riesgo de Desastres

Estimados señores:

Mediante la siguiente nota queremos hacer constar que el presente informe denominado **“INFORME FINAL INFORME FINAL SOBRE EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA PLUVIAL DE LA COMUNIDAD BOSQUES DE SANTA ANA”** de la CONTRATACIÓN DIRECTA N° 2020CD-000175-0002400001 denominada **“MEJORA DE ENTUBADO EN COMUNIDAD BOSQUES DE SANTA ANA: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS, DISEÑO, PLANOS, PRESUPUESTO Y FISCALIZACIÓN DE LA OBRA”** es responsabilidad profesional y autoría en su totalidad de GEOTÉCTICA S.A., a quien le ha correspondido la realizar la investigación.

El estudio posee el objetivo de plantear un rediseño del sistema de desfogue de aguas pluviales para mejorar las condiciones hidrológicas e hidráulicas del sistema dentro de la Urbanización Bosques de Santa Ana., tomando en cuenta el blindaje ante el cambio climático con un enfoque de gestión del riesgo dentro de la microcuenca de la quebrada Pilas.

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
Geólogo geotecnista / Hidrogeólogo
CGCR 271
SETENA CI 81-2002

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

CONTENIDO

1-	INTRODUCCIÓN.....	5
•	Objetivos Generales.....	5
•	Objetivos específicos.....	5
•	Sitio de Estudio.....	6
•	Metodología.....	6
2-	ASPECTOS HIDROLÓGICOS.....	9
2.1.1.	Características de la cuenca.....	9
•	Hidrografía.....	9
•	Aspectos Climáticos.....	9
•	Humedad relativa del aire.....	9
•	Precipitación.....	11
•	Temperatura.....	11
•	Viento.....	11
•	Heliofanía.....	11
2.1.2.	Cálculos Hidrológicos.....	13
•	Factor de Forma.....	13
•	Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (Kc).....	14
•	Cálculo del caudal de avenida máxima.....	15
•	Cálculo de la intensidad máxima de la lluvia (I).....	15
•	Cálculo de la pendiente del cauce principal (S).....	15
•	Tiempo de concentración Fórmula de Kirpich.....	18
•	Cálculo del coeficiente de escorrentía (C).....	20
•	Cálculo del caudal máximo instantáneo de desfogue del proyecto.....	27
3-	MODELACIÓN HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA PILAS.....	29
3.1.1.	Modelación mediante el HEC-RAS 5.0.7.....	29
4-	MODELACIÓN HIDRÁULICO DE LA RED PLUVIAL.....	33
4.1.1.	Labores de campo.....	33
4.1.2.	Modelación mediante el EPA SWMM V.5.0.....	33
4.1.3.	Escorrentía cuencas (l/s).....	39
4.1.1.	Nivel del agua en nodos (m).....	39
4.1.2.	Capacidad de los conductos pluviales (%).....	40
4.1.3.	Velocidad de los conductos pluviales (m/s).....	41
5-	MARCO GEOLÓGICO.....	43
•	Geología regional.....	43
5.1.1.	Formación Grifo Alto.....	43
5.1.2.	Formación Colima (Lavas Intracañon).....	43
5.1.3.	Formación Tiribí.....	43
•	Geología local.....	47
•	Sondeos Eléctricos Verticales.....	50
6-	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS.....	58
•	Información disponible.....	58
•	Definición de acuíferos.....	58
7-	BALANCE HÍDRICO DEL BROTE DE AGUA.....	64
8-	ANÁLISIS DE RIESGOS NATURALES EN EL ÁREA DEL PROYECTO.....	67

• Amenaza de deslizamiento	67
• Amenaza de Inundación	67
• Amenaza de Alud Torrencial.....	67
• Amenaza Sísmica	68
• Valoración de amenaza.....	69
• Matriz de riesgo	75
• Aplicación de matriz de riesgo	75
• Descripción de problemáticas en cada área de análisis interna	76
• Descripción de problemáticas en cada área de análisis externa	78
• Medidas de mitigación para reducir el riesgo en el escenario Interno	80
• Medidas de mitigación para reducir el riesgo en el escenario externo	83
9- PRESUPUESTO DE LA OBRA	89
• Renglones de pago.....	89
CR.209.01 Excavación para Estructuras.....	89
CR.301 Base y subbase de agregados triturados	90
<i>CR 301.03 Base de agregados graduación C, caso 2</i>	<i>90</i>
<i>CR 301.06 Subbase de agregados graduación B, caso 2.....</i>	<i>91</i>
CR.204.05 Material de Préstamo Selecto– Caso 2.....	93
CR.552 Concreto Estructural.....	94
<i>CR 602– Tubería de Concreto Reforzado Clase III – C 76.</i>	<i>115</i>
<i>CR.609 Cordón o Bordillo y Cuneta</i>	<i>119</i>
M-41 (a2): Bacheo a Profundidad parcial con Mezcla Asfáltica en Caliente	120
Aplicación del renglón de pago 110.06 “Trabajo a costo más porcentaje”.....	122
• Estimación del costo del proyecto	122
10- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
11- REFERENCIAS	132
12- ANEXOS	134

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.

Para el rediseño de sistemas de desfogue pluvial que no se encuentren cumpliendo su propósito al 100%, se deben tomar cuenta todos los elementos hidráulicos e hidrológicos, topográficos, geotécnicos, hidrogeológicos, geográficos, sociales, ordenamiento territorial y de amenazas naturales que pueda permitir la conceptualización de todos los detalles necesarios para impedir que no se repitan los acontecimientos que provocaron la no funcionalidad del sistema previamente.

El trabajo se realizó mediante inspección, mapeo y trabajo de campo; además de búsqueda de información adicional en la bibliografía existente. De acuerdo con la normativa y procedimientos establecidos se realiza un análisis físico a detalle que comprende la definición de las condiciones básicas de la hidrología para la microcuenca de la quebrada Pilas y su zona de aporte pluvial, además de su relación con la urbanización Bosques de Santa Ana.

- **Objetivos Generales**

Rediseñar el sistema de desfogue pluvial de la urbanización Bosques de Santa Ana para mitigar el problema de inundaciones que se ha presentado en periodos pasados planteado las mejores estructurales y no estructurales dentro de la Urbanización Bosques de Santa Ana y la microcuenca de la quebrada Pilas, tomando en cuenta el blindaje ante el cambio climático con un enfoque de gestión del riesgo.

- **Objetivos específicos**

Determinar las condiciones hidrológicas mediante la metodología Mac Math y Racional de la quebrada Pilas y la urbanización Bosques de Santa Ana, ubicado en el cantón de Santa Ana, de la provincia de San José.

Calcular los caudales de avenida máxima en distintos periodos de retorno sobre la zona de aporte pluvial de la microcuenca de la quebrada Pilas, para su posterior análisis de desbordamiento o inundación.

Establecer las condiciones hidráulicas de la red pluvial de la urbanización Bosques de Santa Ana por medio del uso del software EPA SWMM, HEC RAS y H Canales, para la implementación de las obras estructurales y no estructurales que mitiguen los eventos de inundación y desbordes.

Identificar la capacidad hidráulica del alcantarillado pluvial de la urbanización Bosques de Santa Ana, para la obtención detallada de sus dimensiones y su capacidad de evacuación de aguas de precipitación, mediante el uso del software EPA SWMM.

Aplicar un balance hídrico al brote de agua que aflora en la entrada de la urbanización Bosques de Santa Ana, mediante el método de Schosinsky, para evaluar su producción hídrica y el aporte generado al sistema pluvial que se debe rediseñar.

Definir las condiciones y comportamiento hidrogeológico del brote de agua planteando un modelo hidrogeológico conceptual y determinando las acciones que se puedan implementar para su adecuado manejo.

Llevar a cabo sondeos eléctricos verticales que ayuden a determinar las condiciones del comportamiento del agua subterránea en la zona y la ocurrencia del brote de agua.

Ejecutar muestreos de suelos y determinar la clasificación de los mismos, la densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez, granulometría (donde se determine arenas, limos y arcillas), porosidad, pesos unitarios, contenidos de humedad y límites.

Realizar pruebas de infiltración para la determinación de las características geotécnicas de los suelos, conductividad hidráulica y porosidad, como insumo para la determinación del balance hídrico de suelos.

Efectuar un análisis de riesgos con elementos multiamenazas estableciendo los distintos sectores y escenarios con las variables de severidad y exposición tomando como referencia el uso de criterios de blindaje ante el cambio climático como estimaciones con altos valores de periodos de retorno.

Plasmar la serie de elementos necesarios para la re-construcción del sistema de desfogue pluvial de la urbanización Bosques de Santa Ana mediante el detalle del presupuesto requerido y el presupuesto diferenciado en tres fases.

- **Sitio de Estudio**

El lugar de estudio se trata la urbanización Bosques de Santa Ana, además del análisis completo de la zona de aporte pluvial de la quebrada Pilas. El lugar se localiza específicamente en el distrito de Pozos, del cantón de Santa Ana de la provincia de San José. Cartográficamente, el sitio se ubica sobre la hoja Abra (3345-I), escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Específicamente la propiedad se encuentra sobre las coordenadas centrales 1101930 N / 479225 E Proyección CRTM-05 (Figura N°1 y 2).

- **Metodología**

Las actividades realizadas para lograr el objetivo del estudio consisten en búsqueda de información existente, visita de campo, mapeo geomorfológico, identificación de estructuras de drenaje cercanas, delimitación de usos de suelo, pendiente y textura del suelo predominante en las cercanías del proyecto, así como la aplicación de cálculos matemáticos por medio de la metodología hidrológica Mac-Math para corroborar las condiciones hidrológicas del sitio en análisis, en distintos periodos de retorno, así como la modelación hidráulica por medio de los softwares; HEC-RAS 5.0.7 y EPA SWMM 5.0.

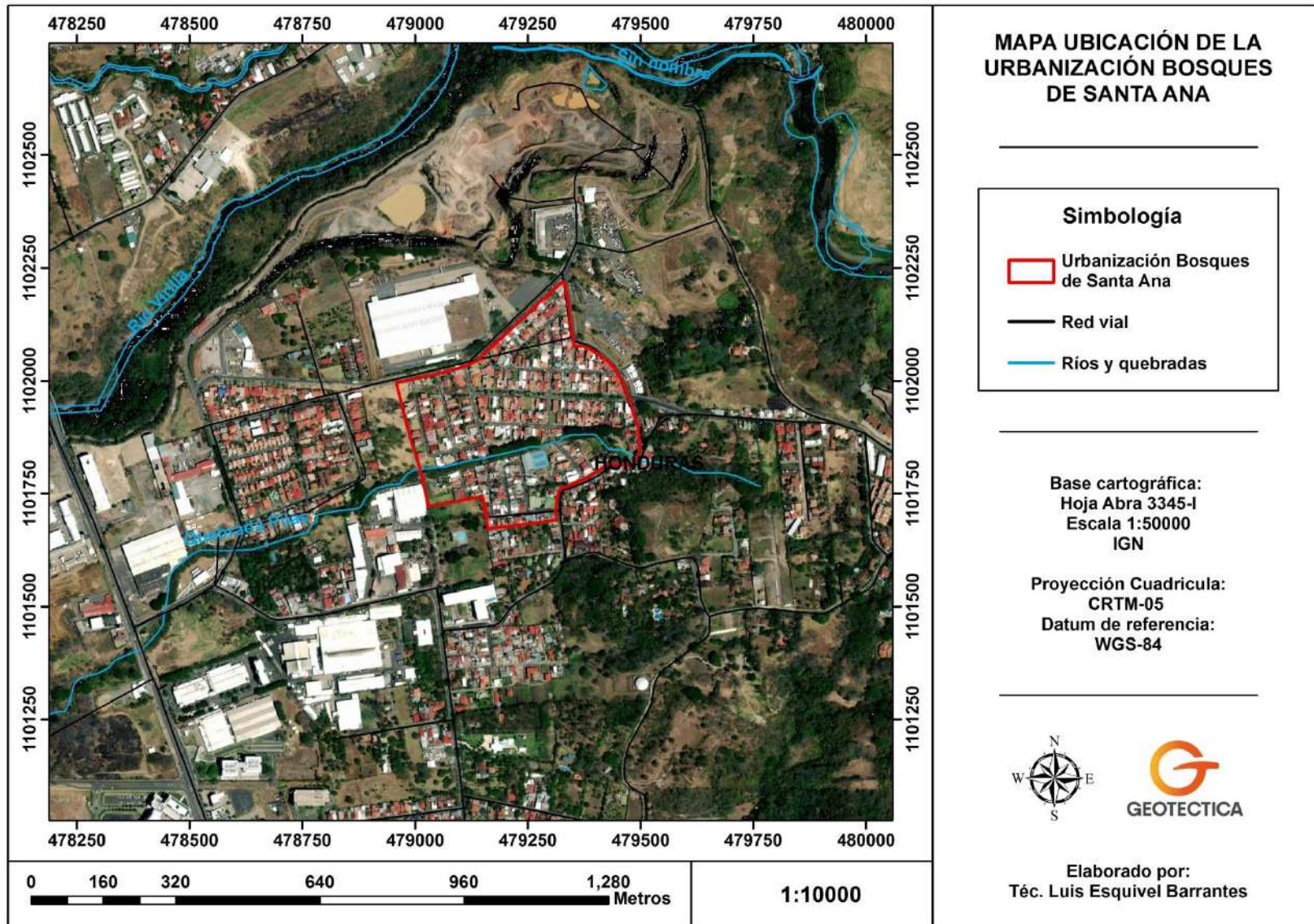


Figura N°1. Ubicación cartográfica de la urbanización Bosques de Santa Ana.

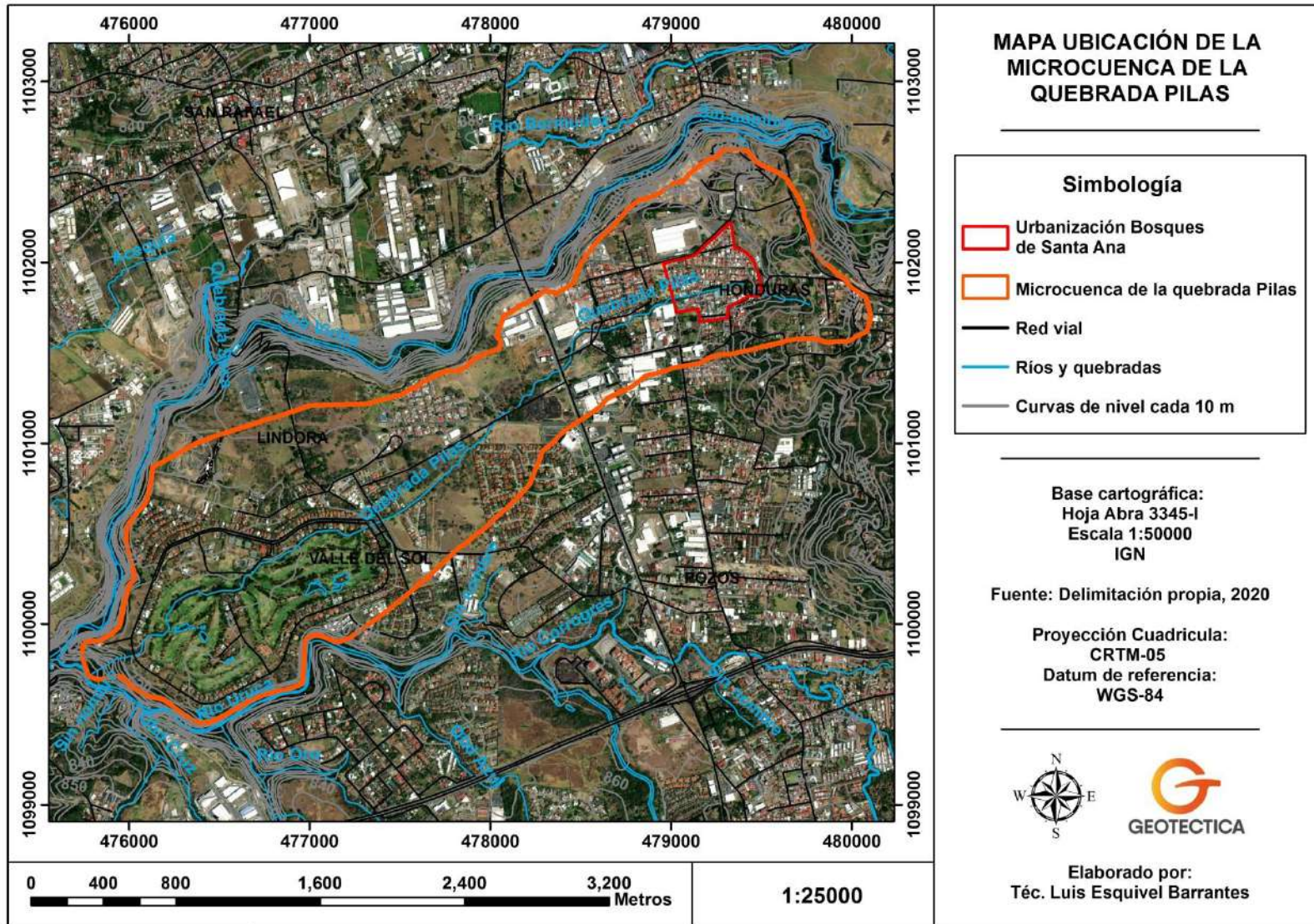


Figura N°2. Ubicación cartográfica del sitio del proyecto y la microcuenca de la quebrada Pilas.

2- ASPECTOS HIDROLÓGICOS

2.1.1. Características de la cuenca

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

La zona de aporte pluvial, que incluye la urbanización Bosques, posee un área estimada de 1,2016 km² o 120,16 ha. Debido al tamaño de la zona hidrológica de influencia del sitio en análisis (Figura N°3), los tiempos de concentración son pequeños, lo que predice una concentración de fluidos que se disipan al llegar al cuerpo de agua colector con mayor envergadura en el cauce; esto debido a que el uso de suelo en las partes altas corresponde a bosque secundario; mientras que en las partes bajas se obtiene un aumento en la cobertura correspondiente a densidad urbana.

Para determinar el caudal efluente producido por la Urbanización Bosques de Santa Ana, es necesario calcular la intensidad máxima de lluvia en el sector y el tiempo de concentración en la zona hidrográfica de influencia directa, para lo cual se efectúan las estimaciones mediante el método racional y Mac MATH.

- **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.

La quebrada Pilas que traza la urbanización Bosques de Santa Ana, nace al sureste del poblado conocido como Honduras, aproximadamente a 380 m del área del proyecto, esto sobre el distrito de Pozos, el mismo presenta un rumbo preferencial Sur 59° Oeste, hasta que tributa en el río Virilla, siendo este cauce el más importante en la zona.

- **Aspectos Climáticos**

Los datos climáticos recuperados corresponden con las estaciones climatológicas: Belén 84119 y Santa Ana - Guachipelín 84199, localizada en las coordenadas geográficas latitud 09° 58' Norte / Longitud 84° 11' Oeste, y 09° 56' Norte / Longitud 84° 09' respectivamente, estas se localizan a menos de 3.5 km del área del proyecto (Anexo I).

- **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.

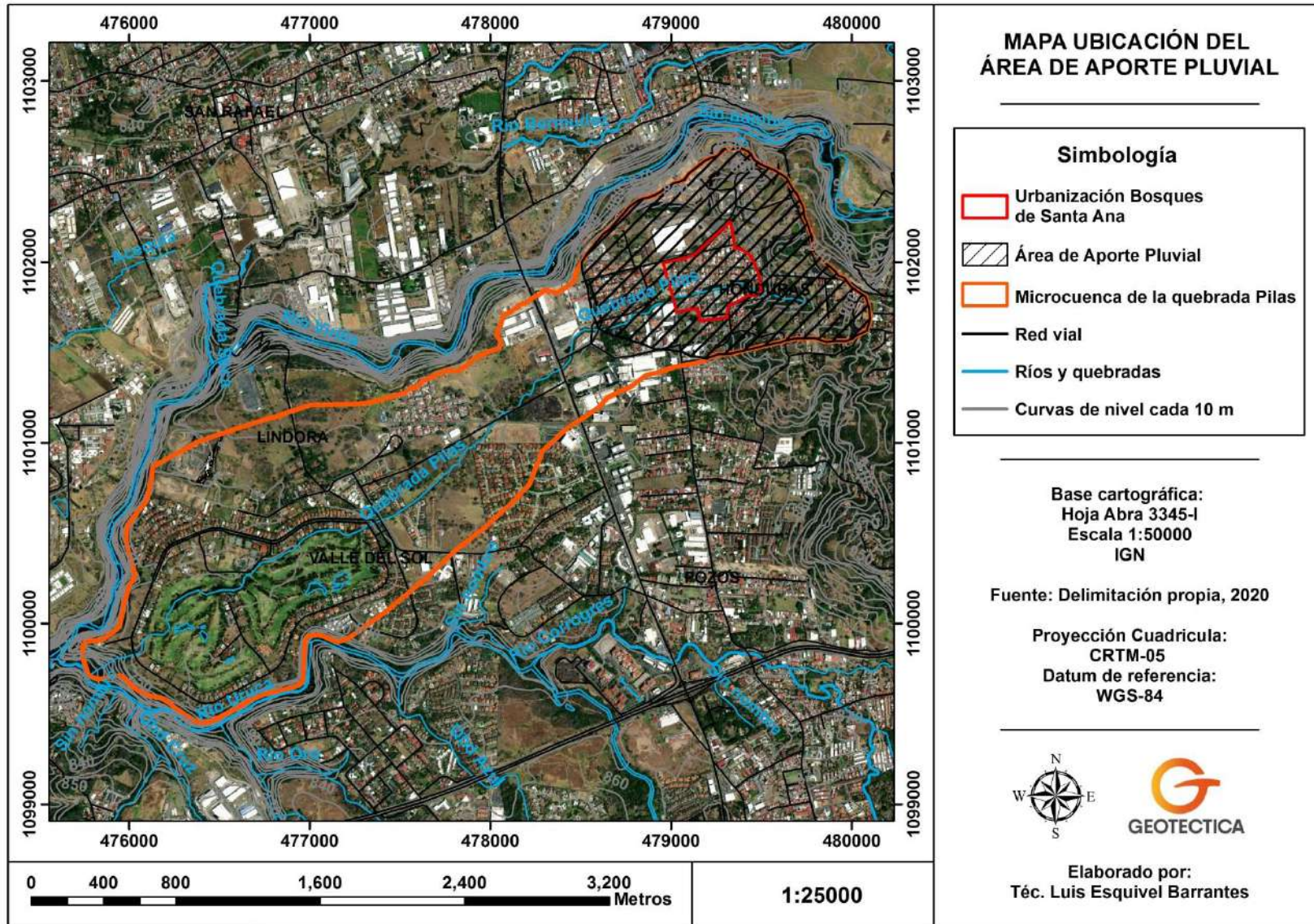


Figura N°3. Mapa área de aporte pluvial dentro de la microcuenca de la quebrada Pilas.

- **Precipitación**

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

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

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

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

- **Temperatura**

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

- **Viento**

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

- **Heliofanía**

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

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

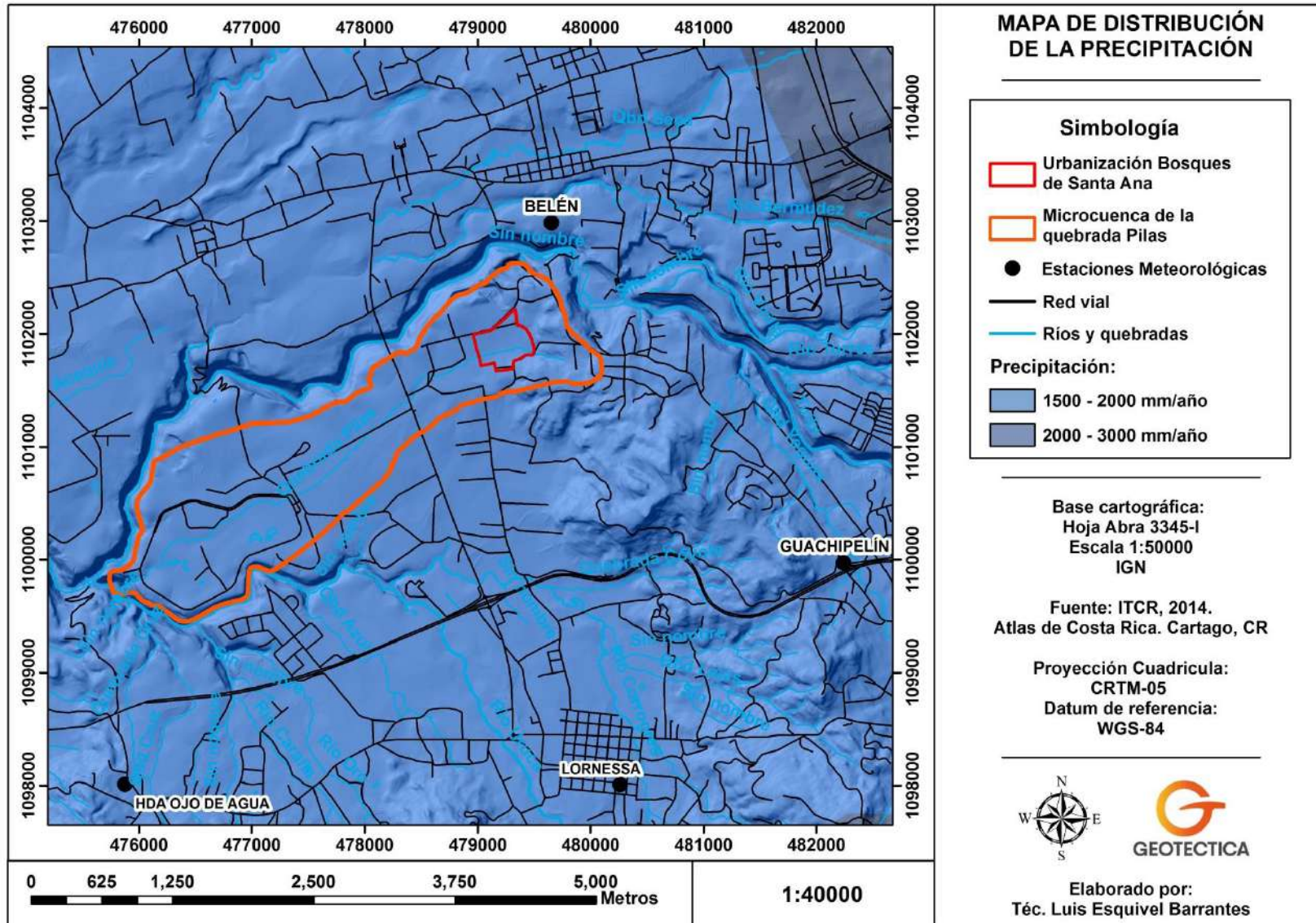


Figura N° 4. Mapa de distribución de precipitación anual. (Fuente: ITCR, 2014.)

2.1.2. Cálculos Hidrológicos

- **Factor de Forma**

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

Tal y como se mencionó anteriormente en el apartado de aspectos hidrológicos, para estimar el valor de caudal de desfogue del proyecto y el caudal de avenida máxima se procedió a establecer el cálculo para la microcuenca la quebrada Pilas (cuerpo receptor de las aguas pluviales generadas por la urbanización Bosques), a continuación, se muestran los valores estimados para la microcuenca. De esta forma, indicado lo anterior, para la microcuenca de la quebrada Pilas, tenemos valores de ancho promedio de 0.900 Km, una longitud de 4.963 km y un área de microcuenca de 4.469 Km².

Dada la fórmula:

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

Donde:

B= Ancho (0.900 Km)

L= Longitud (4.963 Km)

Se tiene:

$$F1 = \frac{0.900 \text{ Km}}{4.963 \text{ Km}} = 0.181$$

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 (4.469 Km²)

L= Longitud de la cuenca² (4.963 Km)

Por lo tanto:

$$F2 = \frac{0.1927 \text{ Km}^2}{(0.9954 \text{ Km})^2} = 0.181$$

Para la microcuenca de la de la quebrada Pilas, de forma en relación con el ancho y el área presenta el mismo resultado, el cual corresponde a 0.181, definiendo de acuerdo con el Cuadro N°1, los rangos aproximados del Factor Forma (Pérez, 1979) como una cuenca de forma muy 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.

Entonces, se deduce 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, tal y como se demuestra en el siguiente apartado.

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)**

Este coeficiente 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 (Km²).

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

$$P=11.96 \text{ Km}$$

$$A= 4.469 \text{ Km}^2$$

$$Kc = 0.28 \frac{11.96 \text{ Km}}{\sqrt{4.469 \text{ Km}^2}} = 1.58$$

Por lo tanto, el Kc de la quebrada Pilas tiene un valor de 1.58, lo que indica una forma general de la cuenca relativamente alargada, con tiempos de concentración definidos como bajos o cortos, lo que influye directamente en las probabilidades de que se genere un evento de precipitación con la capacidad de cubrir toda la microcuenca.

- **Cálculo del caudal de avenida máxima**

Para establecer el cálculo del caudal máximo de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Pilas que traza la urbanización Bosques de Santa Ana se ha utilizado el método Mac-Math, el cual es derivado del método racional, por lo cual mantiene las premisas del mismo. Este método supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración (t_c). Cuando así ocurre, toda la cuenca contribuye con el caudal en el punto de salida (Villón, 2004).

Las descargas máximas para las microcuencas o áreas que componen el área total de drenaje que escurre hacia las quebradas se determinó mediante la fórmula de Mac Math, cuya expresión, para el sistema métrico, es la siguiente:

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

Donde:

- Q= caudal máximo con un periodo de retorno de T años, en m^3/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 (t_c), y un periodo de retorno de T años, mm/h.
- A= área de la cuenca, en Ha.
- S= pendiente promedio del cauce principal, en %.

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

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

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

La aplicación del método supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración (t_c); esta situación indica que, para la obtención del valor de la intensidad de lluvia, se requiere el dato de tiempo de concentración y la utilización de la curva de intensidad-duración-periodo de retorno (Curva IDF). En este caso para la microcuenca, se utilizará la curva de intensidad-duración-periodo de retorno de la estación meteorológica más cercana con información relevante para el sitio de análisis. Para el cálculo de la Intensidad Máxima de Lluvia (I) se consultaron las curvas IDF y ecuaciones correspondientes a la estación automática del Aeropuerto de Pavas (Rojas, 2011). Dicha estación se localiza a 5.9 km al noreste de la urbanización Bosque de Santa Ana (Figura N°4).

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

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

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

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_i^2}}$$

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 la quebrada está formada por *n* tramos de diferente longitud, cada uno de ellos con pendiente variable; de tal manera que cada tramo posee un valor de pendiente determinado a partir del cociente de la diferencia de alturas y el tramo de longitud constante en el cauce, tal y como se logra visualizar en el Cuadro N°2 y Figura N°5.

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

Alturas	Longitud (m)	S	L/\sqrt{s}
710	0	0	0
720	103,11	0,0970	331,1
730	26,74	0,3740	43,7
740	5,44	1,8396	4,0
750	8,16	1,2249	7,4
760	5,73	1,7459	4,3
770	9,85	1,0150	9,8
780	26,43	0,3783	43,0
790	54,70	0,1828	127,9
800	21,48	0,4656	31,5
810	15,07	0,6634	18,5
820	1057,91	0,0094	10896,5
830	1101,22	0,0091	11556,1
840	557,59	0,0179	4163,6
850	788,41	0,0127	7010,9
860	621,08	0,0161	4894,7
870	334,05	0,0299	1930,7
880	91,64	0,1091	277,4
890	81,26	0,1231	231,6
900	113,04	0,0885	380,1
910	27,57	0,3627	45,8

Fuente: Propia, 2020.

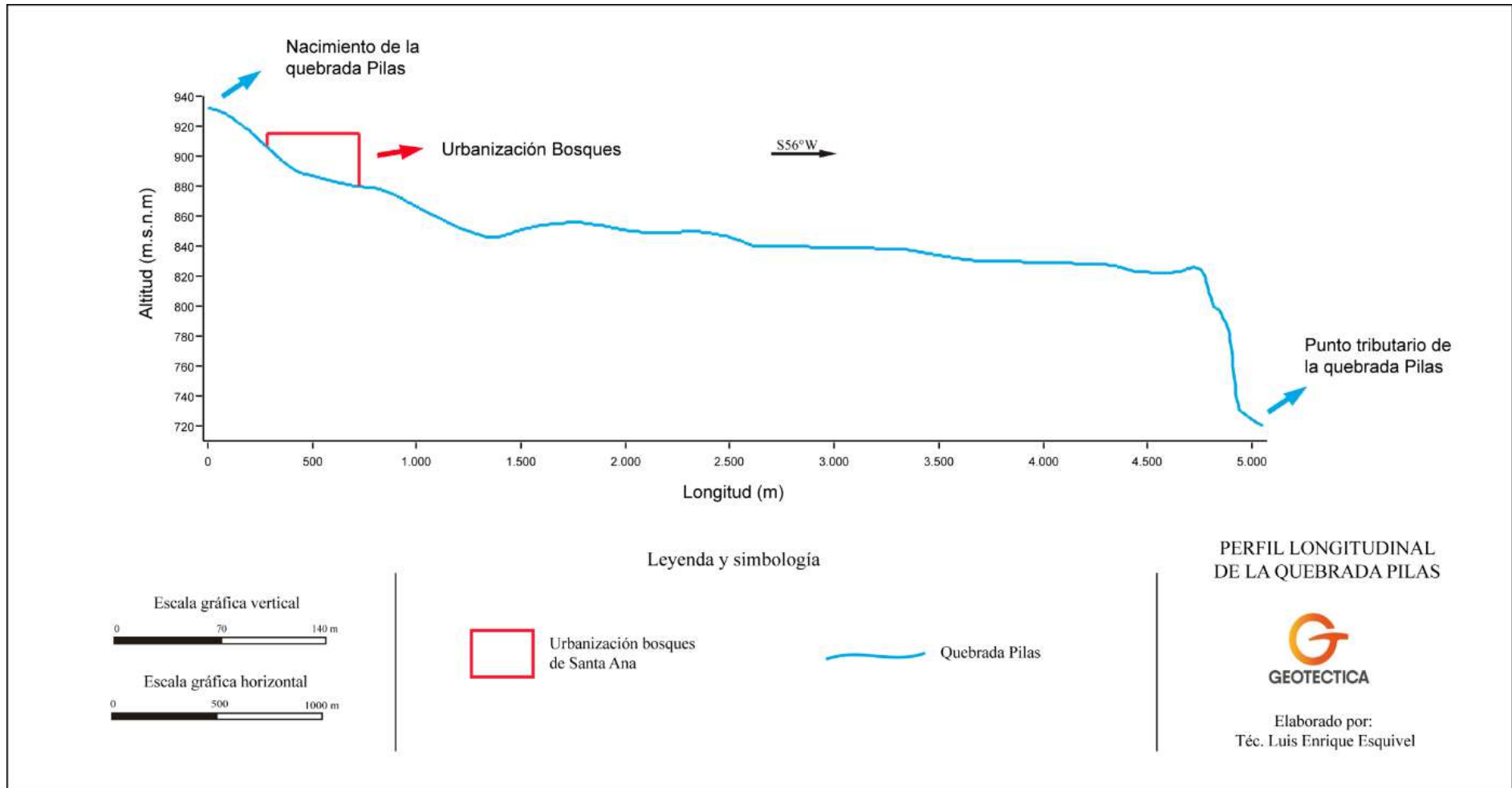


Figura N°5. Perfil de la quebrada Pilas.

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

Finalmente, S es:

$$S = \left(\frac{L}{\sum \frac{L1}{\sqrt{s1}}} \right)^2 = \left(\frac{5050.50}{41982.85} \right)^2 = 0.0144$$

Donde:

S = pendiente media del cauce.

L = Longitud de la quebrada Pilas (5050.50 m).

$\sum \frac{L1}{\sqrt{s1}}$ = Sumatoria, (41982.85).

De esta forma, utilizando este método, la S correspondiente para la microcuenca de la quebrada Pilas es, S = **0.0144 o 1.44%**.

El método que incluye esta ecuación considera que un río está formado por *n* tramos de diferente longitud, cada uno de ellos con pendiente uniforme; de tal manera que cada tramo posee un valor de pendiente determinado a partir del cociente de la diferencia de alturas y la longitud del cauce delimitada por esas alturas. En la Figura N°5 se observa el perfil de longitudinal de la quebrada Pilas, misma que presenta una dirección sur 56° oeste hasta su punto de tributación, en los últimos 100 m del cauce se genera la mayor diferencia de elevación, siendo estos tramos los que presentan mayores pendientes sobre la quebrada.

- **Tiempo de concentración Fórmula de Kirpich**

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

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

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

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.

Por lo tanto, el t_c estimado de la quebrada Pilas, definiendo una longitud de cauce de 5050.50 m, para el punto más alto del cauce con una altura aproximada de 916 m.s.n.m; así como en el punto de desembocadura con una altura de 717 m.s.n.m. De esta forma, la diferencia de altura entre los puntos extremos del cauce principal brinda un valor $\Delta H=199$ metros.

Por lo tanto:

$L= 5050.50$ m

$\Delta H= 199$ m

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{5050.50^3}{199} \right)^{0.385} = 48.12 \text{ min}$$

En resumen, el valor del tiempo de concentración obtenido, para el caso de la microcuenca de la quebrada Pilas que traza la urbanización Bosques, nos indica el dato de intensidad en la curva IDF; para este caso, se asumirá un tiempo de concentración conservador de 48.12 min.

De esta forma el valor de intensidad varía según el periodo de retorno, establecido desde 63.2 mm/h en 5 años, hasta 100.7 mm/h en 500 años. 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:

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

I = Intensidad de lluvia (mm/h).

T = Periodo de Retorno (años).

D =Tiempo de concentración (minutos).

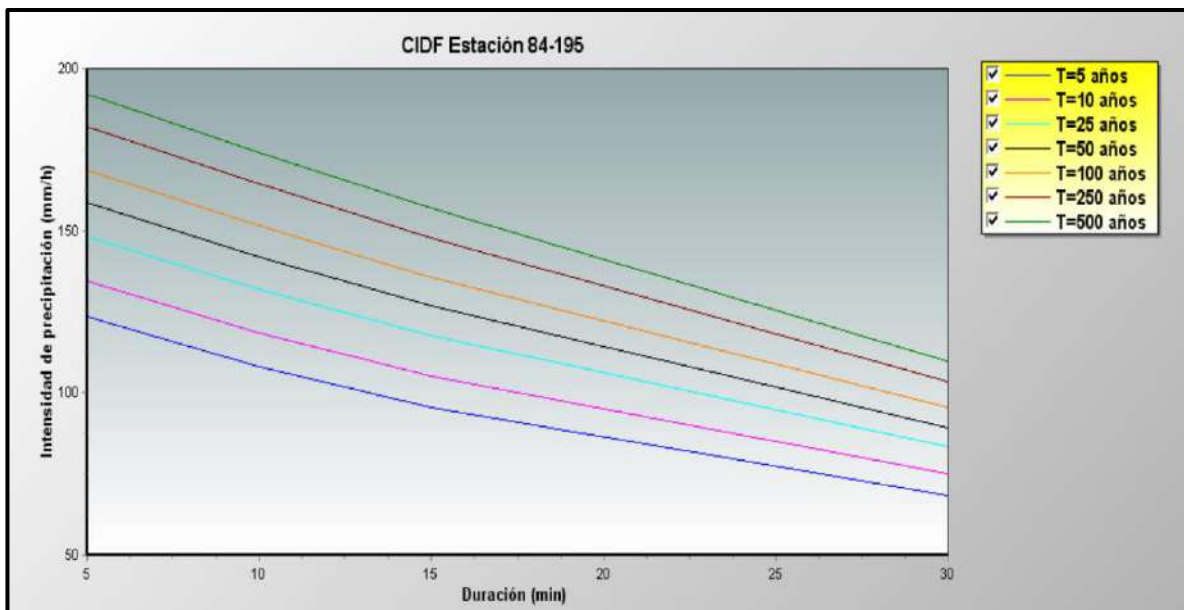


Gráfico N° 1. Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno para la estación de Pavas. (Fuente: Rojas, 2011.)

- **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 ($C_1+C_2+C_3$) de la zona de aporte pluvial, misma que se observa en la Figura N°3.

De esta forma, se llega a la siguiente expresión:

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

Donde:

C = coeficiente de escorrentía ponderado.

C_i = coeficiente de escorrentía para el área A_i.

A_i = área parcial i.

Para determinar el valor de C₁ para la microcuenca de la quebrada Pilas, se elaboró un mapa de uso de suelo para la zona con base en fotografías aéreas del año 2020 (imágenes obtenidas en la base de Google Earth) y el mapa del plan regulador de la municipalidad de Santa Ana, publicado el 2013, información recopilada en el IGN y la información obtenida durante las visitas de campo.

La zona de aporte pluvial de la quebrada Pilas presenta una cobertura de suelo principalmente asociada a bosque secundario, así como un área de alta densidad urbana, abarcando entre los dos usos un área de 85.50 ha, que corresponde al 71% del área total de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Pilas.

Mediante el mapa de uso de suelos se logra identificar los tipos de texturas de suelo, que se exhiben en el área de estudio, y para 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 edafológica 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:

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.

Entisoles (Limo Arcilloso): Son suelos derivados de fragmentos de roca suelta, su origen es muy reciente formados sobre abanicos aluviales, llanuras de inundación, o en las montañas en áreas cuya erosión geológica está en equilibrio con el desarrollo de suelos. Su principal característica es la carencia de horizontes diagnóstico (se caracterizan por una combinación de atributos que reflejan resultados generalizados, comunes, de procesos de formación de suelos o indican condiciones específicas de formación de suelos) (INTA, 2015).

Esta textura de suelo se cataloga como limo arenosa, esto debido a los aportes aluviales, que arrastra materiales arenosos, y bloques redondeados de roca. El suelo presente en el AP, como en la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Pilas, es producto de la alteración por intemperismo de las rocas que conforman la litología local, misma que se

observó en el entorno inmediato de la urbanización Bosques. En el Figura N°7 se aprecia lo indicado en los párrafos anteriores, sobre la textura de suelo del área en estudio.

El valor de C3 es el aspecto que relaciona la pendiente del terreno, éste se ha derivado de la determinación y clasificación de las pendientes de la zona en estudio, que fue generada a través de la elaboración de un modelo de elevación digital (MED), construido utilizando las curvas de nivel establecidas cada 10 metros dentro de la zona de aporte pluvial de microcuenca de la quebrada Pilas y su respectiva clasificación de pendientes en los rangos que establece el método del Mac Math. Las pendientes de la zona de aporte de la quebrada Pilas se han establecido con predominancia de valores entre 2 a 10%, localizadas en distintas partes de la zona de influencia pluvial. Respecto a las pendientes de 20 a >50%, estas poseen la menor presencia en la zona de estudio, esto en relación a los demás porcentajes de pendiente (Figura N°8).

Una vez obtenidos los valores de C que dependen de la cobertura de vegetación, textura del suelo y porcentaje de pendiente, se utiliza el álgebra de mapas para establecer el cálculo de la C media ponderada, misma que según el método de Mac Math constituye el resultado de la suma de todos los valores de C asignados, para las diferentes áreas (Figura N°9). De esta forma, el valor de C compuesto para la zona de aporte pluvial de la microcuenca quebrada Pilas es de **0.53**:

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 de la quebrada Pilas
Uso de suelo	120	28.32	C1 =0.24	0.53
Textura		17.34	C2=0.14	
% Pendiente		18.57	C3=0.15	

Respecto a los valores de escorrentía expuestos se puede mencionar que en el área inmediata de la urbanización Bosques de Santa Ana (Figura N°9), la escorrentía se puede catalogar entre media y alta, ya que sus valores rondan entre 0.51% y 0.92%, por lo que actualmente se aporta una cantidad de agua importante a la quebrada Pilas, dichos valores se ven reflejados en la cobertura de suelo, donde predomina el uso urbano. Además, la textura de suelo está compuesta por materiales limo arcillosos. En relación con las pendientes estas varían sobre el área del proyecto, donde se logra observar distribuidas por toda la propiedad pendientes medias entre 2 y 10%, mientras que al Este su valor aumenta hasta 20%. Por lo que la escorrentía en el área del proyecto se podría considerar como semidirecta.

Una vez obtenidas las variables incluidas en el Método Mac-Math se calculan los valores de caudales máximos en función de diferentes periodos de retorno (Cuadro N° 5 y 6), para la zona de aporte pluvial de la quebrada Pilas:

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

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 (**0.53**).

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°5**).

A= área de la zona de aporte, en ha (**120.16**).

S= pendiente promedio del cauce principal, en % (**0.0144**).

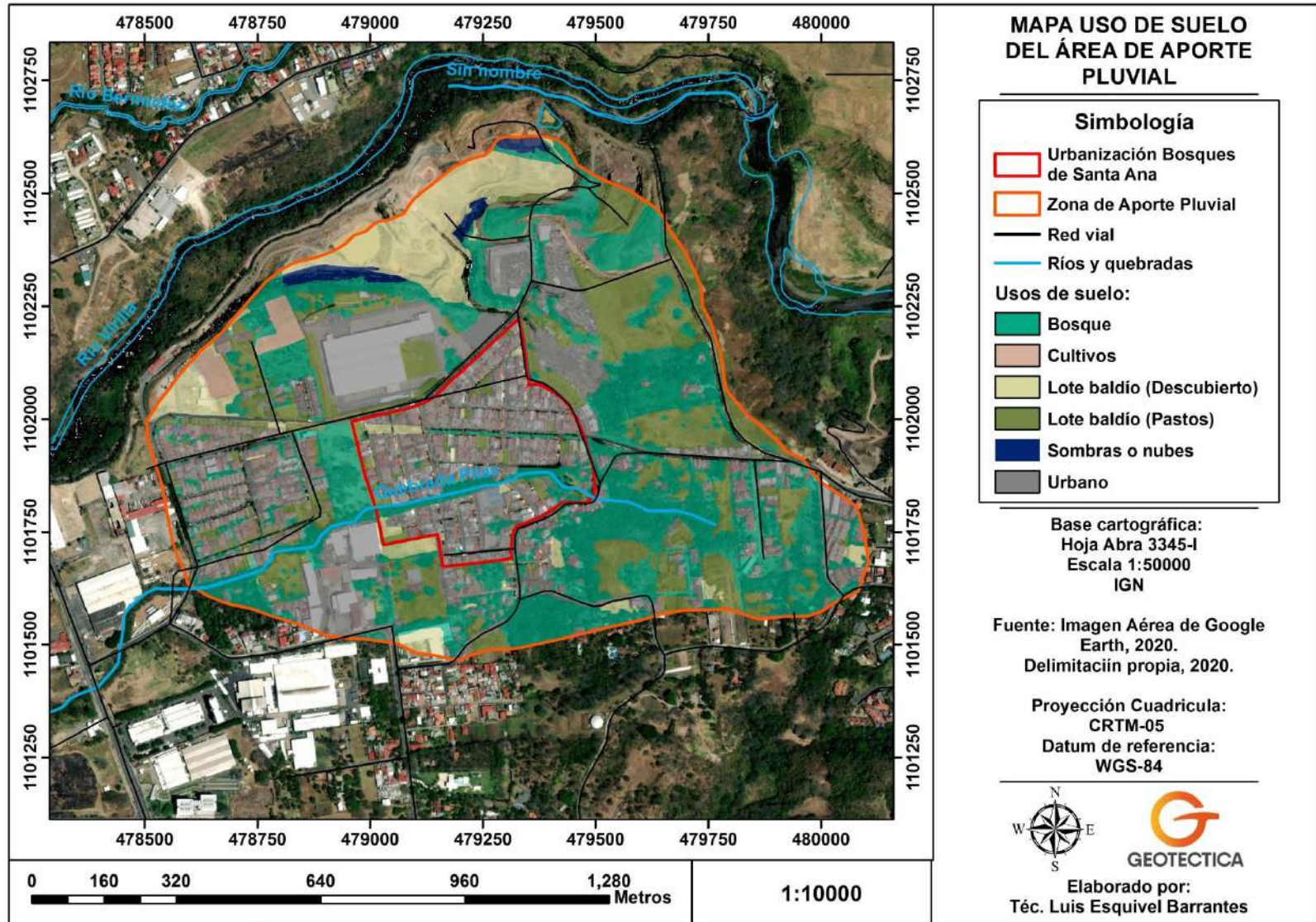


Figura N°6. Delimitación del uso del suelo de la zona de aporte pluvial de la microcuenca de la quebrada Pílas.

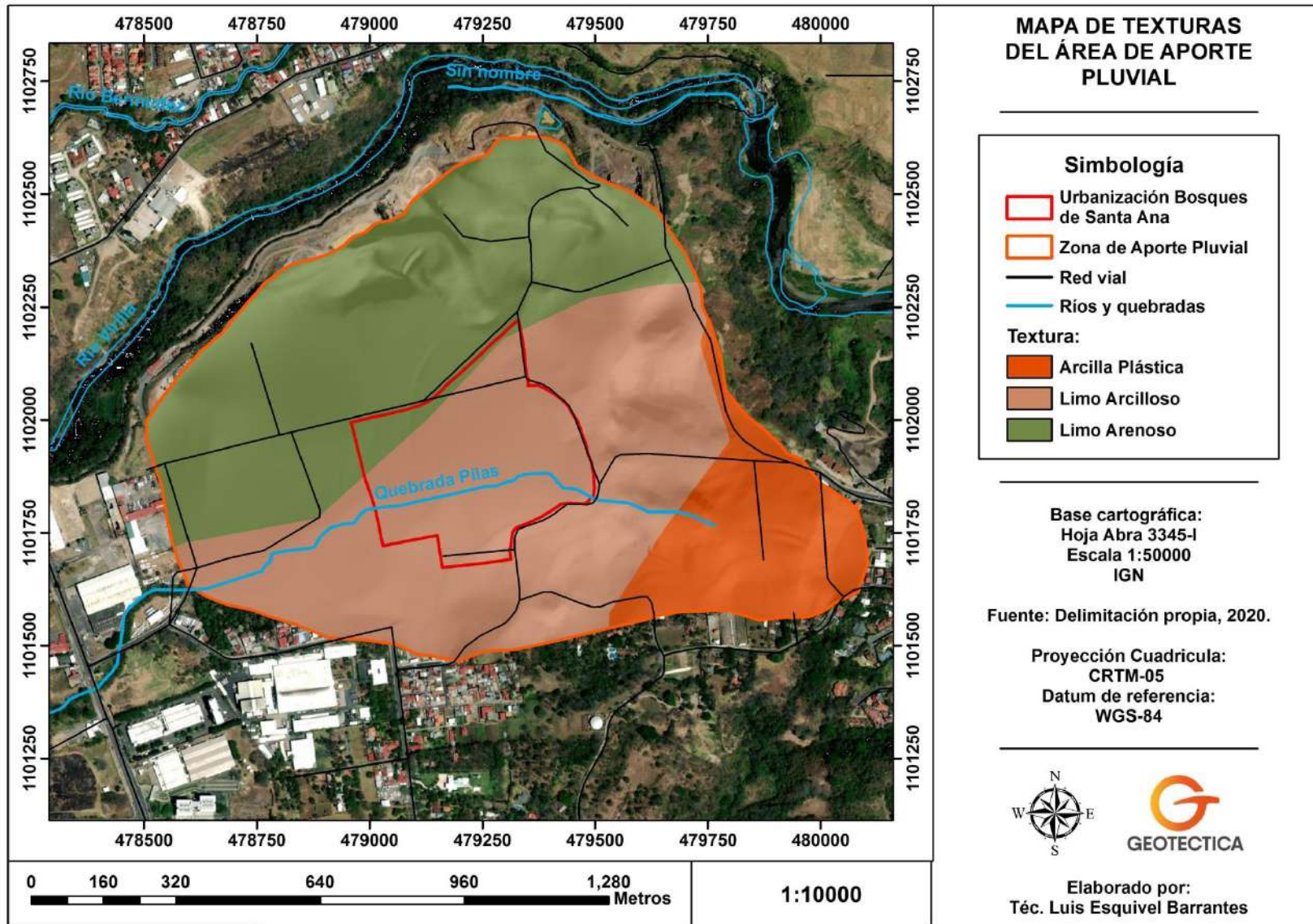


Figura N°7. Mapa de Textura de Suelos de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Pillas.

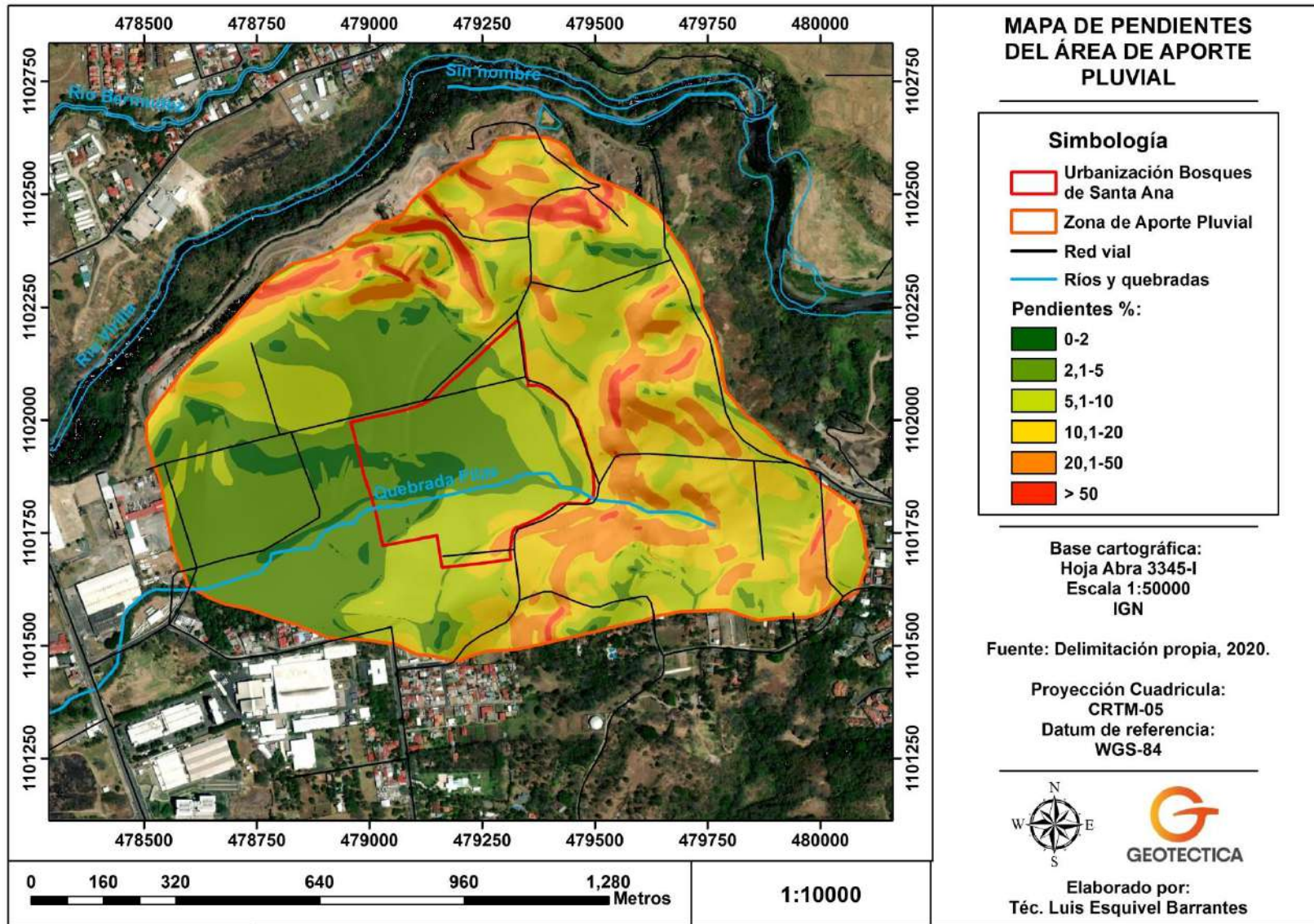


Figura N°8. Mapa de pendientes de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Pilas.

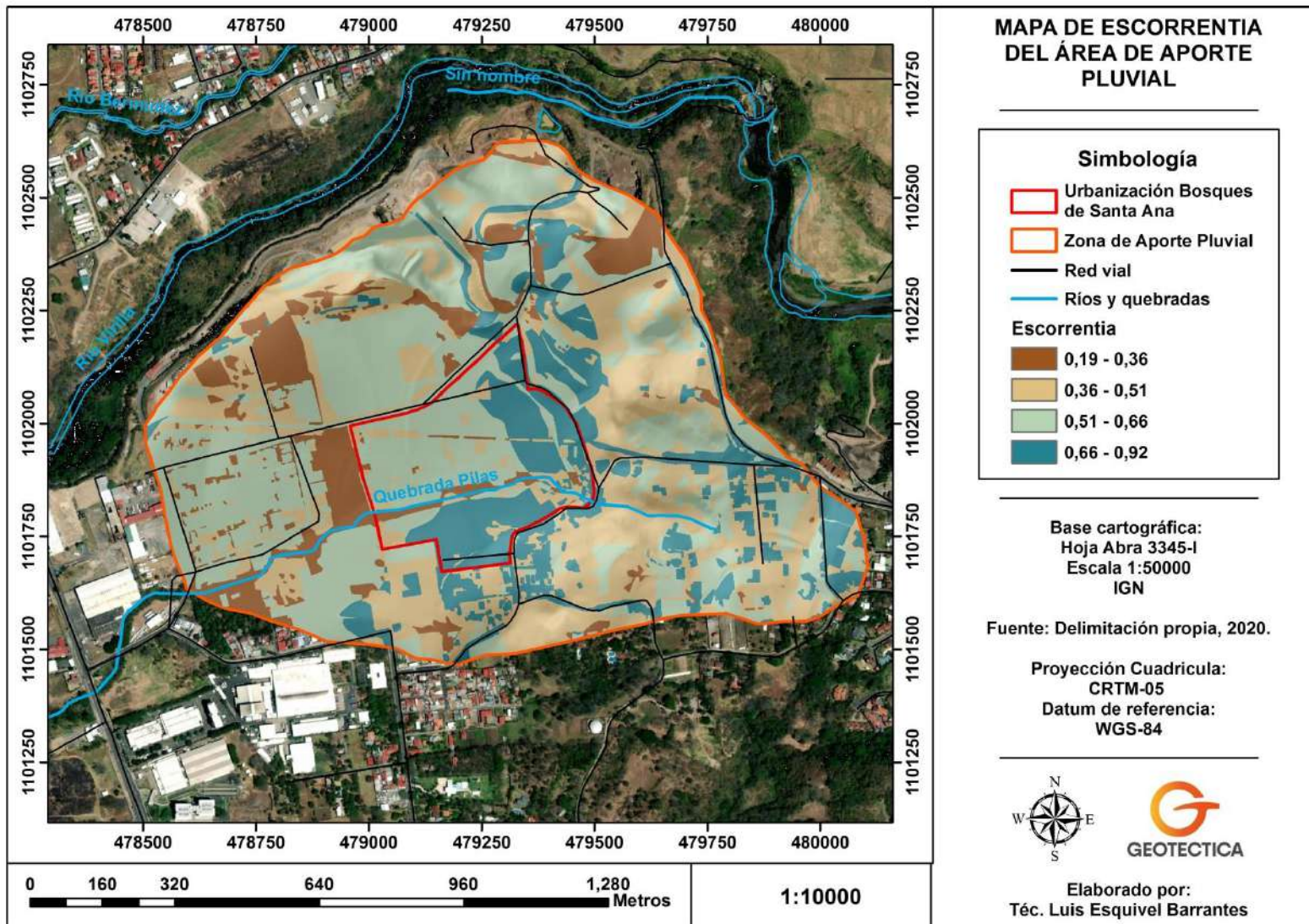


Figura N°9. Mapa de rangos de coeficiente de escorrentía de la zona de aporte de la microcuenca de la quebrada Pilas.

Cuadro N°5. Valores para el caudal de avenida máxima de la zona de aporte microcuenca de la quebrada sin nombre.

Valores de Intensidad de lluvia en función del periodo de retorno, para una duración estimada de 48.12 minutos							
Periodo de Retorno (años)	5	10	25	50	100	250	500
Intensidad (mm/h)	63.2	67.8	74.4	79.8	85.6	93.9	100.7
Caudal de avenida Máxima(m ³ /s)	6.02	6.46	7.09	7.60	8.15	8.94	9.59

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

Para estimar el caudal máximo instantáneo aportado por el proyecto, se hará uso del Método Racional, el cual calcula por medio de la siguiente expresión:

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 del terreno del proyecto, en Ha.

La urbanización Bosques de Santa Ana posee un área de 16.73 ha, la misma aporta sus aguas pluviales a la quebrada Pilas, 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 2.1-5 %) y texturas de suelo (predomina limo arcilloso), lo cual supone un cálculo correcto y preciso del caudal aportado a la quebrada Pilas.

Se realizó la estimación del caudal de avenida máxima para la zona de aporte pluvial de la quebrada Pilas, donde se hace una comparación porcentual con el caudal que genera la urbanización Bosques de Santa Ana, mismo que es calculado por el método Racional, este implica un 29.3% relativo a un aporte de 2.23 m³/s, en proporción con el caudal correspondiente a 7.60 m³/s transportado a través de la zona de aporte de la microcuenca para una intensidad de 105.6 mm/h y un periodo de retorno de 50 años. Mientras que la estimación aplicada para un periodo de retorno de 100 años y una intensidad de 85.6 mm/h, se obtienen un resultado de 29.3%, porcentaje que concuerda con el cálculo realizado anteriormente para un periodo de retorno de 50 años.

Se deduce que la urbanización Bosques de Santa Ana genera el 29.3% del caudal total que transporta la quebrada Pilas 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 o desbordamientos.

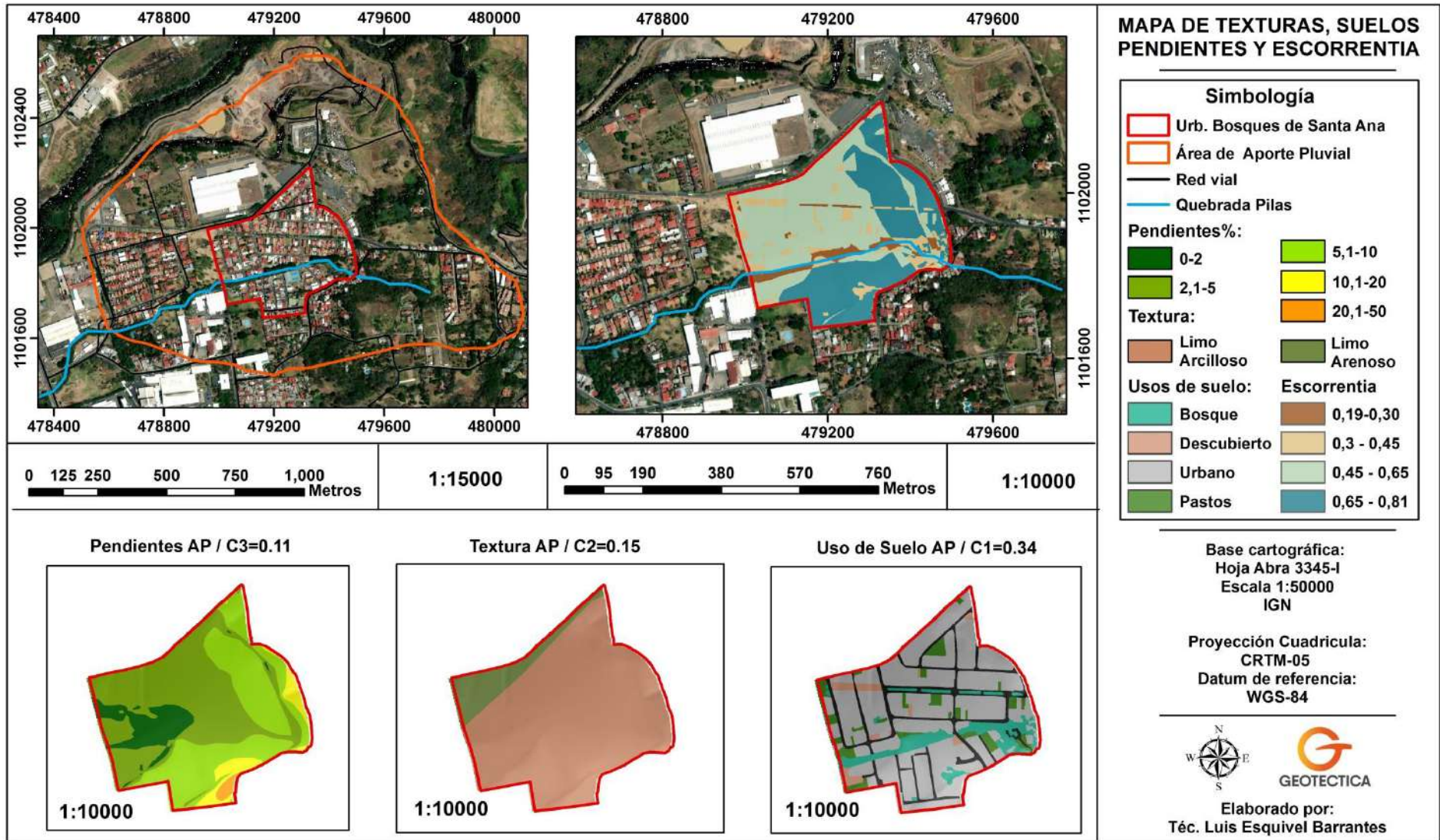


Figura N°10. Mapa de Pendientes, Textura y Uso de suelo del AP.

Cuadro N°6. Valores para el caudal máximo aportado por la urbanización Bosques de Santa Ana hacia la quebrada Pilas

Área (Ha)	16.73
C Escorrentía (0.34+0.15+0.11)	0.60
I para T=50 años (mm/h)	79.8
I para T=100 años (mm/h)	85.6
Q prom para I=50 años (m³/s)	2.23
Q prom (m³/s) para I=100 años	2.39

3- MODELACIÓN HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA PILAS

Para la modelación hidráulica se realizó un levantamiento topográfico a detalle en campo de cinco sectores de la quebrada Pilas, las labores constan en medir con el nivel óptico topográfico las altitudes del canal de la quebrada y con esto poder modelar la quebrada Pilas por medio del programa Hec-Ras 5.0.7, software que indica la capacidad hidráulica a detalle del cauce.

En el Anexo 3 se observan las labores realizadas sobre la quebrada Pilas y las coordenadas exactas de cada sector, además se presenta en forma de mapa los sitios cartográficos analizados para la modelación.

3.1.1. Modelación mediante el HEC-RAS 5.0.7.

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

Para la quebrada analizada en el presente estudio, el uso de un modelo hidráulico estimado con el software HEC- RAS es suficiente y adecuado para evaluar las características del flujo, en particular los niveles de agua y posibles desbordamientos que se generen para caudales en periodos de retorno de 50, 100 y 250 años. El modelo HEC-RAS requiere la inclusión de la geometría a detalle de las secciones transversales, a partir de las cuales se obtienen los parámetros hidráulicos para el cálculo de las condiciones de flujo analizado.

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

En Anexos 3 se exponen las secciones transversales de la quebrada Pilas, así como sus tirantes críticos y normales para caudales de avenida máxima de 7.60 m³/s (Pr: 50 años), 8.15 m³/s (Pr: 100 años) y 8.94 m³/s (Pr: 250 años).

La longitud que existe entre el sector A y D es de 305 m aproximadamente, la diferencia de elevación entre ambos sectores es de 4.94 m, ya que la elevación del sector A es de 873.41, mientras la elevación del sector D es de 868.47; así se nota que la quebrada Pilas en los sectores levantados cuenta con total capacidad hidráulica para transportar las avenidas máximas calculadas (Figura N°11).

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

Del Cuadro N°7 se puede mencionar que el número de Froude en el sector C-3 es menor a 1, esto generado para periodos de retorno de 50, 100 y 250 años, el número de Froude influye directamente en las condiciones hidráulicas del cuerpo de agua en análisis, ya que este indica que el flujo que atraviesa la quebrada Pilas es de tipo subcrítico, donde los tirantes de agua son mayores que los críticos, además la velocidad en el fluido es de régimen lento, tranquilo y fluvial, siendo adecuado para canales principales.

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

En relación al resto de tramos analizados (Cuadro N°7) 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.

Respecto a la velocidad en el cauce se puede observar que los sitios con un número de Froude menor a 1 no sobrepasan a 1.46 m/s, mientras que los sectores con números de Froude mayores a 1 presentan velocidades entre 2.48 y 6.87 m/s, por lo que se reflejan las altas velocidad en la mayor parte del cauce.

Cuadro N°7. Resumen de resultados obtenidos tras la modelación en HEC-RAS para caudales de 7.60 m³/s (Pr: 50 años), 8.15 m³/s (Pr: 100 años) y 8.94 m³/s (Pr: 250 años)

Sector	Periodos de retorno (años)	Elevación mínima del canal (m.s.n.m.)	Elevación del agua (m.s.n.m.)	Elevación del tirante crítico (m.s.n.m.)	Elevación de la línea de energía (m.s.n.m.)	Pendiente de la energía (m/m)	Velocidad del agua en canal (m/s)	Área efectiva del agua sobre la sección transversal (m ²)	Ancho de lámina de agua (m)	Numero de Froude
A-5	250	876.91	868.93	868.93	869.27	0.015878	2.58	3.46	5.17	1.01
	100		868.88	868.88	869.21	0.0166064	2.52	3.23	5.06	1.01
	50		868.85	868.85	869.16	0.016225	2.48	3.06	4.98	1.01
B-4	250	867.08	868.09	868.1	868.46	0.016297	2.69	3.32	4.56	1.01
	100		868.05	868.05	868.40	0.016428	2.63	3.10	4.47	1.01
	50		868.01	868.01	868.35	0.016928	2.60	2.92	4.39	1.02
C-3	250	866.03	867.54	867.03	867.65	0.003371	1.5	5.98	5.86	0.47
	100		867.47	866.98	867.58	0.003358	1.46	5.59	5.69	0.47
	50		867.42	866.95	867.52	0.003336	1.43	5.32	5.56	0.47
D-2	250	865.79	866.91	866.91	867.3	0.016812	2.76	3.23	4.23	1.01
	100		866.86	866.86	867.23	0.016655	2.68	3.04	4.14	1.00
	50		866.83	866.83	867.18	0.016730	2.63	2.88	4.08	1.00
E-1	250	862.04	862.7	863.27	865.1	0.192024	6.87	1.3	2.62	3.11
	100		862.66	863.21	865.00	0.199889	6.78	1.20	2.57	3.16
	50		862.64	863.17	864.94	0.207048	6.72	1.13	2.54	3.21

Fuente. Propia, 2020.

En relación a las corridas realizadas en el software, se puede definir que la quebrada Pilas no presentara desbordamientos en los tramos analizados, por lo que se concluye que las inundaciones que se han presentado en la urbanización Bosques de Santa Ana no son producto del cauce analizado, ya que según la modelación este posee la capacidad hidráulica para evacuar aguas producto de precipitaciones extraordinarias asociadas a tormentas con periodos de retorno de 50, 100 y 250 años.

Tras el recorrido realizado se logró observar que el tramo del cauce que colinda con la cancha de tenis posee varios árboles de tamaño importante los cuales han extendido sus raíces sobre el lecho de la quebrada Pilas, lo que ocasiona un obstáculo para el paso del agua, donde se generan remansos y cierta socavación en los taludes del canal, por lo que se recomienda hacer una corta de los árboles, donde se ejecuten todos los permisos y trámites pertinentes ante el SINAC, mitigando el impacto del ecosistema local.

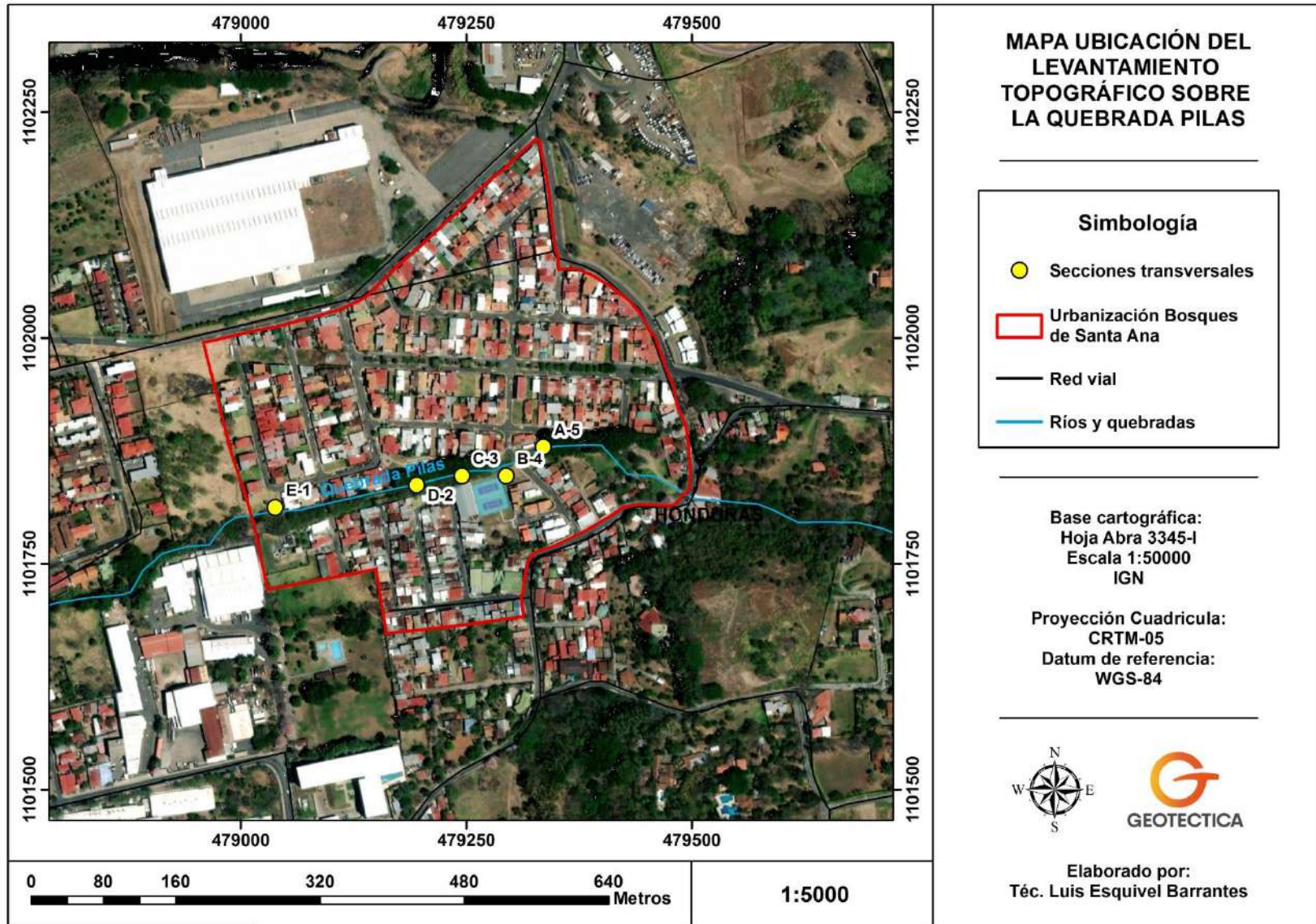


Figura N°11. Mapa del levantamiento topográfico sobre la quebrada Pilas.

4- MODELACIÓN HIDRÁULICO DE LA RED PLUVIAL

4.1.1.Labores de campo

Para la modelación de la red pluvial de la urbanización Bosques se ejecutaron varias labores de campo, las cuales constan de la georreferenciación de los nodos o pozos de registro por medio de un sistema de posicionamiento global (GPS), así como la apertura de las tapas metálicas del sistema para la valoración in situ del estado de los tubos pluviales. Es importante mencionar que estas labores se complementan con el recorrido a detalle sobre la zona de aporte pluvial de la microcuenca de la quebrada Pilas, ya que al momento de la inspección se realizó una geoposición de los desfuegos pluviales que tributan sobre el cauce mencionado. En relación a las labores de campo sobre la red pluvial y la urbanización Bosques, en el Anexo 5 se observa el detalle de las actividades in situ. Además, se representa en forma de mapa la red pluvial de la urbanización Bosques de Santa Ana.

4.1.2.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 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 subcuencas. 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 subcuentas y para el drenaje subterráneo estos representan las bocas de visita de los colectores y la conexión entre la cota del drenaje superficial y la cota del drenaje subterráneo (Rincón Ortiz & Muñoz, 2013).

La metodología de evaluación hidráulica por medio del software EPA SWMM fue aplicada al sistema pluvial completo de la urbanización Bosques de Santa Ana, en la cual se han presentado algunas problemáticas asociadas con sobre flujo de escorrentía en carreteras y cunetas, y según los vecinos de la zona, estas situaciones ocurren todos los años.

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°8). 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.

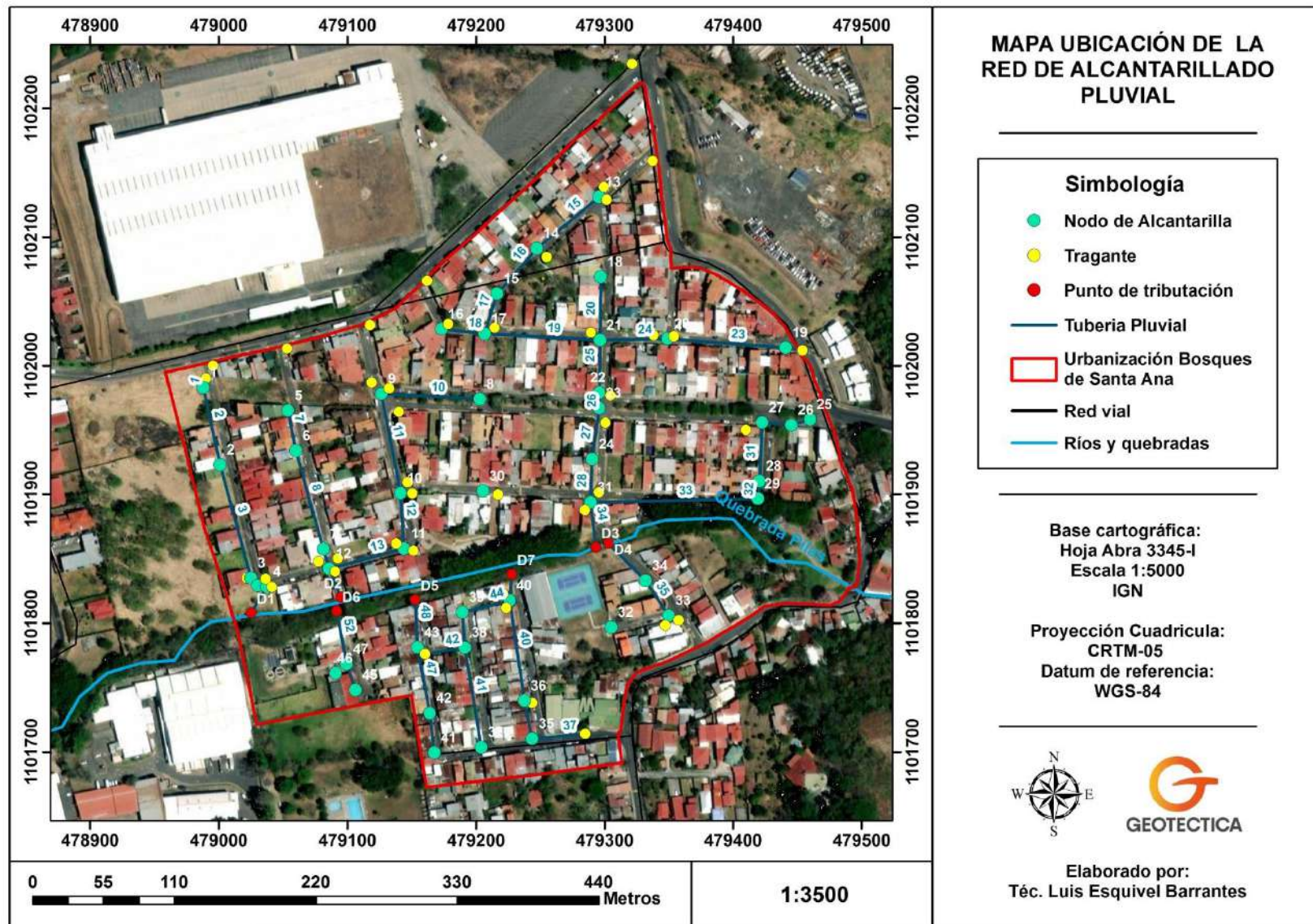


Figura N°12. Mapa de la red pluvial de la urbanización Bosques de Santa Ana.

Cuadro N°8. 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°8 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, con ecuación de ajuste obtenida (Grafico N°2), se procede con la generación del Histograma de precipitación para una duración de 30 minutos, con valores en intervalos de 5 minutos, para un Período de Retorno de 100 años (Grafico N°3).

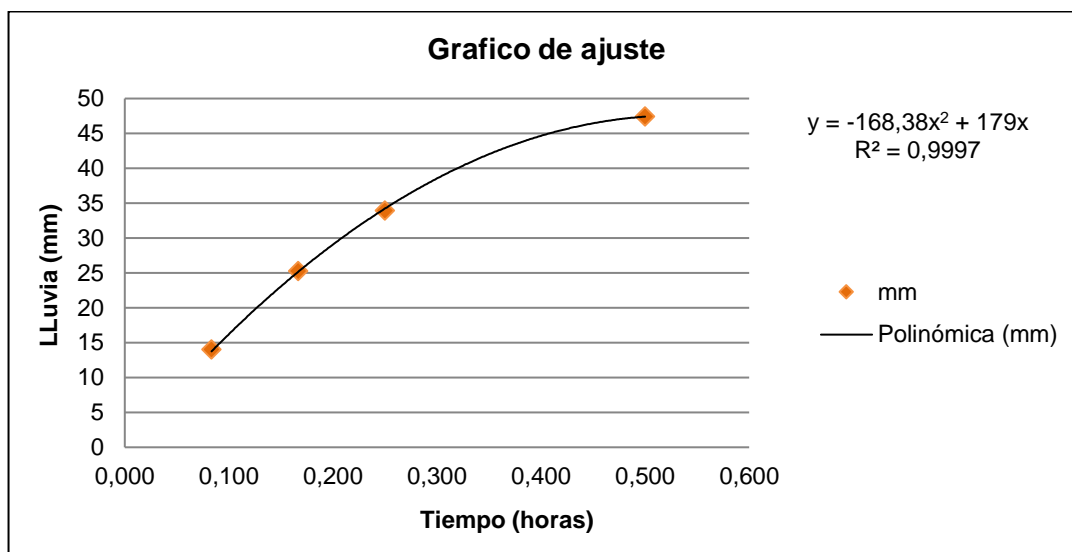


Grafico N°2. Ecuación de ajuste para conocer la precipitación que se puede generar en 30 minutos para la estación Pavas 84-195.

Según el AyA, (2017) menciona que 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.

Tras lo anterior, se aplicará el análisis hidráulico a la red pluvial de la urbanización Bosques, con un periodo de retorno de 100 años, esto con el objetivo de obtener resultados más conservadores 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).

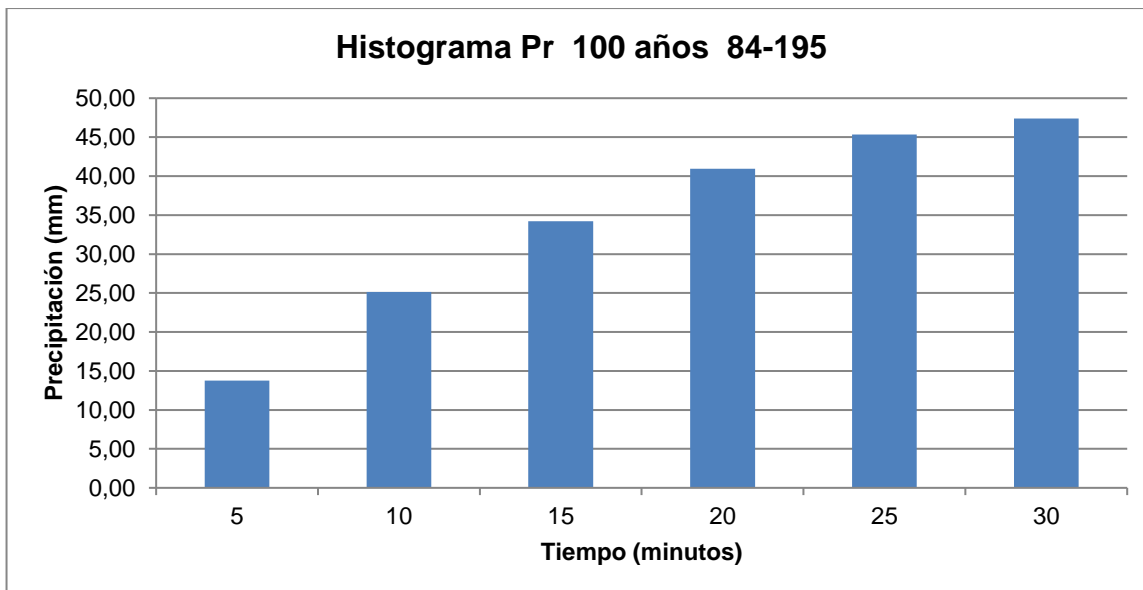


Grafico N°2. Histograma de precipitación en Periodo de Retorno de 100 años.

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, la urbanización Bosques se esquematiza con 36 subcuencas o parcelas que representan los terrenos del sitio, cada una con sus datos geométricos tales como: área, ancho de cuenca, % de área impermeable (usos de suelo) y los coeficientes de rugosidad (por tipo material).

Respecto a los pozos de registro de la urbanización Bosques de Santa Ana, estos son representados mediante 46 nodos, los cuales fueron ubicados por un GPS en campo; además las cotas fueron extraídas del levantamiento topográfico y la creación de un modelo de elevación digital (DEM) en Arcgis 10.5 según las curvas de nivel a cada metro. El sistema pluvial se compone por 43 conductos de simulación y 7 desfogues que tributan a la quebrada.

Tras la generación del esquema completo de la red pluvial de la urbanización Bosques de Santa Ana, se procede a realizar las corridas del programa considerando el histograma de precipitación mencionado (Grafico N°3). Los parámetros de corrida 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: 2 seg, 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°13 se observa el esquema elaborado en EPA SWMM de la urbanización Bosques de Santa Ana, mientras que en la Figura N°14 se presenta el mismo con la simulación ejecutada 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 la urbanización Bosques, en los mismos se puede observar el diámetro de las alcantarillas, así como los pozos pluviales y el punto de desfogue que compone la línea de evacuación pluvial hasta la quebrada Pilas. En total la urbanización Bosques se compone de 13 perfiles de simulación (Anexo 7).

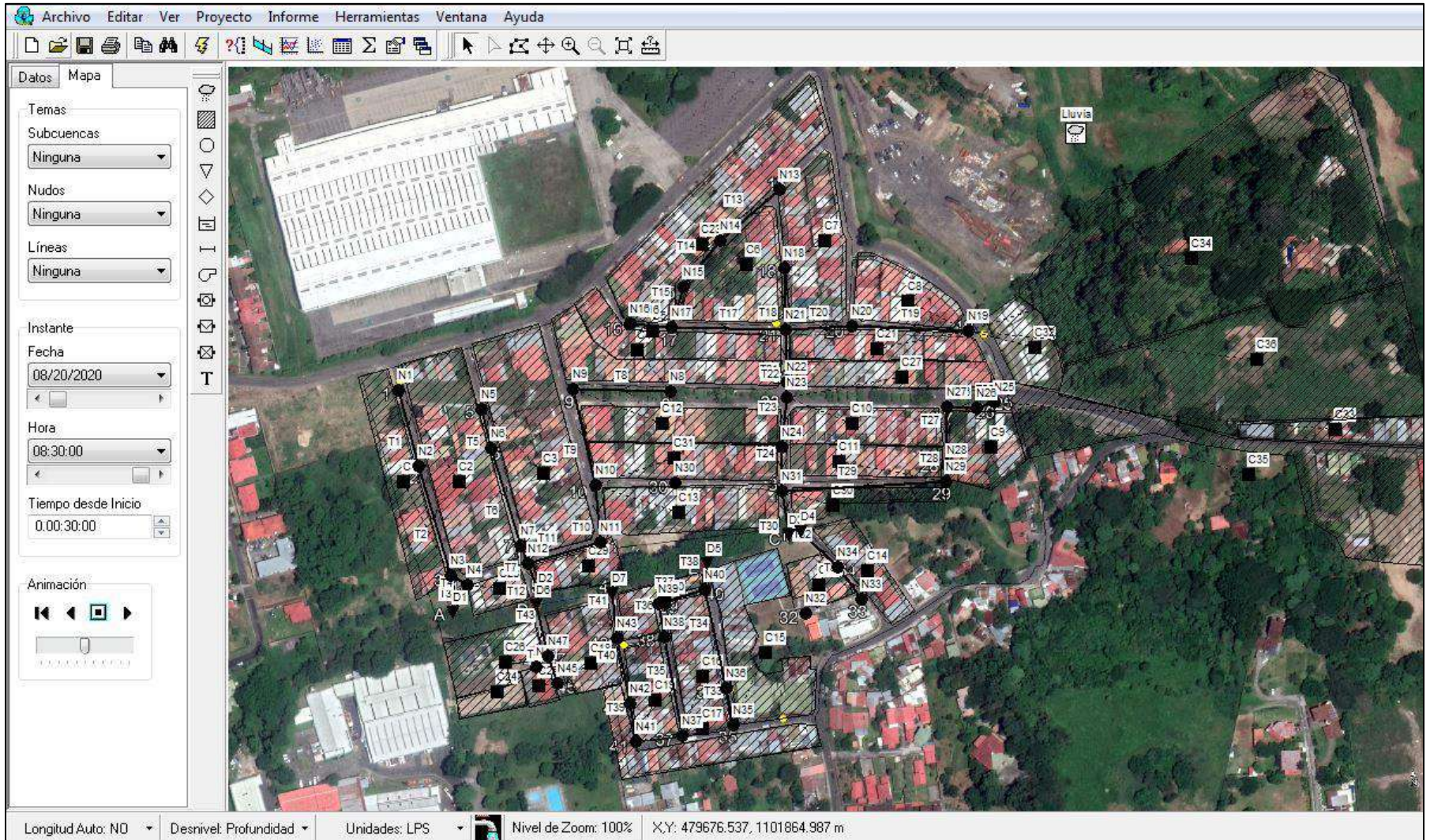


Figura N°13. Esquema de la red pluvial de la urbanización Bosques elaborado en EPA SWMM.

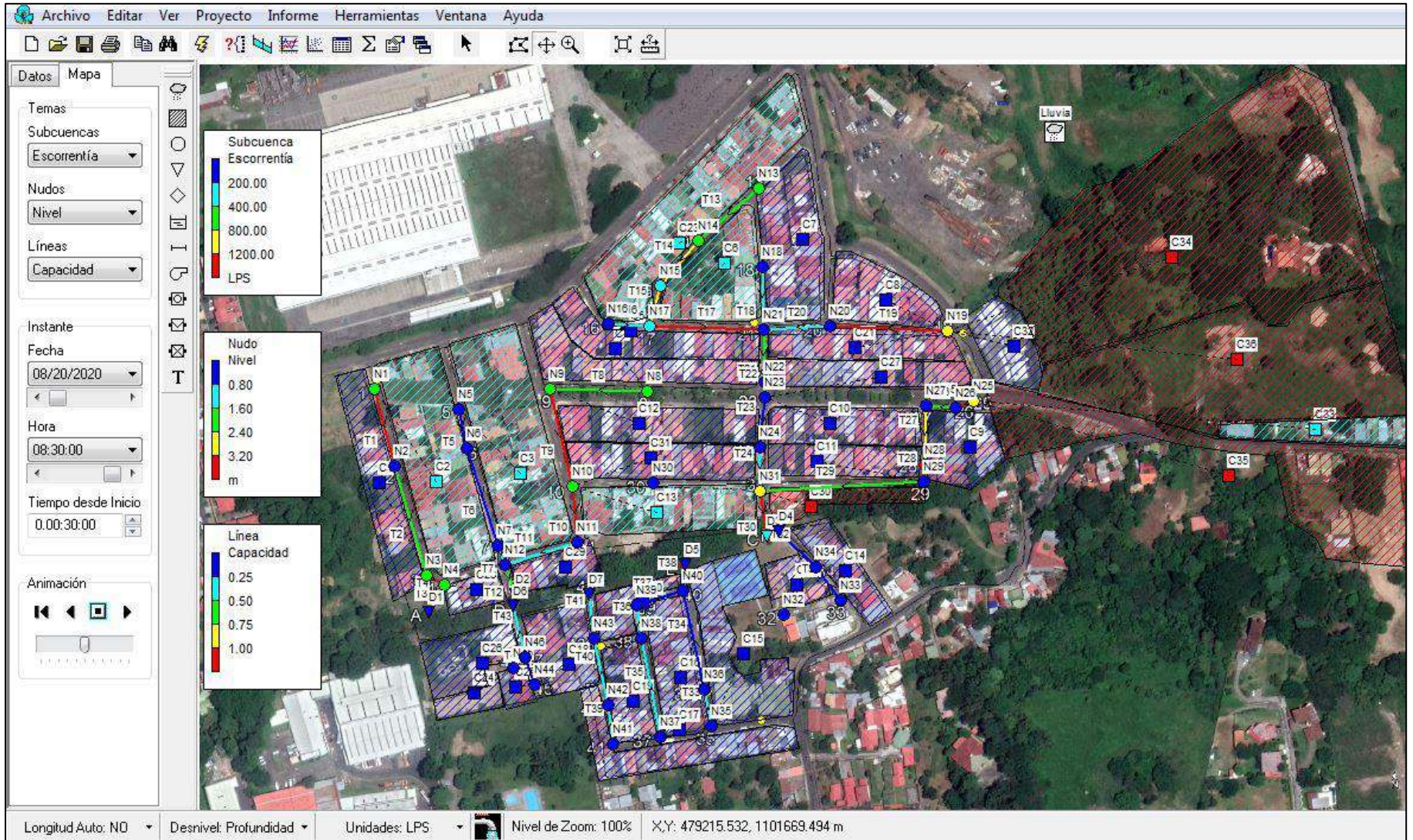


Figura N°14. Esquema de la red pluvial de la urbanización Bosques con la modelación en EPA SWMM.

4.1.3. Escorrentía cuencas (l/s)

Se puede observar la cantidad de escurrimiento en l/s que se genera tras la simulación para un periodo de retorno de 100 años (Figura N°15) sobre la urbanización Bosques de Santa Ana, donde se obtienen rangos que van desde 200 l/s a > 1200 l/s esto según la corrida generada en EPA SWMM, respecto a las “cuencas” C30, C34, C35 y C36 estas áreas son las que provocan mayor escurrimiento en el sitio de estudio (hasta 1200 l/s en el momento más crítico del evento de 100 años, a 30 minutos), debido a las pendientes altas del sector y a la impermeabilización.

Respecto a las demás “cuencas” o parcelas se observa que el flujo de escurrimiento es menor, mismo que va desde 0 l/s hasta 400 l/s, es importante mencionar que la mayor parte de las cuadras de la urbanización Bosques de Santa Ana se correlaciona con esta situación. La “cuenca” o parcela con mayor escurrimiento concuerda con la C35 (se observa en color rojo), mientras que la de menor escurrimiento es la C24 (Anexo 5).

4.1.1. Nivel del agua en nodos (m)

Respecto a los nodos y su nivel de agua al momento del evento de precipitación, se obtiene según la simulación; que la mayoría de los pozos de registro pluvial están en capacidad de soportar eventos asociados a periodos de retorno de 100 años. Los nodos: N30, N32 y N46 se encuentran colapsados por sedimentación (Anexo 1), por lo que se desconoce hacia donde se desplaza la tubería pluvial, así como la demás información estructural de los mismos.

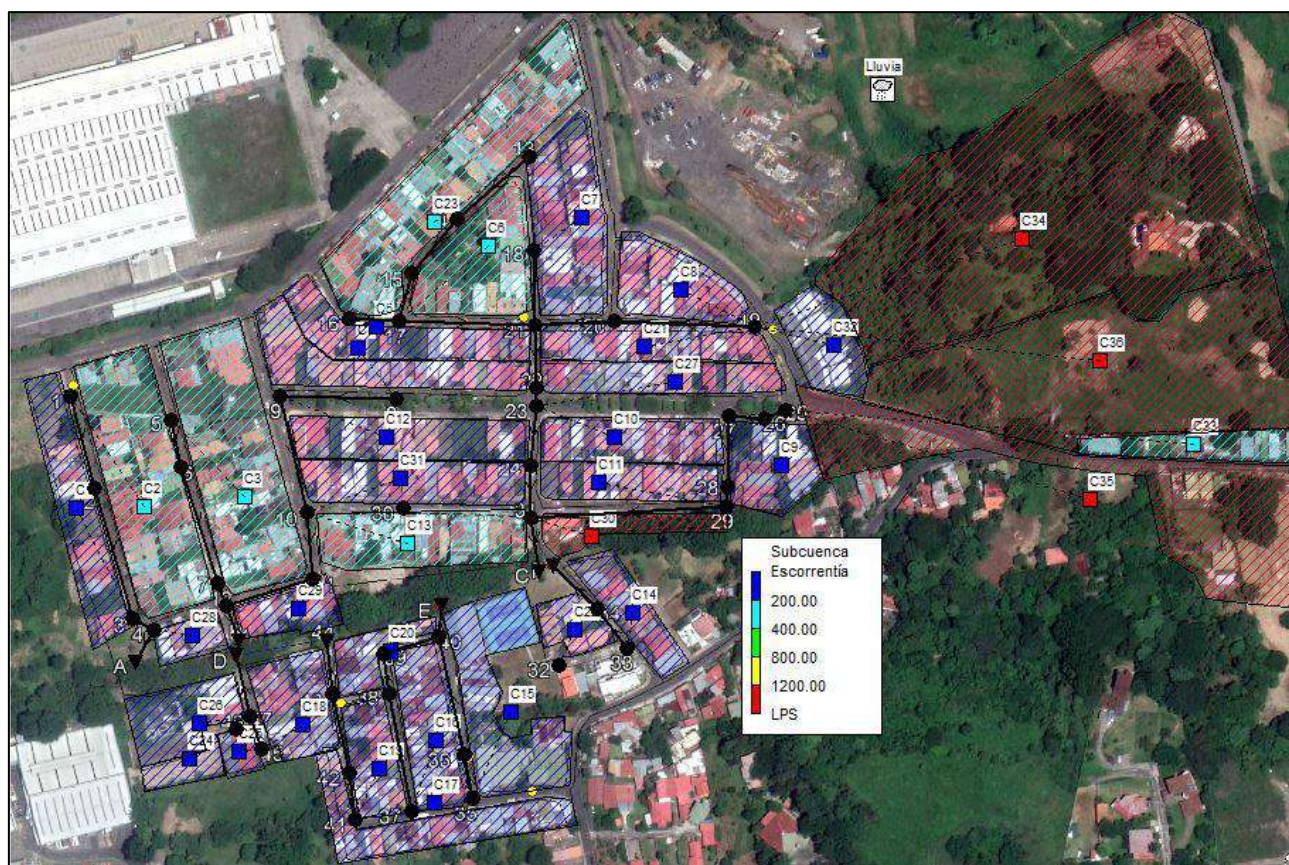


Figura N°15. Esquema de la red pluvial de la urbanización Bosques, y el análisis de las “cuencas” o parcelas (terrenos del sitio).

Además, se puede observar que el nivel en la mayoría de pozos no supera los 0.80 m, sin embargo, en los nodos: N15, N17 y el desfogue D3, se cuenta con un nivel entre 0.80 y 1.60 m (Figura N°16),

Por otro lado, los nodos N1, N3, N4, N8, N9, N10, estos poseen valores de nivel de agua entre 1.60 y 2.40 m, mientras que los nodos N19, N25 y N31 varían entre 2.40 y 3.20 m y con los datos de campo de los pozos de registro pluvial, se puede deducir que se darán desbordes, ya que, en los nodos de color verde, turquesa y amarillo, las profundidades son menores o iguales que los niveles de agua obtenidos tras la simulación. Así mismo, a esto contribuye la afectación por los sedimentos u objetos que obstruyen el paso del agua pluvial. En el Anexo 6 se observa el detalle de los datos obtenidos del EPA SWMM, tras la simulación correspondiente de la urbanización Bosques de Santa Ana.

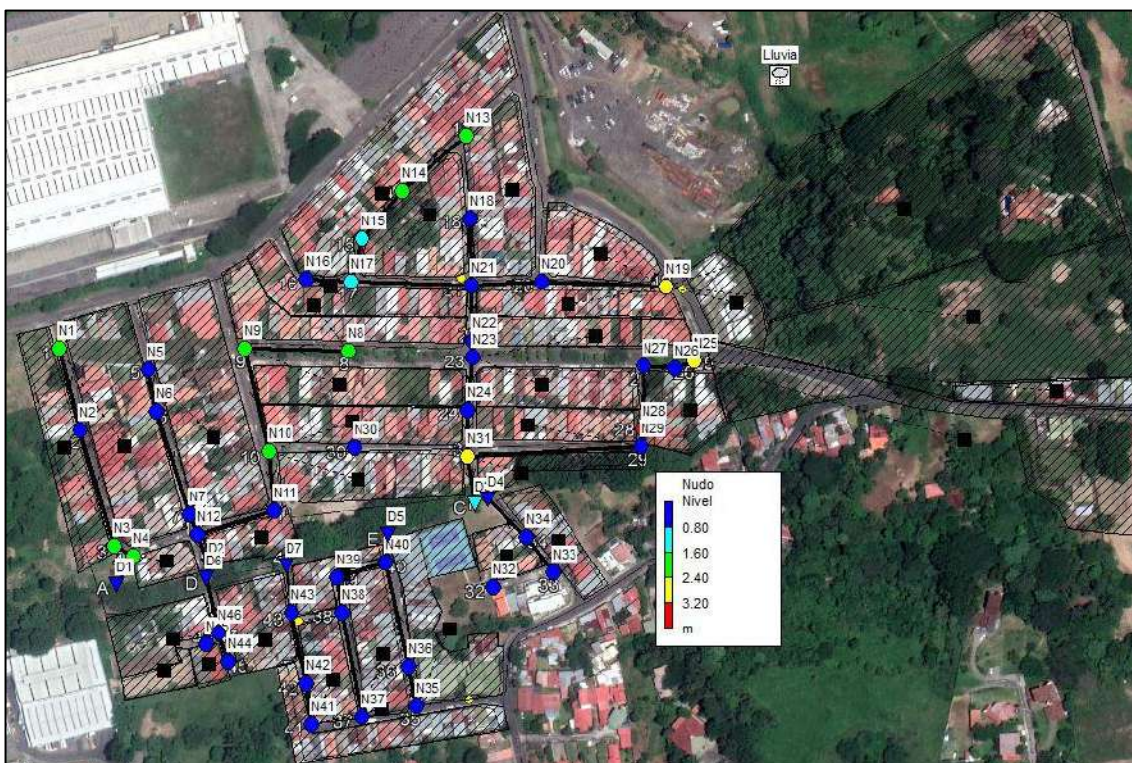


Figura N°16. Esquema de la red pluvial de la urbanización Bosques, y el análisis de los nodos (pozos de registro pluvial).

4.1.2. Capacidad de los conductos pluviales (%)

En la modelación relacionada con las tuberías pluviales o conductos, donde se cuantifica la capacidad de transporte del flujo pluvial que se genera sobre la urbanización Bosques de Santa Ana, para un evento de precipitación en un periodo de retorno de 100 años (Figura N°17), se puede observar que los conductos que poseen colores amarillos y rojos ocuparían entre 0.75 (75%) y 1 (100%) de su capacidad, por lo que se daría un colapso en las mismas al evento de precipitación de 30 minutos de forma creciente. Respecto a las demás tuberías, estas cuentan con una capacidad ocupada máxima por el evento pluvial de 0.50 (50%), por lo que se deduce que varios los conductos pluviales no cuentan con la capacidad para evacuar las aguas pluviales la urbanización Bosques de Santa Ana para un periodo de retorno de 100 años.

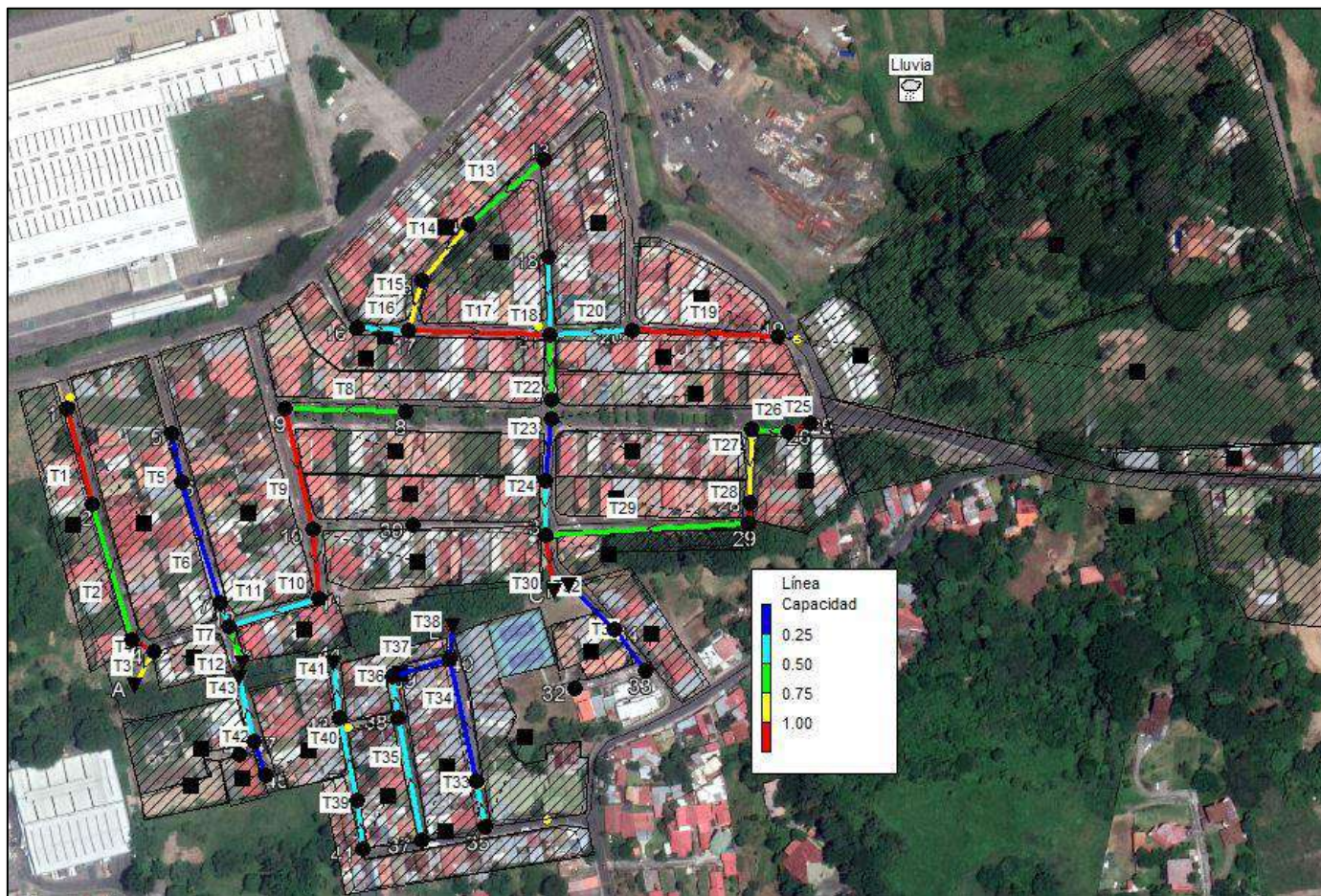


Figura N°17. Esquema de la red pluvial de la urbanización Bosques, y el análisis de los nodos (pozos de registro pluvial).

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 (Anexo 7). 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 de conductos sobrepasan el parámetro de capacidad del tirante que recomienda el AyA. Como complemento se presentan varios perfiles extraídos del EPA SWMM V.5.0 tras la modelación, donde se logra observar el colapso que tendrían las distintas líneas de la red pluvial.

4.1.3. Velocidad de los conductos pluviales (m/s)

Según el AyA, 2017 La velocidad mínima de un tramo entre dos pozos pluviales debe ser de al menos de 0,6 m/s, donde se garantiza una fuerza tractiva mínima de 0,10 Kg/cm² (1 Pa) con una capacidad del 85% de la tubería y tras la modelación en los conductos pluviales, donde se analiza la velocidad que se genera en cada línea, esto para un periodo de retorno de 100 años y un evento continuo de 30 minutos (Figura N°18), se estima una velocidad máxima real de 5,0 m/s, en los tramos entre pozos de registro pluviales. Se permiten velocidades de hasta 7,0 m/s en el tramo final (último pozo de registro pluvial-cabezal de desfogue).

Para velocidades superiores a 5,0 m/s solo se permiten tuberías de concreto con refuerzo de acero y con una resistencia del concreto de 345 kg/cm²; como requisito indispensable se debe utilizar un dissipador de energía/velocidad en la descarga al cuerpo receptor, que disminuya la velocidad a 2,5 m/s como máximo.

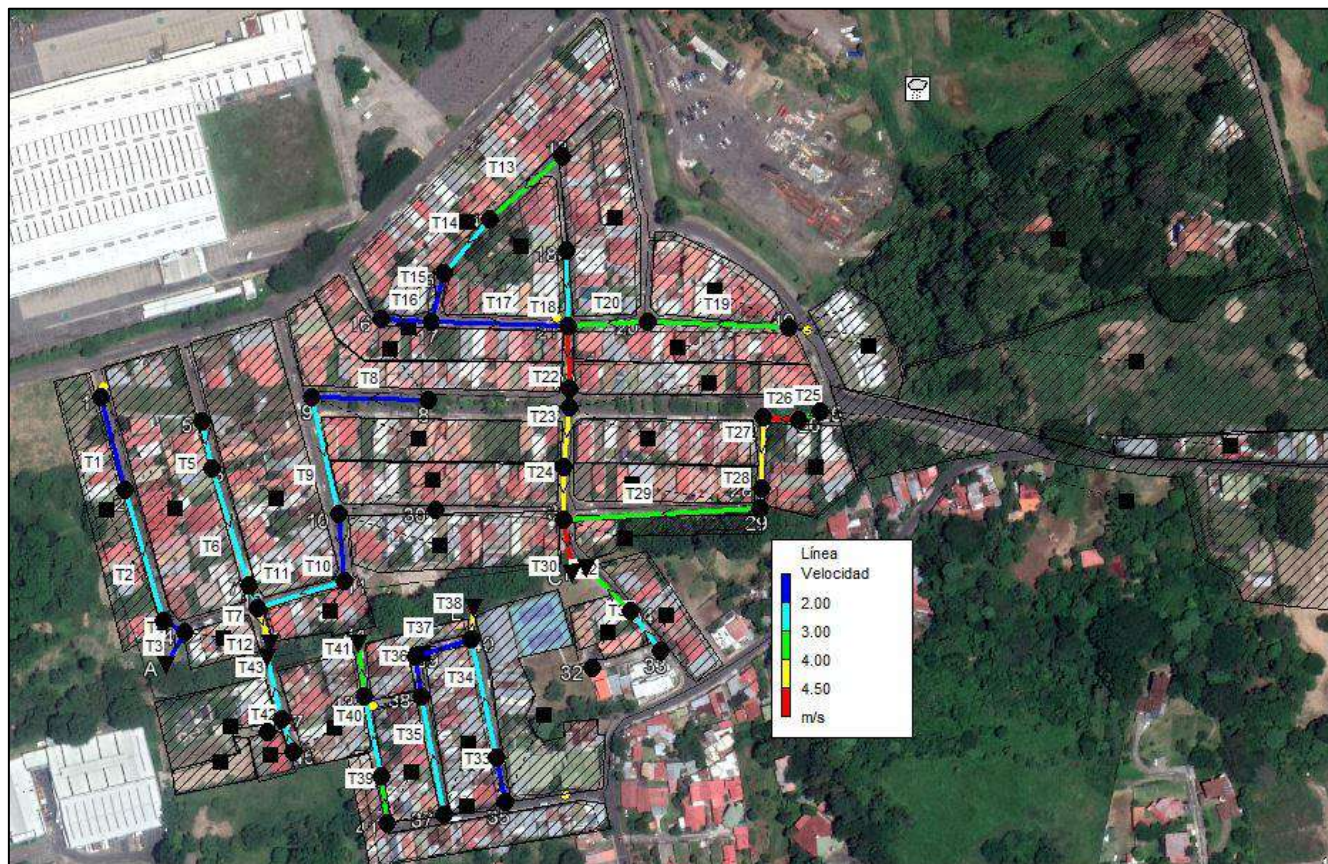


Figura N°18. Esquema de la red pluvial de la urbanización Bosques, y el análisis de los nodos (pozos de registro pluvial).

Se concluye que la velocidad en las distintas líneas cumple con lo establecido por el AyA, (2017), dado que, con respecto a los valores de velocidad, la tubería “T26” es la que posee la mayor velocidad siendo esta de 5.78 m/s, mientras que la de menor velocidad se relaciona con la “T10” con un valor de 1.54 m/s (Figura N° 18).

En relación con lo establecido por la Norma Técnica para Diseño y Construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial, generada por el AyA en el 2017, en la red pluvial de la urbanización se cumple con las velocidades idóneas de diseño.

5- MARCO GEOLÓGICO

- **Geología regional**

La geología del área de estudio se encuentra constituida por materiales de los periodos Terciario y Cuaternario, predominando las rocas volcánicas, de acuerdo con Denyer y Arias (1991), el sitio de estudio se localiza en un sector del Valle Central con una secuencia constitutiva que inicia en la parte inferior con Formación Grifo Alto, seguida la Formación Tiribí, y la Formación Colima, las cuales serán descritas a continuación (Figura N°19).

5.1.1. 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).

5.1.2. Formación Colima (Lavas Intracañón)

Se le denomina así a una secuencia de coladas separadas por flujos ignimbríticos, específicamente comprende tres Miembros de los cuales dos son lávicos y el intermedio ignimbrítico. El Miembro superior aflora en el Tajo Zamora en San Antonio de Belén y en el cauce y márgenes del Río Virilla. El Miembro inferior, por su parte, aflora en el cauce del río Virilla en su trecho más bajo, cerca de las nacientes conocidas como Potrerillos. El origen de estas coladas se asocia a emisiones por fisuración.

De otra forma se pueden describir como flujos andesíticos que constituyen las primeras emisiones del vulcanismo asociado a la Cordillera Volcánica Central (Williams 1952). Kussmaul (1988) atribuye estas lavas a emisiones a lo largo de fisuras con dirección NE-SO hasta E-O, aproximadamente paralelas al río Virilla, el espesor es de 97 metros. Denyer & Arias (1991) le confieren una edad Pleistoceno Basal.

5.1.3. 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.

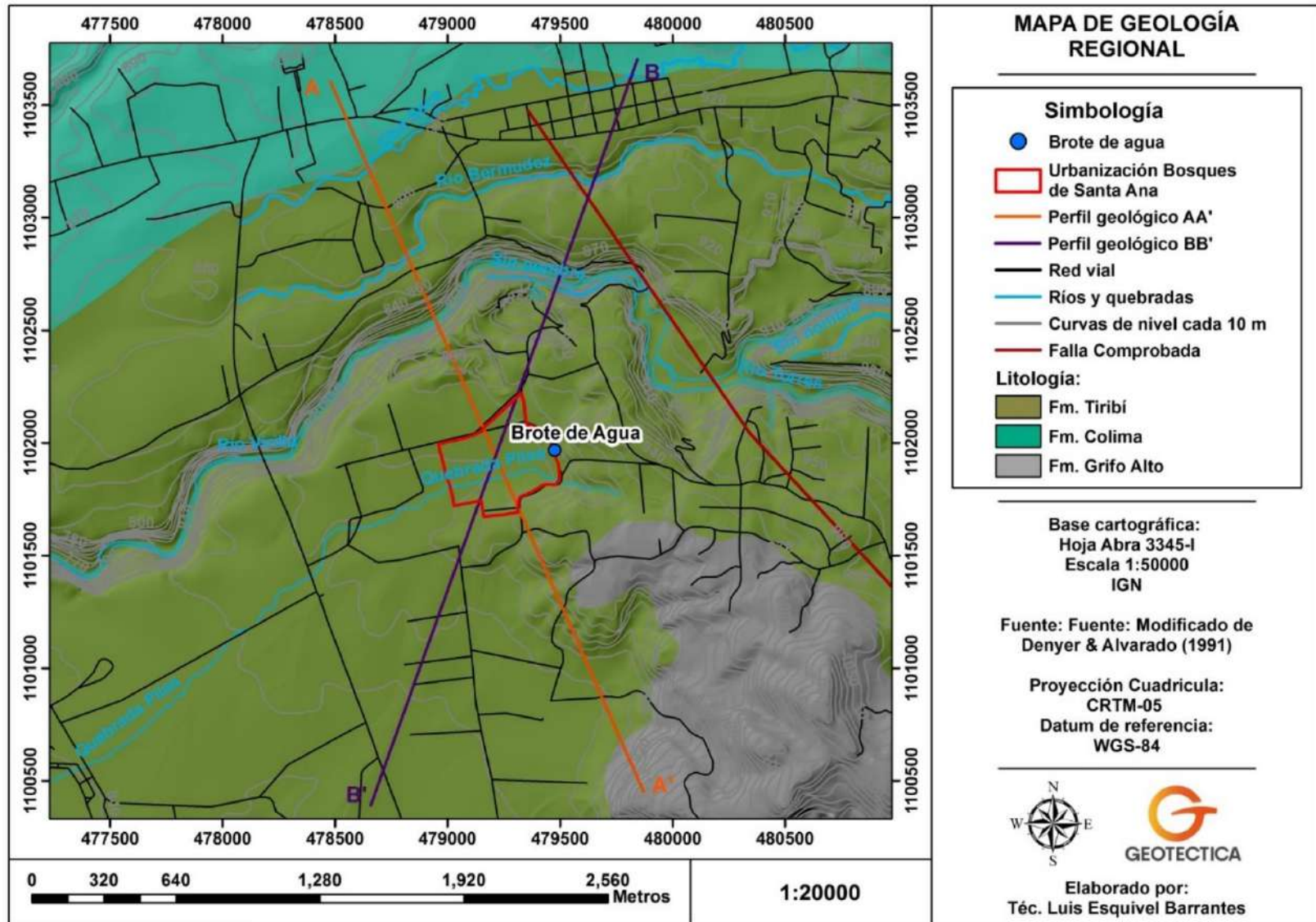


Figura N°19. Mapa geológico regional de la urbanización Bosques.

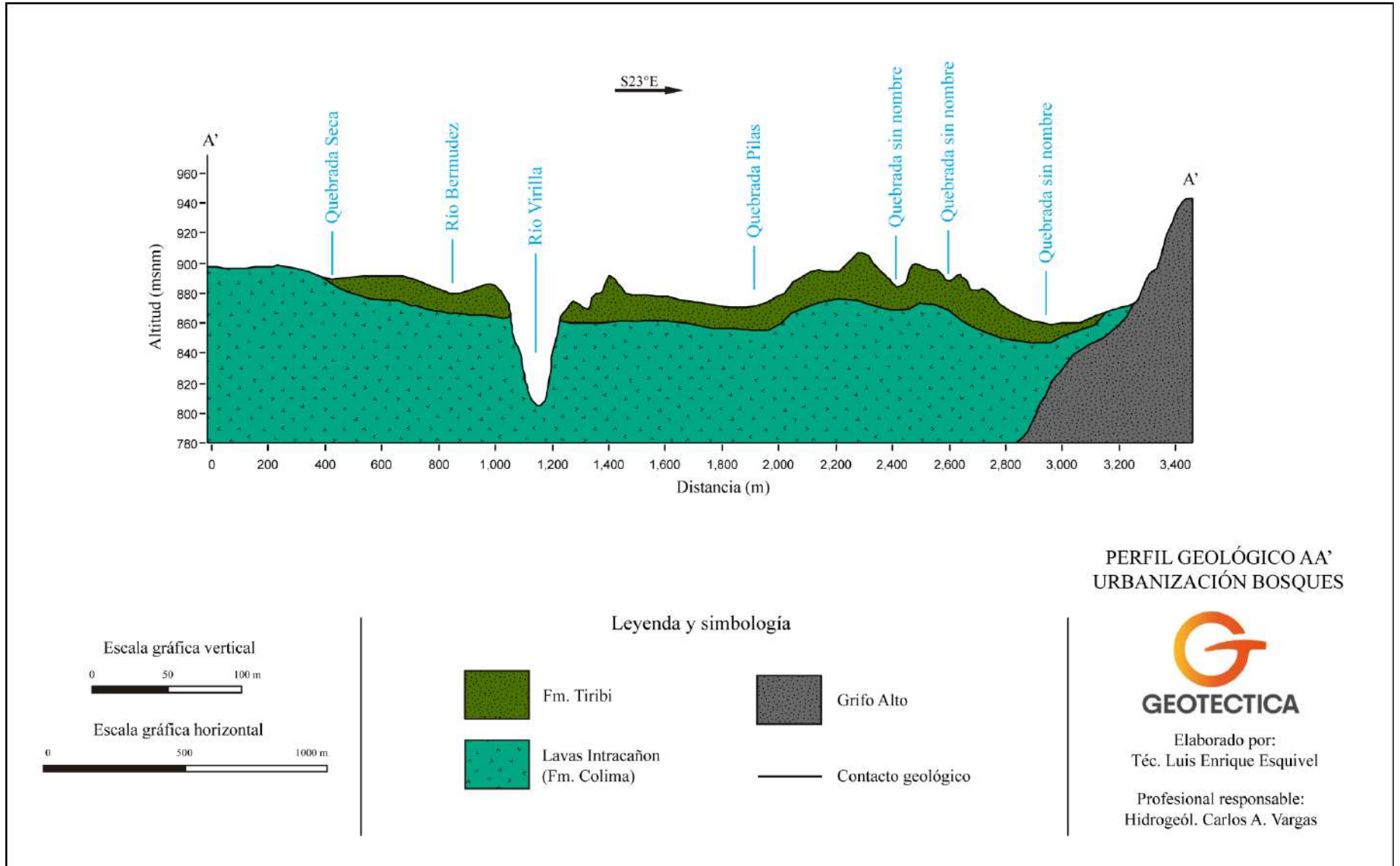


Figura N°20. Perfil geológico AA'.

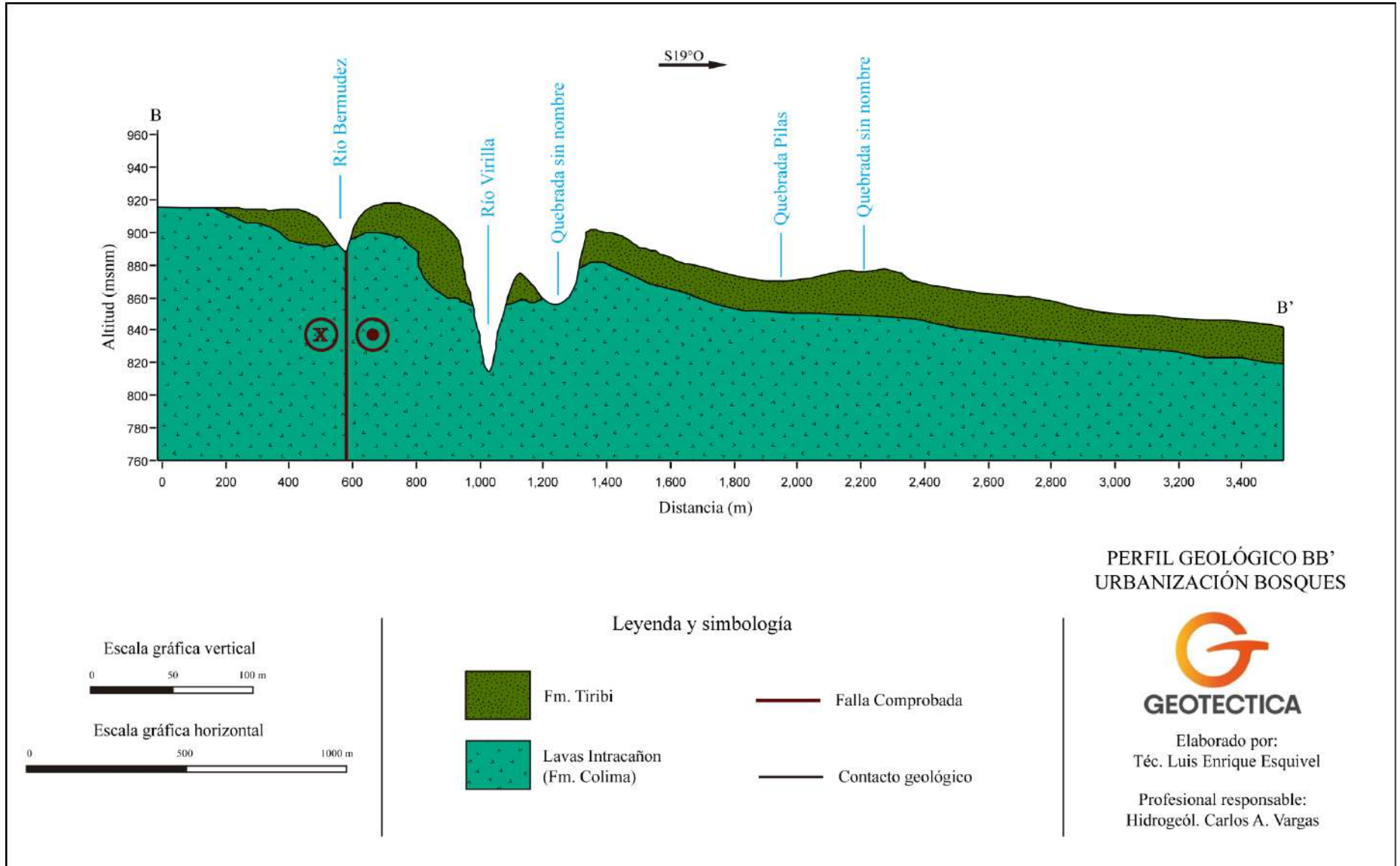


Figura N°21. Perfil geológico BB'.

- **Geología local**

En correlación con la geología regional y basada en las evidencias de campo, se efectúa un análisis geológico de las rocas y sustratos presentes en el sitio del proyecto (Figura N°22).

Formacion Pacacua

Contiguo a la carretera se encuentra una loma pequeña, la cual, en uno de sus lados de 8 m de ancho por 5 m de alto aproximadamente, se observa una roca estratificada de forma muy discontinua y con variación de espesor entre los estratos (Fotografía N°1), la cual consiste en una arenisca fina a media color gris claro, con gran aporte volcánico en la matriz, cristales de plagioclasa y anfíboles. Se trata de un afloramiento de la Fm. Pacacua, por debajo de afloramientos ubicados regionalmente abajo de la Fm. Grifo Alto o inclusive en contacto discordante lateral con los afloramientos más distantes de la Fm. Tiribi.



Fotografía N°1: Areniscas finas, de la Formación Pacacua Coordenadas 479569 E / 1101942 N.

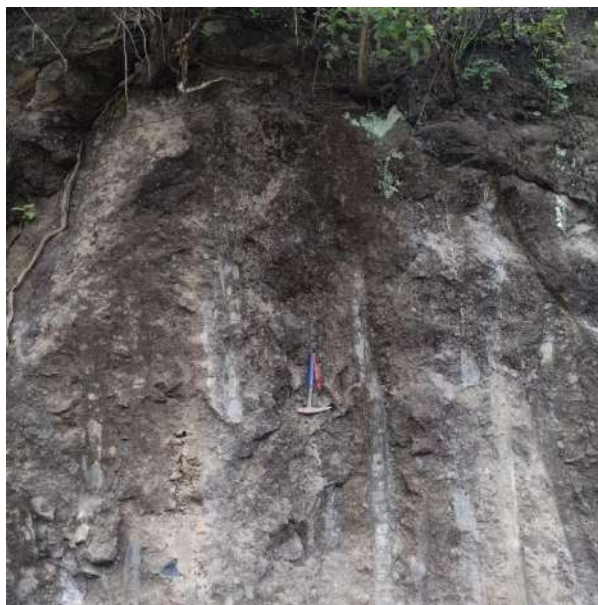
Además, se identifica otro afloramiento que consiste en una arenisca fina a media color gris claro (Fotografía N°2).



Fotografía N°2: Areniscas finas, de la Formación Pacacua Coordenadas 479409 E / 1101808 N.

Formación Tiribi

Se puede observar en un afloramiento cercano al puente del río Virilla sobre la radial. Roca de aspecto masivo y en estado sano. Afloramiento característico de la Fm. Tiribi (Avalancha Ardiente). En este caso las características más sobresalientes son el aspecto masivo (Fotografía N°3), los líticos centimétricos de forma angular correspondientes a diversas rocas de origen volcánico que se encuentran inmersos en una matriz color gris y la pátina color negro al estar expuesta a diversos agentes erosivos.



Fotografía N°3: Depositos piroclasticos, de la Formación Tiribi Coordenadas 478155 E / 1102026 N.

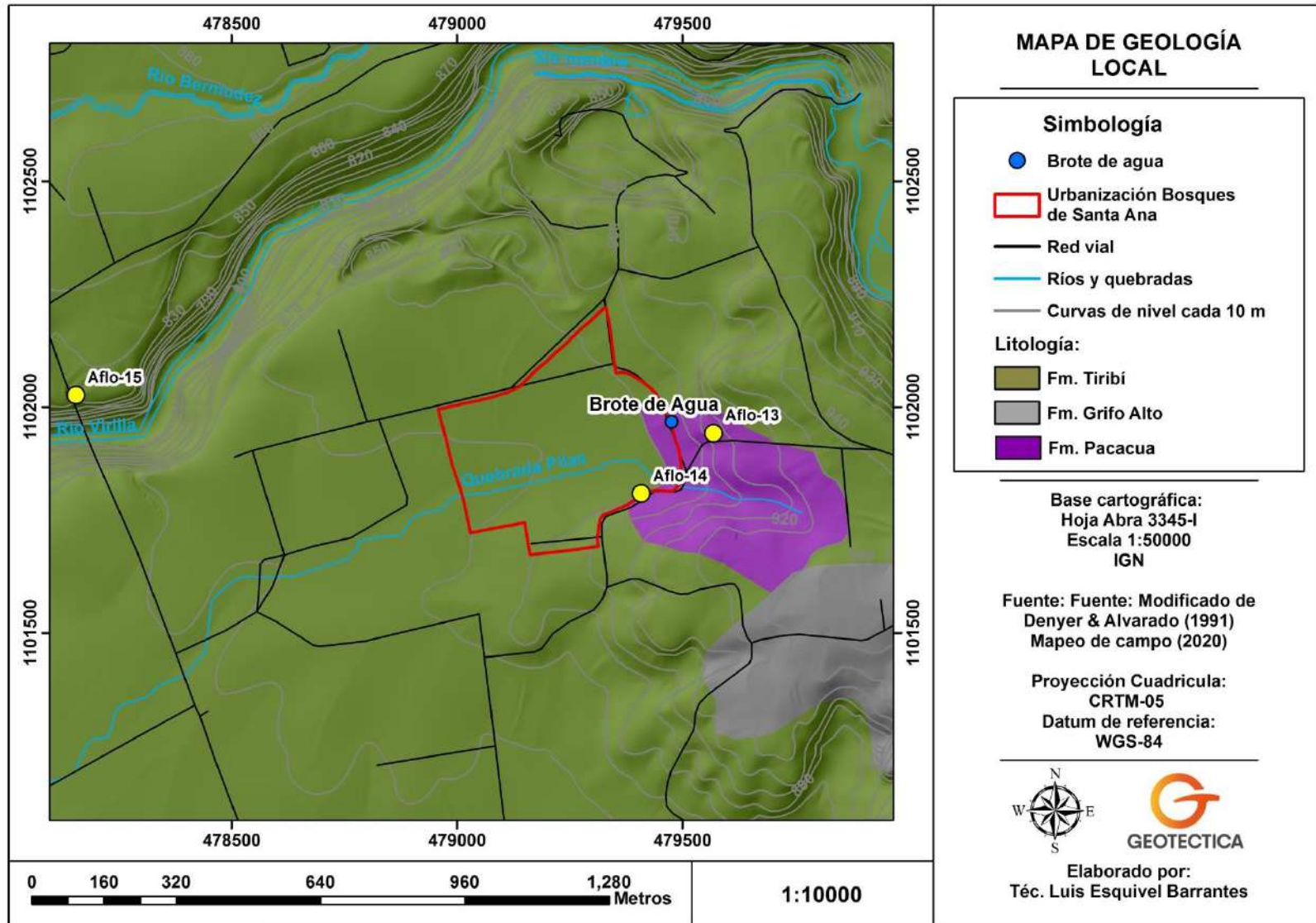


Figura N°22. Mapa geológico local de la urbanización Bosques de Santa Ana.

- **Sondeos Eléctricos Verticales**

Metodología geofísica, Sondeo Eléctrico vertical (SEV)

La metodología de trabajo consistió en realizar un Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) con un arreglo electródico tipo Schlumberger, a lo largo de un perfil levantado en el campo. De acuerdo con Telford et al (1990), el método consiste en 4 electrodos que se ubican sobre el terreno de manera lineal, y en donde dos de ellos inyectan corriente al terreno en los extremos (A y B) y los otros dos (M y N) permiten medir la diferencia de potencial que dicha corriente genera en el subsuelo.

Usualmente la corriente penetra en el terreno a través de dos electrodos y se mide la caída de potencial entre un segundo par de electrodos situados entre los anteriores y alineados con ellos. A partir de los valores medidos de la intensidad de corriente inyectada al terreno, de la caída de potencial y de la separación entre los electrodos, puede determinarse el valor de una nueva magnitud: la resistividad aparente. Si el subsuelo es homogéneo, el valor así obtenido coincide con la resistividad verdadera del subsuelo, pero, de no ser así -subsuelo no homogéneo, como sucede generalmente- el valor obtenido depende de las resistividades de las distintas formaciones que atraviesa la corriente.

En el SEV el espaciamiento entre los electrodos aumenta mientras se mantiene fija la localización del centro del arreglo electródico. Debido a que la profundidad de investigación normalmente aumenta al incrementar el espaciamiento de los electrodos, podemos decir que se prefiere el SEV cuando se desea conocer cómo varía la resistividad del subsuelo en función de la profundidad. Un set completo de datos continúa el patrón establecido en la Figura N°6, usando de 10 a 40 valores, dependiendo de la profundidad de investigación deseada, de la topografía y del tamaño del área investigada. El análisis de la variación del valor de la resistividad aparente para distintas separaciones interelectródicas permite obtener interesantes conclusiones acerca de la estructura del subsuelo.

Los electrodos se instalan de tal manera que se logre generar una diferencia de voltaje entre ellos como consecuencia de la inyección de corriente. Los electrodos de inyección de corriente están señalados como A y B mientras que los electrodos de Voltaje se indican como M y N, al inyectarse corriente al terreno se crea una diferencia de potencial entre los electrodos M y N.

Conforme los electrodos de inyección se van separando de forma simétrica, la densidad de corriente en la superficie disminuye de modo que es necesario abrir los electrodos de voltaje. Este procedimiento se repite hasta alcanzar la profundidad de prospección deseada y de esta manera, se obtienen una serie de lecturas de resistividad aparente, que finalmente conforman el gráfico del SEV.

La corriente va alcanzando más profundidad conforme los electrodos de corriente se abren; de esta manera, la corriente va abandonando poco a poco las capas superficiales y progresivamente ingresa a las capas inferiores. Precisamente es por este motivo que el gráfico final del sondeo se basa en lecturas de resistividad aparente, pero las interpretaciones hechas por medio del software específico generan resistividades absolutas. Finalmente, la información recopilada se incorpora al software, que mediante un algoritmo matemático genera un modelo geofísico de capas geoeléctricas que se asocian posteriormente a las existentes u observadas en el sitio (Figura N°23 y 24).

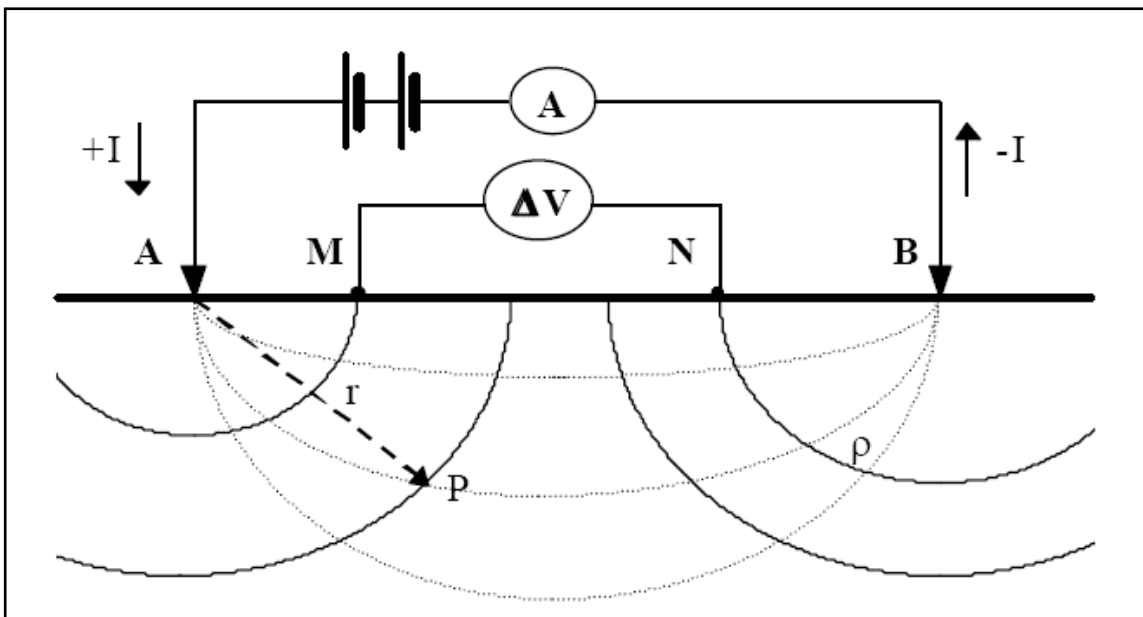


Figura N°23. Esquema de la ejecución del sondeo eléctrico vertical SEV.

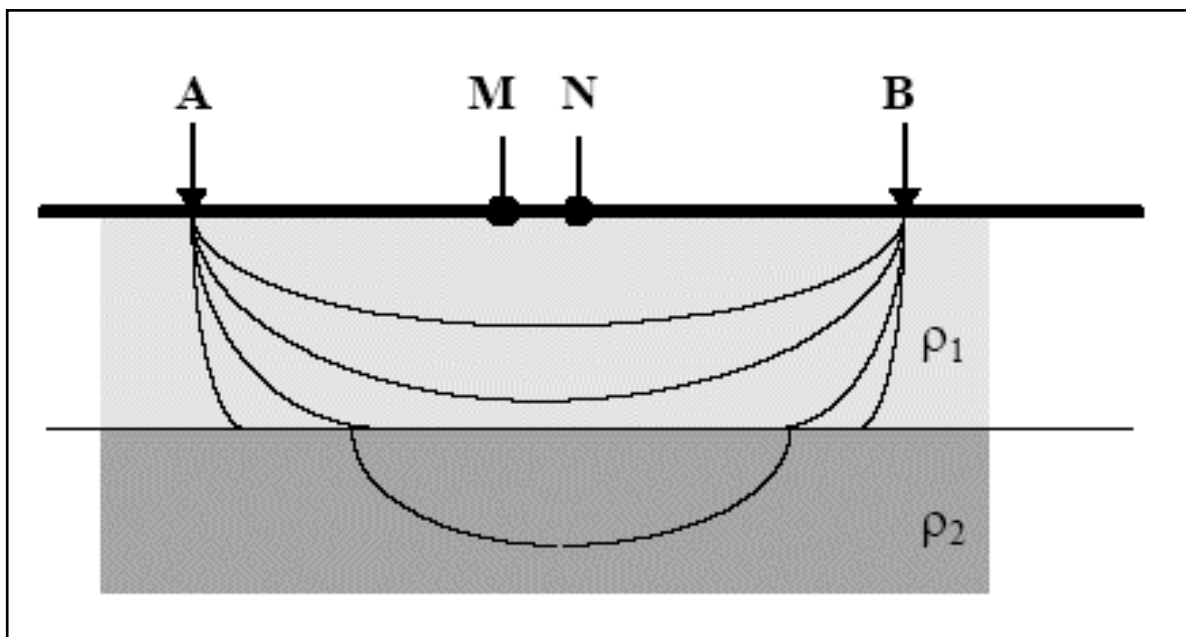


Figura N°24. Esquema de la penetración progresiva de la corriente a las capas inferiores.

La parte inicial del procesamiento de datos consiste en trabajar los datos topográficos para establecer la ubicación de los sondeos. Posteriormente los datos de campo se sometieron a una depuración para eliminar malas lecturas, ruido o señales parásitas de los datos. Luego se procede a graficar los perfiles de resistividad aparente para comprobar su comportamiento y para analizar el efecto de la depuración. Por la naturaleza del método y gran variabilidad de

los valores de resistividad, todo este análisis se lleva a cabo utilizando escalas logarítmicas. La etapa final de procesamiento consiste en efectuar la inversión de los datos, para lo cual se ha utilizado el programa IPI2Win®. La conducción eléctrica en la mayoría de las rocas es esencialmente electrolítica. Esto es debido a que las rocas -sus granos- son aislantes en sí, por lo que la conducción eléctrica se realiza a través del agua intersticial que normalmente contienen y que siempre tiene, en mayor o menor grado, sales disueltas que la hacen conductora. Por consiguiente, la resistividad de una formación será función de su contenido en electrolitos, que a su vez depende de la porosidad efectiva de la roca y del índice de saturación.

Hay que señalar que la resistividad de cualquier formación varía entre amplios límites, no sólo de una zona a otra, sino incluso dentro de una misma zona. Esto es particularmente cierto cuando se trata de formaciones superficiales no consolidadas. No existe una ley general que correlacione litología con resistividad. No obstante, pueden establecerse criterios de tipo general.

La interpretación de un SEV consiste en determinar el espesor de los diferentes estratos geoelectrónicos y su resistividad verdadera. Una segunda etapa de la interpretación consiste en asociar, de acuerdo con la estratigrafía del lugar, una litología a los valores de resistividad obtenidos. La esencia de una buena interpretación geoelectrónica se basa en el conocimiento de la geología y estratigrafía de la zona, incluso otra información adicional de tipo geomorfológica, hidrológica, hidrogeológica y geotécnica, pueden ser valiosas para la plena concepción geoelectrónica del sitio en estudio.

Se han efectuado 2 SEVs (Sondeos Eléctricos Verticales), con el fin de recabar información en las cercanías del brote de agua. Estos se realizaron trazando los sitios en una distancia de 200 m, la posición exacta se observa en la Figura N°25, mientras que en la Figuras N° 26 y 27 se observan los perfiles geoelectrónicos generados a partir de la información obtenida de los SEVs.

Para el desarrollo de la investigación, se ha realizado un ensayo utilizando el arreglo Schlumberger con un AB/2 de 100 m, para un alcance de profundidad importante.

Para interpretar los datos del sondeo en una dimensión, se presume normalmente que el subsuelo consiste en capas horizontales homogéneas e isotrópicas. Para estos casos, la resistividad del subsuelo cambia únicamente con la profundidad, pero no cambia en la dirección horizontal. Algunos valores típicos de la resistividad de ciertos materiales se pueden observar en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 9: Valores de resistividad típicos de algunos materiales geológicos.

Material	Resistividad (Ωm)
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>1000
Basamento. Roca fracturada	5000-15000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua dulce	100-2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito no saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados con agua dulce	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas con agua dulce	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10
Andosoles secos	1000-2000
Andosoles no saturados	300-1000
Andosoles saturados	100-300

Fuente: Arias, D. (2011).

Según la prospección geofísica realizada se estima que en el sitio se tiene una capa de suelo residual limo arcilloso con una resistividad que rondan los 33 Ωm y un espesor aproximado de 1.40 m. Luego, se observa un estrato de 1.5 m de espesor con una resistividad de 50 Ωm que concuerda con un suelo limo arcilloso con bloques de areniscas, después a mayor profundidad, entre 2.9 y 25 m afloran areniscas de color gris de grano medio a fino, siendo más densas a profundidad con resistividades mayores que van desde 180 a 200 Ωm .

Cuadro N° 10: Resultados de las características geoelectricas en el SEV 1.

Capas	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ωm)	Correlación geológica
Capa 1	1.40	1.40	33	Suelo residual
Capa 2	1.50	2.90	50	Suelo limo arcilloso con bloques de areniscas
Capa 3	9.60	12.5	180	Areniscas de color gris de grano medio a fino, muy densas
Capa 4	21.9	25	200	

Fuente: Propia, 2020.

Para el SEV 2 la prospección geofísica estima 3 capas de materiales distintos, donde de 0 a 2 m se tiene un suelo limo residual de textura limo arcillosa, seguido a esto se encuentra un relleno de suelo limo arcilloso con bloques, de un espesor de 1.33 m y una resistividad de 49 Ω m, subyaciendo se encuentra una capa de areniscas de grano medio a fino fracturadas y meteorizadas con presencia de humedad ah profundidad, con una resistividad de 153 Ω m y un espesor aproximado de 12.9 m, después a mayor profundidad, entre 12.9. y 25 m afloran las mismas areniscas de color gris pero muy densas, sin fracturas y más sanas, con una resistividad de 200 Ω m.

Cuadro N° 11: Resultados de las características geoelectricas en el SEV 2.

Capas	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)	Correlación geológica
Capa 1	2.0	2.0.	29	Suelo residual
Capa 2	1.3	3.3	49	Suelo limo arcilloso con bloques de areniscas
Capa 3	9.6	12.9	153	Areniscas de grano medio a fino fracturadas y meteorizadas
Capa 4	12.1	25	200	Areniscas de color gris de grano medio a fino, muy densas

Fuente: Propia, 2020

En general, se puede deducir que la probabilidad de encontrar agua en la zona se encuentra en el horizonte que hace contacto entre las areniscas fracturadas y sanas de grano medio a fino, que se localiza aproximadamente a los 12.9 m de profundidad, misma que se detecta en el SEV 2.

Las características litológicas de la zona, donde la capa de areniscas fracturadas impulsa el agua en conjunto con el gradiente hidráulico, dado esto por el buzamiento de las rocas que concuerda con la dirección en la que se localiza el brote de agua que aflora, quedando expuesta al medio al tener contacto con las areniscas densas, las cuales por sus características de litificación no permiten el movimiento vertical del líquido, sino que genera un movimiento horizontal del agua sobre la secuencia rocosa local.

En relación con la geología local, se logró observar cercano al brote agua, específicamente a 96 m al Este sobre una loma pequeña, en un corte de 8 m de ancho por 5 m de alto aproximadamente, en la que queda aflorando una arenisca de color gris de grano medio a fino fracturada, con cristales de plagioclasas y anfíboles producto de la generación de la roca sedimentaria, la cual es producto de materiales de origen volcánico.

El color de la roca va de negro a gris oscuro, y se encuentra medianamente meteorizada y fracturada, de permeabilidad aparente media baja. En la Fotografía N°1 se observa el afloramiento descrito anteriormente.

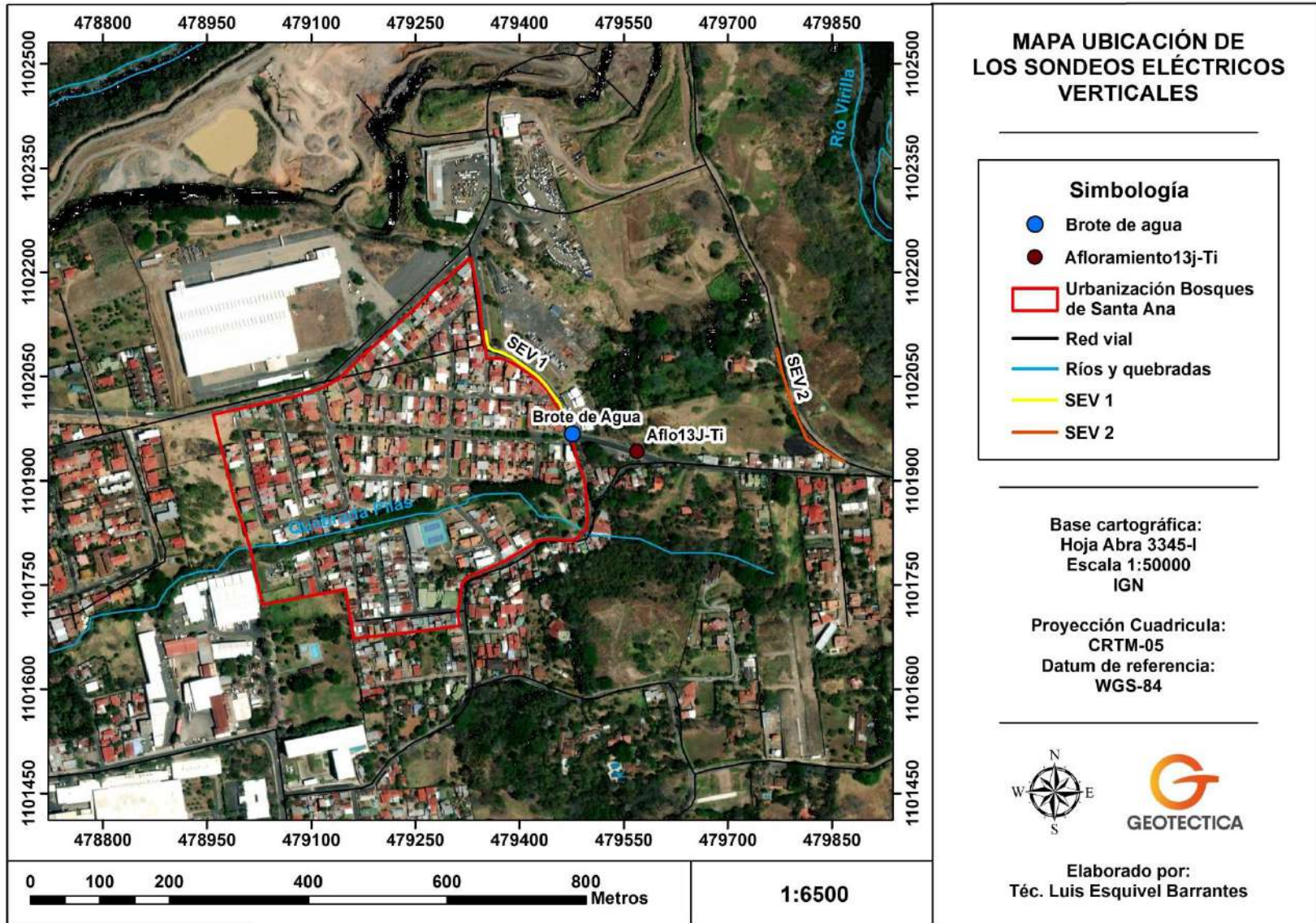


Figura N° 25: Mapa de ubicación de los SEVs cercanos al brote de agua.

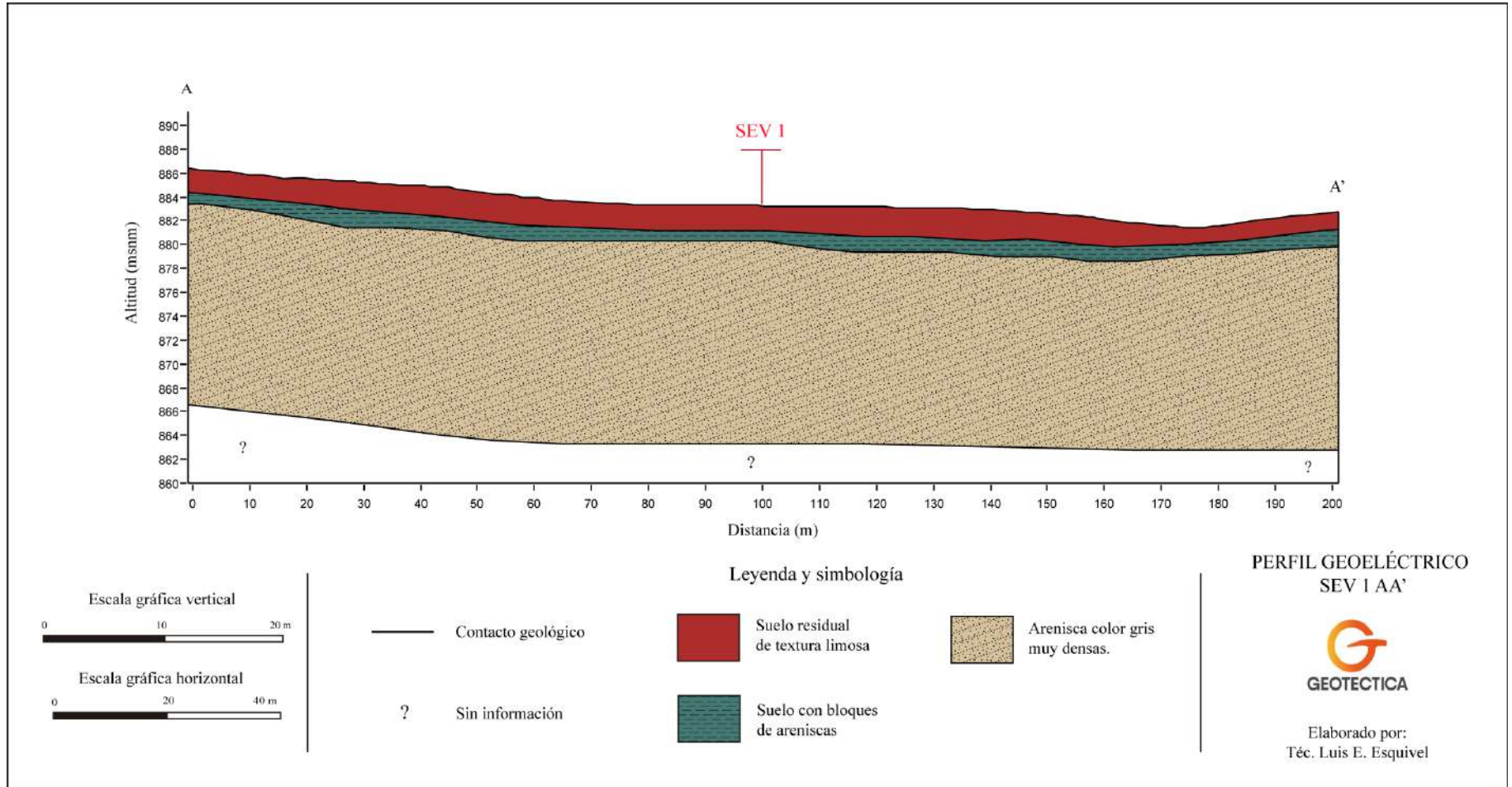


Figura N° 26: Perfil geoelectrico realizado en el área del proyecto.

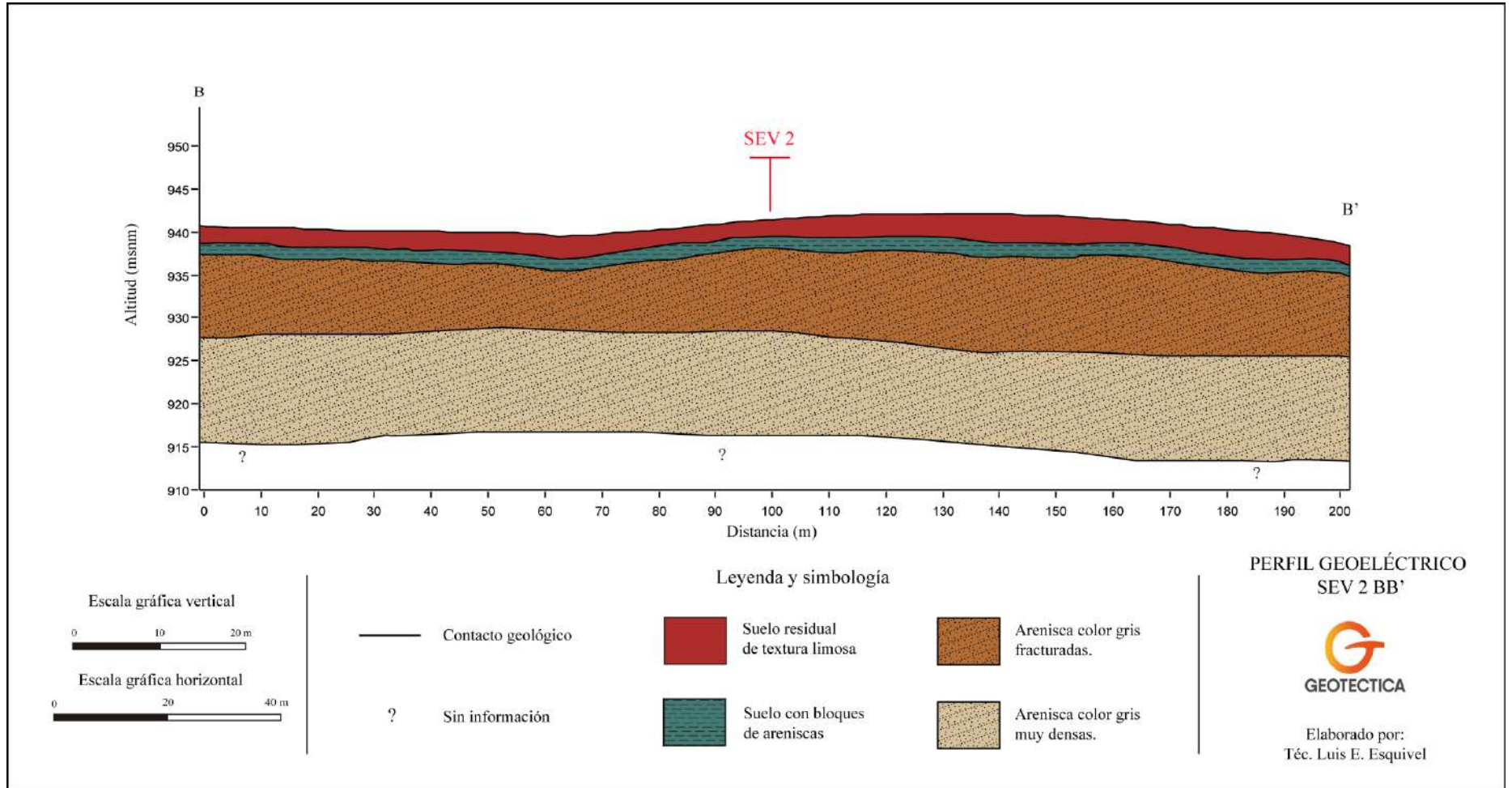


Figura N° 27: Perfil geoelectrico realizado en el área del proyecto.

6- CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

- **Información disponible**

Con base en el análisis de la visita de campo, información de pozos del Archivo Nacional de Pozos de SENARA y fuentes de la Dirección de Agua del MINAE, se determina que en el área de estudio no se encuentran pozos en un radio ≤ 1.5 km del área de estudio; por lo que se realizó una búsqueda más amplia y se observó que el pozo más cercano se encuentra a 187m de distancia del brote de agua; sin embargo, este no cuenta con información litológica o parámetros hidráulicos del acuífero que aporten en la definición del modelo hidrogeológico. La información de estas perforaciones y su ubicación relativa con el brote de agua se muestran en el Cuadro N°24 (Anexo 9) y la Figura N°28, respectivamente.

En el Cuadro N° 25, se presenta la lista de concesiones registradas en la Dirección de Agua del MINAE para la zona de estudio (Figura N°29)

- **Definición de acuíferos**

Según se observó durante la visita de campo y la información geológica recopilada, el brote de agua se desarrolla en las discontinuidades de las areniscas fracturadas que conforman la unidad litológica que potencia el movimiento del agua hacia la superficie. El brote de agua aflora por un contacto entre distintas litologías, donde el agua se desplaza por las fracturas de las areniscas de la superficie, donde al contactar con la capa de areniscas densas que se localizan a profundidad, se propicia la salida del agua a través de la roca expuesta, favorecido por el cambio de pendiente en el sitio. Debido a estas características se clasifica el material de las areniscas con un espesor de 13 m aproximadamente esto según se determinó en los afloramientos geológicos y en la interpretación de los Sondeos Eléctricos Verticales.

La profundidad del agua oscila entre 7.0 y 68 metros bajo el nivel de superficie con caudales de almacenamiento entre 0.5 a 6.0 l/s, esto según los pozos registrados. Además, como se observa en los pozos de SENARA, estos captan acuíferos compuestos por materiales volcánicos y sedimentarios, lo que se correlaciona con la geología regional del sitio, donde afloran materiales de origen volcánico tales como; lavas, tobas, brechas y depósitos piroclásticos. Es importante mencionar que en los sectores descritos se observan afloramientos esporádicos de la Fm. Pacacua, que se correlaciona con areniscas y lutitas, que son captadas por algunos pozos (Figura N°30).

Se determina, a partir de la visita de campo y el modelo hidrogeológico que se plantea, que el nivel del agua del brote fluye de manera libre por las fracturas del macizo rocoso (areniscas fracturadas), siendo este más constante en la época lluviosa. La dirección del flujo de agua del brote es de oeste a este, donde se presenta una pendiente importante que ronda entre 15 y 20 %.

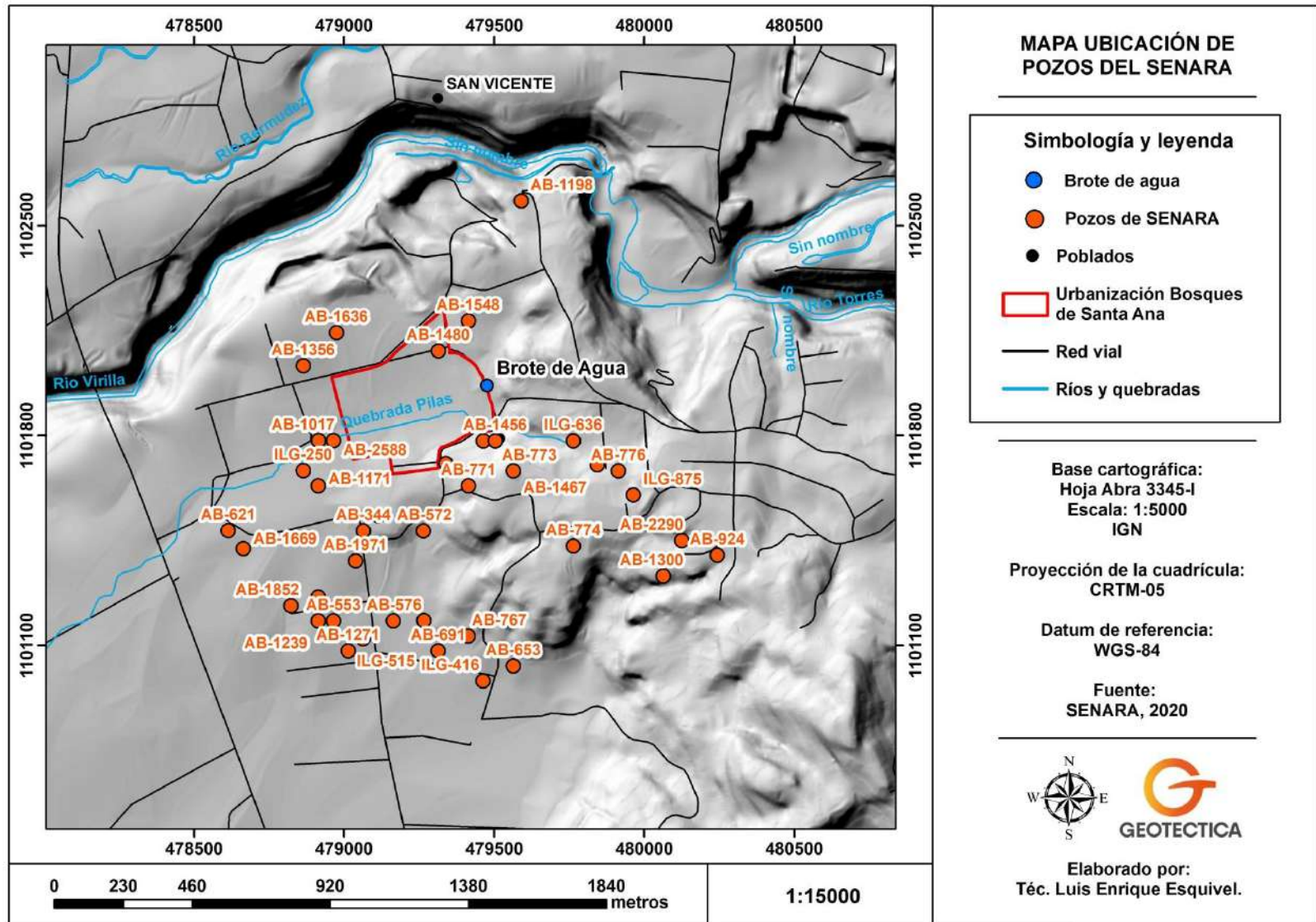


Figura N° 28. Mapa de ubicación pozos SENARA y MINAE.

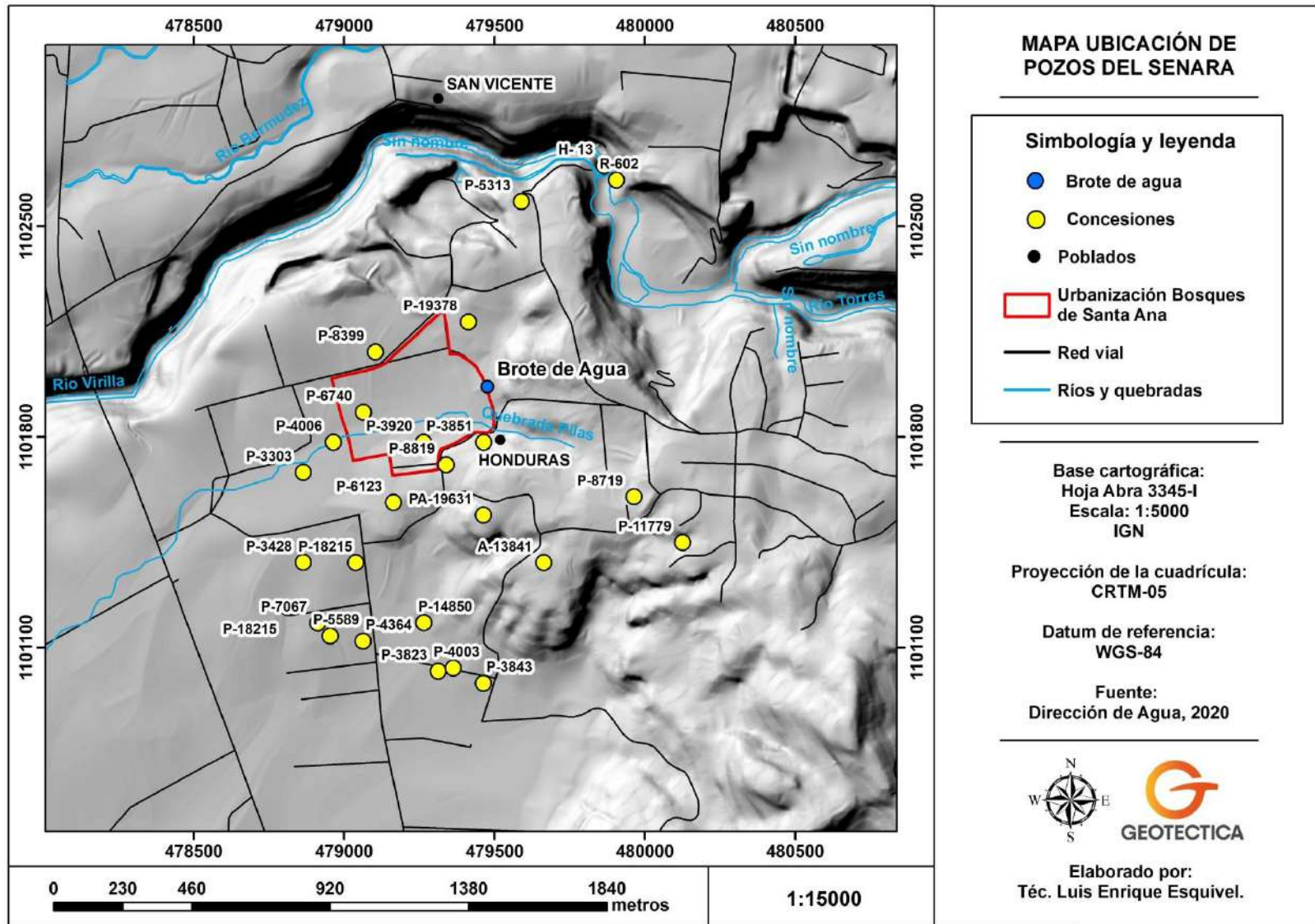


Figura N° 29. Mapa de concesiones registradas en la Dirección de Agua.

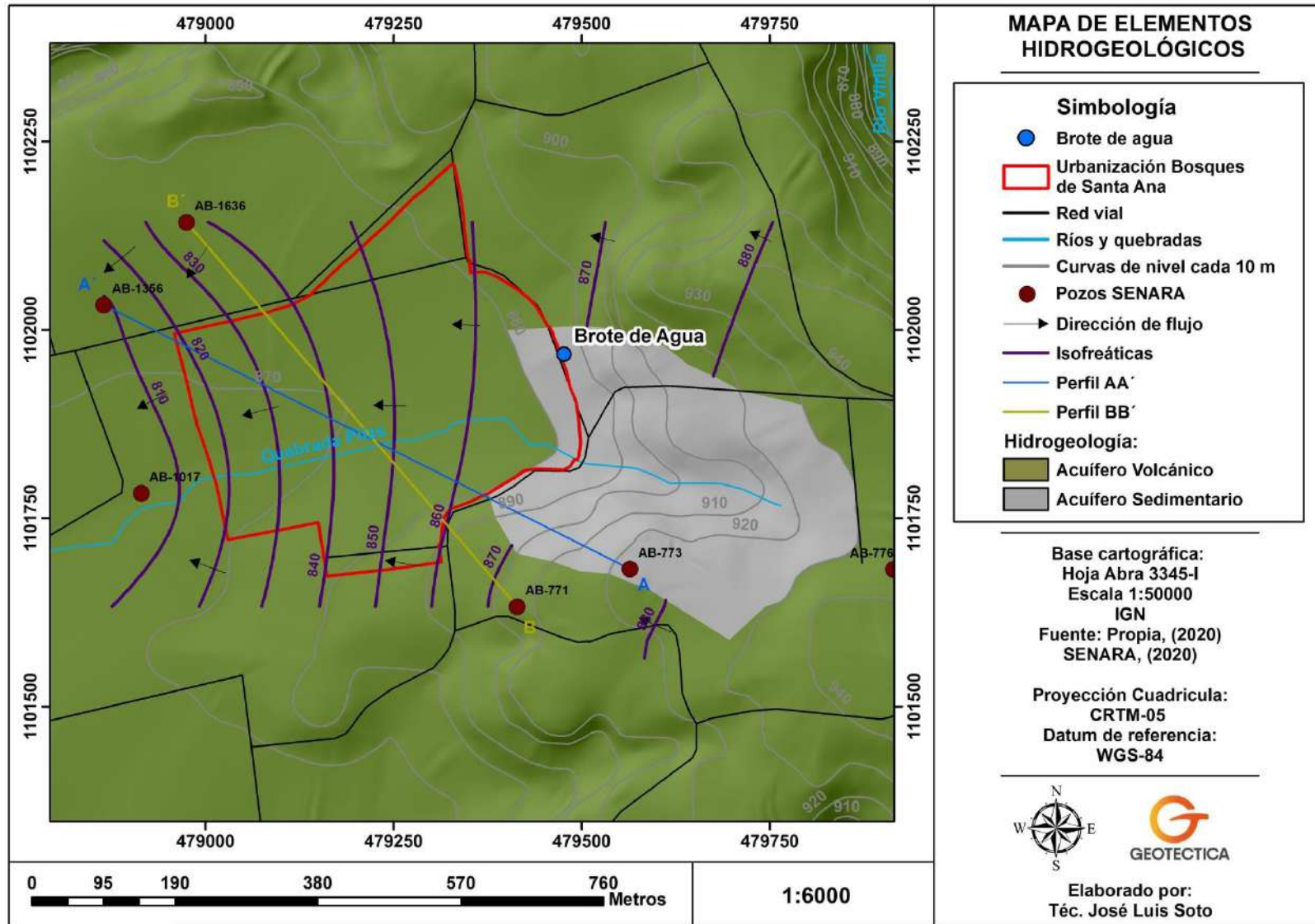


Figura N° 30. Mapa de elementos hidrogeológicos

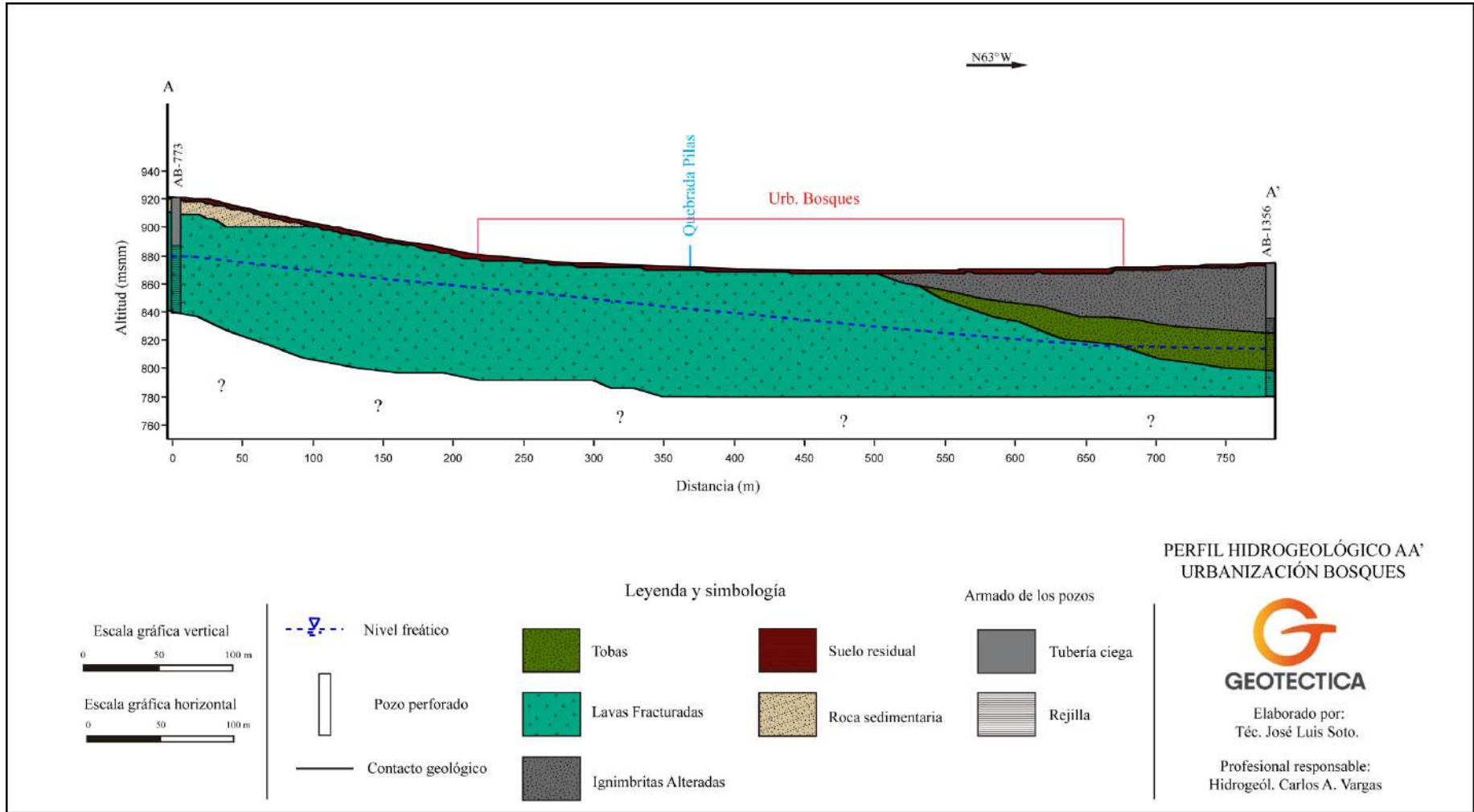


Figura N°31. Perfil hidrogeológico AA' de la urbanización Bosques de Santa Ana

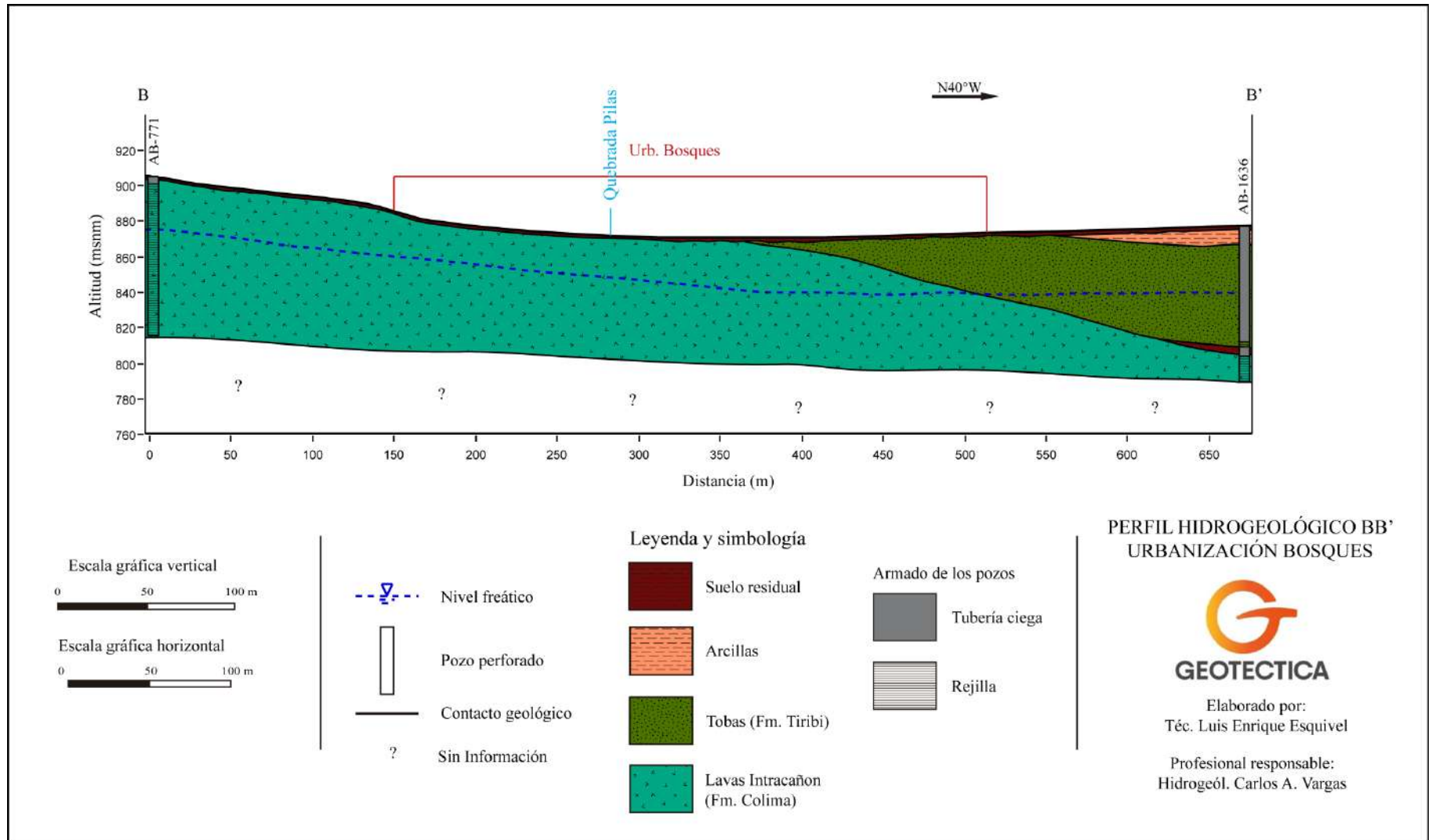


Figura N°32. Perfil hidrogeológico BB' de la urbanización Bosques de Santa Ana.

7- BALANCE HÍDRICO DEL BROTE DE AGUA

Para aplicar el balance hídrico de suelos al brote de agua, es necesario delimitar la zona de influencia directa tomando en consideración aspectos hidrogeomorfológicos, definiendo el área del brote con base en la divisoria de aguas de la cuenca hidrográfica de la quebrada Pilas, asumiendo que los límites de esta, coinciden con los límites de la cuenca hidrogeológica (Losilla, 1992). Esta metodología está diseñada para delimitar zonas de recarga de nacientes que son originadas desde acuíferos someros. Este sector delimitado como zona de influencia (Figura N°33), representa el área en superficie donde ocurre la infiltración de agua de lluvia que recarga el brote seleccionado.

Una vez dibujada la cuenca, se requiere dibujar dentro de ella, las zonas con el mismo tipo de suelo o las zonas con el mismo tipo de geología, ya que una formación geológica forma un tipo determinado de suelo, donde el sitio de influencia del brote se compone por areniscas grises finas de la Formación Pacacua, los detalles litológicos se mencionan en los apartados anteriores.

Basándose en la metodología del balance hídrico, se aplica una cuantificación al brote de agua para conocer el caudal de producción, condición que se puede verificar mediante un balance de masas sobre la zona de influencia de recarga del brote en estudio.

En los Cuadros N°7 y 8, se pueden observar los cálculos realizados para el área de estudio. Para calcular la Evapotranspiración Potencial mensual (ETP), se deben de utilizar el porcentaje de las horas de luz para hemisferio correspondiente a la latitud 10° Norte (Calvo, 1999). Para lo anterior se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$ETP = (8.10 + 0.46T)Ps$$

Dónde:

ETP= Evapotranspiración (mm/mes).

T= Temperatura media (°C).

Ps= Porcentaje de horas de luz solar mensual (%).

En relación con los resultados obtenidos, en el Cuadro N°12 se observa el resumen, donde se presenta la evapotranspiración potencial mensual, para la temperatura media de la Estación Meteorológica de Belén, la cual es la más cercana al área del proyecto.

Conociendo los valores a detalle de la ETP se procede ejecutar los cálculos de la Recarga Potencial anual (Rpa), por medio de la metodología de Balance Hídrico de Suelos (Anexo 10) de Schosinsky (2006). Tras obtener el valor de Recarga potencial anual (Rpa) se procede a cuantificar el caudal de recarga que se da en la zona de influencia del brote de agua, por lo que se interpreta que el caudal de recarga es el mismo que sale por el brote de agua, donde se consideran todos los elementos de influencia del ciclo hidrológico.

Como se observa en el Anexo 10 la Rp anual es de 495.8 mm/año o 0.4958 m/año, si se considera la influencia de la época seca, donde esta va desde el mes diciembre hasta el mes abril se obtienen una Rp de 0.43 mm/año (0.00043 m/año), mientras que la época lluviosa, que se compone de los meses que van desde mayo hasta noviembre se obtiene un valor de 495.37 mm/ año (0.49537 m/año), por lo que la Rp anual es impulsada por la época lluviosa. Para conocer el caudal del brote de agua en distintas épocas del año se debe aplicar el producto de la Rp anual por el área de influencia hidrogeomorfológica del brote, misma que se obtiene a través la herramienta que ofrece de Arcgis 10.5 dando como resultado 59310 m².

Cuadro N°12: Cálculo de la evapotranspiración potencial mensual (ETP).

Mes	% Horas de sol	Temperatura media (°C)	ETP (mm) mensual
Enero	8.13	23.3	152.99
Febrero	7.47	23.7	89.54
Marzo	8.45	24.3	102.55
Abril	8.37	25	104.36
Mayo	8.81	24.3	106.58
Junio	8.6	24	103.04
Julio	8.86	24	105.91
Agosto	8.71	23.8	103.46
Setiembre	8.25	23.7	98.04
Octubre	8.34	23.1	96.72
Noviembre	7.91	23	91.79
Diciembre	8.1	23.1	94.17

Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$Qp = Rp * A$$

Dónde:

Qp= Caudal potencial (m³/año).

Rp= Recarga potencial (m/año).

A= Área (m²).

En el Cuadro N° 13 se presenta el cálculo de la Recarga Potencial Anual, tanto para la época seca como lluviosa en litros por segundo (l/s). Como bien se conoce, 1 año posee 3155600 segundos, mientras que 1 metro cubico (m³) equivale a 1000 litros, y al aplicar la conversión se obtienen el caudal en las distintas épocas del año.

Cuadro N°13: Cálculos del caudal de recarga para el brote de agua.

Época climática	Rp Anual (m/año)	Caudal (m ³ /año)	Caudal (l/s)
Seca	0.00043	25.5033	0.00080
Lluviosa	0.49537	29380.4	0.93106
Ambas	0.49580	29405.9	0.93186

Tras lo expuesto en el Cuadro N°13 se deduce que el caudal del brote en la época seca es de 0.00080 l/s, lo que solo implicaría el humedecimiento de la zona, donde este puede ser apenas perceptible entre los meses de diciembre hasta abril, mientras que para la época lluviosa se obtendría un aumento en la producción hídrica del brote, donde esta puede ser aproximada a 0.93 l/s, valor que se correlaciona con lo observado en campo, donde en el geoespacio del brote se presenciaba una humedad importante en época de invierno con flujo permanente en esa época.

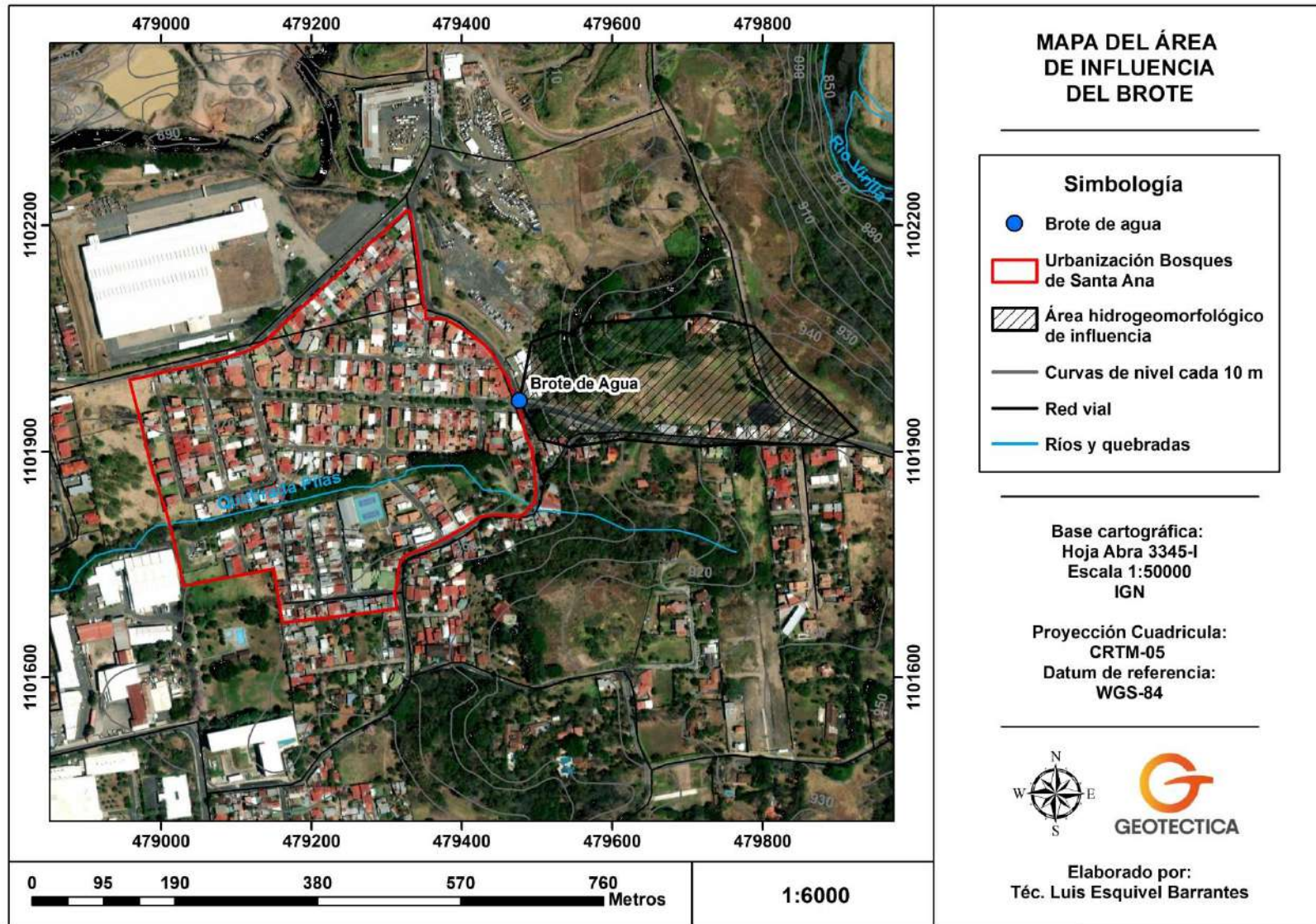


Figura N° 33. Mapa del área de influencia del brote de agua, colindante a la urbanización Bosques.

8- ANÁLISIS DE RIESGOS NATURALES EN EL ÁREA DEL PROYECTO

- **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°14.

Cuadro N° 14: 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

- **Amenaza de Inundación**

Respecto al sitio de análisis este se localiza a menos de 100 m de la quebrada Pilas, por lo se procederá a estimar la amenaza por inundación esto según la metodología desarrollado por el MIDEPLAN en el año 2014.

Tras la cuantificación de Amenazas respecto a Inundación sobre el sitio de estudio, se estima que la misma posee un Índice total de 3.75, por lo que su nivel de amenaza es Alto (rango entre 3.01 a 4.00), en el Cuadro N°15 se presenta un resumen de los valores obtenidos tras la estimación a detalle sobre el área del proyecto.

- **Amenaza de Alud Torrencial**

En relación con el área del proyecto con eventos de alud torrencial, este se localiza fuera de un valle aluvial, por lo que se hará un análisis a detalle de esta amenaza sobre la urbanización Bosques 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.

En relación con el área del proyecto el nivel de incidencia respecto a eventos de alud torrencial este se cataloga como Muy bajo para una puntuación de 1, esto debido a que los eventos ocurridos en el pasado han sido fuera de la zona directa de la urbanización Bosques y la microcuenca de la quebrada Pilas.

Respecto a la posición del área del proyecto, ese se localiza fuera del abanico aluvial, por lo que su nivel de incidencia es Bajo para un valor de 1.

Cuadro N° 15: Matriz para Amenaza de Inundación, y resumen de valores obtenidos.

Variable	Parámetro	Nivel de incidencia	Puntaje	Ponderador %	Índice
Localización en zonas de amenaza con potencial de inundación	Si	Muy Alto	5	35	1.75
	No	Muy Bajo	1		
Pendiente promedio del terreno con Precipitación	Combinación de parámetros	Muy Alto	5	20	0.6
		Alto	4		
		Medio	3		
		Bajo	2		
		Muy Bajo	1		
Valoración del parámetro de humedad del terreno	20-24	Muy Alto	5	15	0.3
	15-19	Alto	4		
	10-14	Medio	3		
	5-9	Bajo	2		
	0-4	Muy Bajo	1		
Cobertura vegetal, Vegetación predominante	Suelo desnudo o herbáceo	Muy Alto	5	10	0.5
	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					3.75

Fuente: MIDEPLAN, 2014.

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.

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°16, 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 Muy bajo, para un índice total de 1.70 (Rango entre 1.01 – 2.00).

- **Amenaza Sísmica**

Para el sitio de estudio la pendiente predomina entre 7 y 15% aproximadamente, mientras que por Zona Sísmica este se cataloga como III. El valor a utilizar para estos parámetros es de 2. El área del proyecto presenta un nivel de amenaza sísmica Medio con un índice total de 3.0, para el rango entre 2.01 – 3.00 (Cuadro N°17).

Cuadro N°16: 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	0.25
		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	0.50
		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	0.60
		III	Alto	4		
		II	Medio	3		
Índice Total						3.1

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 media. El índice de amenaza para inundación es de 3.75, mientras el flujo de lodos o alud torrencial posee un índice es de 1.70, respecto a la amenaza sísmica el resultado es de 3.0, y para la amenaza de deslizamiento el índice es de 3.0. La media de los resultados de índice anteriores es de 2.86 (Índice promedio = $(3.75+1.70+3.0+3.0) / (4) = 2.86$). En el siguiente cuadro se exponen los niveles y escalas respecto a cada índice de amenazas, esto según MIDEPLAN, 2014.

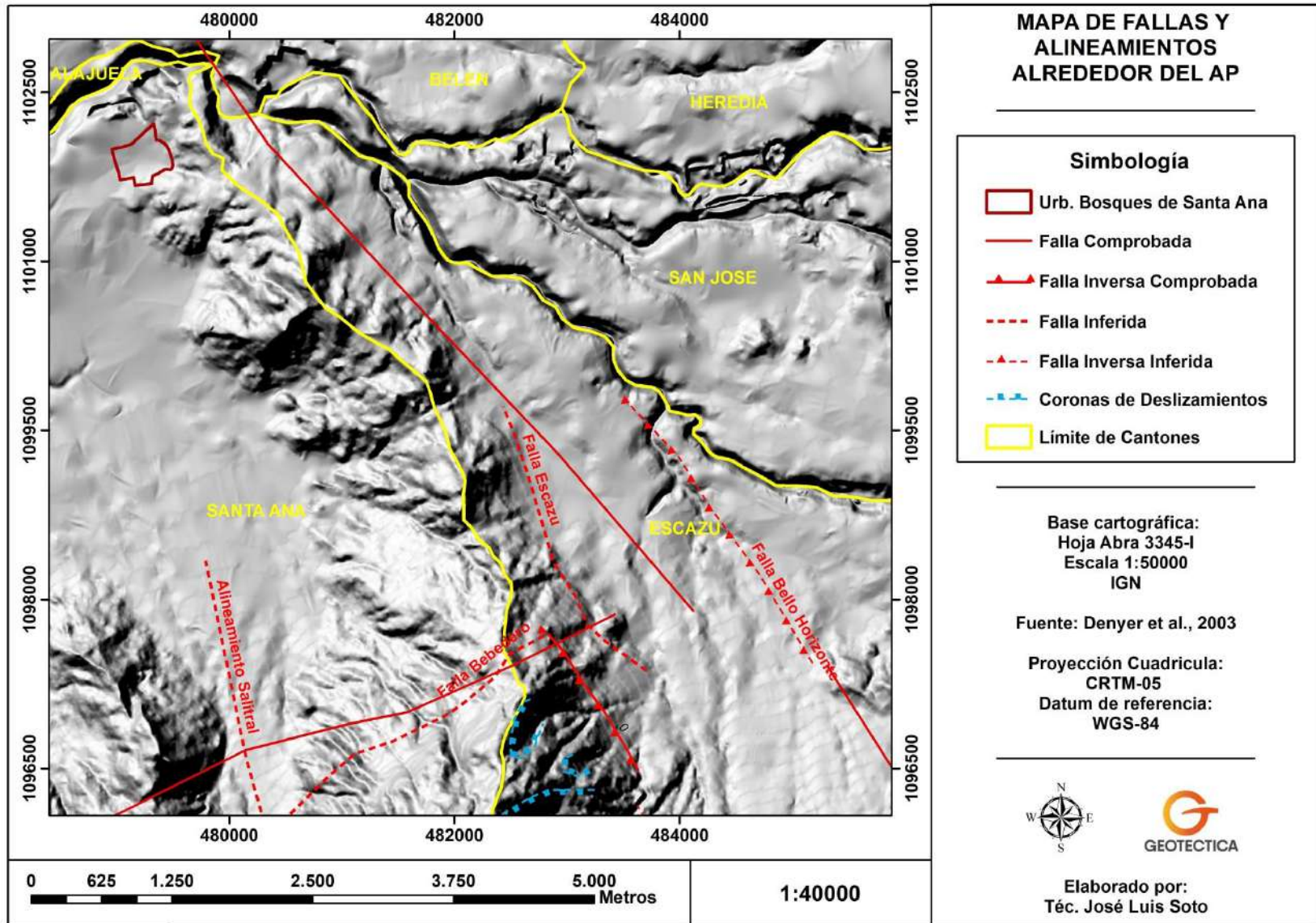


Figura N° 34: Mapa de fallas y alineamientos alrededor del AP con modelo de sombras (Denyer et al, 2003).

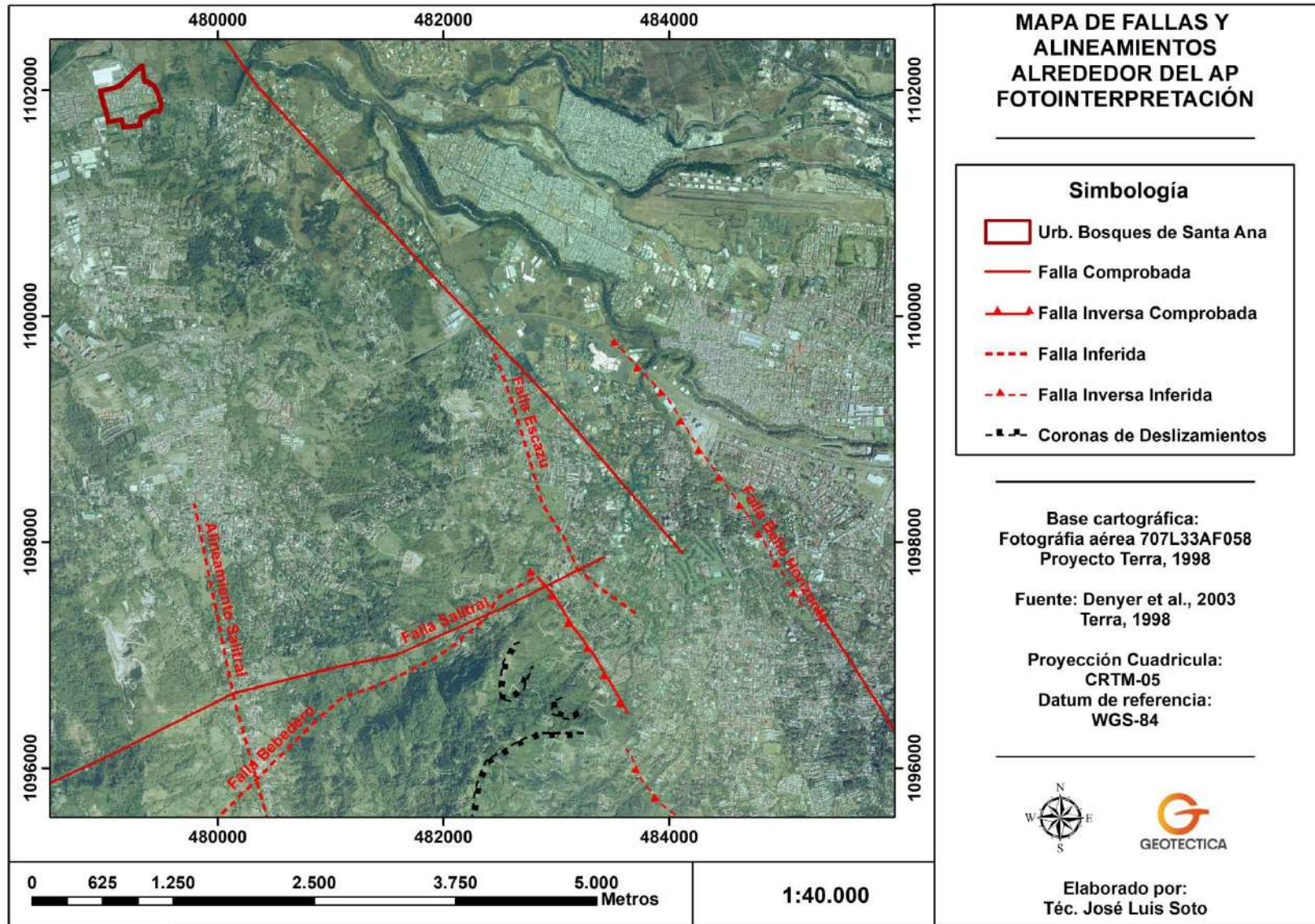


Figura N°35: Mapa de fallas y alineamientos alrededor del AP con modelo de sombras (Terra, 1998).

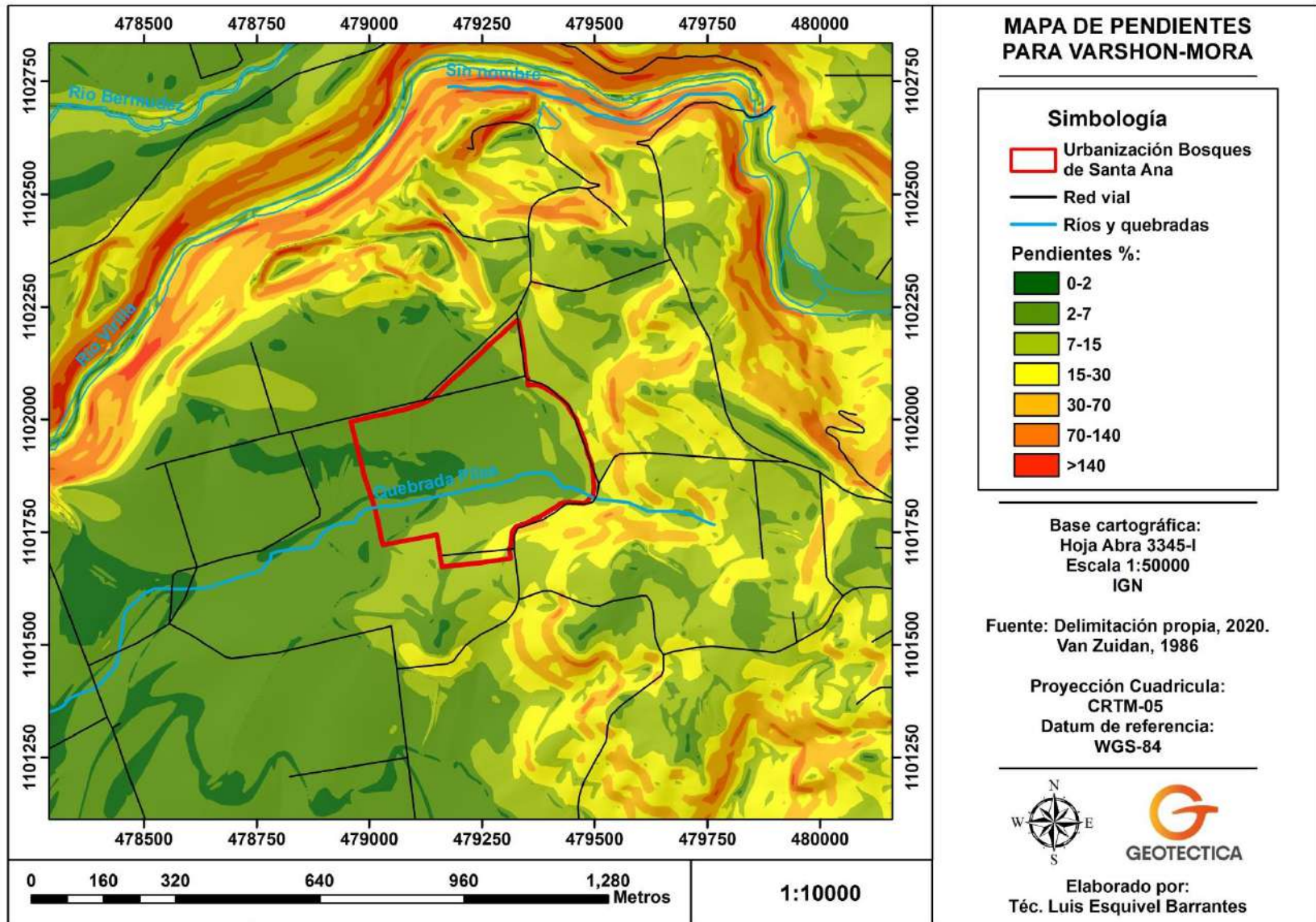


Figura N°36. Mapa de pendientes alrededor de la urbanización Bosques para el método MVM.

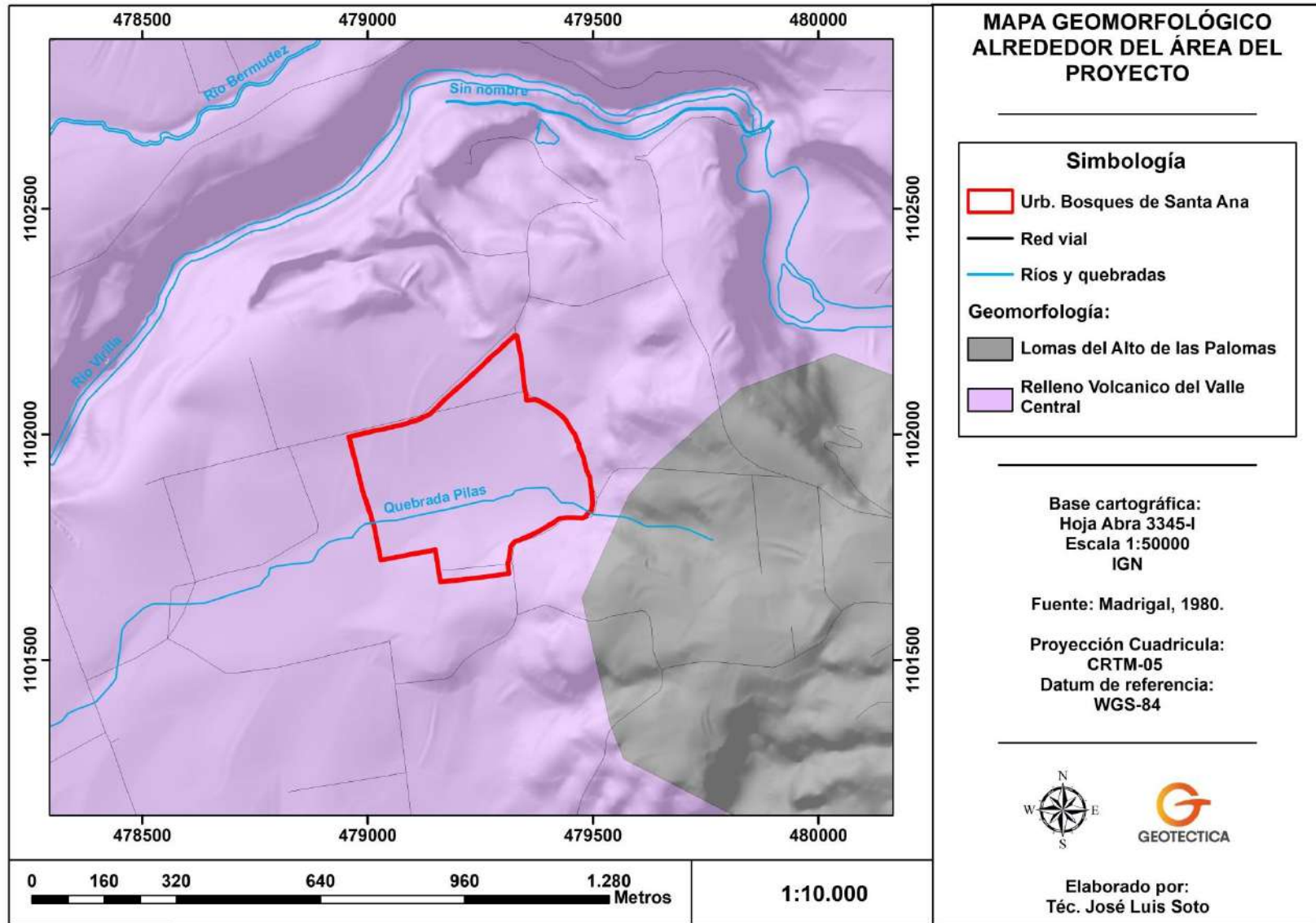


Figura N° 37. Mapa de rasgos geomorfológicos alrededor de la urbanización Bosques de Santa Ana.

Cuadro N° 17: Matriz para Amenaza Sísmica, y resumen de valores obtenidos.

Variable	Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje	Ponderador (%)	Índice
Zona sísmica y Tipos de sitio	Combinación de parámetros	Muy alto	5	60	2.4
		Alto	4		
		Medio	3		
Distancia respecto al trazo de una falla local	Atravesado por falla	Muy Alto	5	20	0.20
	Menor a 25 m	Alto	4		
	25 – 50 m	Medio	3		
	50 – 100 m	Bajo	2		
	Mayor a 100 m	Muy Bajo	1		
Pendiente promedio y Zona sísmica	Combinación de parámetros	Muy Alto	5	20	0.4
		Alto	4		
		Medio	3		
		Bajo	2		
		Muy Bajo	1		
Índice Total					3.0

Fuente: MIDEPLAN, 2014

Cuadro N°18: 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°18 se deduce que “Las amenazas para el sitio en estudio no representan una limitante para la urbanización Bosques o de futuros proyectos a desarrollar, ya que las previsiones asociadas a la reducción de riesgos no significan aumentos de costos significativos”.

- **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:

$$R = (N * S)$$

Donde:

- 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°19, 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° 19: 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

- **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 los Cuadros N°20, se presenta el detalle de los cálculos realizados para determinar el nivel de riesgo del escenario interno que se complementa por el sector de la urbanización Bosques, además en el Cuadro N°16 se observa la cuantificación para el sector externo, donde se analiza la microcuenca de la quebrada Pilas, así como los poblados y calles aguas abajo de la urbanización Bosques de Santa Ana, 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 (urbanización Bosques), se han dado inundaciones, esto según la recavación de información realizada.

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

Área 1 (A1) Sector de la urbanización de Bosques colindante a la entrada del tajo MECOSANTANA:

En la actualidad se presentan problemáticas de inundación en las viviendas del bloque A, además se dan sobre flujos de escorrentía sobre la avenida 75, donde la rasante es superior al nivel máximo de las cunetas, generando un efecto de encausamiento de las aguas pluviales en la carretera.

Además, la escorrentía arrastra lodos del tajo MECOSANTANA, donde se dan excesos de sedimentos sobre la vía vehicular, y se produce el colapso de los conductos pluviales y los tragantes del sistema.

Área 2 (A-2): Sector de la urbanización Bosques de Santa Ana colindante a la parada de buses Pavicen:

En la Avenida 73 A, específicamente la diagonal 73 por el cambio topográfico los bloques A y B aportan las aguas pluviales al bloque E donde se da la problemática de inundación a las viviendas.

A pesar de que no existe una problemática en los bloques D y F el brote de agua que se localiza en la esquina del condominio Q influye con un aporte de agua que se transporta por la avenida 73 y sumado a esto la escorrentía de los bloques A y B producen un caudal el cual considerar.

Área 3 (A-3): Sector de la urbanización Bosques de Santa Ana colindante al Boulevard de la avenida 73:

La escorrentía producida por la avenida 75 y 73 genera un caudal considerable el cual repercute en la esquina del bloque E y parte del boulevard de la avenida 73, donde se presentan inundaciones sobre las vías y las viviendas de los bloques ya mencionados de la urbanización Bosques.

Área 4 (A4) Sector de la entrada a la urbanización Bosques, colindante a Condominio Q:

Actualmente en la avenida 73, que concuerda con la entrada a la urbanización Bosques, específicamente en el Boulevard (Rotulo de entrada) frente al condominio Q, se presentan inundaciones producto del flujo pluvial excesivo que es impulsado por la alta pendiente de la ruta 310, la cual encausa las aguas de la vía.

En relación al brote de agua que aflora en la esquina del condominio Q, este aporta parte de sus aguas sobre la carretera, generando la presencia de humedad durante casi todo el año, lo que aumenta el flujo de escorrentía que afecta las viviendas de los bloques F, H e I.

Área 5 (A5): Sector de la urbanización Bosques de Santa Ana donde la avenida 71 es perpendicular a la calle 16:

El bloque J presenta inundaciones afectando a las viviendas, además el pozo pluvial del sector presenta sedimentación indicando que existe un movimiento de lodos, colapsando por sedimentación el sistema pluvial.

Área 6 (A6) Sector de la urbanización Bosques, desde la cancha de tenis hasta la colindancia con el súper Lisa

Actualmente en la calle 16, específicamente el sector del bloque M de la urbanización Bosques, se dan inundaciones al presentarse eventos de precipitación, donde el sobre flujo pluvial rebalsa las cunetas y a rasante de la carretera, llegando las aguas hasta las viviendas.

Además, al momento de la inspección técnica se observó el colapso total de los conductos pluviales esto debido a las altas cantidades de sedimentos y residuos sólidos, donde se desconoce la orientación de las alcantarillas y sus puntos de tributación dentro del mismo sistema.

Área 7 (A7): Sector de la urbanización Bosques de Santa Ana bloque O calle 22 y 22 A:

La avenida 75 presenta sobre flujo de escorrentía y arrastre lodos, donde la pendiente impulsa el caudal que se genera y transporta sobre las calles 22 y 22 A de los bloques O y P respectivamente, provocando un colapso de la capacidad hidráulica del sistema 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°20, 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° 20: resumen de la cuantificación de riesgos del sector interno sin medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	18.75	15.5	6.0
A2	3.0	18.75	3.10	6.0
A3	3.0	18.75	3.10	6.0
A4	4.5	18.75	3.10	6.0
A5	3.0	18.75	9.30	6.0
A6	3.0	18.75	9.30	6.0
A7	3.0	18.75	12.40	6.0

Fuente: Propia, 2020.

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 urbanización Bosques 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 las áreas: A1 y A7, donde se dan impactos de sedimentación en los conductos y tragantes pluviales, esto se produce por el arrastre de lodos que genera la escorrentía, al ser impulsada por la diferencia de pendiente que existe entre estos sectores y el tajo MECOSANTANA. En relación al flujo de lodos se presentan estructuras hidráulicas colapsadas, generando impactos más severos en los sectores más bajos de la urbanización Bosques, contribuyendo a la activación de inundaciones.

En el Anexo N°11 del presente documento se observar las matrices a detalle aplicadas a todas las áreas del sector interno de la urbanización Bosques.

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

Área 1 (E1): Sector aguas abajo de la urbanización Bosques de Santa Ana colindante al supermercado Vindi en la avenida 63:

El puente que se encuentra diagonal a la avenida 63 presenta problemas de acumulación de residuos sólidos como troncos, hojas y gran presencia de charral en el cauce, lo cual puede provocar una avenida modificando el cauce de la quebrada, afectando la infraestructura del puente e inundando las zonas circundantes.

La mitigación de esta problemática sería fundamental antes de que detone y sea necesario invertir en la reconstrucción de las infraestructuras dañadas. El puente que se encuentra diagonal a la avenida 63 presenta problemas de acumulación de residuos sólidos como troncos, hojas y gran presencia de charral en el cauce, lo cual puede provocar una avenida modificando el cauce de la quebrada, afectando la infraestructura del puente e inundando las zonas circundantes.

Área 2 (E2) Este sector se ubica aguas debajo de la urbanización Bosques (AP), exactamente bajo el puente en la ruta 147 entre la bomba Uno Lindora y Howard's Cantina:

En la actualidad se presentan problemáticas con el manejo de residuos sólidos en las zonas cercanas al cauce ya que se puede apreciar que en los diferentes sectores de este existe acumulación de basura tales como madera, bolsas entre otros residual que son producidos por las actividades humanas. Esto podría ocasionar inundación en las zonas cercanas al puente que se encuentre en la ruta 147 por la obstrucción del paso del agua en este sitio, además se podrían presentar sobre flujos de escorrentía sobre el cauce por la acumulación de esto residuos y si se dan vertidos de aguas residuales y pluviales por las construcciones cercanas al cauce, generando un efecto de encausamiento de las aguas pluviales en la quebrada.

Además, la escorrentía puede arrastra lodos de los terrenos que se encuentra descubiertos aguas arriba de cauce, donde se dan excesos de sedimentos sobre la vía vehicular, y se produce el colapso de los conductos pluviales y los tragantes del sistema.

Área 3 (A3): Sector de Lagos de Lindora y el CTP de Santa Ana, sitio donde traza la quebrada Pilas

Sobre el Área 3, que corresponde con el sector colindante al CTP de Santa Ana, la problemática radica en la mala gestión de residuos sólidos y la falta de recolección sobre la quebrada Pilas, donde se logran observar varios elementos que obstaculizan el paso natural del flujo del cauce, mismo que contribuye a cambios en la velocidad ocasionando remansos y por ende potenciando a la modificación de la hidráulica fluvial.

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

Área 4 (A4): El sector de Valle del Sol, y el sitio donde la quebrada Pilas tributa sobre el río Virilla

Sobre el Área 3, que corresponde con el sector colindante al CTP de Santa Ana, la problemática radica en la mala gestión de residuos sólidos y la falta de recolección sobre la quebrada Pilas, donde se logran observar varios elementos que obstaculizan el paso natural del flujo del cauce, mismo que contribuye a cambios en la velocidad ocasionando remansos y por ende potenciando a la modificación de la hidráulica fluvial.

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

Tras los resultados obtenidos de los riesgos del sector externo sin la aplicación de medidas de mitigación, con los escenarios actuales de áreas evaluadas se presenta el Cuadro N°21, donde se observa un resumen de las cuantificaciones obtenidas, donde el color verde representa un riesgo bajo, mientras que el amarillo corresponde con riesgo medio y el rojo con riesgo alto.

Cuadro N° 21: Resumen de la cuantificación de riesgos del sector externo sin medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	11.25	3.10	6.0
A2	3.0	15.0	1.70	6.0
A3	3.0	15.0	1.70	6.0
A4	3.0	11.25	1.70	6.0

Fuente: Propia, 2020.

Tras los resultados que se presentan en el Cuadro N°21 se puede mencionar que sobre las áreas externas A2 y A3 se presenta un riesgo alto a eventos de inundación, donde la problemática es similar y por ende los escenarios, donde los elementos que obstruyen el paso del flujo sobre el cauce, al acumularse durante el tiempo puede potenciar desbordes sobre los puentes, afectando vías, aceras y otras estructuras cercanas a los tramos en mención. En mención a las áreas A1 y A4 el riesgo a inundación es medio.

Respecto al flujo de lodos y deslizamientos el riesgo es bajo en todas las áreas analizadas. 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 N°12 del presente documento se observan las matrices a detalle aplicadas a todas las áreas del sector externo donde traza la quebrada Pilas.

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

Según la cuantificación realizada del sector interno en el Cuadro N°20, se obtiene un valor de riesgo catalogado como alto para inundación en todas las áreas, mientras que para el flujo de lodos en las áreas A1 y A7 poseen un riesgo alto (Anexo 11), por lo tanto, se aplicarán una serie de medidas compensatorias para reducir el eventual riesgo, estas se darán de forma sostenible y eficiente (Figura N°41).

Respecto a las aguas pluviales que se generan en la Urb. Bosques de Santa Ana, estas desfogon en la quebrada Pilas, la cual posee la capacidad de transportar la avenida máxima calculada, sin embargo, para no aumentar el riesgo de inundación se podrían ejecutar algunas medidas de reutilización y aprovechamiento de aguas pluviales.

Según el análisis hidráulico realizado en Urb. Bosques de Santa Ana algunos de los factores que activan las inundaciones están relacionados con la red pluvial, ya que en algunos sectores se encuentra colapsada por sedimentos y residuos sólidos que obstaculizan el flujo en la infraestructura, otro factor de influencia es el diseño del sistema pluvial, para el cual no se contemplaron los periodos de retorno adecuados.

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

Medidas Estructurales en el sector interno

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 la Urb. Bosques de Santa Ana, es importante mencionar que la quebrada Pilas no tiene influencia sobre las inundaciones que se han presentado en el pasado.

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.

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.

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 la urbanización Bosques.

Es importante considerar un replanteo de la capa asfáltica en relación a las cunetas, ya que no se cuenta con la pendiente correcta para impulsar el flujo de escorrentía que se genera en las vías hasta las cunetas.

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 conciencia ambiental lo cual genera una mejora socio ambiental a largo plazo.

Tras la última visita de campo se logró observar la construcción de un nuevo tragante pluvial el cual se posiciona sobre las coordenadas 479324E / 1102236N, específicamente colindante a la entrada del tajo MECOSANTA, esto se puede observar en el Anexo 12, Fotografía N° 25, donde se espera que el impacto en relación a los excesos de sedimentos y el sobre flujo de escorrentía reduzca tras esta aplicación estructural desarrollado por el AyA.

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 MECOSANTANA, 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.

Por lo mencionado anteriormente la severidad relacionada con la inundación disminuirá de forma importante, librando la Urb. Bosques de Santa Ana de cualquier riesgo asociado con la inundación, tras la aplicación de las medidas de mitigación, en el Cuadro N°22 se presenta la cuantificación de riesgo, dado esto con las medidas de mitigación mencionadas (severidad entre 1 y 1.5, ver Anexo 13).

Cuadro N° 22: resumen de la cuantificación de riesgos del sector interno con medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	5.60	4.65	6.0
A2	3.0	3.75	3.10	6.0
A3	3.0	5.60	3.10	6.0
A4	4.5	5.60	3.10	6.0
A5	3.0	3.75	4.65	6.0
A6	3.0	5.60	4.65	6.0
A7	3.0	5.60	4.65	6.0

Fuente: Propia, 2020.

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 (ver Anexo 13).

La urbanización Bosques presenta un nivel de riesgo bajo en todos los aspectos de 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, ya que en el sitio no se presenta deslizamientos en el pasado, además la pendiente que predomina es baja 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 3.10 y 4.65. Es importante mencionar que las viviendas de la urbanización Bosques 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 3.75 y 5.60 esto debido a que, según el caudal de avenida máxima obtenido, no se generarían desbordamientos por la quebrada Pilas, específicamente en el sector que traza la urbanización Bosques, además 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, radicaría las problemáticas actuales.

Otro factor importante es el replanteo de la capa asfáltica respecto a las cunetas, donde se mejore la pendiente para un flujo de escorrentía correcto.

Respecto al tragante construido por el AyA en la entrada al tajo MECOSANTANA, este va contribuir con la evacuación de las aguas, llevando una cantidad importante de escorrentía al sistema pluvial colector que traza bajo la avenida 75.

- **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 donde traza la quebrada Pilas siendo estos: la avenida 63 y el supermercado Vindi , Residencial Montaña, Puente sobre Ruta 147, Lagos de Lindora (cerca del CTP de Santa Ana), Valle del Sol (cerca de Avenida 39B); 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 de la quebrada (Figura N°41).

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

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

Medidas No Estructurales Externo

Para desarrollar medidas no estructurales lo ideal es generar un convenio institucional apoyado por las comunidades aledañas a la quebrada Pilas, una de las medidas que se pueden implementar, es el trabajo en conjunto de 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 (Grisas y Negras) y pluviales en la quebrada Pilas, lo que mitigaría la sobrecarga hidráulica del cauce. También se recomienda una vigilancia estricta y constante, para evitar modificaciones de la estructura hidráulica fluvial, donde se evite la reducción en las secciones del cauce, dado esto por la obstrucción de objetos, lo que mantendría una dinámica de flujo correcta para la quebrada.

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 de la quebrada, promoviendo a una gestión de residuos sólidos sostenible, librando el área inmediata de la quebrada de objetos contaminantes, esto contribuye tanto con un equilibrio medio ambiental así como con la reducción del riesgo de inundaciones en las comunidades cercanas a la quebrada Pilas, lo ideal es realizar una selección de residuos valorizables y llevar estos a un centro de acopio, donde se cumpla con su adecuada gestión.

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

Otra medida aplicable a las condiciones observadas sobre la inspección técnica, es la chapea constante de la vegetación, misma que al crecer ocupa mucho espacio del lecho de la quebrada, lo que ocasiona remansos en el flujo hidráulico, además esto al obstruir el paso del

líquido genera cierta socavación con el pasar del tiempo. Lo ideal es evitar la aplicación de algún herbicida sobre esta vegetación, ya que se afectaría la calidad de agua de la quebrada Pilas, ocasionando un desequilibrio al ecosistema local.

A continuación, se presenta el Cuadro N°23 donde se exponen en forma de resumen la cuantificación del riesgo, donde se consideran las medidas de mitigación mencionadas. Los detalles de las matrices de las 4 áreas externas analizadas se observa en el Anexo 14.

Cuadro N° 23: Resumen de la cuantificación de riesgos del sector externo sin medidas de mitigación.

Áreas	Deslizamiento	Inundación	Flujo de lodos	Sismos
A1	3.0	5.60	3.10	6.0
A2	3.0	3.75	3.10	6.0
A3	3.0	5.60	1.70	6.0
A4	3.0	3.75	1.70	6.0

Fuente: Propia, 2020.

En las zonas externas el riesgo se cataloga como bajo para el riesgo de; deslizamiento, inundación y flujo de lodos.

El riesgo al deslizamiento es de 3.0, ya que sobre la microcuenca no se presenta deslizamientos en el pasado, además las pendientes varían entre baja y media, en relación a los flujos de lodo el valor ronda entre 1.70 y 3.10, además la amenaza sísmica es de 6.0 dado esto por las condiciones generales del cantón de Santa Ana.

La inundación se cataloga con un riesgo bajo, ya que, según el estudio hidrológico y el recorrido realizado sobre la quebrada Pilas, se deduce que el cauce posee la capacidad de transportar la avenida máxima calculada para periodos de retorno de 50, 100 y 250 años.

Además, no se reportan inundaciones por desbordes de la quebrada Pilas sobre toda la microcuenca analizada, respecto a los poblados; Residencial Montana, Lagos de Lindora y Valle del Sol no se presentan problemas hidráulicos asociados a la red pluvial, por lo que se le asocia un valor de riesgo que ronda entre 3.0 y 5.60, dando como resultado un riesgo bajo.

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.

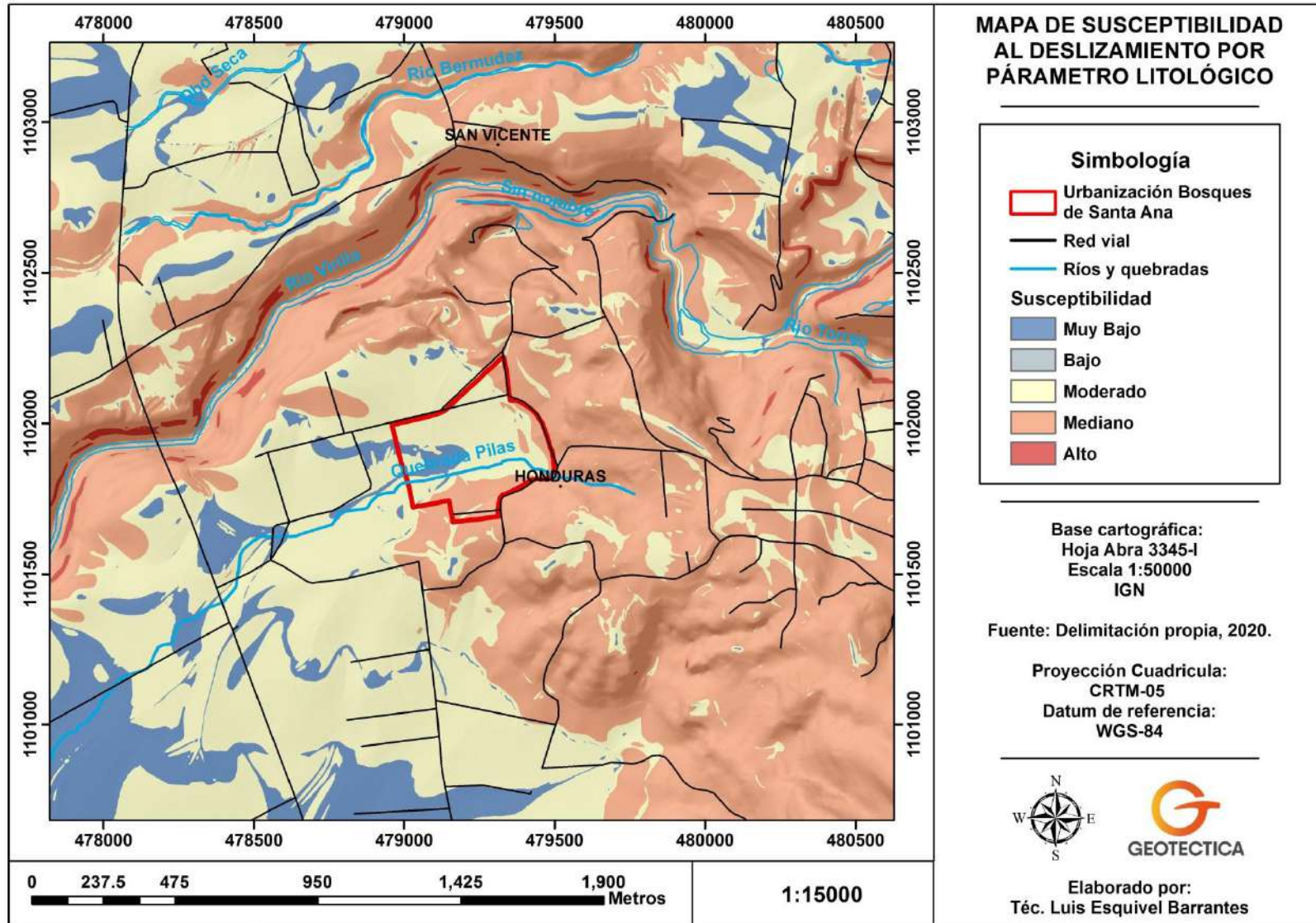


Figura N° 38: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos, parámetro litológico.

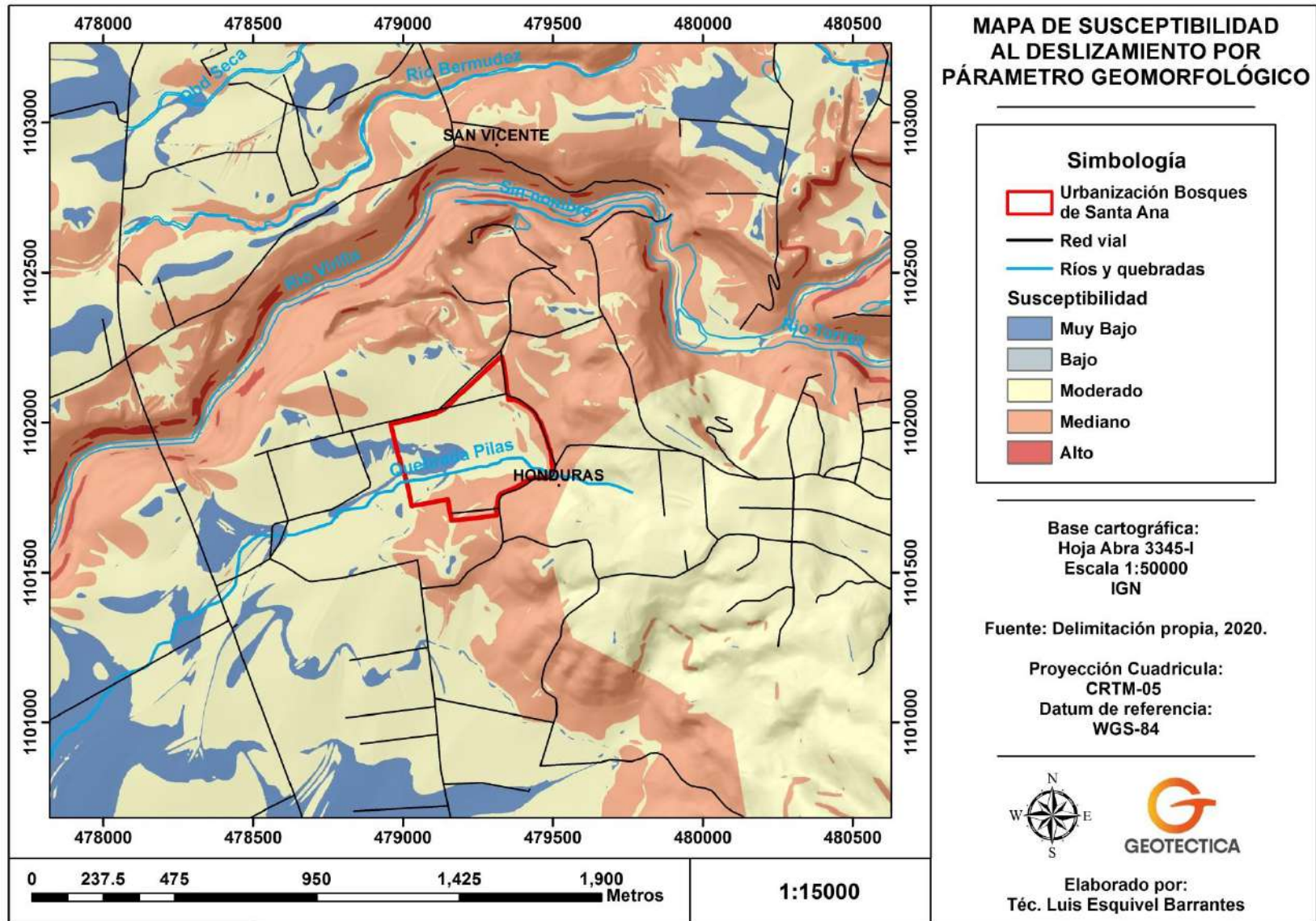


Figura N° 39: Mapa de susceptibilidad a deslizamientos tomando en cuenta el parámetro geomorfológico.

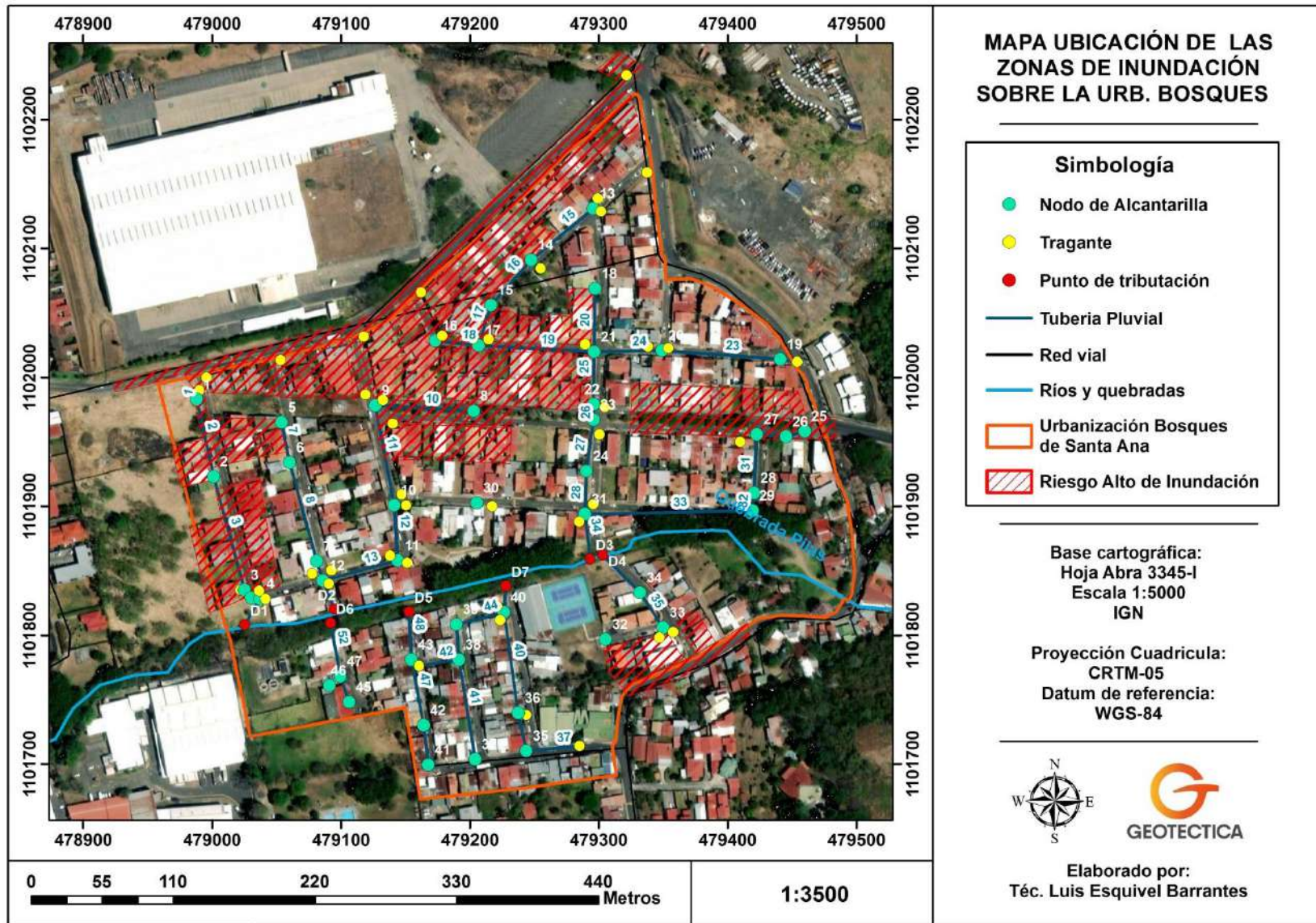


Figura N° 40: Mapa sectores con presencia y alto riesgo de inundación de la urbanización Bosques de Santa Ana.

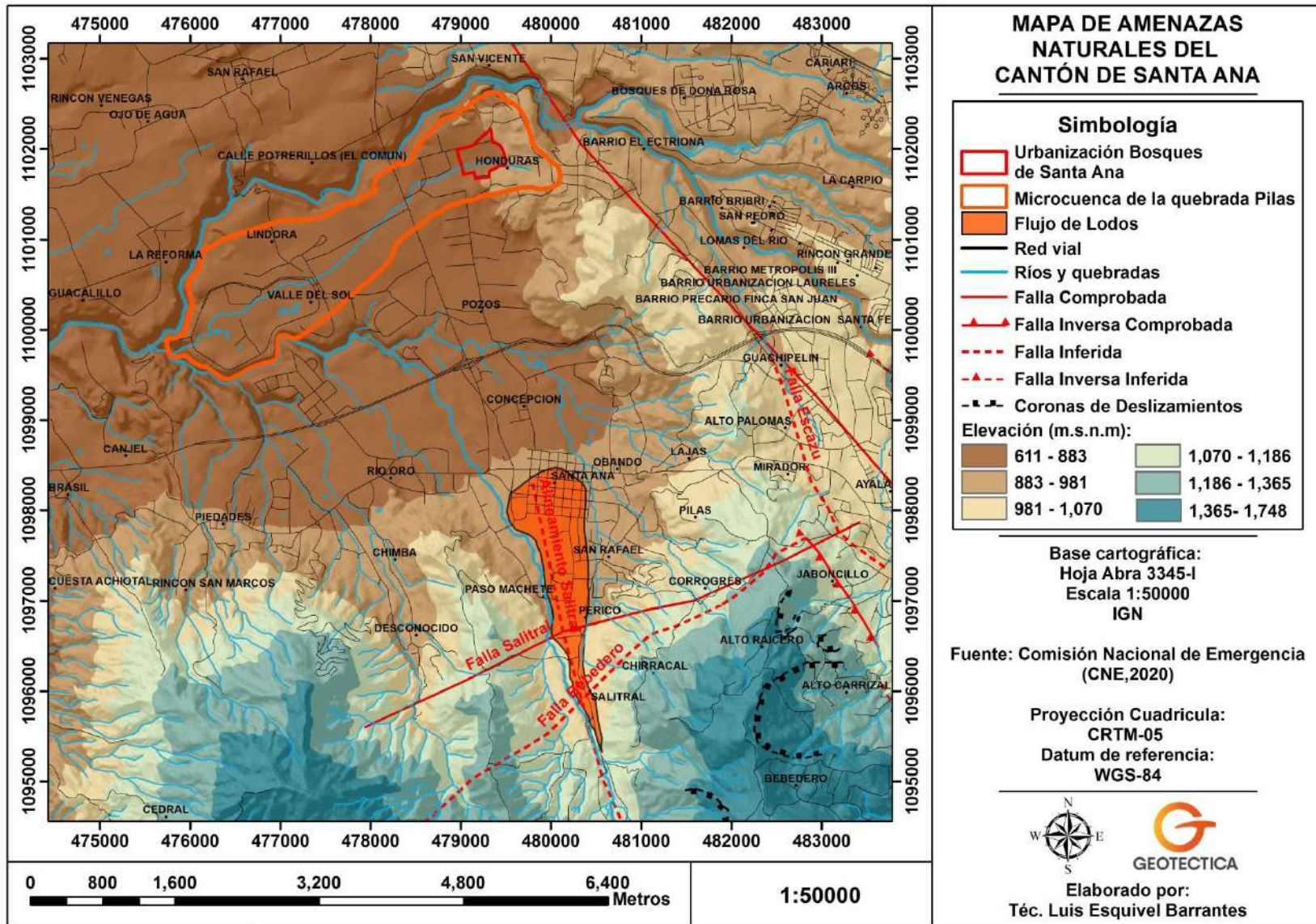


Figura N° 41: Mapa de amenazas y riesgos naturales del cantón de Santa Ana y el área del proyecto.

9- PRESUPUESTO DE LA OBRA

El presente apartado trata sobre el presupuesto y los costos de la obra por construir, es importante mencionar que los tanques de agua que se mencionan en los planos constructivos lo óptimo por facilidad durante fase de construcción es que los mismos sean prefabricados, por lo cual es necesario que la Administración, los cotice con “Productos de Concreto”, “H Solís Coyol”, “H&M” o cualquier otra empresa dedicada a la construcción de piezas prefabricadas.

Adicionalmente, es importante mencionar que todas las especificaciones técnicas, unidades de medida y formas de pago aquí mencionadas, tienen como referencia el Manual de especificaciones generales para la construcción de carretas, caminos y puentes CR-2010, del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

Así mismo, los precios tomados como referencia son los precios utilizados en la zona por el Consejo Nacional de Vialidad, bajo las licitaciones que actualmente se encuentran vigentes 2014LN-000017-0CV00 “Mantenimiento Rutinario con Maquinaria Especializada, Contingencias y Rehabilitación del Sistema de Evacuación Pluvial de la Red Vial Nacional Pavimentada” y la licitación 2014LN-000018-00CV00 “Mantenimiento Periódico y Rehabilitación del Pavimento de la Red Vial Nacional Asfaltada”.

- **Renglones de pago**

Adicionalmente, es importante mencionar que todas las especificaciones técnicas, unidades de medida y formas de pago aquí mencionadas, tienen como referencia el Manual de especificaciones generales para la construcción de carretas, caminos y puentes CR-2010, del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

CR 209.01 Excavación para Estructuras

- a.) Requisitos

Este renglón de pago debe cumplir con lo estipulado en el CR-2010, subsección 651.03(a) y la Sección 209, con excepción de las subsecciones 209.09 y 209.10.

- b.) La brigada mínima de maquinaria y mano de obra estará constituida por los siguientes componentes de maquinaria y personal:

Equipo y operador:

- Equipo de acarreo (el necesario para mantener la continuidad de las labores, de acuerdo con el programa de trabajo):
- Retroexcavador o cargador, queda a disposición de Ingeniero del Proyecto. En caso de requerirse equipo adicional para obras mayores, será solicitado por el Ingeniero de Proyecto de la Administración, en caso de excavadoras, por ejemplo.

Mano de Obra:

- Encargado
- Peones
- Banderilleros

c.) Método de Medición:

La excavación se medirá en **METROS CUBICOS** (m³) en vehículo de acarreo propuesto.

d.) Base para el pago:

Las cantidades aceptadas de excavación, será pagado al precio unitario del contrato por metro cúbico de material medido en sitio, de acuerdo con lo indicado en las subsecciones 208.13 y 208.14, y debe de contemplar todos los costos de equipo, materiales, señalización, dispositivos de visualización y mano de obra necesarios para realizar el trabajo descrito.

Cuadro N° 24: Unidad de pago para excavación

Renglón de Pago	Descripción del Renglón	Unidad de Pago
CR 209.01	Excavación para estructuras	m ³

CR.301 Base y subbase de agregados triturados

CR 301.03 Base de agregados graduación C, caso 2

Este renglón de pago debe cumplir con lo estipulado en el CR-2010 para capas de base en la sección 301, a excepción de lo siguiente:

Materiales: Suministrar partículas duras y durables o fragmentos de piedra triturada, escoria o grava triturada y no contendrá partículas elongadas, raíces y restos vegetales; debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Abrasión de los Ángeles, AASHTO T 96 (50 % máx.)
- Índice de durabilidad (agregado grueso), AASHTO T 210 (35 mín)
- Índice de durabilidad (agregado fino), AASHTO T 210 (35 mín)
- Caras fracturadas retenidas en malla No. 4, ASTM D 5821 (50 % mín)
- Índice plástico no mayor de 4.
- Límite líquido, ASSHTO T 89 (25 máx.).
- La granulometría de los agregados se obtendrá quebrando, tamizado y mezclando si es necesario. El agregado fino, material que pasa la malla 4,75 mm, consiste en arena natural o quebrada, y partículas minerales finas.
- Granulometría Graduación C para utilizar será la indicada en el Cuadro N°25:

Cuadro N° 25. Graduación de base granular

Malla	Porcentaje pasando (%)
50 mm	100
37.5 mm	90 – 100
19 mm	55 – 85
475µm	30 – 50
425 µm	10 – 25
75 µm	2 – 9

- CBR mayor o igual a 80
- Compactación 95% de la prueba AASHTO T 180, método D
- Libre de materia orgánica, grumos o arcillas

Aceptación: El material utilizado como subbase debe cumplir con lo establecido en esta especificación, los requisitos de muestreo y de ensayo indicados en la matriz de parámetros de calidad que se encuentra anexa a este cartel y la aceptación se realizará de acuerdo con lo estipulado en las subsecciones 107.02 y 107.04 del CR 2010.

Para el material de subbase que se utilice en labores de pre-nivelación de la subrasante (hasta un 5% del volumen total indicado en el cuadro de cantidades), la frecuencia de medición para los ensayos Graduación, Límite Líquido, Límite Plástico y Caras Fracturadas será de un ensayo por cada 200 m³.

Para los ensayos de Compactación y Humedad-Densidad se conservan las frecuencias indicadas en la Matriz de Parámetros de Calidad.

Base para el pago: Las cantidades aceptadas de extracción, proceso, carga, acarreo, colocación y compactación de materiales para subbase, será pagado al precio unitario del contrato por metro cúbico de material medido en el sitio de obra debidamente compactado, de acuerdo con las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo requeridas en el contrato, cuyo precio y pago se considerará como compensación total por el equipo, materiales, señalización, elementos de visualización y mano de obra necesarios para realizar el trabajo descrito. El oferente deberá considerar en la estimación del precio unitario, que la Administración podrá utilizar un volumen determinado para labores de pre-nivelación de la subrasante, hasta por un 5% de la cantidad indicada en el sumario de cantidades. Este volumen de material se pagará igualmente colocado y compactado, mismo que resultará de la multiplicación del volumen suelto medido en vagoneta por el factor volumétrico (volumen compactado entre volumen suelto).

CR 301.06 Subbase de agregados graduación B, caso 2

Este renglón de pago debe cumplir con lo estipulado en el CR-2010 para capa de subbase en la sección 301, a excepción de lo siguiente:

Materiales. Suministrar partículas duras y durables o fragmentos de piedra triturada, escoria o grava triturada y no contendrán partículas elongadas, raíces y restos vegetales; debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Abrasión de los Ángeles, AASHTO T 96 (50 % máx.)
- Índice de durabilidad (agregado grueso), AASHTO T 210 (35 mín)
- Índice de durabilidad (agregado fino), AASHTO T 210 (35 mín)
- Caras fracturadas retenidas en malla No. 4, ASTM D 5821 (50 % mín)
- Índice plástico no mayor de 7.
- Límite líquido, AASHTO T 89 (30 máx.).
- La granulometría de los agregados se obtendrá quebrando, tamizando y mezclando si es necesario. El agregado fino, material que pasa la malla 4,75 mm, consiste en arena natural o quebrada, y partículas minerales finas.
- Granulometría Graduación B será la mostrada en el Cuadro N°26:
- CBR mayor o igual a 30
- Compactación 95% de la prueba AASHTO T 180, método D
- Libre de materia orgánica, grumos o arcillas.

Cuadro N° 26. Graduación de subbase granular

Malla	Porcentaje pasando (%)
37.5 mm	100
25 mm	75 – 95
475µm	30 – 60
425 µm	10 – 35
75 µm	2 – 15

Aceptación. El material utilizado como subbase debe cumplir con lo establecido en esta especificación, los requisitos de muestreo y de ensayo indicados en la matriz de parámetros de calidad que se encuentra anexa a este cartel y la aceptación se realizará de acuerdo con lo estipulado en las subsecciones 107.02 y 107.04 del CR 2010.

Para el material de subbase que se utilice en labores de pre-nivelación de la subrasante (hasta un 5% del volumen total indicado en el cuadro de cantidades), la frecuencia de medición para los ensayos Graduación, Límite Líquido, Límite Plástico y Caras Fracturadas será de un ensayo por cada 200 m³. Para los ensayos de Compactación y Humedad-Densidad se conservan las frecuencias indicadas en la Matriz de Parámetros de Calidad.

Base para el pago: Las cantidades aceptadas de extracción, proceso, carga, acarreo, colocación y compactación de materiales para subbase, será pagado al precio unitario del contrato por metro cúbico de material medido en el sitio de obra debidamente compactado, de acuerdo con las dimensiones teóricas de ancho, espesor y largo requeridas en el contrato, cuyo precio y pago se considerará como compensación total por el equipo, materiales, señalización, elementos de visualización y mano de obra necesarios para realizar el trabajo descrito. El oferente deberá considerar en la estimación del precio unitario, que la Administración podrá utilizar un volumen determinado para labores de pre-nivelación de la subrasante, hasta por un 5% de la cantidad indicada en el sumario de cantidades. Este volumen de material se pagará igualmente colocado y compactado, mismo que resultará de la multiplicación del volumen suelto medido en vagoneta por el factor volumétrico (volumen compactado entre volumen suelto).

a.) Requisitos

El trabajo consiste en el suministro, colocación y compactación de material de base-subbase según las especificaciones y lineamientos contemplados en el apartado 301 del CR2010.

Entre los trabajos contemplados a elaborar mediante este renglón de pago se pueden mencionar el restablecimiento de estructura de pavimento en sectores intervenidos mediante muros de contención, alcantarillas, obras menores de mejoramiento, entre otros.

El trabajo cubierto por esta sección consistirá en la colocación y compactación, en las secciones indicadas y en el espesor definido por la Unidad de Supervisión, de una capa de base granular triturada distribuido con equipo y maquinaria de acuerdo con el Artículo 301 del CR-2010.

La granulometría estará de acuerdo con las tablas mostradas de previo considerando el tipo de material.

b.) La brigada mínima de maquinaria y mano de obra estará constituida por los siguientes componentes de maquinaria y personal:

Equipo y operador:

- Equipo de acarreo (el necesario para mantener la continuidad de las labores, de acuerdo con el programa de trabajo):
- Niveladora ó 1 retroexcavador (según sea el área de trabajo)
- Tanque de agua
- Compactador de rodillo vibratorio

Mano de Obra:

- Encargado
 - Peones
- c.) Método de Medición:

El material para la capa de base/subbase de agregado triturado, Graduación B/C se medirá en **METROS CUBICOS** (m³) en vehículo.

d.) El pago se hará con base en el Cuadro N°27:

Cuadro N° 27. Detalles del reglón

Renglón de Pago	Descripción del Renglón	Unidad de Pago
CR.301.03	Base de agregado triturado, graduación C	m ³
CR.301.06	Sub-base de agregado triturado, graduación B	m ³

CR 204.05 Material de Préstamo Selecto– Caso 2

a.) *Requisitos*

Este material debe cumplir con lo estipulado en el CR-2010 – Sección 204, subsección 204.02, inciso (h), numeral 3, y será utilizado a discreción de la ingeniería de proyecto cumpliendo las especificaciones de material de 704.07 y se compactará el material de acuerdo con la Subsección 204.11. Además, será utilizado en las partes superiores del pavimento, tanto en los cortes y en los terraplenes, cuya colocación y compactación deberá cumplir con las subsecciones 204.10 y 204.11 del CR 2010.

Cuando el terreno es incapaz de soportar el equipo, se podrá utilizar este material para construir una superficie de soporte mediante descargas sucesivas de material apropiado creando capas uniformes y capaces de soportar el equipo de construcción, previa autorización del Gerente de Obras. Se limitará el espesor de la capa al mínimo necesario para soportar el equipo.

El suministro, el acarreo, la colocación y compactación del material de préstamo selecto se debe de contemplar en la estimación del costo de este renglón de pago.

El material y el trabajo correspondiente serán evaluados de acuerdo con las Subsecciones 107.02 y 107.04 del CR 2010.

Base para el pago: Las cantidades aceptadas de extracción (selección), carga y acarreo, colocación y compactación de materiales para reparación de las zonas blandas e inestables o ajustes en la subrasante, será pagado al precio unitario del contrato por metro cúbico de material medido en vehículo de transporte al sitio de obra, el cual incluirá el equipo, materiales, señalización, control de calidad, dispositivos de visualización y mano de obra necesarios para realizar el trabajo descrito, tal como se indica en esta especificación.

Cuadro N° 28. Detalles del renglón

Renglón de Pago	Descripción del Renglón	Unidad de Pago
CR 204.05	Material de Préstamo selecto– Caso 2	m ³

CR.552 Concreto Estructural

552.01 Descripción

Este trabajo consiste en proveer, colocar, acabar y curar concreto en cabezales, aletones, delantales, cunetas y otras estructuras que el ingeniero de proyecto determine.

La clase de concreto estructural es designada como se muestra en la Cuadro N° 28.

552.02 Materiales

Estarán de acuerdo con las especificaciones siguientes:

Cuadro N° 28. Características de concreto estructural

Agregados finos para concreto	INTE 06-01-02	Agregado fino:	
		Graduación 9,5 mm 100	
		Malla	% Pasando
		9,5 mm 100	100
		4,75 mm	95-100
		2,36 mm	80-100
		1,18 mm	50-85
		600 µm	25-60
		300 µm	10-30
		150 µm	2-10
		Módulo de finura (MF) entre 2,3 y 3,1	
		Material pasando malla de 75 µm 3% máximo concreto sujeto abrasión 5% máximo los demás concretos	
		Sanidad - Durabilidad en 5 ciclos con SO ₄ Na ² , % de pérdida 10% máximo	
		Equivalente de arena 75% mínimo	

		<p>Impurezas orgánicas = o más claro que el color patrón</p> <p>Si no cumple impurezas orgánicas debe revisarse la resistencia relativa a los 7 días (ASTM C 87) no sea menor al 95%</p> <p>Terrones de arcilla y partículas del deleznales 3% máximo</p> <p>Carbón y lignito 1% máximo</p>
Agregados gruesos para concreto	INTE 06-01-02	<p>Agregados gruesos: La graduación del agregado grueso debe cumplir con los requisitos de graduación de tabla 2 indicada al final de esta sección</p> <p>Abrasión en prueba de los ángeles 40% máximo</p> <p>Sanidad - Durabilidad en 5 ciclos con SO₄Na², % de pérdida 12% máximo</p> <p>Terrones de arcilla y partículas de deleznales concreto arquitectónico y losas de puentes y pavimentos 3%. Otros concretos 5% máximo</p> <p>Material pasando malla de 75 µm 1% máximo agregado que no tiene arcilla o pizarra se pueda aumentar a 1,5%</p> <p>Pizarras o esquistos con peso específico menor a 2,4 3% máximo</p>
Cementos hidráulicos	RTCR 383	
Agua	INTE 06-03-05	
Aditivos químicos	INTE 06-01-10	
Puzolanas	725.04	AASHTO M-295-AASHTO M-302 Grado 100 ó 200-AASHTO M-307
Aditivos inclusores de aire	711.02	AASHTO M-154
Rellenos minerales de hierro y escorias	725.05	AASHTO M-17
Materiales para el curado	711.01	AASHTO M-182-AASHTO M-131-AASHTO M-148 Tipo 1 D o 2
Almohadillas elastoméricas de soporte y sellos elastoméricos de juntas a compresión	717.10	AASHTO M-251
Recubrimientos de color	725.24	
Modificador de látex	711.04	

Recubrimientos de protección para concreto	725.14	ASTM D-260 Tipo 1 o 11-ASTM D-235
Vapores de sílice (microsílice)	725.04	

Requerimientos para la construcción

552.03 Composición (Diseño de mezclas de concreto).

Las mezclas de concreto serán diseñadas y producidas en conformidad con el Cuadro N°29 para la clase de concreto especificada. Se determinarán los valores del esfuerzo de diseño de acuerdo con la norma ACI 318. El concreto estructural deberá cumplir las siguientes especificaciones ACI:

- ACI 211.1 Práctica estándar para la selección de proporciones para el concreto normal, pesado y masivo.
- ACI 211.2 Práctica estándar para la selección de proporciones para el concreto estructural liviano
- ACI 211.3 Práctica estándar para la selección de proporciones para el concreto sin revenimiento.

Cuadro N° 29. Composición del concreto estructural

Clase de concreto	Resistencias a 28 días MPa Mínimo	Contenido mínimo cemento (kg/m ³)	Razón máxima A/C	Revenimiento (mm)	Tamaño máximo Agregado grueso
A	25	420	0,52	50 a 100	25 ó 38 mm
B	28	450	0,49	70 a 150	12 ó 19 mm
C	14	250	0,65	50 a 100	50 ó 63 mm
D	35	500	0,40	50 a 100	19 ó 25 mm
X	18	325	0,58	50 a 100	50 ó 38 mm
S	28	450	0,49	30 a 80	25 ó 38 mm

Notas:

- (1) El revenimiento máximo de un concreto es de 200 mm si el diseño de mezclas aprobado incluye un reductor de agua.
- (2) Concreto con aditivo reductor y retardador de acuerdo al INTE 06-01-10.
- (3) Concreto modificado con látex con 0,31 litros o modificador por kilogramo de cemento.

Verificar Los diseños de las mezclas de concreto que se presentan por escrito para su aprobación utilizando los mismos agregados, cemento y aditivos utilizados en los diseños. Los diseños se someterán para su revisión por lo menos 36 días antes de iniciar la producción.

Cada diseño de mezcla debe incluir lo siguiente:

- a.) Nombre del proyecto.
- b.) Nombre y dirección del contratista y la planta de concreto a utilizar.
- c.) Clase de concreto y resistencia a los 28 días.
- d.) Tipo de cemento y tipo de sustituto de cemento si se usara.
- e.) Proporciones del agregado, cemento, agua y aditivos.
- f.) Nombre y lugar de las fuentes de los agregados, cemento, agua y aditivos.
- g.) Contenido de cemento en kilogramos por metro cúbico de concreto.
- h.) Pesos de los agregados gruesos y finos por metro cúbico de concreto.
- i.) Contenido de agua (incluyendo humedad libre en el agregado más agua en el tambor, excluyendo la humedad absorbida en el agregado) en kilogramos por metro cúbico de concreto.
- j.) Relación agua/cemento.
- k.) Dosificación de los aditivos (No debe de mezclarse aditivos químicos de diferentes fabricantes).
- l.) Análisis granulométricos de los agregados finos y gruesos.
- m.) Absorción del agregado fino y grueso.
- n.) Gravedad específica bruta seca y saturada de los agregados finos y gruesos.
- o.) Pesos unitarios secos envarillados del agregado grueso, en kilogramos por metro cúbico.
- p.) Módulo de finura (MF) del agregado fino.
- q.) Certificados de calidad para el cemento, los aditivos y los agregados.
- r.) Valores del revenimiento del diseño con o sin aditivos reductores de agua.
- s.) Litros de agua por metro cúbico de concreto para los agregados con superficie seca
- t.) Peso unitario del concreto.
- u.) Resistencia especificada para el diseño ($f'c$) y resistencia promedio requerida ($f'cr$) para la mezcla de concreto a los 28 días, con base en la norma ACI 318. Cuando no hay datos suficientes disponibles se selecciona ($f'cr$) usar los datos que se indican a continuación. Hasta obtener la resistencia a los 28 días, un diseño de mezcla puede ser aprobado si los resultados de resistencia a la compresión a los 7 días son iguales o superiores al 85% de la resistencia promedio requerida ($f'cr$) a los 28 días.

Cuadro N° 30. Resistencia promedio requerida

Resistencia de diseño ($f'c$) (MPa)	Resistencia promedio requerida ($f'cr$) (MPa)
Menor de 21	$f'c + 7$
21 – 34	$f'c + 8,5$
Mayor de 35	$f'c + 10$

- v.) Resultados de tres o más cilindros de la misma edad, de acuerdo con la norma AASHTO T-22 (INTE 06-02-01).
- w.) Muestra de materiales si fuera necesario.

No se debe iniciar la producción del concreto hasta que el diseño de mezcla sea aprobado.

Si existe un cambio en la fuente de algún material o si el módulo de finura del agregado fino cambia en más de 0,20, se someter para aprobación un nuevo diseño de mezcla.

552.04 Manipulación y almacenamiento de materiales.

El agregado se debe almacenar y manipular de manera que se prevenga la segregación, contaminación, o cualquier otro efecto dañino. Se almacenarán y manipularán los agregados de manera que se asegure un contenido de humedad uniforme en el momento de dosificarlos. No se usará cemento o puzolana que presenten evidencias de haber adquirido humedad.

552.05 Medida de materiales.

El concreto se dosificará con el acuerdo al diseño de mezcla aprobado y los pesos deben de cumplir con las siguientes tolerancias:

Cuadro N° 31. Tolerancias en la dosificación en la mezcla de concreto

Materiales	Tolerancia (%)
Cemento	± 1%
Agua	± 1%
Agregado	± 2%
Aditivo	± 3%

Si se mantienen las tolerancias especificadas, puede usarse en un sistema de medida por volumen.

552.06 Plantas de dosificación, mezcladoras, agitadores y batidoras

Las plantas de dosificación, mezcladoras y agitadoras deben cumplir con AASHTO M157. El equipo de mezclado volumétrico continuo debe estar conforme a AASHTO M241.

En caso de usar batidoras, el volumen de concreto mezclado por batida no deberá exceder la capacidad nominal de la batidora, que muestre la placa del fabricante, con la clasificación de norma de la máquina. No será permitido el uso de batidora con capacidad nominal inferior a un saco de cemento.

552.07 Mezcla.

El concreto se debe mezclar en una planta mezcladora central, camiones mezcladores o en batidoras. Operar todo el equipo dentro de la capacidad recomendada por el fabricante. Producir el concreto con una consistencia uniforme.

a.) Planta central de mezclado: Agregar los aditivos líquidos por medio de un medidor de fluidos. Use debe medir con equipo de suficiente capacidad, para medir de una sola vez la cantidad completa de aditivo requerida para cada bache. Si se usa más de un aditivo, se debe dispensar cada uno con un equipo separado.

Cargar primero el agregado grueso, un tercio del agua y todo el aditivo dentro de la mezcladora, y luego se agregará el material restante.

Se debe mezclar por lo menos durante 50 segundos, contando del tiempo de mezcla después de que todo el cemento y el agregado estén en el tambor. Se agregará el agua restante durante el primer cuarto del tiempo de mezcla. El tiempo de transferencia de la mezcla entre los tambores de mezcladoras de tambor múltiple se incluye en el tiempo indicado de mezcla. El tiempo termina cuando se abre la compuerta de descarga.

Se removerá todo el contenido de una mezcladora individual antes de que el bache siguiente sea cargado en el tambor.

b.) Mezcla en camión: No deben usarse mezcladoras que tengan alguna parte de las paletas con un desgaste mayor de 25 milímetros respecto a la altura original de fábrica. No se usarán mezcladoras y agitadores con concreto endurecido o con mortero acumulado en el tambor de la mezcladora.

Se deben de cumplir los siguientes pasos:

- Agregar los aditivos al agua de la mezcla antes o durante el mezclado.
- Cargar el bache dentro del tambor de manera que una porción del agua de la mezcla entre antes que el cemento.
- Mezclar cada tanda de concreto de acuerdo con la norma AASHTO M 157.

c.) Mezcla en batidora: Para la mezcla que tenga relación con la construcción de obras de arte o estructuras menores, el concreto podrá ser mezclado en una batidora tipo aprobado, que tenga una capacidad nominal no menor de 1 saco de cemento.

La carga o batida deberá ser depositada en el tambor de modo que una parte del agua entre a él, antes del cemento y los agregados. La batidora deberá ser operada a la velocidad del tambor que se muestre en la placa de la fabricante adherida al aparato. Cualquier batida de concreto que fuese mezclada en menor tiempo del especificado, deberá ser rechazada y el contratista deberá deshacerse de ella por su propia cuenta.

552.08 Entrega.

La producción y entrega del concreto debe permitir una colocación continua que no alcance el fraguado inicial del concreto restante, que será vaciado adyacentemente a él.

Se usarán métodos de entrega, manejo y colocación que minimicen la remezcla del concreto, y prevengan cualquier daño durante el colado a la estructura.

No se colocará concreto que haya desarrollado un fraguado inicial. Nunca se re-mezclará el concreto agregándole agua.

Si es aprobado un aditivo a usarse en la mezcla de concreto, a efecto de estabilizar la hidratación, debe agregarse al concreto dentro del límite de tiempo aprobado en el diseño para la descarga. Se limita las pérdidas de revenimiento a no más de 50 mm durante el período de estabilización. Se puede utilizar un activador de hidratación aprobado y compatible en las descargas para asegurar colocación y prueba apropiada.

Para la entrega del concreto se usará alguno de los siguientes medios:

a.) Camión mezclador/agitador: Se usará la velocidad de agitación para todo el tiempo de mezcla. Cuando un camión mezclador o agitador se use para transportar concreto, que ya está completamente mezclado en una mezcladora central estacionaria, se seguirá agitando durante el transporte a la velocidad de agitación recomendada por el fabricante.

El concreto sin aditivo debe ser descargado como máximo 1 hora después de haber sido producido.

El concreto con aditivo debe ser descargado como máximo 1,50 horas después de haber sido producido.

b.) Equipo sin agitación: Se podrá usar equipo sin agitación para transportar concreto, si la descarga del concreto se concluye en el transcurso de 20 minutos, desde el inicio de la adición del cemento al tambor de la mezcladora. Usar contenedores metálicos, herméticos que sean capaces de descargar el concreto a una velocidad controlada, sin segregación. Usar cobertores cuando se necesiten para su protección.

552.09 Control de calidad de la mezcla en planta

Suministrar y seguir un plan de control de calidad de acuerdo con las Secciones 153 y 154 según sea pertinente y considerando, además, lo que sigue:

a.) Mezcla: Se debe asignar un técnico en concreto hidráulico, experimentado y competente, para que permanezca en la planta mezcladora revisando las operaciones de la planta y que sea responsable del control de calidad, incluyendo:

1. Revisar el correcto almacenamiento y manejo de todos los componentes de la mezcla de concreto.
2. Revisar que se dé un correcto mantenimiento y limpieza de planta, camiones y otros equipos.
3. Revisar la uniformidad de la graduación de agregados finos y gruesos.
4. Verificar el módulo de finura del agregado fino.
5. Revisar la medición del contenido de humedad de los agregados y ajuste por humedad de las proporciones del agregado de la mezcla requeridas, antes de la producción de cada día y durante el día si fuera necesario, para mantener la relación agua/cemento ajustado.
6. Revisa los pesos de los baches de las mezclas de las mezclas de concreto con base a los diseños aprobados, para la producción de cada día y la revisión de la calibración de la planta, cuando fuera necesario.
7. Confección de los tiquetes de los despachos que incluyen la siguiente información:
 - 7.1. Suplidor del concreto.
 - 7.2. Tiquete con el número de serie.
 - 7.3. Fecha y número de camión
 - 7.4. Nombre del Contratista.
 - 7.5. Estructura o sitio de la colocación.
 - 7.6. Diseño de mezcla y clase de concreto.
 - 7.7. Agua total de la mezcla en planta.
 - 7.8. Tiempo de procesamiento y tiempo de finalización de la descarga.
 - 7.9. Cantidad máxima de agua que se debe agregar a la mezcla en el proyecto.
 - 7.10. Si se utiliza un aditivo, se debe registrar el revenimiento en la planta después de agregar el mismo.

Se debe proporcionar el equipo necesario para las pruebas y controles antes mencionados.

b.) Entrega y muestreo: Se debe asignar por lo menos un técnico competente y con experiencia para que permanezca en el proyecto y se responsabilice de la entrega del concreto, de las operaciones de descarga y del muestreo, incluyendo lo siguiente:

1. Verificación de que los ajustes de la mezcla, antes de la descarga cumplan con las especificaciones.
2. Suministrar todo el equipo y efectuar las mediciones de temperatura, peso unitario y contenido de aire cuando se solicite, revenimiento y otras pruebas que verifiquen el cumplimiento de las especificaciones antes y durante cada operación de colocación se registran y presentan los resultados a la Administración.

Si se utiliza aditivo, se debe determinar el revenimiento antes de la colocación. No se debe utilizar el concreto con una pérdida de revenimiento de más de 50 milímetros con respecto al revenimiento registrado en la planta.

Se debe muestrear cada viaje después de descargar al menos un 10 % en los encofrados. Cuando se utiliza el mezclado continuo, se muestrea aproximadamente cada 7,5 m³ o fracción.

Las pruebas de revenimiento, y temperatura deben estar en conformidad con las especificaciones solicitadas para el proyecto.

Se deben de realizar pruebas de revenimiento y temperatura a todos los viajes y realizar pruebas de control de resistencia cada tres (3) viajes como promedio.

Se tomarán muestras de lotes especificados de acuerdo con la norma AASHTO T 141. No se deben tomar muestras compuestas de varios viajes. El punto de muestreo es en la descarga en el punto de colocación. Efectuar por lo menos cinco pruebas a la compresión de cilindros, a los que se le proporcionará el curado inicial apropiado y se transportarán cuidadosamente al sitio de curado preparado en el proyecto. Tres de los 5 cilindros se usarán para las pruebas de compresión a los 28 días. Los cilindros restantes se usarán para la verificación, resistencias proyectadas, u otros propósitos especificados. Se debe prestar asistencia en la ejecución de otras pruebas si fuera requerido.

552.10 Temperatura y condiciones ambientales.

Se mantendrá la temperatura de la mezcla de concreto entre 10 °C y 32 °C, justo antes de la colocación, con excepción del concreto para las losas de puentes, que se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.

- a.) Clima frío: El clima frío se define como el período en que, por más de 3 días consecutivos, existen las siguientes condiciones:
 1. El promedio de las temperaturas más altas y más bajas que ocurren durante el período de medianoche a medianoche es menor que 5 °C
 2. La temperatura del aire no es mayor que 10 °C para más de la mitad de cualquier período de 24 horas.
- b.) Clima caliente: Se considera clima caliente, cuando en cualquier momento durante la colocación del concreto, la temperatura ambiente en el sitio de trabajo esté sobre 35 °C.

En clima caliente se deben enfriar todas las superficies en contacto con la mezcla a menos de 35 °C. Se enfriará cubriendo con esteras mojadas o petates de algodón, rociando con agua, cubriendo con cubiertas protectoras, o con cualquier otro método aprobado. Durante la colocación se debe mantener la temperatura del concreto usando cualquier combinación de lo siguiente:

1. Las áreas de almacenamiento de materiales o el equipo de producción deben estar bajo sombra.
2. Se enfriará el agregado rociándolo con agua.
3. El agregado y / o el agua se enfriarán por refrigeración o sustituyendo parte o toda el agua de mezcla con hielo fraccionado o triturado, hasta el punto en que el hielo se derrita completamente durante la mezcla del concreto.

c.) Evaporación: Cuando se coloque concreto en la losa de los puentes o en otras losas expuestas, se debe limitar la evaporación esperada a una razón menor de 0,5 kilogramos por metro cuadrado por hora, como se especifica en Figura N°42.

Cuando es necesario, se sigue una o más de las acciones siguientes:

1. Se construyen rompevientos, cortavientos o espacios cerrados para reducir eficazmente la velocidad del viento a través del área de colocación.
2. Durante la colocación se usan rociadores de neblina contra el viento para aumentar eficazmente la humedad relativa.
3. Se reduce la temperatura del concreto según lo indicado anteriormente en (b).

d.) Lluvia: Siempre durante e inmediatamente después de la colocación se debe proteger al concreto de la lluvia.

552.11 Manejo y colocación del concreto.

Cuando corresponda, se deberá efectuar el trabajo los trabajos de excavación y relleno según lo especificado en la Sección 208 y 209 del CR-2010. Se prepararán el acero de refuerzo, el acero estructural, los dispositivos de apoyo, el material de juntas y los artículos misceláneos necesarios, de acuerdo a las Secciones correspondientes.

a.) General: Se debe diseñar y construir el andamiaje y los encofrados de acuerdo a la Sección 562. Se debe manipular, colocar, y compactar el concreto siguiendo métodos que no causen segregación y que produzcan concretos densos y homogéneos, libres de vacíos y hormigueros. Los métodos de colocación cuando correspondan no deben causar desplazamiento del acero de refuerzo o cualquier otro elemento que quedará empotrado en el concreto. Se colocará y compactará el concreto antes de la fragua inicial. No se debe remezclar el concreto agregando agua a la mezcla.

No se colocará el concreto hasta que los encofrados y todos los accesorios que quedan recubiertos hayan sido inspeccionados.

Se removerá todo el mortero, escombros, y materiales extraños de los encofrados y del acero de refuerzo antes de iniciar la colocación del concreto. Se humedecerán los encofrados y el subsuelo antes de que el concreto sea colocado. Las formaletas temporales se pueden dejar en el lugar hasta que no sean necesarias para el colado, después de lo cual serán removidas.

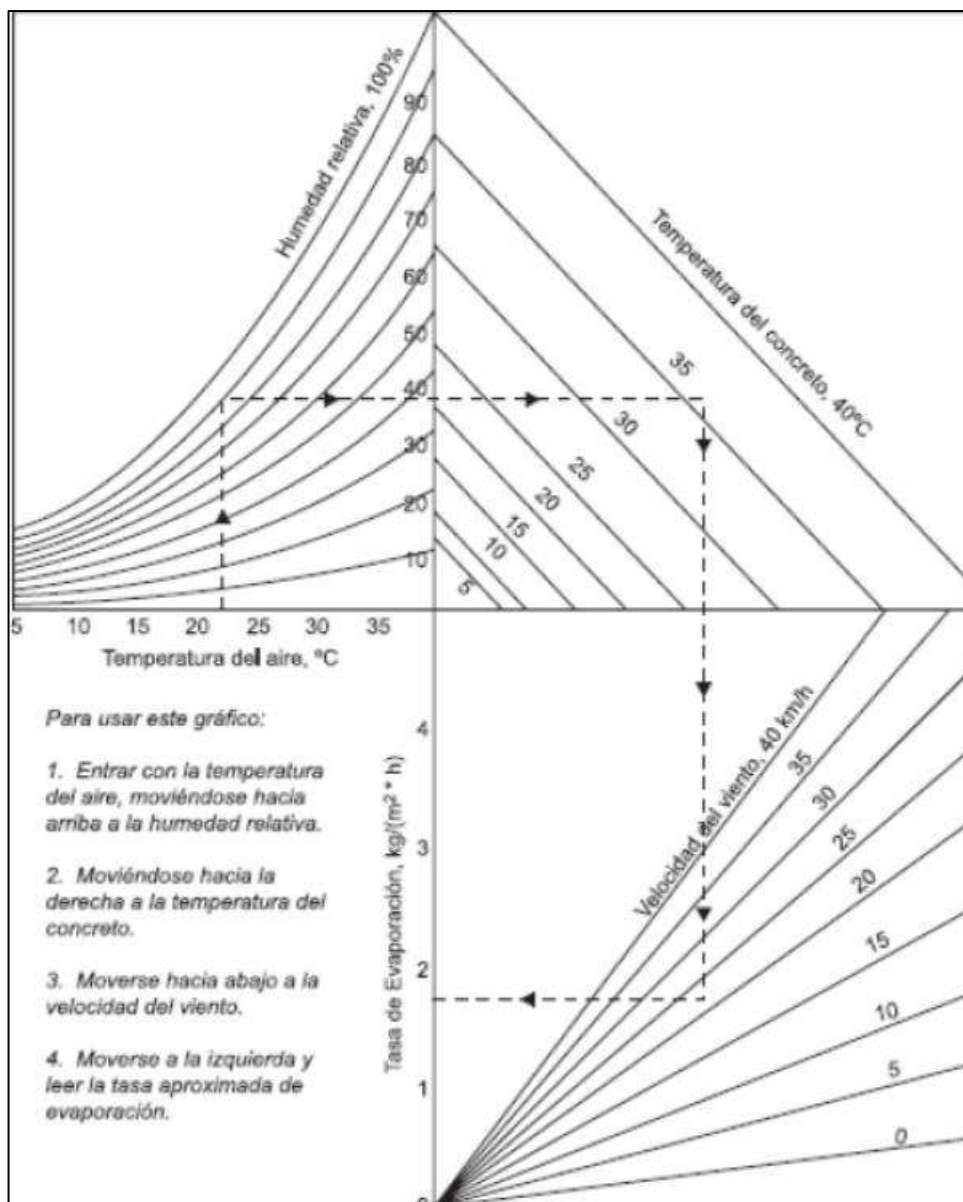


Figura N°42. Gráfico de razón de evaporación por metro cuadrado para losas expuestas

Se colocará el concreto en forma continua -sin ninguna interrupción- en la etapa de construcción planeada o entre juntas de expansión. Los volúmenes de entrega, la secuencia de colocación y los métodos usados deben ser tales que el concreto fresco sea siempre colocado y vibrado contra concreto colocado anteriormente, antes que empiece el fraguado. No se permitirá que el tiempo entre la colocación de baches consecutivos exceda 30 minutos.

Durante y luego de la colocación de concreto no se debe perturbar el concreto colado anteriormente, o afectar la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo. Se debe mantener a los trabajadores fuera de las zonas con concreto fresco. No se deben apoyar plataformas o andamios ni equipo directamente sobre el acero de refuerzo. Una vez que el concreto es colocado no se deben disturbar los encofrados, o el acero de refuerzo del concreto que sobresale de éste, hasta que tenga suficiente resistencia para no sufrir daños.

b.) Métodos de colocación: Usar equipos con capacidad suficiente, que hayan sido diseñados y operados previniendo segregación en la mezcla y pérdida de mortero. No se deben usar equipos que causen vibraciones y puedan dañar el concreto fresco colocado. No se deben usar equipos con partes de aluminio que tengan contacto con el concreto. Se deben remover los morteros secos o fraguados de las superficies internas del equipo de colocación.

Colocar el concreto lo más cerca posible de su posición final. No se debe colocar concreto en capas horizontales de más de 0,5 m de espesor. No se debe exceder la capacidad de vibración necesaria para consolidar y unir la capa nueva con la capa anterior. No se debe colocar el concreto a una velocidad tal que cuando se corrija por temperatura, se exceda la carga de diseño de los encofrados.

No debe dejarse caer el concreto sin confinamiento más de 2 m. El concreto debe ser confinado usando un embudo con tubo ajustado o cualquier otro artefacto aprobado por el Gerente de Obra, que prevenga la segregación de la mezcla y el esparcimiento del mortero. Esto no se aplica al vaciado de pilotes cuando la colocación de concreto se completa antes que ocurra el fraguado inicial en el concreto colocado anteriormente.

Se operarán las bombas de concreto de manera tal que éste sea entregado en flujo continuo, sin bolsas de aire en el tubo de descarga. No se deben usar sistemas de banda transportadora de más de 170 m de largo, medidos de extremo a extremo en la totalidad del montaje de la banda. Se arreglará el montaje de la banda de tal manera que cada sección descargue en una tolva vertical, hasta la siguiente sección, sin que nada de mortero se adhiera a la banda. Se usará una tolva conducto y deflectores al final del sistema de la banda transportadora, para que el concreto caiga verticalmente.

c.) Compactación: Tener suficientes vibradores internos manuales que sean adecuados para las condiciones de la colocación del concreto. Los vibradores deben cumplir con la Cuadro N°32. Tener vibradores con cubierta de hule cuando el acero de refuerzo tenga recubrimiento epóxico.

Cuadro N° 32. Requisitos para vibradores manuales

Diámetro de corona (milímetros)	Frecuencia vibraciones / minuto	Radio de acción (milímetros)
19 a 38	10 000 a 15 000	75 a 125
32 a 64	9 000 a 13 500	125 a 225
50 a 89	8 000 a 12 000	125 a 225

Proveer un número suficiente de vibradores para consolidar cada bache a medida que va vaciándose. Se tendrá un vibrador de repuesto en el lugar, para el caso de requerirse. Se usarán vibradores externos para encofrado solamente cuando éstos hayan sido diseñados para ser vibrados y cuando es imposible usar vibración interna.

Se consolidará todo el concreto con vibración mecánica, inmediatamente después de su colocación. Operar los vibradores de manera que trabajen adecuadamente el concreto alrededor del refuerzo, de accesorios empotrados, esquinas, y ángulos en los moldes. No se debe provocar segregación. No se debe vibrar el concreto colocado bajo agua. Se suplirán, si es necesario, acomodo y compactación adicionales del concreto por medio de pala para

asegurar una superficie lisa y densa a lo largo de los encofrados, en esquinas y en lugares que son imposibles de alcanzar con vibración.

El concreto se vibrará en el punto de depósito y en puntos espaciados uniformemente, a no más de un 1,5 veces el radio sobre el cual la vibración es efectivamente visible. Se insertarán los vibradores de manera que las áreas vibradas se traslapen. No deben usarse vibradores para mover el concreto.

Los vibradores se insertarán vertical y lentamente. La vibración debe ser de duración e intensidad suficientes para consolidar completamente el concreto sin causar segregación. No se debe realizar una vibración de duración larga en un punto que cause la formación de mortero en áreas localizadas. No se debe vibrar el acero de refuerzo.

d.) Colocación debajo del agua: La colocación de concreto bajo el agua es permitida únicamente para el concreto de sellos y en el relleno de pilotes excavados. Para propósitos ajenos al sello de concreto se debe aumentar el contenido mínimo de cemento en un 10 %. Usar embudos con tubo confinante, bombas de concreto y otros métodos de colocación aprobados.

1. **Embudos con tubería confinante:** Usar embudos con tubería confinante impermeables con un diámetro de 250 mm o más. Ajustar superiormente con una tolva. Usar la cantidad de tubos necesaria. Los tubos confinantes deben bajar rápidamente para no retrasar o detener el flujo de concreto.

Al iniciar la colocación de concreto se debe sellar el final de la descarga y rellenar el tubo con concreto. Mantener la tubería llena de concreto hasta el fondo durante la colocación.

Si el agua entra por el tubo se retirará el embudo y se resellará el final de la descarga. Se mantendrá un flujo continuo de concreto hasta que la colocación finalice.

2. **Bombas de concreto:** Usar bombas con un dispositivo colocado al final del tubo de descarga que permita impedir el ingreso del agua exterior mientras el tubo está siendo llenado con concreto. Cuando se inicie el flujo del concreto se mantendrá el final de tubo de descarga lleno de este material y debajo de la superficie del concreto ya depositado hasta que la colocación finalice.

El concreto bajo el agua se colocará continuamente, desde el inicio hasta el final, en una masa densa. Colocar cada capa subsiguiente de concreto antes de que en la capa anterior se inicie la fragua inicial.

Usar más de un embudo o bomba si es necesario para garantizar el cumplimiento de los requisitos. Mantener la superficie de concreto lo más horizontalmente posible. No se debe alterar el concreto después de la colocación. Se mantendrá el agua en reposo en el punto de descarga.

Desaguar después que las pruebas de las muestras curadas bajo condiciones similares indiquen que el concreto tiene suficiente resistencia para soportar las cargas esperadas. Se removerá la lechada y todos los materiales insatisfactorios del concreto expuesto.

e.) **Barandas y parapetos de concreto:** Usar encofrados lisos, herméticos y rígidos. Las esquinas serán bien pulidas y perfiladas. Colocar el concreto de las barandas y parapetos después de que los encofrados o andamiajes hayan sido removidos del tramo en cuestión. Remover los encofrados cuidando no dañar el concreto.

Acabar las esquinas cuidadosamente, dejándolas perfiladas, libres de grietas y astillas o de cualquier otro defecto.

Las partes precoladas de barandas deberán ser coladas en moldes herméticos para evitar el escape del mortero. Remover los encofrados tan pronto como el concreto este suficientemente duro como para soportarse a sí mismo. Proteger los filos y esquinas contra quebraduras, grietas y cualquier otro daño. Curar de acuerdo con la subsección 552.15 (b). El período de curado se puede acortar usando vapor y / o agentes reductores de agua o cemento tipo III.

552.12 Juntas de construcción.

Usar juntas de construcción en los sitios señalados en los planos. Es requerida la aprobación escrita para cualquier junta de construcción adicional. En las juntas de construcción horizontales colocar tiras de calibración dentro de los moldes a lo largo de todas las caras visibles, para proporcionar juntas en línea recta. Las juntas de construcción deben ser, limpiadas y saturadas antes de colar el concreto fresco adyacente. Inmediatamente antes de colocar concreto nuevo, los encofrados deberán ser fuertemente presionados contra el concreto ya colocado inmediatamente antes de colar el concreto en los encofrados adyacentes. Donde sea accesible la superficie vieja deberá ser cubierta completamente con una capa muy delgada de mortero de cemento. El acero de refuerzo debe pasar a través a las juntas de construcción.

552.13 Juntas de expansión y contracción.

a.) **Juntas abiertas:** Construir juntas abiertas con una tira de madera, placa de metal u otro material aprobado. El retiro del molde se deberá hacer sin astillar ni quebrar las esquinas del concreto. El refuerzo no se deberá extender a través de una junta abierta.

b.) **Juntas rellenas:** El relleno de juntas deberá ser cortado del mismo tamaño y forma de las superficies por unirse. Se fijará el relleno en una superficie de la junta, usando clavos galvanizados o cualquier otro método aceptado. Se empalmará de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Después de retirar los moldes, remover y cortar cuidadosamente cualquier concreto o mortero que hubiese escurrido a través de las juntas. Se rellenarán todas las aberturas de las juntas de 3 mm a más de grosor con asfalto caliente o cualquier relleno que sea aprobado. Se colocarán los pasadores que fuesen necesarios, dispositivos de transferencia de carga y otros accesorios, según lo indiquen los planos o como se ordenase.

c.) **Juntas de acero:** Se fabricarán placas, ángulos u otras formas y perfiles estructurales, de acuerdo a la superficie del concreto. Se fijarán las aberturas de las juntas a la temperatura ambiente de acuerdo con la hora en que va a ser colado el concreto. Asegurar bien las juntas

para mantenerlas en posición correcta. Mantener una abertura sin obstrucción en la junta durante la colocación de concreto.

d.) **Juntas impermeabilizantes:** Estas deberán ser colocadas de acuerdo a los requisitos de la Sección 559.

e.) **Sellos en las juntas en compresión:** Se usará un sello de compresión de una sola pieza para juntas transversales. Las juntas longitudinales deben ser lo más largas posible. Se deben limpiar y secar las juntas y remover astillas e irregularidades. Aplicar un lubricante – adhesivo como capa protectora en ambos lados del sello y se colocarán las juntas según las recomendaciones del fabricante.

Asegurar que el sello esté en contacto total con las paredes de las juntas en toda su longitud.

Se deben remover y descartar todos los sellos torcidos, ondeados, mellados o malformados.

Remover y reinstalar sellos en las juntas que se alarguen más de un 5 % de su longitud original, cuando estén comprimidos. Remover todo el exceso de lubricante-adhesivo antes de que se seque.

f.) **Sellos elastoméricos** para juntas de expansión: Se instalarán las juntas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y en conformidad con los planos.

552.14 Acabado de concreto plástico.

Acabar las superficies de concreto que no quedan en contacto con encofrados, flota o llaneta. Remover cualquier exceso de concreto o mortero fino. Acabar cuidadosamente, con herramienta manual, todos los bordes no biselados. Dejar expuestos los bordes de las juntas rellenas. Proteger la superficie contra la lluvia.

Acabar todas las superficies de concreto usadas por el tráfico con un material resistente al deslizamiento o patinaje. Proveer por lo menos 2 fuentes de trabajos adecuados y convenientes.

a.) **Acabado, nivelación y llaneteado:** Para la cubierta de los puentes o las losas superiores de las estructuras que sirven como pavimentos finales, se debe usar una maquinaria aprobada de acabado, autopropulsada y con codal oscilante. Si así se aprueba se usarán métodos de terminación a mano para las áreas irregulares donde el uso de maquinaria no es práctico.

Nivelar (codalear y quitar el exceso de lechada) todas las superficies usando un equipo soportado y moviéndose sobre rieles. No colocar rieles dentro de los límites de colocación de concreto, sin aprobación previa.

Instalar rieles en soportes que no cedan, de manera que el equipo de acabado opere sin problemas sobre toda la superficie que ya ha sido acabada. Extender los rieles más allá de ambos finales de la colocación de concreto establecida, para permitir que la maquinaria termine de colar el concreto.

Colocar rieles en la longitud total de las vigas de acero de la superestructura.

Ajustar los rieles y el equipo de acabado al perfil requerido y a la sección transversal, tomando en consideración el asentamiento anticipado, la curvatura y la deflexión del andamiaje.

Antes de iniciar la entrega y colocación del concreto se debe operar la maquinaria de acabado sobre el área completa de trabajo, para detectar posibles deflexiones de rieles, excesivo espesor de losa, recubrimiento del acero de refuerzo y para verificar la operación correcta del equipo. Se harán las correcciones necesarias antes de iniciar la colocación de concreto.

Después de iniciada la colocación del concreto, se operará la máquina de acabado sobre el concreto según sea necesario para obtener el perfil y la sección transversal requeridos. Mantener un pequeño exceso de concreto enfrente del filo de corte del codal todo el tiempo hasta el final del vaciado o encofrado y luego remover y eliminar. Ajustar los rieles, según sea necesario, para corregir los asentamientos o deflexiones no previstas.

Remover los soportes de rieles empotrados en el concreto, por lo menos 50 mm bajo la superficie terminada y se llenará y acabará cualquier hueco en el concreto fresco. Se acabará la superficie con una llana, rodillo u otro aparato aprobado, según sea necesario, para remover todas las irregularidades locales.

Remover todo el exceso de agua, lechada o material extraño traído a la superficie, usando un rodillo o codal y pasándolo desde el centro de la losa hacia los lados. No se debe aplicar agua a la superficie del concreto, durante las operaciones de acabado.

b.) Alineamiento: Se revisarán todos los niveles de losas y aceras y la superficie completa paralela a la línea del centro del puente, con un codal metálico de por lo menos 3 metros de largo. Se traslapará el paso del codal en por lo menos la mitad de la longitud previamente alineada.

Corregir desviaciones que excedan 3 mm del borde del codal.

Para las superficies de losas que van a recibir una sobre capa, corregir las desviaciones de más de 6 mm.

c.) Texturización: Se obtendrá una textura en la superficie que sea resistente y antideslizante acanalada, en todas las áreas de operación vehicular. Usar uno de los siguientes acabados o una combinación de éstos, según se requiera:

1) Textura estriada: Usar un rastrillo que tenga una sola fila de agujas o una máquina diseñada y aprobada especialmente para marcar canales en pavimentos de concreto. Las líneas de las estrías en el concreto deben estar espaciadas a 19 ó 25 mm centro a centro. Hacer los canales de 3 a 5 mm de ancho y de 3 a 5 milímetros de profundidad. Estriar perpendicularmente a la línea del centro sin rasgar la superficie de concreto ni perder agregado.

Si las estrías son aserradas, cortar las estrías de aproximadamente 5 mm de ancho espaciándolas de 19 a 25 mm.

En la calzada de puentes, terminar la conformación de las estrías a 300 mm de la cara del bordillo y proveer un acabado con plancha longitudinal, en la superficie de las cunetas.

2) Acabado de aceras: Acabar la superficie usando un codal y luego una llana para su terminación. Usar una herramienta de acabado de orillas (redondeado) en los bordes y juntas de expansión. Barrer la superficie con un escobón de cerdas duras, barrer perpendicularmente a la línea del centro, de borde a borde, con pasadas adyacentes y levemente traslapadas.

Se producirán corrugados regulares que no tengan más de 3 mm de profundidad, sin rasgar el concreto.

Cuando el concreto está en condición plástica, se corregirán puntos porosos, irregularidades, depresiones, bolsas pequeñas y puntos rugosos. Se acanalarán las juntas de contracción a los intervalos requeridos usando una herramienta aprobada para acanalar.

3) Acabado cepillado: Se usará una paleta de acero para producir una superficie lisa dejándola libre de agua de exudación. Se pasará un cepillo fino a la superficie, con pasadas paralelas.

4) Acabado con agregado expuesto: Se acabará la superficie usando un codal y luego una llana, para concluir el acabado. Se usará un ribeteador en todas las juntas transversales y longitudinales, que queden contra los moldes o el pavimento existente (Dejar los bordes redondeados) No se ribetearán las juntas transversales ni las longitudinales.

Tan pronto como el concreto se endurezca lo suficiente para prevenir que partículas de grava sean desalojadas, se debe barrer o cepillar la superficie. Se usarán cepillos de cerda dura, previa aprobación del contratante. Se cuidará de prevenir que la superficie se descascare o agriete en los bordes de las juntas. Si se aprueba por el Contratante, se aplicará un rociador liviano de retardador a la superficie sin acabar, para facilitar este trabajo.

Para comenzar se cepillará transversalmente a través del pavimento y luego se empujará el mortero suelto semiduro totalmente fuera del pavimento. Remover el mortero de todos los pavimentos adyacentes y luego se cepillará paralelamente a la línea de centro del pavimento. Continuar esta operación hasta que una cantidad suficiente de agregado quede expuesto. Otros métodos de acabado de agregado expuesto, como el de usar rociador de agua pegado en un cepillo especial para este propósito, se puede permitir siempre y cuando se demuestren resultados satisfactorios.

Después de curar de acuerdo a **Subsección 501.10**, lavar la superficie con cepillo y agua para remover toda la lechada y cemento del agregado expuesto.

(a) Superficie debajo de los apoyos: Se acabarán todas las superficies de los apoyos, dentro de los 5 mm de la elevación de planos. Cuando una placa de mampostería o un material de relleno se van a colocar directamente sobre el concreto, de menos de 5 mm de espesor, se acabará la superficie con una llana, a una elevación ligeramente sobre la elevación de planos. Después del fraguado del concreto, se esmerilará o pulirá la superficie, según sea necesario, para obtener un soporte total y parejo.

Cuando se requiera colocar un apoyo acolchado elastomérico se debe usar mortero en proporción de una parte de cemento y 1,5 partes de arena limpia. Se mezclarán completamente la arena y el cemento antes de agregar el agua. Se mezclará solo el mortero necesario para un uso inmediato. Botar el mortero sin usar que tenga más de 45 minutos. Curar el mortero por lo menos durante 3 días y sin aplicar cargas, por lo menos durante 48 horas.

La arena de mortero debe cumplir con la norma **AASHTO M 45**.

552.15 Curado del concreto.

El curado se iniciará inmediatamente después de que el agua libre de la superficie se haya evaporado y el acabado esté listo. Si la superficie del concreto empieza a secarse antes de comenzar el uso del método elegido de curado, se mantendrá húmeda la superficie de concreto usando un rociador de neblina sin dañar la superficie.

Las superficies se mantendrán húmedas después de que los encofrados hayan sido removidos.

Las superficies superiores de las losas de los puentes se curarán usando el método de membrana líquida de cura combinado con el método de agua. Aplicar el compuesto de membrana líquida de curación inmediatamente después del acabado. La cura con agua se aplicará 4 horas después del acabado.

Curar todo el concreto ininterrumpidamente durante por lo menos 7 días. Si se ha usado puzolana con exceso de 10% por peso de cemento, se debe curar sin interrupción por lo menos durante 10 días.

(a) Método de encofrado: En superficies con encofrados se dejarán estos en su sitio sin aflojarlos. Mantener húmedas las superficies expuestas, o usar una membrana de curación aplicando un compuesto claro adecuado (**Tipo 1 o tipo 1-D**) durante el resto del período de cura.

(b) Método con agua: Se mantendrá la superficie de concreto continuamente mojada, empozándola, rociándola o cubriéndola con algún material adecuado. Este material puede ser una tela de algodón, o algún otro que sea aprobado y que no destiña o dañe el concreto.

Cubrir el material de cobertura con una lámina impermeable que prevenga la pérdida de humedad del concreto. Se usarán las láminas más anchas que sean prácticas. Se traslaparán las láminas adyacentes en por lo menos 150 mm y se sellarán todas las juntas con cinta a presión, goma o cualquier otro método aprobado.

Se asegurará bien todo el material de manera que el viento no lo remueva. Se deben reparar las láminas que se quiebren o dañen inmediatamente.

(a) Método de la membrana líquida de cura: No debe usarse el método de la membrana líquida en las superficies que recibirán un acabado posterior. El uso en superficies de juntas de construcción es permitido solamente si el compuesto es removido por medio de un soplador de arena, antes de vaciar el concreto contra la junta.

Se usará una membrana **líquida Tipo 2** de pigmento blanco, solamente en las superficies superiores de las losas de los puentes o en las superficies no visibles en el trabajo terminado. Usar compuestos claros de curado, **Tipo 1 o 1-D** en el resto de las superficies.

Mezclar las soluciones de membrana líquida de cura que contengan pigmentos antes de usarlas.

Continuar agitando durante la aplicación. Usar un equipo capaz de producir un rociado fino. Aplicar el compuesto de curación en proporción mínima de 0,25 l/m² en una o dos aplicaciones uniformes.

Si la solución se usa en 2 aplicaciones, la segunda aplicación se debe realizar dentro de los 30 minutos posteriores a la primera y aplicar en ángulo recto respecto a ella.

Si la membrana se daña por la lluvia o algún otro medio durante el periodo de curado, aplicar inmediatamente una capa nueva sobre las áreas dañadas.

552.16 Acabado de superficies encofradas.

Remover, recolocar y reparar, con la aprobación del Contratante todos los hormigueros en el concreto.

Acabar las superficies de concreto encofradas como sigue:

(a) Clase 1: Acabado ordinario: Acabar las siguientes superficies con un acabado ordinario **clase 1**.

1) Bajo superficies de tramos de losa, vigas de cajón, vigas doble T, bóvedas, arcos, y losas de calzada y entre vigas maestras de la superestructura.

2) Dentro de superficies verticales o vigas T de superestructuras.

3) En superficies que van enterradas y superficies de alcantarillas sobre el suelo acabado, que no son visibles desde un trillo o sendero.

Inicia el acabado tan pronto como los encofrados han sido removidos. Remover escamas y otras irregularidades de la superficie que están expuestas o que van a ser impermeabilizadas. Remover salientes y desalineamientos con discos o piedras de carborundo. Remover las bolsas de piedras u hormigueros localizados en el concreto y se repararán con concreto o mortero, de una manera aprobada.

Limpiar los agujeros de los anclajes o separadores de los encofrados, huecos, esquinas y bordes quebrados y cualquier otro defecto y se saturará el área con agua. Acabar el área con mortero que tenga menos de 1 hora de fabricado. Después de que el mortero fragüe acabar si se requiere y se continuará el curado. Nivelar las superficies expuestas con el concreto de su alrededor.

Remover, con una herramienta adecuada, el mortero suelto de los encofrados y las juntas de expansión.

Dejar las juntas por ser llenadas, expuestas y limpias en su longitud total con bordes perfectos.

Acabar las superficies de apoyo en estribos y bastiones a la elevación e inclinación especificadas. Si el acabado final de la superficie no resulta uniforme y efectivo, se aplicará el artículo “b” que sigue:

(b) Clase 2: Acabado afinado: Acabar las siguientes superficies con acabado liso **clase 2**.

1. Todas las superficies de superestructuras de puentes, excepto las superficies designadas para recibir un acabado **clase 1** o algún otro acabado.
2. Todas las superficies de los estribos de los puentes, pilotes, columnas, linderos y muros de retención, sobre el terreno natural y al menos 300 mm debajo del terreno.
3. Todas las superficies abiertas en los arcos, columnas, y bastiones.
4. Todas las superficies de cruces peatonales, excepto pisos y superficies que se cubrirán con tierra.
5. Las superficies sobre el nivel del suelo de cabezales de alcantarillas, paredes finales, y todas aquellas obras de arte visibles desde la carretera o desde caminos peatonales.
6. Dentro de las superficies de la cubeta de las alcantarillas más altas de 1 m, que sean visibles desde la carretera. Se acabará dentro de la cubeta en una distancia por lo menos igual a la altura de la alcantarilla.
7. Todas las superficies de los barandales.

Se completará un acabado **Clase 1** de acuerdo con el inciso “a”, mencionado anteriormente. Se saturará la superficie de concreto con agua. Se afinará la superficie con una piedra de carborundo de grosor medio usando una cantidad pequeña de mortero en la cara. Se usará mortero compuesto de una mezcla de cemento y arena fina en las mismas proporciones del concreto que se está acabando. Continuar el afinado hasta que las marcas de los encofrados, proyecciones y todas las irregularidades sean removidas y se obtenga una superficie uniforme. Dejar en su lugar la pasta producida por el afinado.

Cuando se concluya otro trabajo que pueda afectar la superficie, se afinará con una piedra fina de carborundo y agua, hasta que la superficie completa tenga una textura lisa y un color uniforme. Después de que la superficie se ha secado, restregar con un trapo o esponja para remover el polvo suelto. Se dejará libre de todos los remiendos, pasta, polvo y cualquier marca que sea objetable.

(c) Clase 3: Acabado con herramientas: Se dejará que el concreto fragüe por lo menos durante 14 días para evitar que partículas del agregado salgan a la superficie. Se usarán herramientas de aire como martellina o picos. Se picará la superficie de mortero y se quebrarán las partículas del agregado para dejar expuestos grupos de partículas de agregado en la matriz del mortero.

(d) Clase 4: Acabado con chorro de arena: Se dejará que el concreto fragüe por lo menos durante 14 días. Se protegerán las superficies adyacentes, que recibirán este acabado. Se aplicará el chorro de arena, con arena dura y filosa para producir una superficie de grano fino en la cual el mortero es desprendido o barrido, y deja el agregado expuesto.

(e) Clase 5: Acabado rayado con cepillo de acero: Se iniciará tan pronto como los encofrados hayan sido removidos. Se raspará la superficie con cepillos de fibra o cerdas de acero usando una solución de ácido muriático.

Mezclar la solución en una proporción de 1 parte de ácido por 4 partes de agua. Se raspará hasta que la capa del cemento de la superficie sea removida completamente y las partículas del agregado queden expuestas.

Se dejará una textura pareja de piedrecillas que den la apariencia de granito fino a conglomerados gruesos, dependiendo del tamaño y graduación del agregado. Se lavará la superficie completamente con agua que contenga una cantidad pequeña de amoníaco.

(f) Clase 6: Acabado con color: Preparar suficientes tableros de 0,5 por 1,0 metros con muestras de concreto de color, para relacionar el color aceptado por el Contratante. Se protegerá el tablero de color aprobado permanentemente durante el trabajo. Se dará el color de la muestra aprobada a todas las superficies designadas.

Se completará un acabado de **Clase 1** de acuerdo el inciso “a”, mencionado anteriormente. No se debe aplicar el acabado del color hasta que todo el concreto de la estructura se haya colado. Se removerá todo el polvo, materia extraña, aceite, grasa y compuestos de curado con una solución de 5 % de fosfato trisódico y luego, se enjuagará la superficie de concreto con agua limpia.

Usar papel, tela o cualquier otro medio para proteger las superficies que no recibirán un acabado de color.

Aplicar el acabado a la superficie de concreto seco cuando la temperatura de la superficie y la del aire a la sombra sean de 4 °C o mayor, durante 24 horas después de la aplicación.

Aplicar el acabado de color de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Rociar y aplicar con brocha o rodillo la primera capa de un sellador penetrante y la base del color. Se rociará y aplicará con brocha o con rodillo la capa final después de que la primera capa se haya secado completamente. Se aplicará un acabado para dar un color uniforme y permanente, libre de chorrear o desparramarse sobre la superficie.

Limpiar las áreas de concreto que no serán cubiertas con el acabado, usando un método aprobado.

552.17 Accesorios de anclaje.

Usar mortero, compuestos químicos o accesorios de anclaje colados en sitio, para fijar equipos o alguna instalación en el concreto.

Someter los siguientes renglones a aprobación del Ingeniero:

- (a)** Muestra de accesorios de anclaje al concreto.
- (b)** Instrucciones del fabricante para su instalación.
- (c)** Certificaciones o información sobre el material.

Todas las partes metálicas de los dispositivos de anclaje serán hechas de acero inoxidable o de acero protegido con una capa metálica resistente a la corrosión que no reaccione

químicamente con el concreto. Se suplirán todos los dispositivos de anclaje completos con todos sus accesorios metálicos.

Para anclajes químicos o con morteros, efectuar una prueba del sistema de anclaje que no quede incorporado en la obra. Efectuar una prueba de carga estática de acuerdo con **ASTM E-488**.

Demostrar que los accesorios de anclaje cumplen con una prueba de carga de tensión directa, no menor que los valores indicados en **Tabla 552-7** por un período de por lo menos 48 horas con un movimiento que no exceda de 1 mm. También demostrar que cuando se carga hasta la ruptura, el accesorio de anclaje demuestra una falla dúctil del acero y no del compuesto químico o del mortero o el concreto.

Instalar en el concreto los dispositivos de anclaje recomendados por el fabricante, de manera que los elementos o el equipo fijado se mantengan firmes en el concreto. Se aplicarán las tuercas con los valores de momento torsional especificados, a no ser que se den otras instrucciones específicas por el fabricante. Se colocarán los pernos de anclaje de los soportes, de acuerdo a los requisitos de **Sección 564**.

Cuadro N°33. Valores del ensayo de carga sostenida

Accesorio de anclaje tamaño perno	Prueba de carga de tensión (kN)
M 20	24,0
M 12	18,3
M 12	12,7
M 8	7,1

En presencia del Contratante, realizar una prueba de carga a una muestra tomada al azar en, por lo menos 10% de los anclajes a un 90 % del esfuerzo de fluencia del acero. Si alguno de los anclajes falla, se rehará el anclaje fallado y se volverá a probar la carga en el 100 % de los anclajes restantes. La prueba de carga puede ser efectuada aplicando un momento torsional contra una arandela indicadora de la carga, aplicando una carga de tensión directa al anclaje o mediante cualquier otro método aprobado por el Contratante.

Después de realizar pruebas de carga, se aflojará la carga en el anclaje y se ajustarán hasta alcanzar la carga especificada de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Cuadro N°34. Momento torsional para dispositivos de anclaje

Accesorio de anclaje tamaño perno	Momento-torsional (N-m)
M 20	180
M 16	130
M 12	80
M 8	30

552.18 Aceptación.

El material de concreto será evaluado bajo las Subsecciones 107.02 y 107.03. Debe proveerse un certificado de producción para el cemento.

El revenimiento de la mezcla de concreto, el contenido de aire (cuando sea solicitado), el peso unitario y la temperatura deben ser evaluadas bajo las Subsecciones 107.02 y 107.04. (Ver Tabla 552-1 para las resistencias. (Ver Tabla 552-7, 552-8 y 552-9 para el mínimo de muestras y pruebas).

El esfuerzo de compresión del concreto será evaluado bajo la Subsección 107.04 (Ver Tabla 552-7, 552-8 y 552-9 para el mínimo de pruebas y muestras). El límite mínimo especificado es el mínimo esfuerzo a la compresión requerido a 28 días (f_c') especificada en el contrato. El resultado de una prueba de esfuerzo a la compresión, es el promedio de dos cilindros moldeados de la misma batida y fallados a los 28 días. (Ver Tabla 552-7, 552-8 y 552-9 para la categoría requerida de calidad aceptada).

Se removerá y reemplazará el concreto representado por cilindros que tengan un esfuerzo de compresión de menos del 90% del esfuerzo a la compresión mínima requerida a los 28 días (f_c') y provengan de una ubicación tal que cause un efecto perjudicial e intolerable en la estructura.

La construcción (incluyendo bache, colocación, acabado y curado) de las estructuras de concreto será evaluada bajo las Subsecciones 107.02 y 107.04.

Los andamios y formaleas serán evaluados bajo la **Sección 562**.

552.19 Medición.

Medir el concreto estructural y sellos de concreto por metro cúbico en la estructura.

552.20 Pago.

Las cantidades aceptadas y medidas como se indica anteriormente serán pagadas al precio de contrato por metro cúbico, para los renglones de pago descritos más adelante, indicados en la licitación, excepto que el precio del concreto estructural, será ajustado de acuerdo con la Subsección 107.04 del CR-2010.

Renglón de Pago	Descripción del Renglón	Unidad de Pago
CR.552.01 (a)	Concreto estructural clase A (25 MPa)	Metro cúbico (m ³)
CR.552.01 (d)	Concreto estructural clase X (18 MPa)	Metro cúbico (m ³)

CR 602– Tubería de Concreto Reforzado Clase III – C 76.

a.) Requisitos

Este renglón de pago debe cumplir con lo estipulado en el CR-2010 – Subsecciones 602,01, 602.02, 602.03, 602.04, 602.08, y 602.09, además, para la colocación del tubo se debe cumplir con lo estipulado en la subsección 651.03 incisos (b), (f), (g) y (h) y construir una cama o lecho de fundación, para lo cual deberá de cumplir con lo estipulado en la subsección 209.09 inciso b, punto 2, para una cama clase b, compactada según lo indicado en la subsección 209.11. El material para la cama deberá cumplir con los requisitos indicados en la subsección 704.01.

b.) La brigada mínima de maquinaria y mano de obra estará constituida por los siguientes componentes de maquinaria y personal:

Mano de Obra:

- Encargado
- Peones
- Banderilleros

Materiales

- Los materiales deberán ajustarse a los requisitos especificados en los siguientes artículos.

Con anterioridad y durante la incorporación de los materiales a la obra, estos deberán ser aceptados por el ingeniero, mediante certificados de calidad del fabricante proporcionados por el Contratista.

Cuando la ubicación de las fábricas lo permitan, podrán ser inspeccionadas periódicamente para constatar el cumplimiento de los métodos de fabricación especificados, y se podrán obtener muestras del material para ensayos de laboratorio, con el fin de comprobar el cumplimiento de los requisitos de calidad de los materiales. Estos ensayos podrán constituir la base para la aceptación o rechazo, en cuanto a la calidad de los lotes de materiales suministrados.

REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

GENERAL: El tipo de material de la alcantarilla, su tamaño y su localización aproximada serán como se muestra en los planos. La localización final, longitud y secciones o elementos especiales serán establecidos por el Contratista en el campo bajo su responsabilidad.

INSTALACIÓN:

a. Excavación: las zanjas deberán ser excavadas de acuerdo con los requisitos establecidos en la sección CR.209, con un ancho suficiente para permitir el adecuado acoplamiento y pega de la tubería, la compactación del asiento o cama y del material de relleno de la alcantarilla.

El asiento o cama de la zanja, al quedar terminado, deberá ser homogéneo en todo lo largo y ancho de la excavación. Cuando fuese necesario, en el caso de las alcantarillas transversales, la cama de la zanja deberá tener una contraflecha longitudinal de la magnitud especificada en los planos.

Cuando así fuese especificado en los planos, la excavación para las alcantarillas colocadas en rellenos deberá realizarse después de que el terraplén haya sido terminado hasta una altura especificada en los planos u ordenada por el ingeniero sobre el nivel propuesto para fondo de alcantarilla.

Siempre que sea posible, las paredes de las zanjas deberán ser verticales.

Si los planos no indican lo contrario, la excavación deberá tener una amplitud tal que el asiento de la alcantarilla se pueda extender una vez y media del diámetro del tubo, a cada lado de la generatriz de apoyo y en toda la longitud del tubo.

b. Cama o asiento para tubería: el asiento o cama de la tubería deberá ajustarse a los alineamientos indicados en los planos. Cuando en los planos no esté especificada o detallada la clase de asiento, deberán observarse los requisitos establecidos para el asiento clase C.

El asiento de la tubería deberá ajustarse a alguna de las clases especificadas a continuación:

El asiento clase A: Se colocará un lecho de material clase A. Se tenderán los subdrenajes mientras el concreto hidráulico es aún plástico. No se hará el relleno hasta que el concreto alcance la cura inicial.

El asiento clase B: Se colocará una capa del 150mm de espesor de material de clase B. Se colocará y conformará cualquier material de lecho para cubrir al menos un 10% de la altura de la alcantarilla. Se colocarán las alcantarillas en el lecho. Se extenderá el material de fundación hacia los lados de la alcantarilla, para cubrir un 30% de su altura.

El asiento clase C: Se colocará una capa de material clase C en un espesor igual, al menos, al 10% de la altura de la alcantarilla. Se colocará y conformará material de relleno adicional para completar al menos el 10% de la altura de la alcantarilla.

c. Colocación de la tubería: la tubería se colocará sobre la cama o asiento conformada y compactada, comenzando en el extremo de aguas abajo, cuidando que las pestañas exteriores circunferenciales se coloquen frente a la dirección aguas arriba y las solapas o juntas longitudinales se ubiquen a los costados. Los tubos que tengan recubrimiento bituminoso o de otro tipo deberán colocarse con ese recubrimiento en la parte inferior.

Cuando los planos especifiquen apuntalamiento, este se efectuará alargando el diámetro vertical, en el porcentaje indicado en aquellos, por medio de gatos o en el taller, y manteniendo ese alargamiento con puntales y cuñas de compresión o tensores horizontales. El alargamiento se deberá realizar de manera progresiva, de un extremo de la tubería al otro, y los puntales o tensores se deberán dejar en sus lugares hasta que el relleno esté terminado y consolidado, a menos que los planos lo indiquen en otra forma.

La conservación del estiramiento del diámetro vertical en tuberías revestidas, únicamente se deberá realizar con tensores o amarres horizontales.

Los tubos metálicos deberán ser unidos firmemente por medio de fajas o uniones de acoplamiento aprobadas.

d. Relleno: de no ser que se especifique de otra forma, los materiales para el relleno a cada lado de la alcantarilla, en todo el ancho de la zanja y a una altura de sesenta centímetros (60 cm) arriba de su parte superior, deberán consistir en material granular o suelo desmenuzado proveniente de la excavación del prisma de la carretera, el cual no deberá contener terrones compactados, piedras que puedan ser retenidas en una malla de 7,5 cm de abertura, ni cualquier otro material objetable a criterio del ingeniero.

El material granular para el relleno deberá tener no menos de noventa y cinco por ciento (95%) de material que pase por una malla de 1,27 cm. El material mayor de 7,5 cm deberá ser extraído antes de su colocación en el relleno, excepto cuando el ingeniero ordene lo contrario.

Si las juntas de las tuberías se han sellado con lechada o mortero, el relleno sólo se efectuará cuando el sello se haya endurecido lo suficiente para que no sea dañado en las operaciones de compactación del relleno.

Cuando la parte alta de la tubería está a un nivel más bajo que la parte superior de la zanja, el material de relleno con la humedad óptima deberá colocarse y compactarse en capas no mayores de 15 cm del material compactado, a ambos lados y hasta una altura de sesenta centímetros (60 cm) encima de la tubería. Se deberá tener cuidado de compactar completamente el relleno debajo de las superficies convexas del tubo.

El relleno deberá levantarse uniformemente en ambos lados de la tubería, en toda la longitud requerida. El material de relleno deberá ser colocado y compactado hasta la profundidad total de la zanja, excepto cuando se especifique la instalación en rellenos del tipo de proyección negativa.

Cuando la parte superior de la tubería sobresalga de la parte más alta de la zanja, el relleno deberá colocarse y compactarse a ambos lados de la tubería, en capas no mayores de quince centímetros (15 cm) del material compactado, hasta una altura de sesenta centímetros por encima de la parte superior de la tubería. El ancho del relleno a cada lado de la tubería en la parte superior de la zanja, deberá ser igual al doble del diámetro del tubo, o cuatro metros (4 m), cualquiera que sea la medida menor. El material de relleno que se emplee en la zanja deberá satisfacer los requisitos indicados en el primer párrafo de este inciso d).

El resto del terraplén deberá consistir en material adecuado proveniente de excavación del prisma de la carretera, o de préstamo, para la construcción del terraplén. La compactación del relleno de la zanja, así como la del resto del terraplén deberá ser la densidad especificada.

Una vez que se ha colocado la tubería y se ha rellenado la zanja, deberá establecerse un relleno de protección de un metro veinticinco centímetros (1,25 m) de alto sobre la tubería, antes de permitir que el equipo pesado cruce por encima durante la construcción del camino.

e. Zanja imperfecta: con este método para tubería rígida, el terraplén deberá completarse como se indicó anteriormente y hasta una altura sobre el tubo igual al diámetro exterior de éste más sesenta centímetros (60 cm). Se excavará, luego, una zanja encima del tubo, hasta un ancho igual a su diámetro externo, y de un largo según lo indiquen los planos o lo ordene el ingeniero, pero en ningún caso se deberá extender a lo largo de la tubería; las paredes de esta zanja se deberán hacer tan verticales como sea posible. La zanja deberá rellenarse con tierra suelta altamente compresible; hasta una altura aproximada sobre el tubo igual al diámetro. Luego, se procederá a la construcción del terraplén encima de la zona imperfecta, en la forma usual.

c.) Método de medición

La unidad de medida será el metro lineal (m) de alcantarilla suministrada y colocada de acuerdo con los planos, estas especificaciones y las indicaciones del ingeniero. Además, el trabajo terminado deberá contar con la aprobación del ingeniero.

La medida se hará entre las caras exteriores de los extremos de la tubería o los cabezales, según sea el caso, a lo largo del eje longitudinal y siguiendo la pendiente de la alcantarilla.

No se medirá, para efectos de pago, la longitud colocada fuera de los límites autorizados por el ingeniero.

d.) Base para el pago

El pago se hará al precio unitario del contrato, por toda la obra ejecutada de acuerdo con estas especificaciones y aceptada por el ingeniero.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos por concepto de suministros, patentes, asesorías e instalación de la alcantarilla; el apuntalamiento de éstas cuando lo requieran; el revestimiento de la tubería que lo requiera, incluido el suministro del material, las conexiones a cabezales; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento del tráfico automotor durante el período de ejecución de las obras; el transporte y la adecuada disposición de los materiales sobrantes y, en general, todos los costos relacionados con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

Se exceptúan los costos derivados de las operaciones de desmonte y limpieza, excavación estructural y la construcción de cabezales, cajas de entrada, aletones y delanteras.

Renglón de Pago	Descripción del Renglón	Unidad de Pago
CR.602.01 (C)	Tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 1000 mm	m

CR.609 Cordón o Bordillo y Cuneta

a.) Requisitos

Estas actividades deben cumplir con lo estipulado en el CR-2010, Sección 609.

Este trabajo consistirá en la construcción o reposición de cordones bordillos o combinación de cordón y cuneta de acuerdo con las especificaciones y razonablemente ajustado a los alineamientos, rasantes, espesores, secciones típicas, etc; mostrados en los planos o fijados por el ingeniero.

b.) Maquinaria, Mano de Obra y Materiales:

Equipo y operador

- Moldes
- Batidora.
- Camión de trabajo de 3ton.

Mano de Obra

- Encargado
- Albañiles
- Peones.

Materiales:

- Concreto hidráulico Se debe cumplir con lo estipulado en la sección 601 del CR-2010
- Mortero (repello) Se debe cumplir con lo estipulado en la sección 712.05 del CR-2010

c.) Método de Medición:

El cordón de concreto de cemento hidráulico y cordón y cuneta incluye la excavación, barras de trabazón, que atraviesen juntas de dilatación, material de juntas de expansión y acero de refuerzo.

Tanto estas como el bordillo de asfalto aceptadas por la unidad de supervisión serán pagadas al precio unitario contratado por metro lineal para cada clase y tipo de cordón especificado, y por metro cúbico para el material de base o cama debidamente colocado y compactado en obra según el ítem que lo determina.

d.) Base para el pago

Renglón de Pago	Descripción del Renglón	Unidad de Pago
CR.609.01	Cordón de concreto de cemento hidráulico	m
CR.609.02	Cordón y cuneta de concreto de cemento hidráulico	m

M-41 (a2): Bacheo a Profundidad parcial con Mezcla Asfáltica en Caliente

(a) Requisitos.

Este trabajo consiste en el suministro de todos los materiales necesarios para el bacheo, tales como: mezcla asfáltica en caliente, emulsión asfáltica, y todas las operaciones del proceso: reparación de la mezcla asfáltica, corte, preparación y liga del bache, transporte, colocación y compactación de la mezcla asfáltica, limpieza final y cualquier otra operación y material inherente al bacheo.

Las áreas a “bachear”, deben ser previamente definidas por la Unidad de Supervisión en el sitio, para luego ser fresadas con una máquina perfiladora de pavimento. Se debe preparar el bache de manera tal que los bordes queden perpendiculares con la superficie y sus aristas paralelas y perpendiculares al eje longitudinal de la vía. Antes de realizar el riego de liga, el bache debe estar totalmente limpio (barrido) y libre de agua. El espesor requerido para bacheo lo define la Unidad de Supervisión conforme a cada situación de las áreas a intervenir y la superficie deteriorada.

Durante el procedimiento de bacheo no se permitirá la interrupción total de la vía, y cuando menos un carril deberá permanecer abierto al tránsito. Todo bache, una vez excavado y cuadrado debe ser rellenado con mezcla asfáltica y compactado en el menor tiempo posible para restituir la seguridad del tránsito. No se permite que los baches queden excavados, sin relleno durante la noche.

Se debe realizar un riego de liga en el bache preparado con emulsión asfáltica tipo CRS-1 por medio de aspersor, teniendo especial cuidado de que los bordes que limitan el bacheo queden bien pintados.

El punto de riego de esta liga debe ser dosificado a satisfacción de la Unidad de Supervisión, de acuerdo con las necesidades propias de la superficie.

Es necesario utilizar una capa ligera de liga (no se permiten empozamientos), debido a que una capa gruesa puede generar deslizamiento. Antes de colocar la mezcla para reparar el bache, se debe dejar pasar un tiempo apropiado para que la emulsión colocada “rompa”.

La operación de colocación y compactación de la mezcla asfáltica se debe ejecutar por capas sucesivas que no deben exceder los diez centímetros de espesor, pero la colocación de mezcla para dejar el bacheo terminado debe concluirse en un mismo día.

La última capa se debe nivelar y compactar de manera que quede pareja con el pavimento circundante. No se permitirá el bache invertido para compactar con el tránsito.

El acabado superficial del bache debe ser homogéneo, con una textura adecuada, según el criterio de la Ingeniería de Proyecto.

El equipo de compactación debe ser tal que asegure la adecuada compactación de esquinas y orillas. El Contratista está obligado a garantizar la calidad de los materiales utilizados, por lo que deberá aportar pruebas, certificados de calidad y controles de trabajo como se detallan más adelante.

(b) Maquinaria, Mano de Obra y Materiales:

PARA 1 BRIGADA DE BACHEO

- 1 distribuidor de asfalto con aspersores de 1000 l de capacidad o similar
- 1 vagoneta de volteo de 12 m³. (Conforme a programa)
- 1 cortadoras de pavimento.
- 1 perfiladora ancho variable hasta 1,22 m bacheo.
- 1 pavimentador Bituminoso “Finisher” (opcional según requerimiento).
- 1 barredora Mecánica (opcional según requerimiento).
- 1 compactador vibratorio de rodillo de tres toneladas mínimo o superior.

Mano de obra:

- 1 encargado
- Rastrilleros
- Peones
- Operadores de maquinaria (Compactadora, cortadora, perfiladora, finisher, vagonetas, etc)

Personal mínimo de seguridad:

- 1 encargado general
- 2 topadores (banderilleros)
- 2 encargados de las señales y los conos.

Materiales:

- Emulsión Asfáltica
- Mezcla asfáltica en caliente

(c) Método de medición:

El trabajo de bacheo con mezcla asfáltica en caliente, que incluye el suministro y la colocación, se medirá por TONELADA METRICA COLOCADA Y COMPACTADA (t).

(d) Base para el Pago:

Las cantidades aceptadas de suministro y colocación de mezcla asfáltica en caliente, se pagan al precio unitario de contrato por TONELADA METRICA COLOCADA Y COMPACTADA, cuyo precio y pago se considera como compensación total por el equipo, materiales, señalización y mano de obra necesarias para realizar el trabajo especificado en el párrafo a) anterior.

Renglón de Pago	Descripción del Renglón	Unidad de Pago
CR.609.01	Cordón de concreto de cemento hidráulico	m

Aplicación del renglón de pago 110.06 “Trabajo a costo más porcentaje”

Para cada una de las líneas de esta licitación, la Municipalidad de Santa Ana asignará por concepto de renglón de pago CR.110.06 del CR-2010 “Trabajo a costo más porcentaje”, un monto que podrá ser utilizado por la unidad supervisora del contrato, para ordenar la ejecución de actividades de carácter imprevisible que se fijará en un 5% del monto estimado y que podrá aumentarse hasta el 5% del monto máximo del contrato, o sea que existirá un monto de “Trabajo a costo más porcentaje estimado” y un “Trabajo a costo más porcentaje requerido”, que es el valor máximo que podría alcanzar este renglón de pago. Este renglón de pago puede ser utilizado para compensar las variaciones que se puedan presentar en las modificaciones de obra, esta variación podrá realizarse mediante reacomodo de cantidades según las necesidades que se presenten a lo largo del proyecto.

La inclusión de este renglón de pago se hace para disponer oportunamente de los recursos que permitan atender dichas contingencias a medida que surjan durante la ejecución del contrato. La utilización de este renglón de pago está bajo la autoridad y responsabilidad de la unidad supervisora del contrato, quien deberá indicar de qué manera usarlo a través de la emisión de órdenes de servicio, con base en el CR-2010. Su inclusión no obliga a la Municipalidad de Santa Ana a su utilización total ni parcial sino discrecional.

- **Estimación del costo del proyecto**

En el presente sub apartado se menciona el detalle aproximado de los costos para ejecutar la obra, es importante mencionar que el proyecto será dividido en 3 etapas, donde en la primera etapa se abarcará el 9.1%, mientras que en la segunda etapa se ejecutará el 49% y para la última o tercera etapa se hará el desarrollo del 41.9% restante. Los detalles se observan en los Cuadros N°35, 36 y 37 y en las Figuras N°42, 43 y 44.

Presupuesto

Proyecto: Mejora de Entubado en la Comunidad Bosques De Santa Ana - 2020CD-000175-0002400001.

Propiedad: Municipalidad de Santa Ana.

Fecha: 01-06-2021.

Cuadro N°35: Presupuesto de la Etapa 1 de Bosques de Santa Ana

PROYECTO: Diseño y construcción de Bosques de Santa Ana- 2020CD-000175-0002400001					
ítem	Descripción: Presupuesto Directo para intervenir el sector más crítico- línea pluvial 09	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
1	Excavación para estructuras y disposición final de residuos constructivos, en un deposito fuera del cantón de Santa Ana	362	m ³	¢7,500.00	¢2,718,697.50
2	Conformación de subrasante	350	m ²	¢3,100.00	¢1,085,000.00
3	Suministro y colocación de subbase granular 20cm	350	m ²	¢4,836.00	¢1,692,600.00
4	Suministro y colocación de base estabilizada BE-25 20 cm	350	m ²	¢6,324.00	¢2,213,400.00
5	Suministro y colocación de imprimación (1,20 l/m ²)	350	m ²	¢471.20	¢164,920.00
6	Suministro y colocación de carpeta asfáltica de 5 centímetros de espesor	350	m ²	¢11,780.00	¢4,123,000.00
7	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de cordón y caño de 65 cm	84	m	¢27,900.00	¢2,343,600.00
8	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de tragante sencillo, según diseño	4.0	Unidad	¢525,000.00	¢2,100,000.00
9	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de tragante doble, según diseño	5.0	Unidad	¢600,000.00	¢3,000,000.00
10	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de desfogue pluvial según diseño	1.0	Unidad	¢1,200,000.00	¢1,200,000.00
11	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de pozos pluviales según diseño	3.0	Unidad	¢650,000.00	¢1,950,000.00
12	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 400 mm	46	Unidad (1.25 m)	¢29,466.00	¢1,353,785.90
14	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 800 mm	31	Unidad (1.25 m)	¢90,401.00	¢2,832,564.67
15	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 900 mm	8.0	Unidad (1.25 m)	¢110,551.00	¢849,031.68
Sub Total costos Directos Etapa 1					¢27,626,599.75
ítem	Descripción: Presupuesto Indirecto para intervenir el sector más crítico - línea pluvial 09	Cantidad	Costo total		
18	Imprevistos	3.68% del CD	¢1,016,658.87		
19	Utilidad de Contratista	7.38% del CD	¢2,038,843.06		
20	Póliza de Riesgos Profesionales	1.96% del CD	¢541,481.36		
Sub Total costos Indirectos Etapa 1					¢3,596,983.29
Total Costos Directos + Costos Indirectos de la Etapa 1					¢31,223,583.04

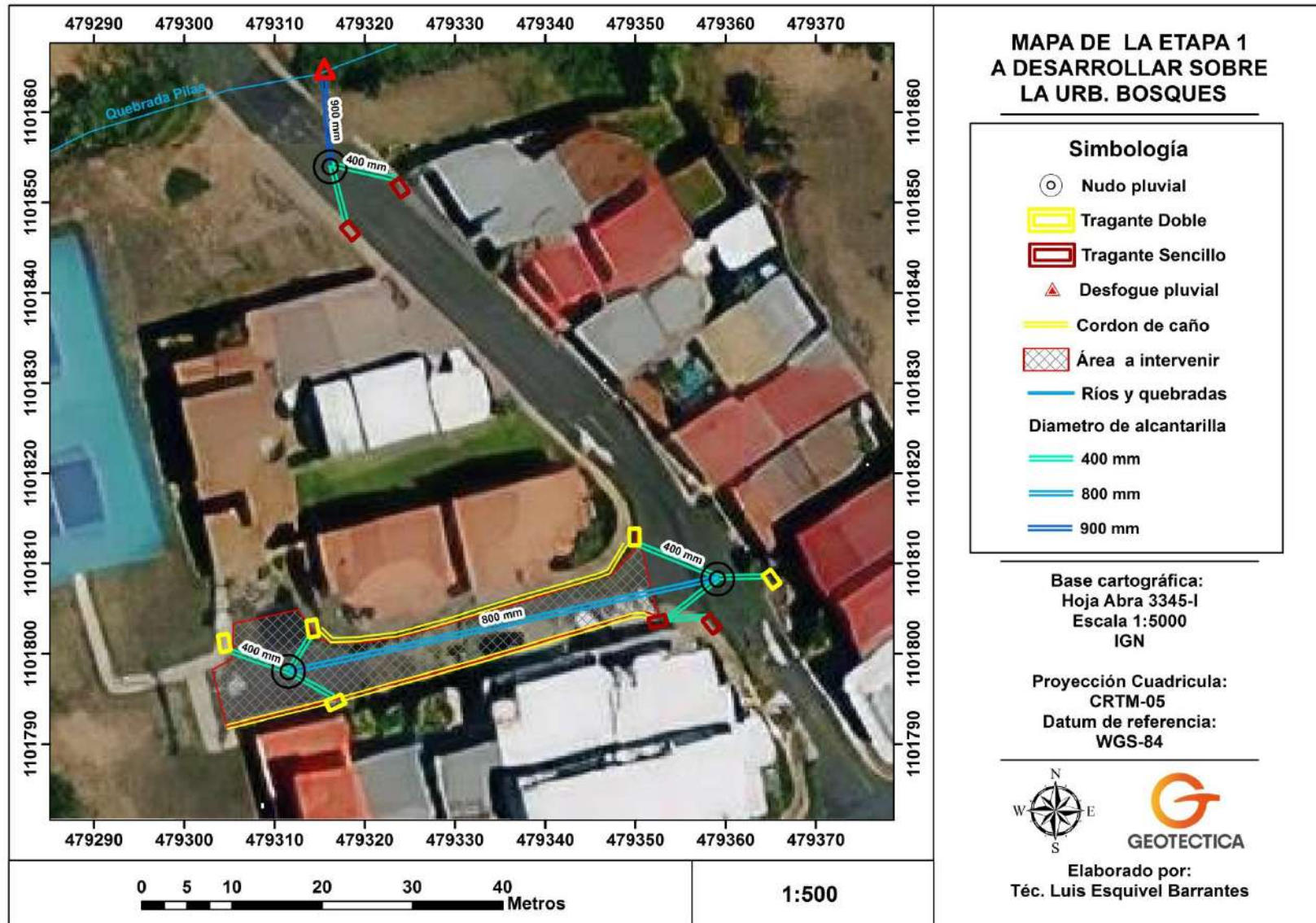


Figura N° 1: Croquis de la etapa 1 a desarrollar en la urbanización Bosques de Santa Ana.

Cuadro N°36: Presupuesto de la Etapa 2 de Bosques de Santa Ana

PROYECTO: Diseño y construcción de Bosques de Santa Ana- 2020CD-000175-0002400001					
ítem	Descripción: Presupuesto Directo para intervenir las líneas pluviales 04-05-06 y 07	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
1	Excavación para estructuras y disposición final de residuos constructivos, en un deposito fuera del cantón de Santa Ana	3849	m ³	¢7,500.00	¢28,867,218.75
2	Conformación de subrasante	8564	m ²	¢3,100.00	¢26,548,400.00
3	Suministro y colocación de subbase granular 20cm	8564	m ²	¢4,836.00	¢41,415,504.00
4	Suministro y colocación de base estabilizada BE-25 20 cm	8564	m ²	¢6,324.00	¢54,158,736.00
5	Suministro y colocación de imprimación (1,20 l/m ²)	8564	m ²	¢471.20	¢4,035,356.80
6	Suministro y colocación de carpeta asfáltica de 5 centímetros de espesor	8564	m ²	¢11,780.00	¢100,883,920.00
7	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de cordón y caño de 65 cm	2229	m	¢27,900.00	¢62,189,100.00
8	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de tragante sencillo, según diseño	25	Unidad	¢525,000.00	¢13,125,000.00
9	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de tragante doble, según diseño	43	Unidad	¢600,000.00	¢25,800,000.00
10	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de desfogue pluvial según diseño	1.0	Unidad	¢1,200,000.00	¢1,200,000.00
11	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de pozos pluviales según diseño	25	Unidad	¢650,000.00	¢16,250,000.00
12	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 400 mm	226	Unidad (1.25 m)	¢29,466.00	¢6,653,422.80
13	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 600 mm	25	Unidad (1.25 m)	¢52,040.00	¢1,290,592.00
15	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 900 mm	388	Unidad (1.25 m)	¢110,551.00	¢42,929,164.32
16	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 1000 mm	80	Unidad (1.50 m)	¢240,889.00	¢19,174,764.40
17	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 1200 mm	77	Unidad (2.50 m)	¢429,971.00	¢32,935,778.60
Sub Total costos Directos Etapa 2					¢477,456,957.67
ítem	Descripción: Presupuesto Indirecto para intervenir el sector más crítico - línea pluvial 09	Cantidad		Costo total	
18	Imprevistos	3.68% del CD		¢17,570,416.04	
19	Utilidad de Contratista	7.38% del CD		¢35,236,323.48	
20	Póliza de Riesgos Profesionales	1.96% del CD		¢9,358,156.37	
Sub Total costos Indirectos Etapa 2					¢62,164,895.89
Total Costos Directos + Costos Indirectos de la Etapa 2					¢539,621,853.56

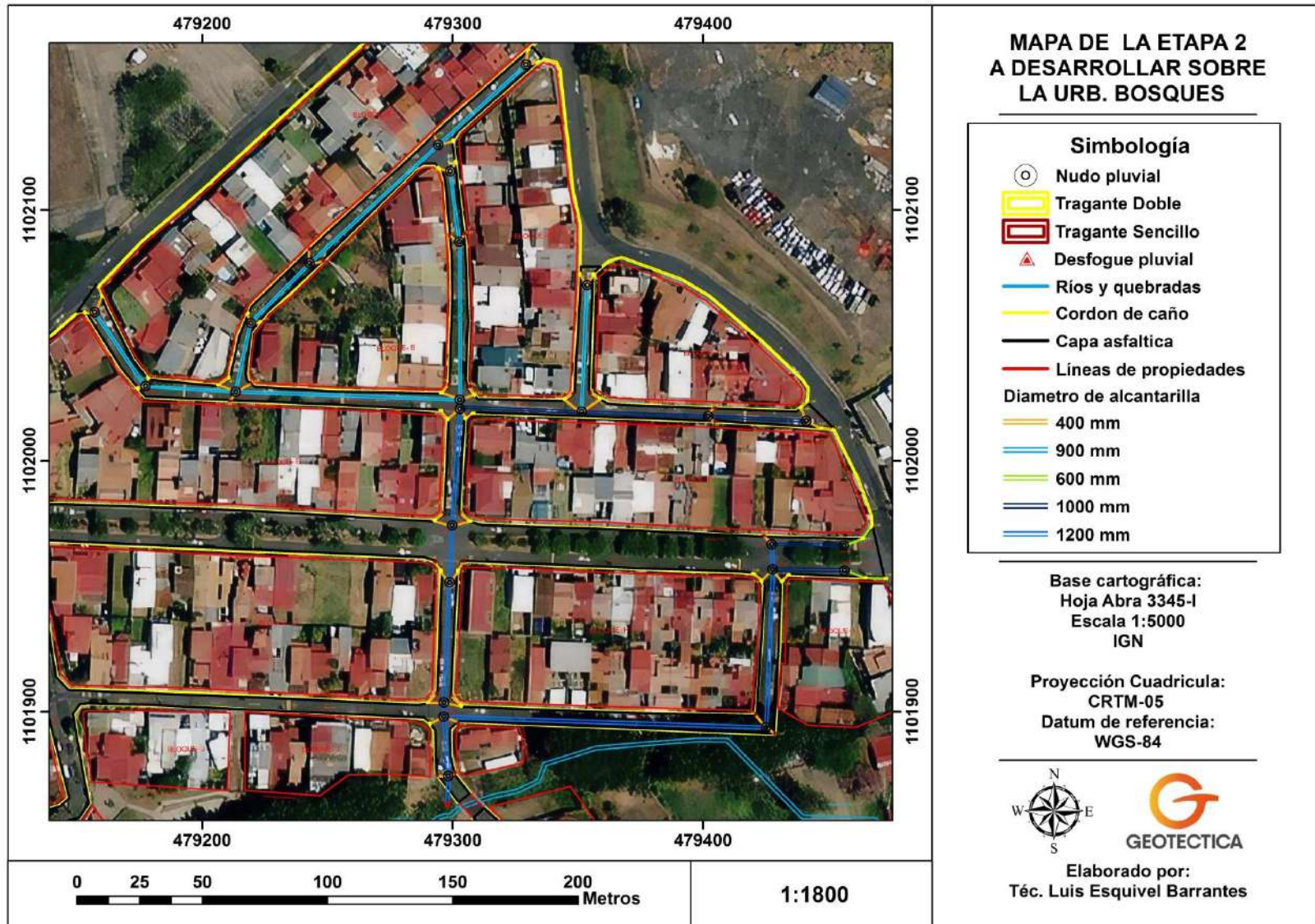


Figura N° 2: Croquis de la etapa 2 a desarrollar en la urbanización Bosques de Santa Ana.

Cuadro N°37: Presupuesto de la Etapa 3 de Bosques de Santa Ana

PROYECTO: Diseño y construcción de Bosques de Santa Ana- 2020CD-000175-0002400001					
ítem	Descripción: Presupuesto Directo para intervenir las líneas pluviales 01-02-03-08 y 09	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
1	Excavación para estructuras y disposición final de residuos constructivos, en un deposito fuera del cantón de Santa Ana	3854	m ³	¢7,500.00	¢28,907,718.75
2	Conformación de subrasante	9099	m ²	¢3,100.00	¢28,206,900.00
3	Suministro y colocación de subbase granular 20cm	9099	m ²	¢4,836.00	¢44,002,764.00
4	Suministro y colocación de base estabilizada BE-25 20 cm	9099	m ²	¢6,324.00	¢57,542,076.00
5	Suministro y colocación de imprimación (1,20 l/m ²)	9099	m ²	¢471.20	¢4,287,448.80
6	Suministro y colocación de carpeta asfáltica de 5 centímetros de espesor	9099	m ²	¢11,780.00	¢107,186,220.00
7	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de cordón y caño de 65 cm	1780	m	¢27,900.00	¢49,662,000.00
8	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de tragante sencillo, según diseño	11.0	Unidad	¢525,000.00	¢5,775,000.00
9	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de tragante doble, según diseño	38.0	Unidad	¢600,000.00	¢22,800,000.00
10	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de desfogue pluvial según diseño	3.0	Unidad	¢1,200,000.00	¢3,600,000.00
11	Suministro de materiales y mano de obra para la construcción de pozos pluviales según diseño	21.0	Unidad	¢650,000.00	¢13,650,000.00
12	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 400 mm	226	Unidad (1.25 m)	¢29,466.00	¢4,851,282.24
14	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 800 mm	25	Unidad (1.25 m)	¢90,401.00	¢2,892,832.00
15	Suministro de materiales para la colocación de tubería de concreto reforzado Clase III - C 76, diámetro 900 mm	388	Unidad (1.25 m)	¢110,551.00	¢85,566,474.00
Sub Total costos Directos Etapa 3					¢477,456,957.67
ítem	Descripción: Presupuesto Indirecto para intervenir el sector más crítico - línea pluvial 09	Cantidad	Costo total		
18	Imprevistos	3.68% del CD	¢16,888,650.34		
19	Utilidad de Contratista	7.38% del CD	¢33,869,086.83		
20	Póliza de Riesgos Profesionales	1.96% del CD	¢8,995,042.03		
Sub Total costos Indirectos Etapa 3					¢59,752,779.20
Total Costos Directos + Costos Indirectos de la Etapa 3					¢518,683,494.99

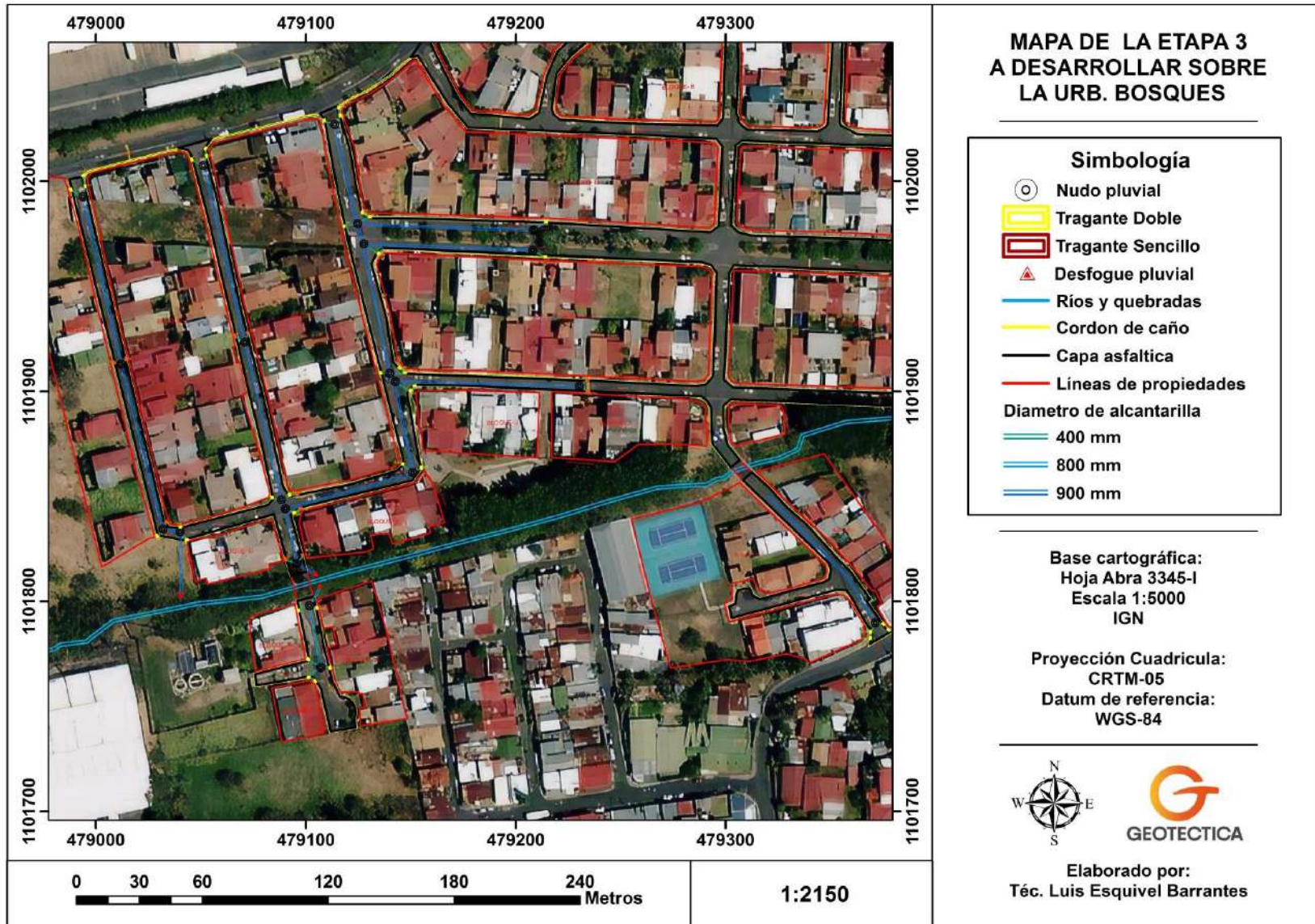


Figura N° 3: Croquis de la etapa 3 a desarrollar en la urbanización Bosques de Santa Ana.

10-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El lugar de estudio se trata la urbanización Bosques de Santa Ana, además del análisis completo de la zona de aporte pluvial de la quebrada Pilas. El lugar se localiza específicamente en el distrito de Pozos, del cantón de Santa Ana de la provincia de San José. Cartográficamente, el sitio se ubica sobre la hoja Abra (3345-I), escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Específicamente la propiedad se encuentra sobre las coordenadas centrales 1101930 N / 479225 E Proyección CRTM-05.

La zona de aporte pluvial, que incluye la urbanización Bosques de Santa Ana, posee un área estimada de 1,2016 km² o 120,16 ha, donde la microcuenca de la de la quebrada Pilas, en relación con el ancho y el área, el resultado del factor de forma corresponde con 0.181, definiéndola como muy alargada, estimando una pendiente media para el cauce de la quebrada Pilas, mediante la ecuación de Taylor y Schwarz, de $S = 0.0144$ o 1.44%.

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

La urbanización Bosques de Santa Ana posee un área de 16.73 ha, la misma aporta sus aguas pluviales a la quebrada Pilas, donde el uso de suelo de la microcuenca es variado; sin embargo, predomina la densidad urbana, por lo que para efectos del cálculo de escorrentía se realizó la estimación del caudal de avenida máxima para la zona de aporte pluvial, donde se hace una comparación porcentual con el caudal que genera la urbanización Bosques de Santa Ana, mismo que es calculado por el método Racional con un valor de 2.23 m³/s, este implica un 29.3%, en proporción con el caudal correspondiente a 7.60 m³/s generado por la microcuenca a la altura de la urbanización con una intensidad de 105.6 mm/h y un periodo de retorno de 50 años.

Los sectores elegidos para el análisis presentan condiciones hidráulicas distintas a pesar de pertenecer al mismo cauce, el sitio que colinda con el campo de tenis posee una rugosidad natural, ya que se observa el lecho de la quebrada sobre las rocas que afloran en el sitio, así como el paso del flujo de agua sobre el canal natural, por lo que se tiene una hidráulica fluvial apegada a un revestimiento natural con las características locales de la zona en estudio; mientras que para el sector de la parte baja de la urbanización Bosques de Santa Ana, el sitio concuerda con un pequeño puente de forma rectangular, donde el cauce fue canalizado con material de concreto, por lo que se genera un cambio en el valor de rugosidad natural de la quebrada Pilas, asignando así un valor según Manning de 0.014 para revestimiento de concreto.

La valoración de la capacidad hidráulica de la quebrada Pilas en distintas condiciones para transportar caudales de avenida máxima para periodos de retorno de 50 y 100 años de recurrencia, se demuestra que la quebrada cuenta con total capacidad hidráulica para el transporte de los caudales establecidos.

Dicha condición es verificada mediante la inspección de campo donde se obtienen tirantes para el canal del cauce de 2.10 m (sector colindante al campo de tenis) y 1.90 m (sector bajo de la urb. Bosques de Santa Ana), por lo que se puede concluir que específicamente en los sitios analizados no se provocarían desbordes de la quebrada Pilas para caudales de 7.60 y 8.15 m³/s.

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 la urbanización Bosques de Santa Ana se han presentado desbordamientos; sin embargo, estos desconocen si lo sucedido lo ha ocasionado por la capacidad del alcantarillado pluvial o de la quebrada Pilas. No obstante, por los análisis realizados sobre la quebrada y por las condiciones actuales del alcantarillado se puede concluir enfáticamente que, el sistema de alcantarillado es el catalizador de los problemas de inundación.

La geología del área de estudio se encuentra constituida por materiales de los periodos Terciario y Cuaternario, predominando las rocas volcánicas, de acuerdo con Denyer y Arias (1991), el sitio de estudio se localiza en un sector del Valle Central con una secuencia constitutiva que inicia en la parte inferior con Formación Grifo Alto, seguida la Formación Tiribi, y la Formación Colima.

El brote de agua aflora por un contacto entre distintas litologías, donde el agua se desplaza por las fracturas de las areniscas a la superficie, donde al contactar con la capa de areniscas densas que se localizan a profundidad, se propicia la salida del agua a través de la roca expuesta, favorecido por el cambio de pendiente en el sitio.

La información de pozos de la base de datos del SENARA demuestra que el agua se localiza a una profundidad que oscila entre 7 y 68 metros bajo el nivel de superficie con caudales de almacenamiento entre 0.5 a 6. l/s; y mediante la ejecución de Sondeos Eléctricos Verticales se establece un espesor de 13 m de zona no saturada, donde se conforma el brote de agua.

Según SENARA los pozos captan acuíferos compuestos por materiales volcánicos y sedimentarios, lo que se correlaciona con la geología regional del sitio, donde afloran materiales de origen volcánico tales como: lavas, tobas, brechas y depósitos piroclásticos, además de rocas sedimentarias de la formación Pacacua.

Se determina, a partir de la visita de campo y el modelo hidrogeológico conceptual, que el nivel del agua del brote fluye de manera libre por las fracturas del macizo rocoso (areniscas fracturadas), siendo este más constante en la época lluviosa. La dirección del flujo de agua del brote es de Oeste a Este, donde se presenta una pendiente importante que ronda entre 15 y 20 %.

Según el balance hídrico de suelos realizado con la metodología de Schosinsky, el brote de agua produce 0.93 l/s aproximadamente, caudal que varía según la estación del año, donde en la época lluviosa se presenta el mayor volumen de producción en el brote.

La urbanización Bosques de Santa Ana presenta un nivel de riesgo bajo en todos los aspectos de deslizamiento, inundación y flujo de lodos; mientras que para sismos el riesgo es medio, esto debido a las condiciones que presenta el cantón de Santa Ana en general.

El índice de riesgo al deslizamiento es de 3.0, ya que en el sitio no se presenta deslizamientos en el pasado, además la pendiente que predomina es baja 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 3.10 y 4.65. Es importante mencionar que las viviendas de la urbanización Bosques de Santa Ana 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 3.75 y 5.60 esto debido a que, según el caudal de avenida máxima obtenido, no se generarían desbordamientos por la quebrada Pilas, específicamente en el sector que traza la urbanización Bosques de Santa Ana, pero mediante la implementación de las medidas estructurales de rediseño de la red pluvial y las medidas no estructurales de mitigación mediante adecuado manejo de desechos sólidos y sedimentos en suspensión se disminuiría completamente el riesgo de inundaciones.

Otro factor importante es el replanteo de la carpeta asfáltica respecto a las cunetas, donde se mejore la pendiente para un flujo de escorrentía correcto hacia las cunetas y tragantes.

Respecto al tragante construido por el AyA en la entrada al tajo MECOSANTANA, este va contribuir con la evacuación de las aguas, llevando una cantidad importante de escorrentía al sistema pluvial colector que traza bajo la avenida 75; sin embargo, una de las medidas no estructurales importantes es que la empresa concesionaria del tajo presente un adecuado plan de manejo de sedimentos y sistema de limpieza de equipos.

En las zonas externas el riesgo se cataloga como bajo para el riesgo de deslizamiento, inundación y flujo de lodos; siendo que el riesgo de deslizamiento es de 3.0, ya que sobre la microcuenca no se presenta deslizamientos en el pasado, además las pendientes varían entre baja y media. Por otro lado, en relación a los flujos de lodo el valor ronda entre 1.70 y 3.10, mientras que la amenaza sísmica es de 6.0 dado esto por las condiciones generales del cantón de Santa Ana.

La inundación se cataloga con un riesgo bajo, ya que, según el estudio hidrológico y el recorrido realizado sobre la quebrada Pilas, se deduce que el cauce posee la capacidad de transportar la avenida máxima calculada para periodos de retorno de 50, 100 y 250 años. Igualmente, no se reportan inundaciones por desbordes de la quebrada Pilas sobre toda la microcuenca analizada, respecto a los poblados; Residencial Montana, Lagos de Lindora y Valle del Sol no se presentan problemas hidráulicos asociados a la red pluvial, por lo que se le asocia un valor de riesgo que ronda entre 3.0 y 5.60, dando como resultado un riesgo por inundaciones bajo.

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.

La parte presupuestaria y la cuantificación de costos del proyecto ha generado una propuesta de ejecución de tres fases: la primera que inicia con el cambio de tubería y reconstrucción/ construcción de desfuegos pluviales en las tres zonas más críticas con un costo de \$31,223,583.04; mientras que las subsiguientes dos etapas poseen un monto anual de \$539,621,853.56 y \$518,683,494.99, respectivamente.

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

AyA. (2007). Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de agua Potable, de Saneamiento y Pluvial. San José.

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.

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

DOBRIN, M., 1976:” Introduction to geophysical prospecting”, McGraw Hill, New York, 485 p.
GARDNER, G.H.F., GARDNER, L.W. AND GREGORY, A.R., 1974: “Formation velocity and density: the diagnostic basis for stratigraphic traps”. Geophysics, 39: 770-780.

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

EPA (2005). “User’s Manual, SWMM 5.0”. Environmental Protection Agency, EPA, USA.

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 INGENIERÍA SÍSMICA, LANAMME / E.C.G., U.C.R: “Capítulo VI, Análisis de la información obtenida de la Ampliación de la señal sísmica, 6-17 p

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12-ANEXOS

Anexo 1

Estaciones de precipitación cercanas al área del proyecto.

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

ESTACION: 84 199 BELEN

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

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

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

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios (MJ/m²)
 Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).
 VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste , 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable
 Brillo Solar en horas y décimas de horas. Presión hPa.

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

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

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

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios(MJ/m²)
 Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).
 VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste , 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable
 Brillo Solar en horas y décimas de horas.

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
	1995	2014														
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	19.8	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	12.8	13.4	
PRESION	1999	2015	902.7	902.8	902.4	902.3	902.2	902.2	902.5	902.4	902.3	902.0	901.7	902.4	902.3	

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

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios(MJ/m²)
 Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).
 VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste , 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable
 Brillo Solar en horas y décimas de horas. Presión hPa.

Anexo 2

Recorrido e inspección técnica por la quebrada Pilas.



Fotografía N°4. Punto 1. Sector colindante al campo de tenis, sitio analizado por Hcanales. Coordenadas: 479251E /1101851N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°1: Vista panorámica del sitio analizado por el Hcanales.



Fotografía N°5. Punto 1: Sector colindante al campo de tenis, sitio analizado por Hcanales. Coordenadas: 479251E /1101851N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°2: Se observa la medición del ancho máximo de la quebrada Pilas, misma que fluye sobre el canal natural del cauce.



Fotografía N°6. Punto 1: Sector colindante al campo de tenis, sitio analizado por Hcanales. Coordenadas: 479251E /1101851N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°3: Se observa la medición del tirante máximo de la quebrada Pilas, misma que fluye sobre el canal natural del cauce.



Fotografía N°7. Punto 2: sector bajo de la urbanización Bosques de Santa Ana sitio analizado por Hcanales. Coordenadas: 479102E /1101813N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°4: Pequeño puente analizado para la capacidad hidráulica, sector bajo de la urbanización Bosques de Santa Ana.



Fotografía N°8. Punto 2: sector bajo de la urbanización Bosques de Santa Ana sitio analizado por Hcanales. Coordenadas: 479102E /1101813N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°5: Puente canalizado de forma rectangular, donde se da un aporte pluvial por alcantarillado, sitio elegido para analizar por Hcanales.



Fotografía N°9. Punto 2: sector bajo de la urbanización Bosques de Santa Ana sitio analizado por Hcanales. Coordenadas: 479102E /1101813N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°6: Medición del tirante de agua de la quebrada Pilas colindante con el puente y la alcantarilla



Fotografía N°10. Punto 2: sector bajo de la urbanización Bosques de Santa Ana sitio analizado por Hcanales. Coordenadas: 479102E /1101813N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°7: Medición del ancho de solera máximo del canal del puente analizado.



Fotografía N°11. Punto 2: sector bajo de la urbanización Bosques de Santa Ana sitio analizado por Hcanales. Coordenadas: 479102E /1101813N proyección CRTM-05.

Descripción Fotografía N°8: Medición del tirante máximo del canal del puente analizado

Anexo 4

Modelación Hidráulica mediante HEC-RAS 5.0.7



**Fotografía N°12. Levantamiento topográfico del sector A-5 de la quebrada Pilas.
Coordenadas: 479335E / 1101879N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°13. Levantamiento topográfico del sector C-3 de la quebrada Pilas.
Coordenadas: 479245E / 1101847N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°14. Levantamiento topográfico del sector D-2 de la quebrada Pilas.
Coordenadas: 479335E / 1101879N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°15. Levantamiento topográfico del sector E-1 de la quebrada Pilas.
Coordenadas: 479038E / 1101812N proyección CRTM-05.**

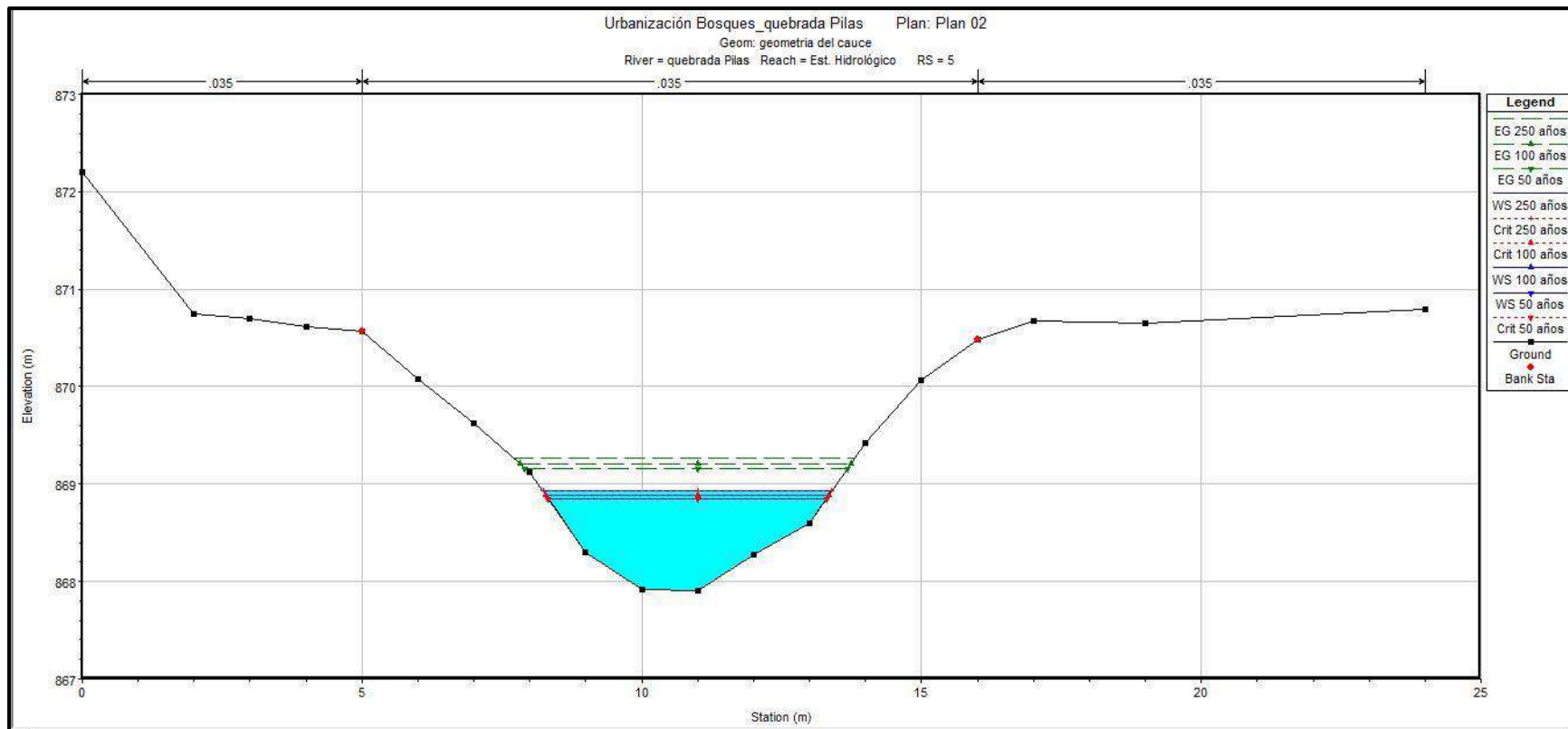


Figura N° 42. Área transversal a detalle del sector A-5 de la quebrada Pilas, estimación de capacidad hidráulica para Periodos de Retorno de 50 años, 100 años y 250 años.

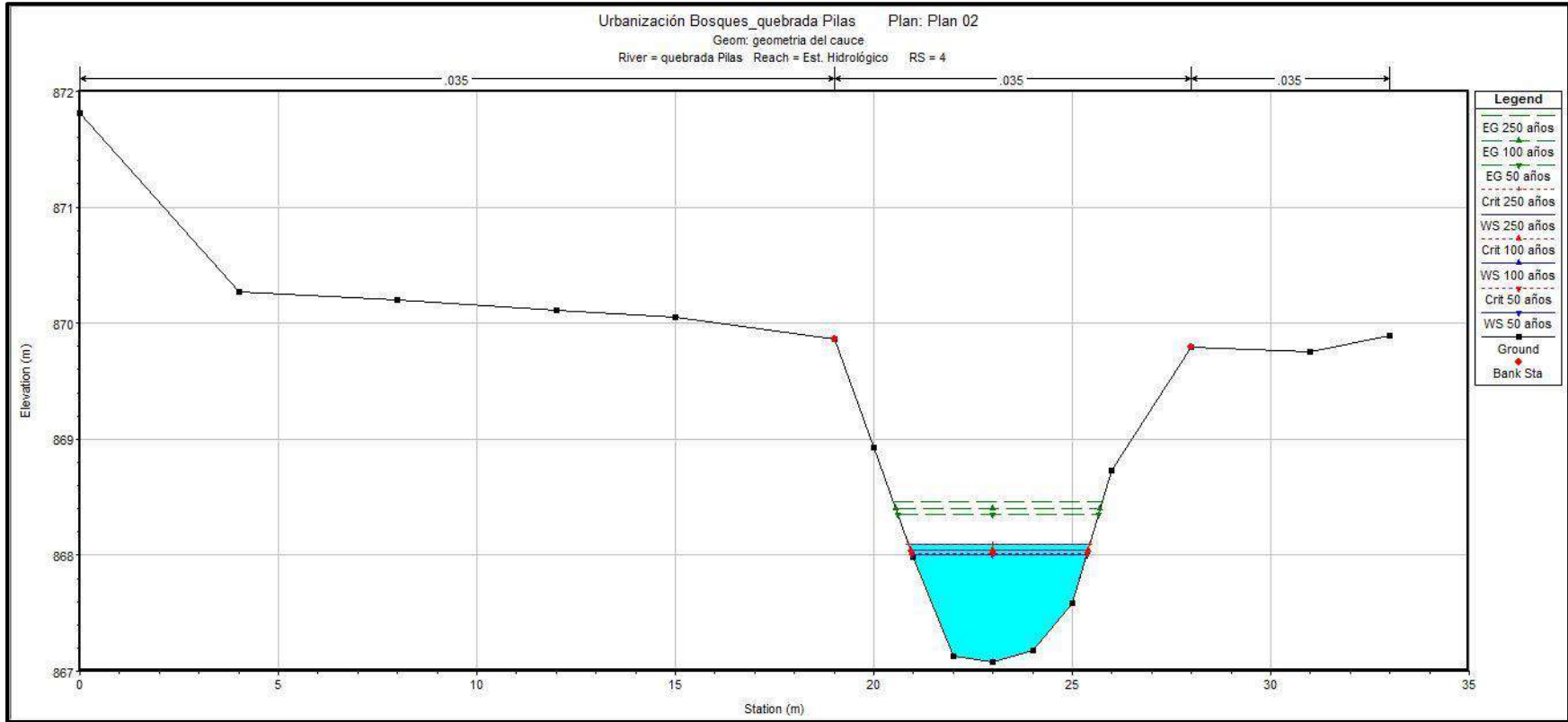


Figura N° 43. Área transversal a detalle del sector B-4 de la quebrada Pilas, estimación de capacidad hidráulica para Periodos de Retorno de 50 años, 100 años y 250 años.

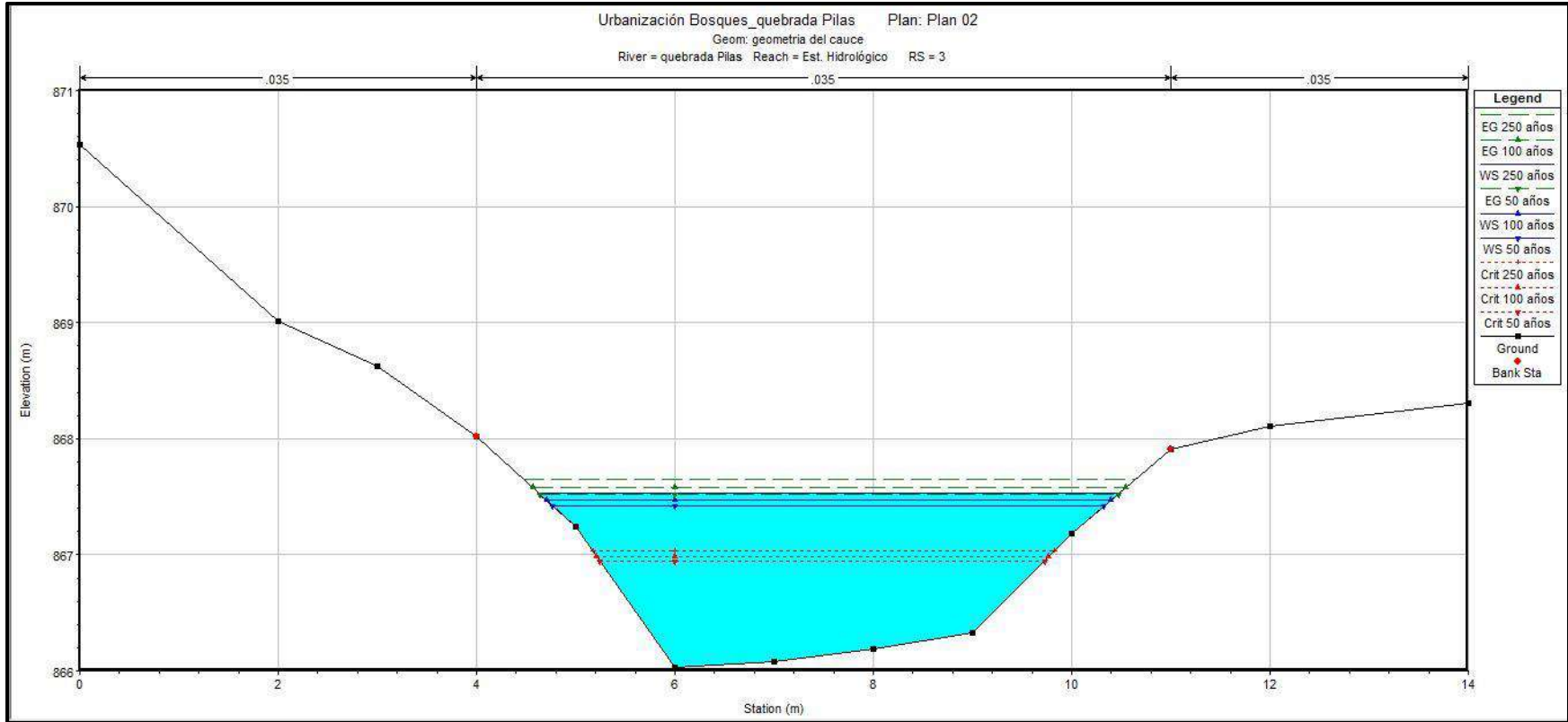


Figura N° 44. Área transversal a detalle del sector C-3 de la quebrada Pilas, estimación de capacidad hidráulica para Periodos de Retorno de 50 años, 100 años y 250 años.

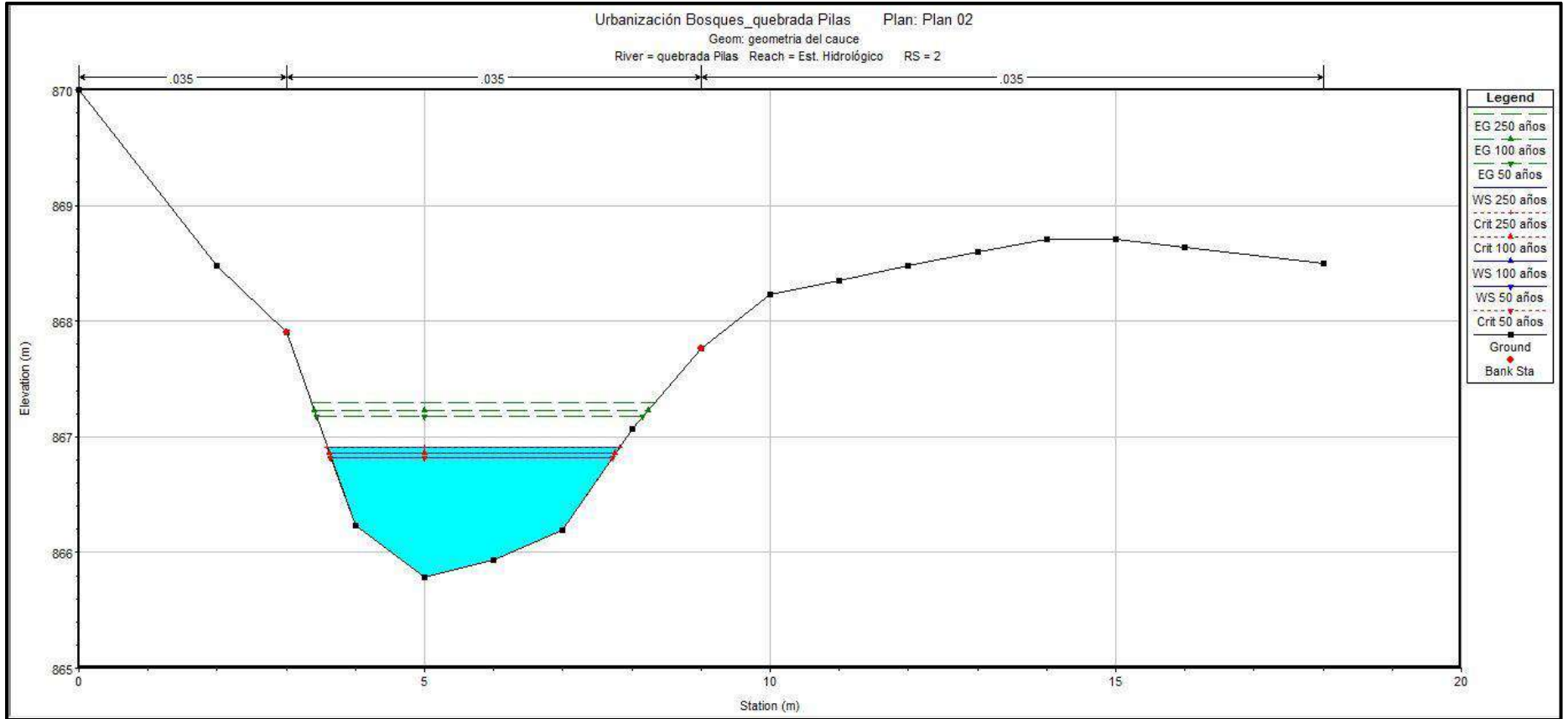


Figura N° 45. Área transversal a detalle del sector D-2 de la quebrada Pilas, estimación de capacidad hidráulica para Periodos de Retorno de 50 años, 100 años y 250 años.

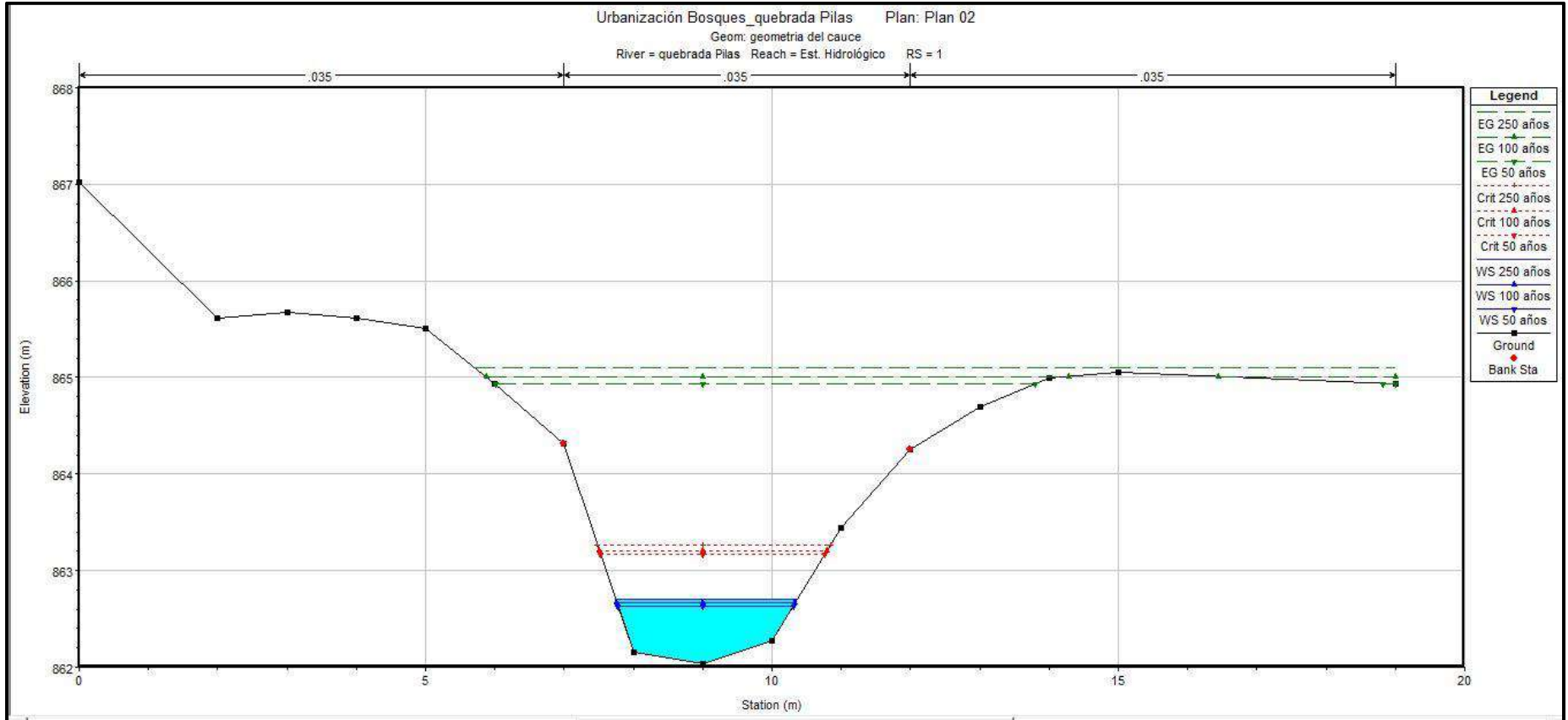


Figura N° 46. Área transversal a detalle del sector E-1 de la quebrada Pilas, estimación de capacidad hidráulica para Periodos de Retorno de 50 años, 100 años y 250 años.

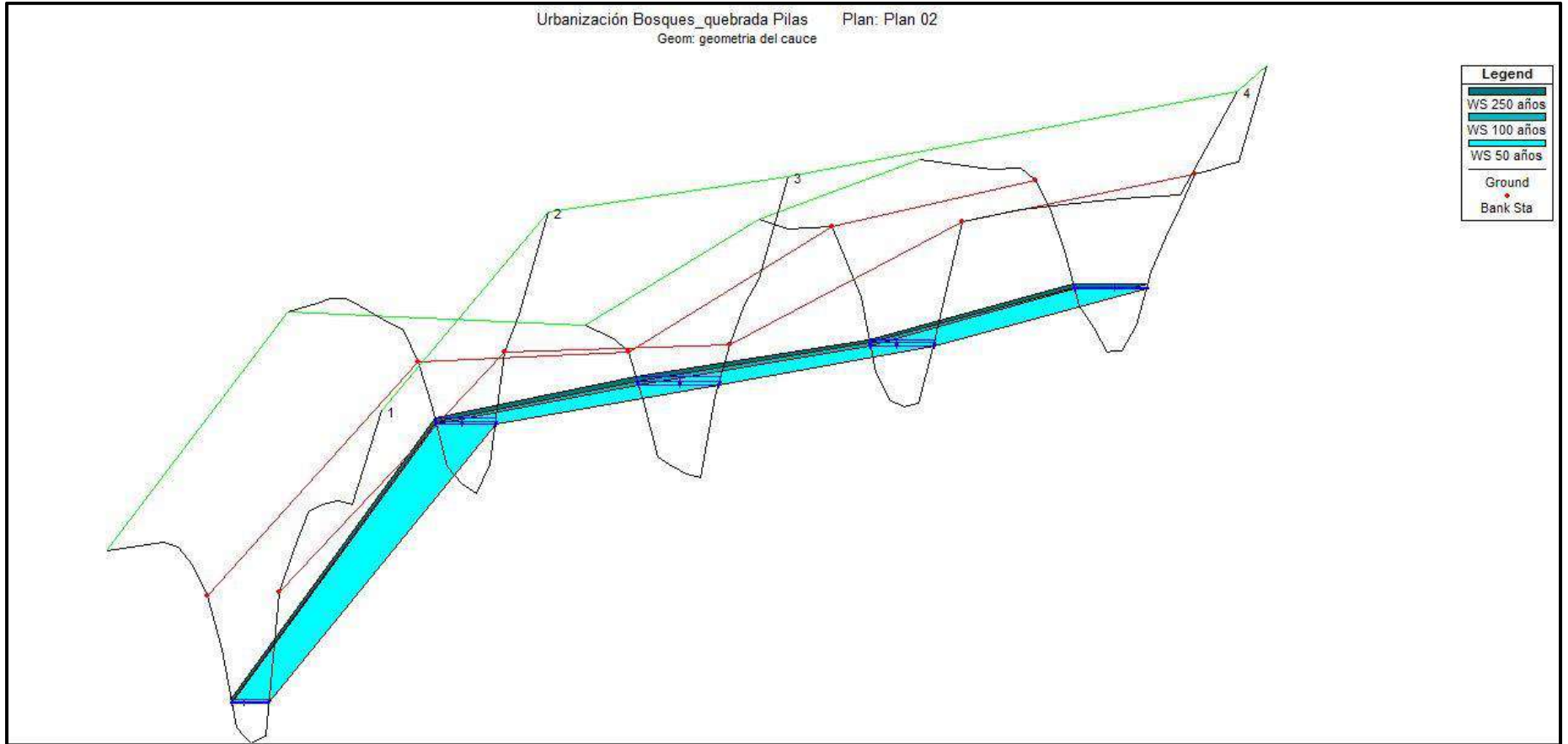


Figura N° 47. Animación 3D a detalle de los sectores analizados de la quebrada Pilas, estimación de capacidad hidráulica para Periodos de Retorno de 50 años, 100 años y 250 años.

Anexo 4

Modelación Hidráulica de la red pluvial mediante el EPA SWMM V.5.0



Fotografía N°16. Levantamiento de las condiciones actuales de la red pluvial sobre la urbanización Bosques de Santa Ana. Coordenadas: 479289E /1101894N proyección CRTM-05.



Fotografía N°17. Levantamiento de las condiciones actuales de la red pluvial sobre la urbanización Bosques de Santa Ana. Coordenadas: 479421E / 1101812N proyección CRTM-05.



**Fotografía N°18. Anotación de las características del nodo y la tubería pluvial.
Coordenadas: 479025 E / 1101835 N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°19. Marcado de las tapas después de su levantamiento respectivo sobre
la red pluvial. Coordenadas: 479216 E / 1102056 N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°20. Alcantarilla sedimentada sin capacidad de evacuación pluvia.
Coordenadas: 479205 E / 1101903 N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°21. Tragantes colectores sobre cunetas de evacuación pluvial.
Coordenadas: 479160 E / 1101776 N proyección CRTM-05.**

Anexo 5

**Información obtenida del EPA-SWMM V.5.0.
Valores es escorrentía en l/s por “cuenca”**

Días	Horas	Cuenca C1	Cuenca C2	Cuenca C3	Cuenca C4	Cuenca C5	Cuenca C6	Cuenca C7	Cuenca C8	Cuenca C9	Cuenca C10
0	00:05:00	16.39	87.40	87.34	59.42	30.91	5.34	48.21	3.50	6.78	30.96
0	00:10:00	26.22	146.59	142.39	101.57	47.85	75.98	69.84	51.04	8.01	44.72
0	00:15:00	59.03	186.73	194.75	119.01	58.05	138.10	78.25	84.57	17.18	50.07
0	00:20:00	96.52	212.53	232.12	128.78	64.57	173.15	82.94	102.13	24.08	53.05
0	00:25:00	123.21	227.47	253.60	134.32	68.30	192.51	85.56	111.89	28.34	54.71
0	00:30:00	138.59	234.92	264.52	136.75	70.17	201.98	86.69	116.69	30.84	55.43

Días	Horas	Cuenca C11	Cuenca C12	Cuenca C13	Cuenca C14	Cuenca C15	Cuenca C16	Cuenca C17	Cuenca C18	Cuenca C19	Cuenca C20
0	00:05:00	25.20	30.33	54.61	20.74	43.65	29.87	30.38	15.68	12.98	7.10
0	00:10:00	35.22	45.02	132.01	65.63	65.38	41.71	43.23	19.05	16.06	8.51
0	00:15:00	41.46	64.71	193.53	102.71	73.91	46.28	48.20	20.36	17.25	9.07
0	00:20:00	45.92	78.99	244.81	127.87	78.68	48.82	50.97	21.07	17.90	9.37
0	00:25:00	48.55	87.15	280.73	143.33	81.34	50.23	52.51	21.46	18.25	9.53
0	00:30:00	49.94	91.41	301.05	151.23	82.50	50.84	53.18	21.62	18.40	9.60

Días	Horas	Cuenca C21	Cuenca C22	Cuenca C23	Cuenca C24	Cuenca C25	Cuenca C26	Cuenca C27	Cuenca C28	Cuenca C29	Cuenca C30
0	00:05:00	29.96	4.57	112.97	0.00	1.29	6.15	32.22	2.73	10.81	112.32
0	00:10:00	43.72	5.23	206.71	1.85	1.43	8.78	47.68	3.16	13.92	236.90
0	00:15:00	49.08	5.50	247.02	19.02	1.48	30.79	53.73	3.33	15.11	705.02
0	00:20:00	52.07	5.64	269.56	36.10	1.51	48.14	57.11	3.43	15.76	1444.26
0	00:25:00	53.74	5.72	282.39	46.86	1.53	58.11	58.99	3.48	16.12	2205.31
0	00:30:00	54.46	5.75	288.07	52.73	1.54	63.52	59.81	3.50	16.28	2812.20

Días	Horas	Cuenca C21	Cuenca C22	Cuenca C23	Cuenca C24	Cuenca C25	Cuenca C26	Cuenca C27	Cuenca C28	Cuenca C29	Cuenca C30
0	00:05:00	29.96	4.57	112.97	0.00	1.29	6.15	32.22	2.73	10.81	112.32
0	00:10:00	43.72	5.23	206.71	1.85	1.43	8.78	47.68	3.16	13.92	236.90
0	00:15:00	49.08	5.50	247.02	19.02	1.48	30.79	53.73	3.33	15.11	705.02
0	00:20:00	52.07	5.64	269.56	36.10	1.51	48.14	57.11	3.43	15.76	1444.26
0	00:25:00	53.74	5.72	282.39	46.86	1.53	58.11	58.99	3.48	16.12	2205.31
0	00:30:00	54.46	5.75	288.07	52.73	1.54	63.52	59.81	3.50	16.28	2812.20

Días	Horas	Cuenca C31	Cuenca C32	Cuenca C33	Cuenca C34	Cuenca C35	Cuenca C36
0	00:05:00	41.47	11.49	5.25	27.73	2063.26	14.99
0	00:10:00	71.71	13.86	58.09	574.06	12653.56	357.32
0	00:15:00	84.67	14.78	129.63	1492.45	34333.69	965.22
0	00:20:00	91.71	15.31	182.75	2320.35	65230.43	1544.70
0	00:25:00	95.68	15.62	214.80	2888.23	100639.00	1960.26
0	00:30:00	97.49	15.76	231.21	3207.97	135201.50	2203.19

Anexo 6

Información obtenida del EPA-SWMM V.5.0.

Nivel en los nodos en m

Días	Horas	Nudo N1	Nudo N2	Nudo N3	Nudo N4	Nudo N5	Nudo N6	Nudo N7	Nudo N8	Nudo N9	Nudo N10
0	00:05:00	0.18	0.20	2.20	1.65	0.12	0.12	0.16	0.15	0.18	1.65
0	00:10:00	2.25	0.32	2.20	1.65	0.15	0.14	0.22	0.21	2.10	1.65
0	00:15:00	2.25	0.40	2.20	1.65	0.17	0.16	0.25	0.23	2.10	1.65
0	00:20:00	2.25	0.38	2.20	1.65	0.19	0.19	0.25	1.75	2.10	1.65
0	00:25:00	2.25	0.40	2.20	1.65	0.20	0.20	0.26	1.75	2.10	1.65
0	00:30:00	2.25	0.40	2.20	1.65	0.20	0.20	0.27	1.75	2.10	1.65

Días	Horas	Nudo N11	Nudo N12	Nudo N13	Nudo N14	Nudo N15	Nudo N16	Nudo N17	Nudo N18	Nudo N19	Nudo N20
0	00:05:00	0.40	0.23	0.15	0.16	0.22	0.10	0.25	0.09	0.15	0.17
0	00:10:00	0.40	0.28	0.21	1.70	1.40	0.12	1.50	0.11	2.60	0.40
0	00:15:00	0.40	0.32	0.23	1.70	1.40	0.14	1.50	0.12	2.60	0.40
0	00:20:00	0.40	0.33	2.20	1.70	1.40	0.15	1.50	0.12	2.60	0.40
0	00:25:00	0.40	0.34	2.20	1.70	1.40	0.15	1.50	0.12	2.60	0.40
0	00:30:00	0.40	0.34	2.20	1.70	1.40	0.15	1.50	0.12	2.60	0.40

Días	Horas	Nudo N21	Nudo N22	Nudo N23	Nudo N24	Nudo N25	Nudo N26	Nudo N27	Nudo N28	Nudo N29	Nudo N30
0	00:05:00	0.29	0.25	0.23	0.34	2.85	0.40	0.32	3.60	0.40	0.00
0	00:10:00	0.50	0.37	0.32	0.45	2.85	0.40	0.32	3.60	0.40	0.00
0	00:15:00	0.50	0.37	0.32	0.45	2.85	0.40	0.32	3.60	0.40	0.00
0	00:20:00	0.50	0.37	0.32	0.45	2.85	0.40	0.32	3.60	0.40	0.00
0	00:25:00	0.50	0.37	0.32	0.45	2.85	0.40	0.32	3.60	0.40	0.00
0	00:30:00	0.50	0.37	0.32	0.45	2.85	0.40	0.32	3.60	0.40	0.00

Días	Horas	Nudo N31	Nudo N32	Nudo N33	Nudo N34	Nudo N35	Nudo N36	Nudo N37	Nudo N38	Nudo N39	Nudo N40
0	00:05:00	0.40	0.00	0.06	0.06	0.11	0.11	0.08	0.11	0.13	0.11
0	00:10:00	0.49	0.00	0.10	0.10	0.14	0.15	0.09	0.14	0.14	0.13
0	00:15:00	0.59	0.00	0.12	0.12	0.15	0.16	0.10	0.15	0.13	0.14
0	00:20:00	2.45	0.00	0.13	0.13	0.15	0.17	0.10	0.15	0.14	0.14
0	00:25:00	2.45	0.00	0.14	0.14	0.15	0.17	0.10	0.15	0.14	0.15
0	00:30:00	2.45	0.00	0.15	0.15	0.15	0.17	0.10	0.15	0.15	0.15

Días	Horas	Nudo N41	Nudo N42	Nudo N43	Nudo N44	Nudo N45	Nudo N46
0	00:05:00	0.08	0.10	0.12	0.05	0.00	0.06
0	00:10:00	0.09	0.12	0.13	0.05	0.00	0.08
0	00:15:00	0.10	0.14	0.13	0.06	0.00	0.10
0	00:20:00	0.10	0.14	0.13	0.06	0.00	0.12
0	00:25:00	0.10	0.14	0.14	0.06	0.00	0.13
0	00:30:00	0.10	0.14	0.14	0.06	0.00	0.13

Anexo 7

Información obtenida del EPA-SWMM V.5.0. Capacidad de las líneas pluviales

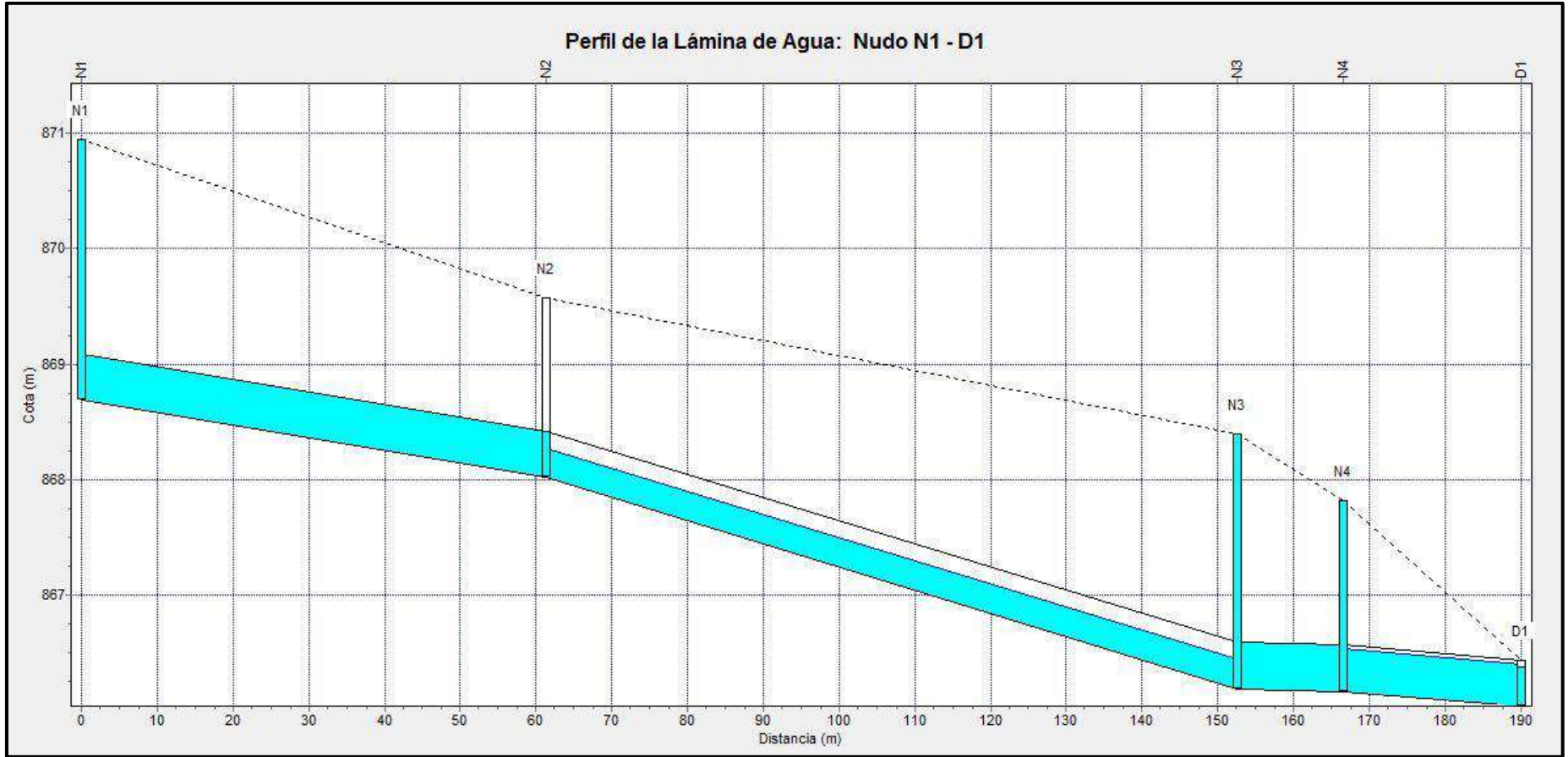


Figura N° 48. Perfil longitudinal N1-D1 de los conductos pluviales de la parte baja de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

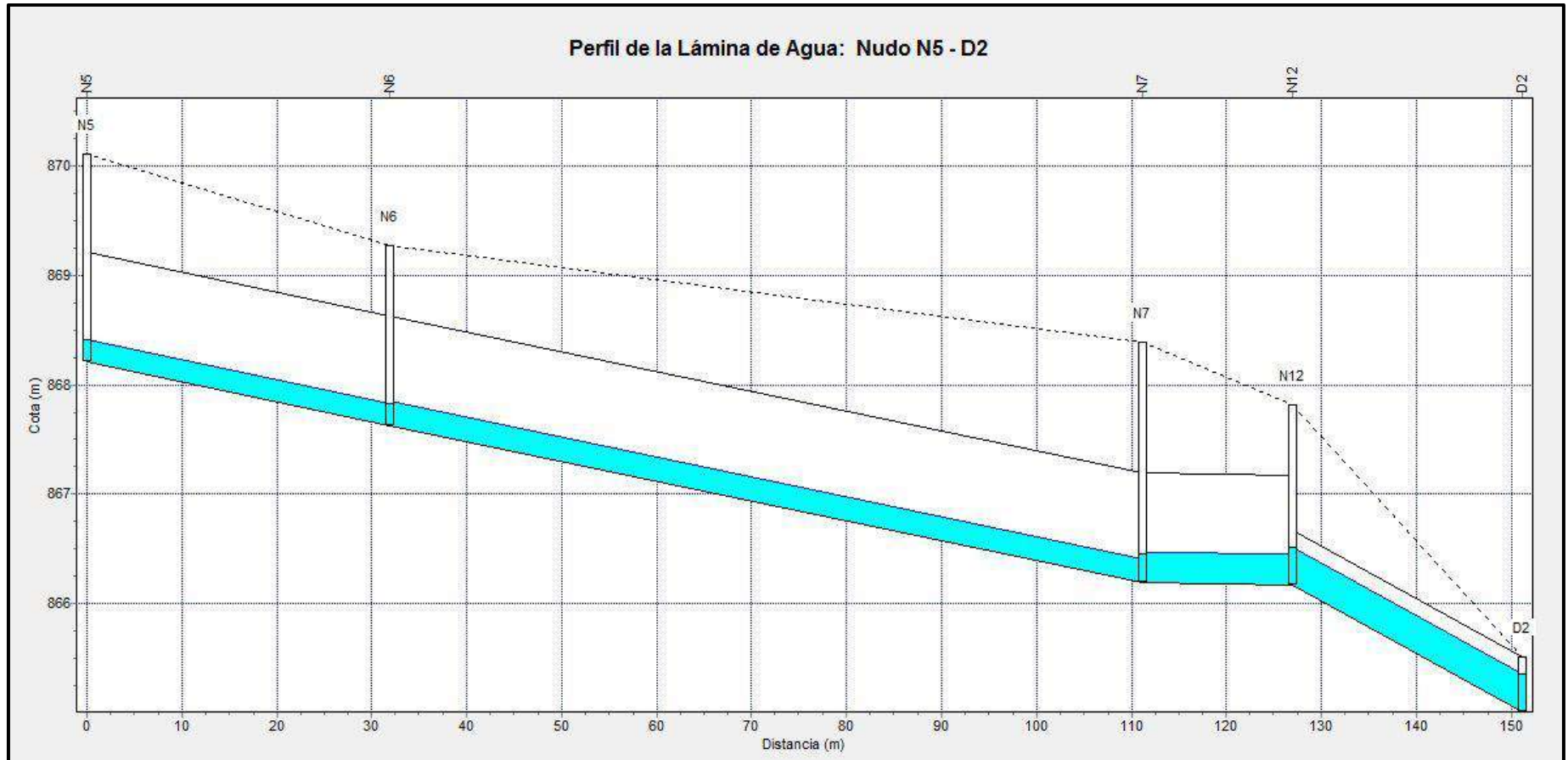


Figura N° 49. Perfil longitudinal N5-D2 de los conductos pluviales de la parte baja de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

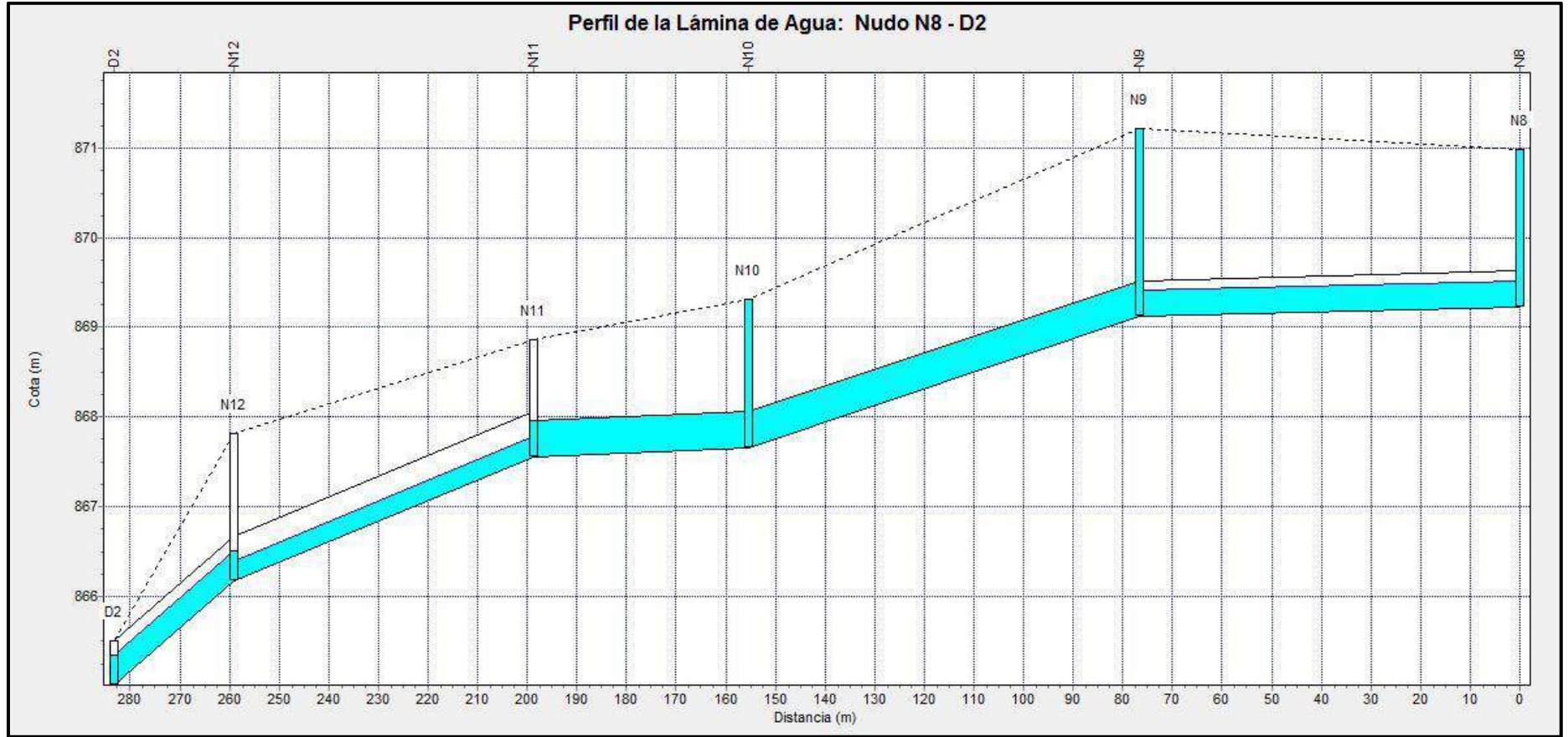


Figura N° 50. Perfil longitudinal N8-D2 de los conductos pluviales de la parte media de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

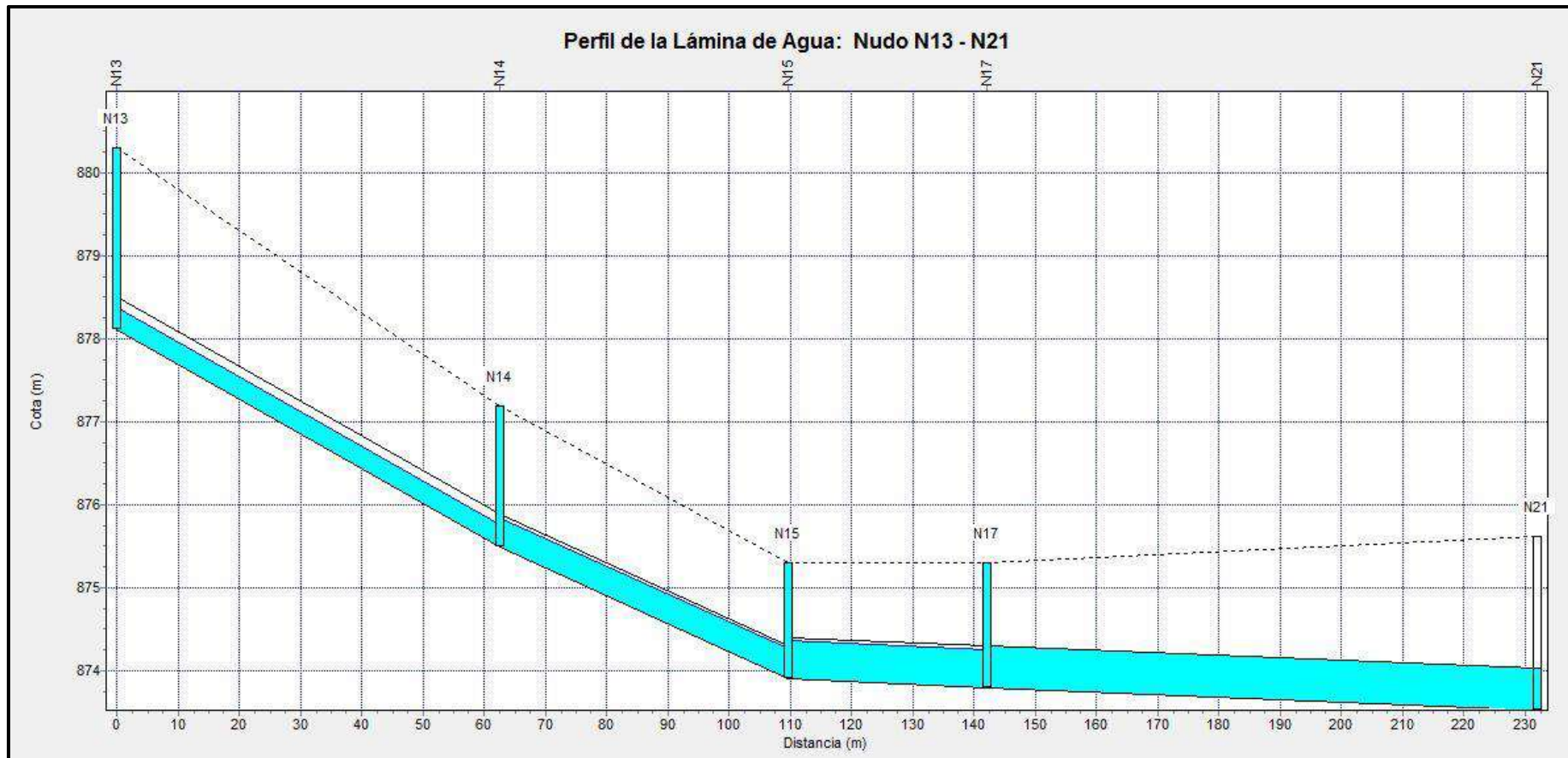


Figura N° 51. Perfil longitudinal N13-N21 de los conductos pluviales de la parte media-alta de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

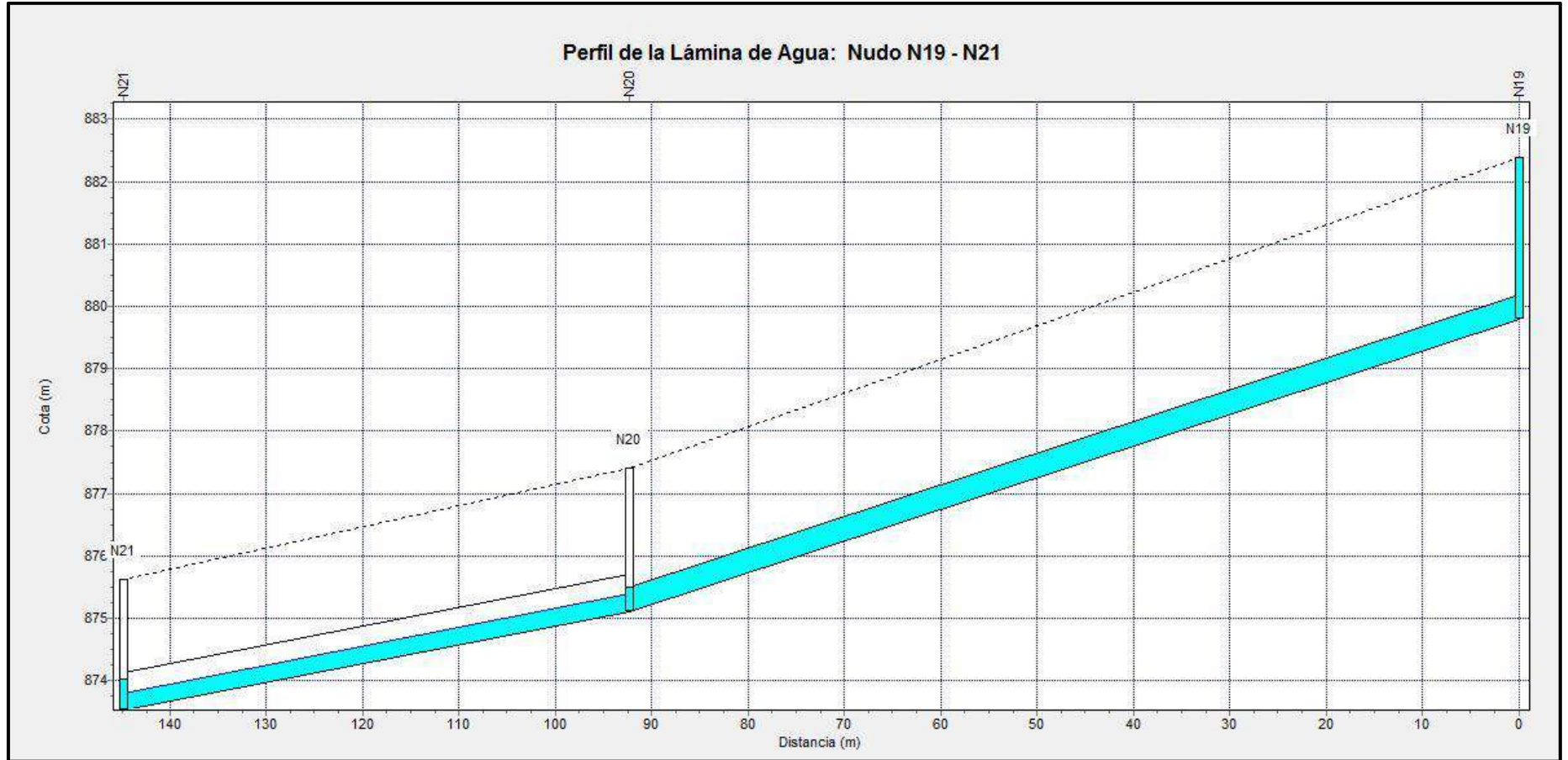


Figura N° 52. Perfil longitudinal N19-N21 de los conductos pluviales de la parte alta de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

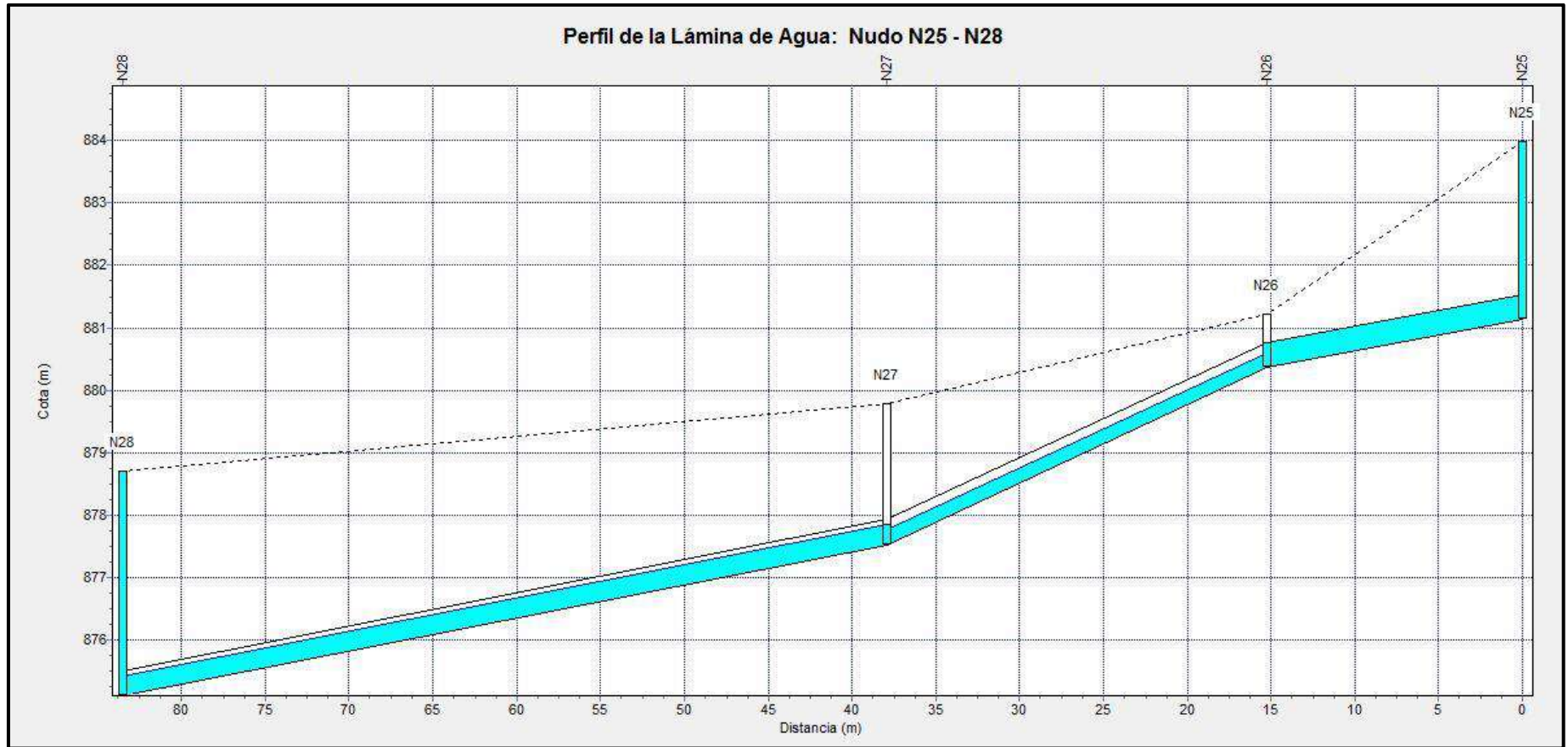


Figura N° 53. Perfil longitudinal N25-N28 de los conductos pluviales de la parte media-alta de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

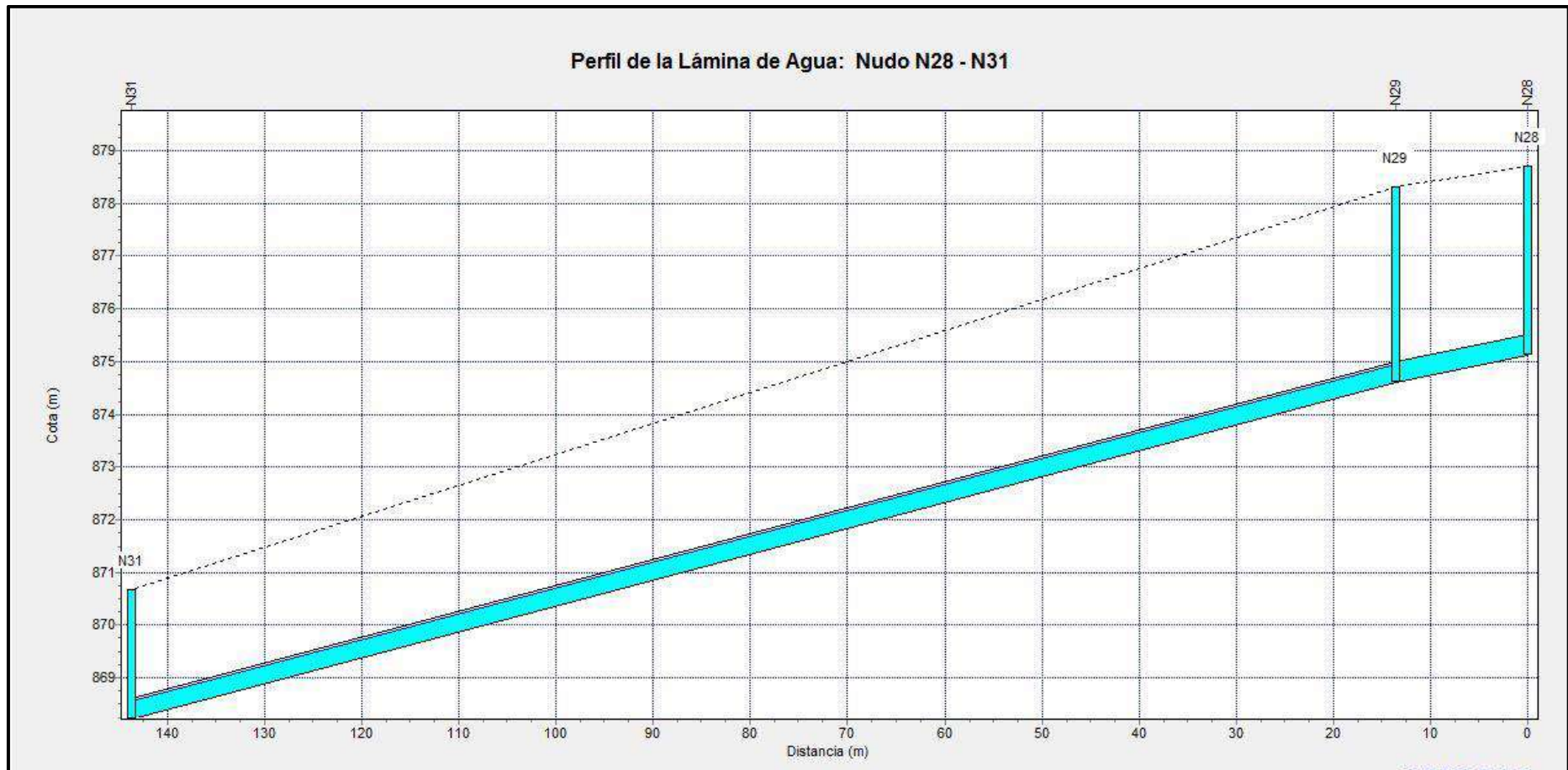


Figura N° 54. Perfil longitudinal N28-N31 de los conductos pluviales de la parte media-alta de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

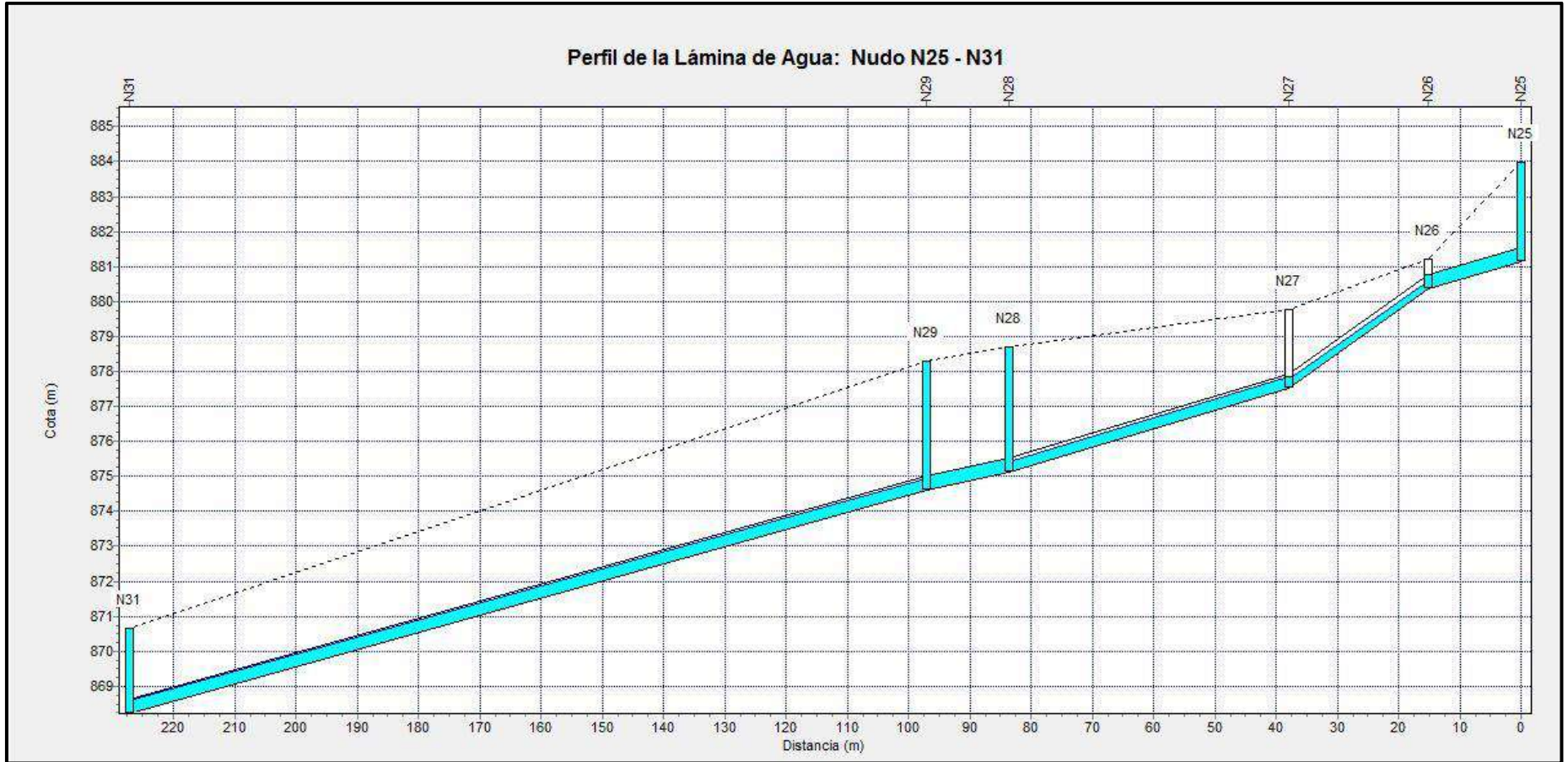


Figura N° 55. Perfil longitudinal N25-N31 de los conductos pluviales de la parte media-baja de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

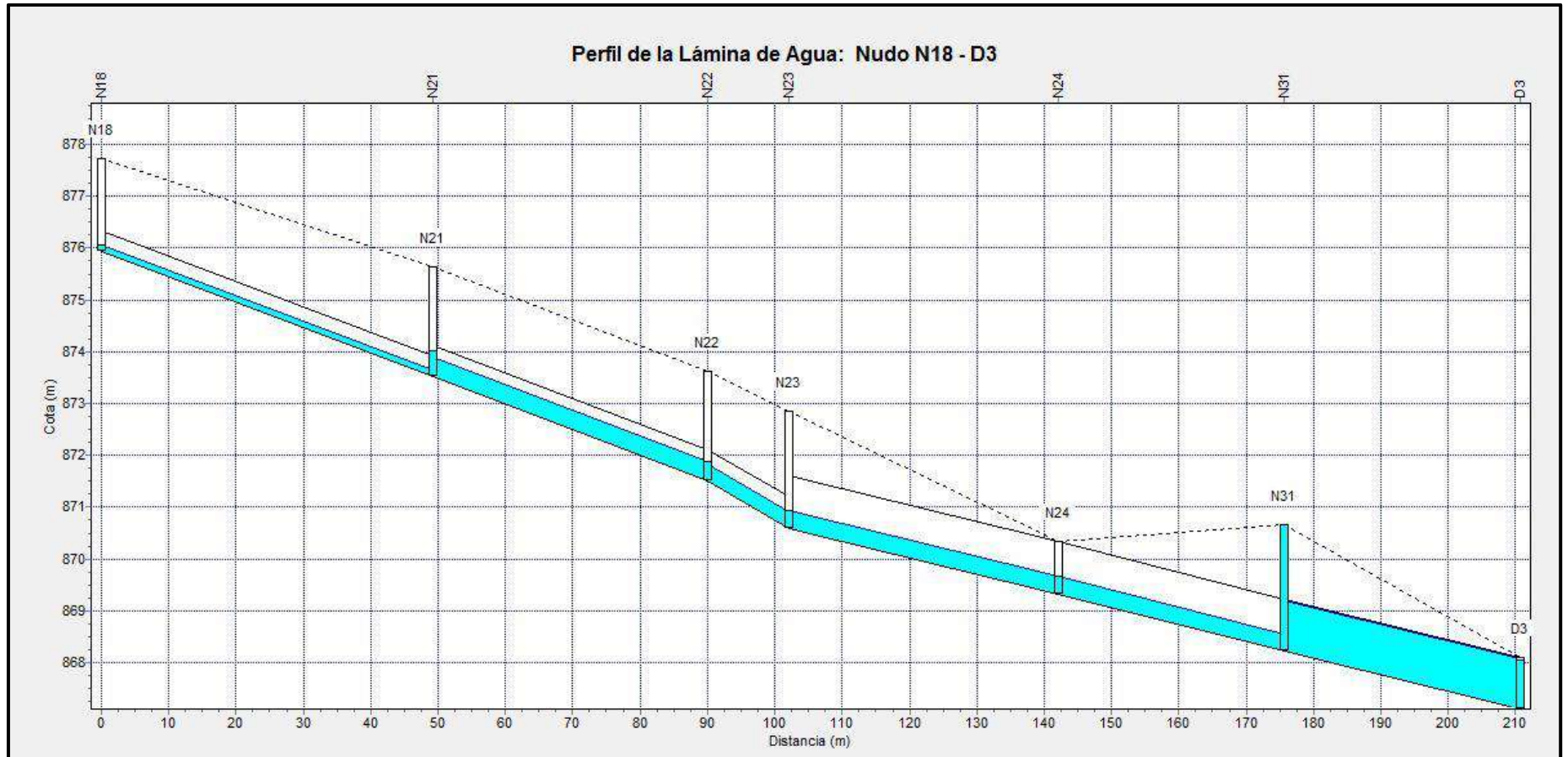


Figura N° 56. Perfil longitudinal N18-D3 de los conductos pluviales de la parte media-baja de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

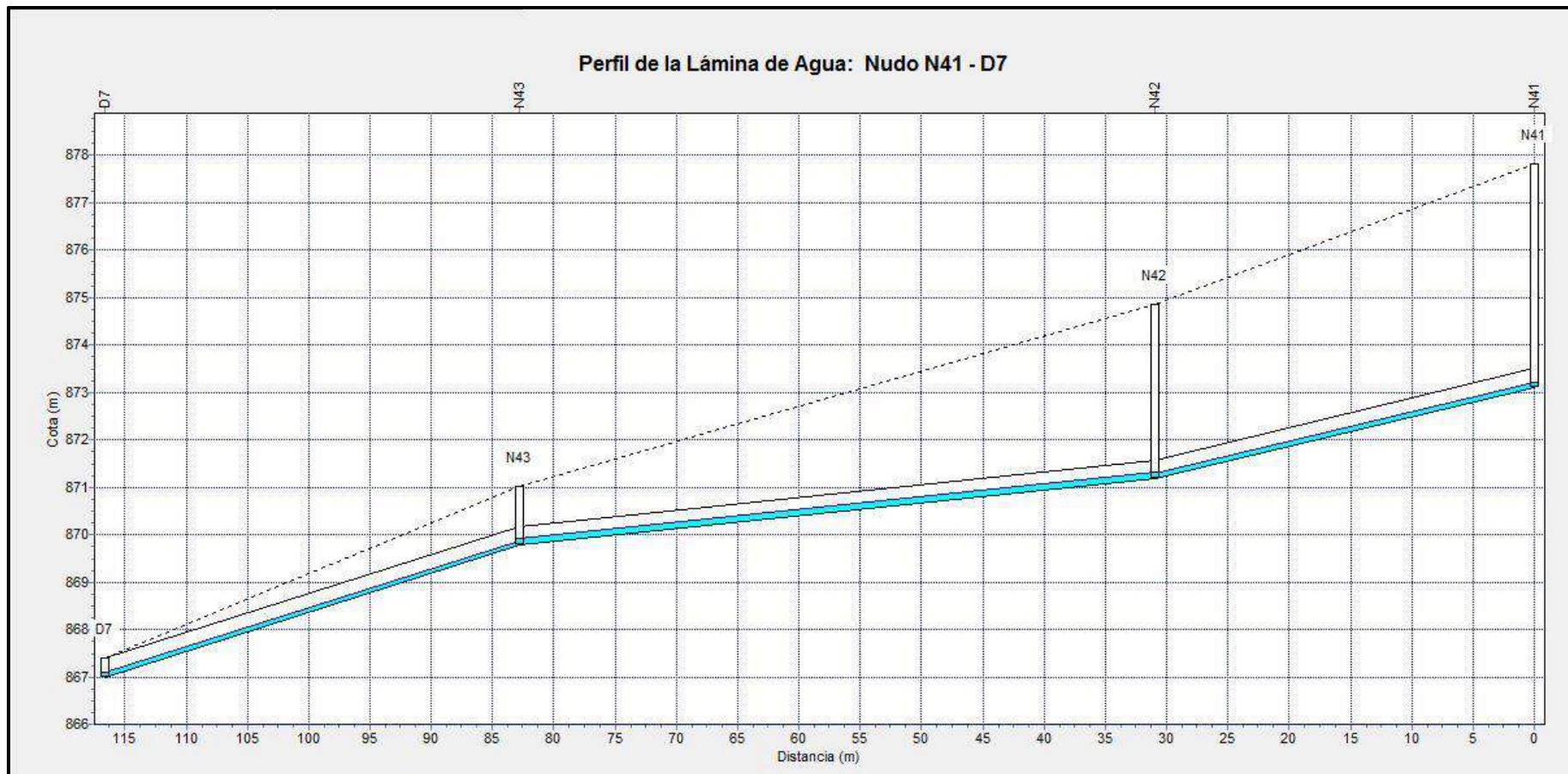


Figura N° 57. Perfil longitudinal N41-D7 de los conductos pluviales de la parte media-alta de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

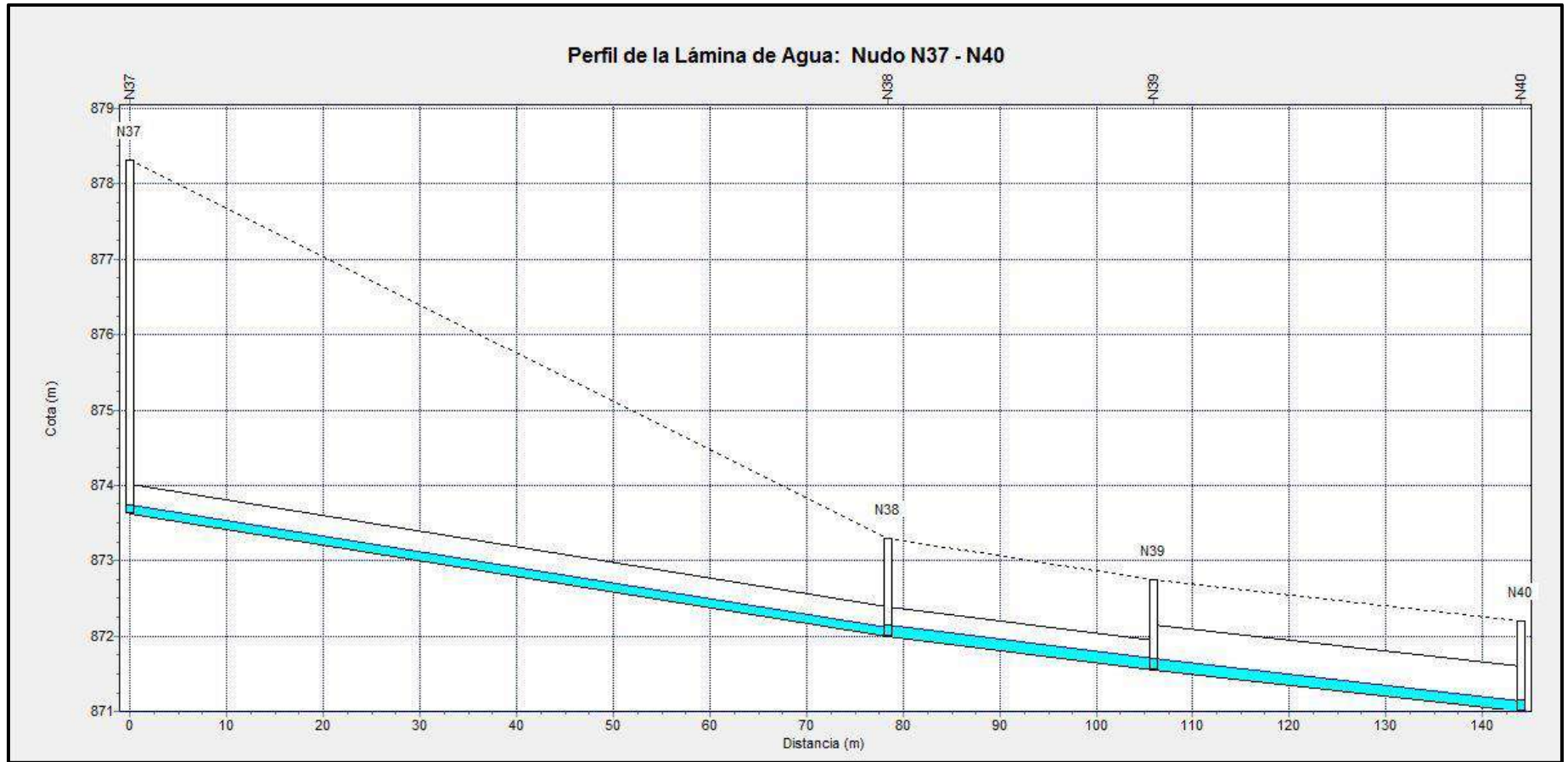


Figura N° 58. Perfil longitudinal N37-N40 de los conductos pluviales de la parte media-alta de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

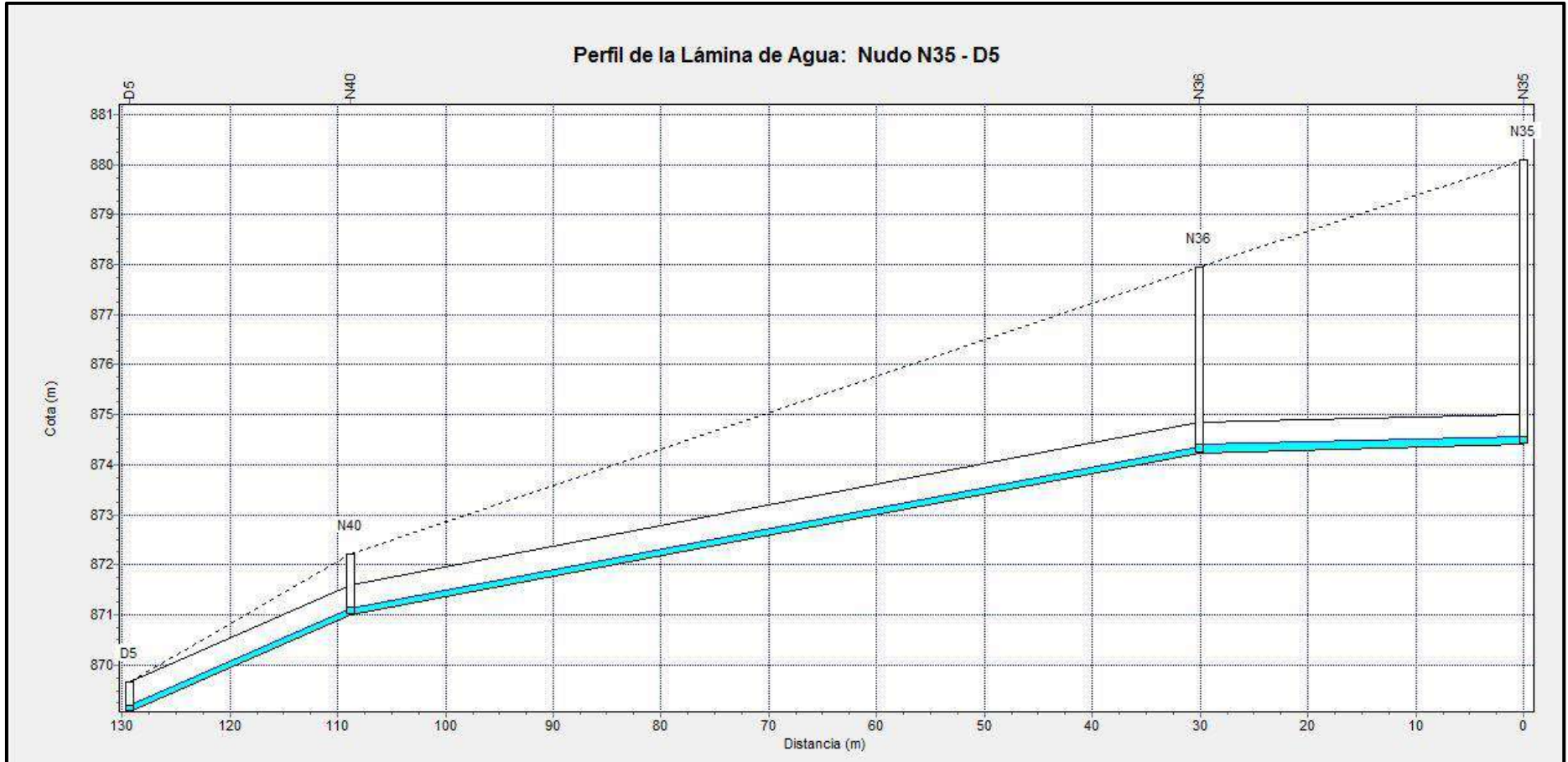
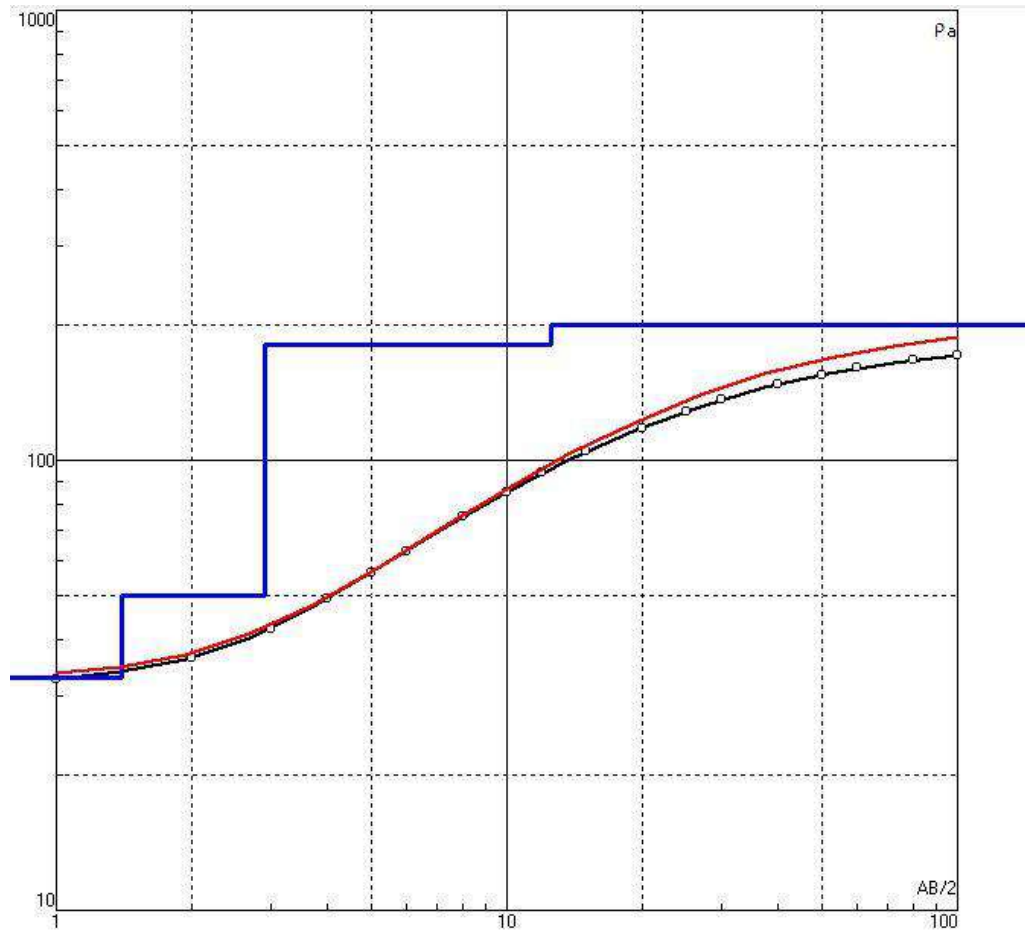


Figura N° 59. Perfil longitudinal N35-D5 de los conductos pluviales de la parte media-alta de la urbanización Bosques de Santa Ana, Periodos de Retorno y 100 años.

Anexo 8

Información de los SEVS



Error = 4.96%

N	p	h	d	Alt
1	33	1.4	1.4	-1.4
2	50	1.5	2.9	-2.9
3	180	9.6	12.5	-12.5
4	200			

Figura N° 60: Gráfico y tabla de resultados del SEV 1

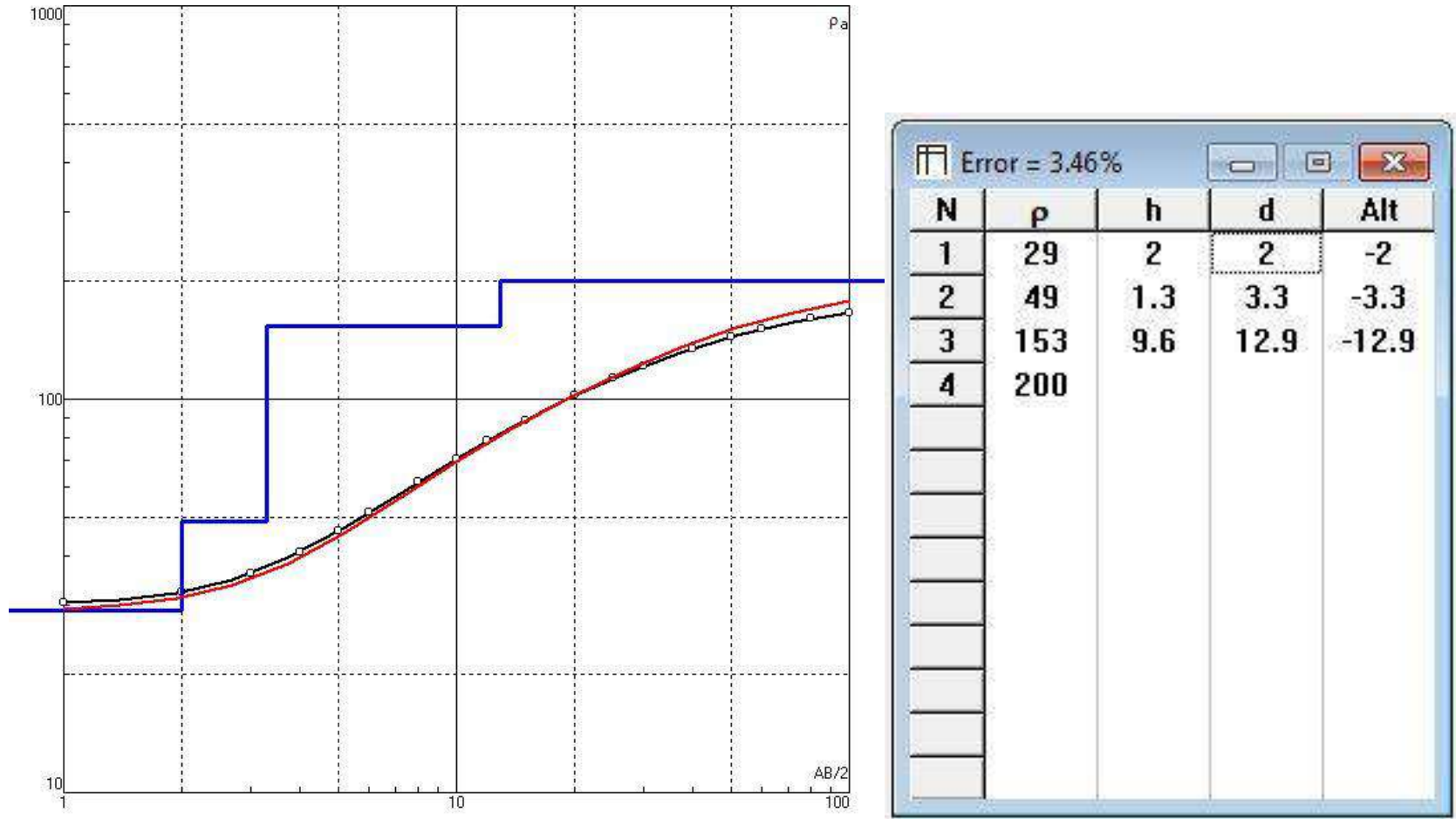
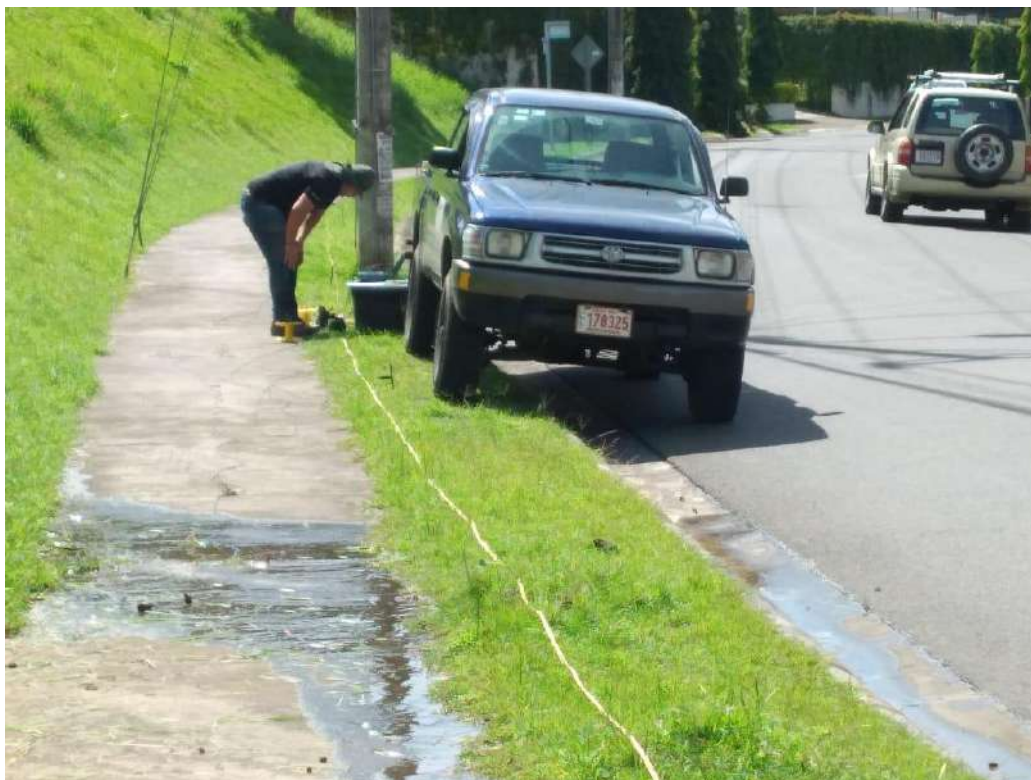


Figura N° 61: Gráfico y tabla de resultados del SEV 2



Fotografía N°22: Aplicación del SEV 1 cercano al brote.



Fotografía N°23: Aplicación del SEV 2 sobre camino aguas arriba del brote.

Anexo 9

Información de la Hidrogeología del proyecto

Cuadro N° 24 Lista de pozos registrados en la Dirección de Agua (MINAE) y SENARA, alrededor del brote de agua.

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
ILG-363	515800	216400	Inversiones Bátava S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
AB-1456	515840	216400	HDA. Monte Azul, S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
AB-1480	515650	216700	Arnoldo Ruiz Solorzano	-	-	-	-	-	-	-	-
AB-1548	515750	216800	ASFALTICO S.A.	-	-	-	-	-	-	-	-
IGL-886	515675	216325	LS Y S Compañía Constructoras	-	-	-	-	-	-	-	-
AB-773	515900	216300	Michael Zara Wood	87	45	0	0.50	Domestico	0 – 1.5 m suelo vegetal 1.5 – 13 m roca sedimentaria 13 – 87 m basalto	0 – 18 m tubo de acero 18 – 87 m rejillas	Basalto volcánico
AB-771	515750	216250	John Helms Howe	90	30	0	0.50	Domestico	0 – 2 m suelo vegetal 2 – 90 m basalto	0 – 4 m tubo de acero 4 – 90 m roca	Basalto volcánico
ILG-636	516100	216400	Inversiones Llaves S.A	-	-	-	-	-	-	-	-
AB-1467	516180	216320	Mata Grande, S.A.	-	-	-	0.50	Domestico	-	-	-

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-776	516250	216300	Inversiones Llave	89	40	-	0.50	Domestico	0 – 2 m suelo vegetal 2 – 6 m arena y rocas 6 – 89 m basalto	0 – 16 m tubo de acero ciego 16 – 89 m in encamisar	Basalto volcánico
AB-572	515600	216100	Vista Azul S.A.	75.49	26.24	-	-	.	-	0 – 32 m acero 32 - 75.49 m Ranurado	-
AB-1636	515310	216760	Inmobiliaria MxM S.A.	88	38	82	1.15	Domestico	0 – 10 m arcillas color café 10 – 29 m tobas arcillosas con bloques lávicos 29 – 34 m tobas arcillosas 34 – 39 m tobas líticas 39 – 50 m tobas arcillosas 50 – 69 m tobas arcillosas y líticas 69 – 71 m suelo 71 – 77 m lavas alteradas 77 – 88 m breccas lávicas color rojizas	0 - 65 m tubo ciego 65 – 68 m rejillas 68 – 73 m tubo ciego 73 – 88 m rejillas	Volcánico (tobas y lavas)
AB-2588	515300	216400	Fondo de Inversión Inmobiliaria de Renta y Plusvalía	-	-	-	-	.	-	-	-

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-1335	515450	216150	Apartamentos MOMTVIC,S.A.	114	14.95	29.15	1.46	Domestico	<p>0 – 4 m arcilla café claro a gris con fragmentos líticos suave plástica moldeable</p> <p>4 - 12.00 m ignimbritas gris oscura, dura fracturada</p> <p>12 – 14 m arcilla café suave impermeable</p> <p>14 – 46 m lava basáltica dura, perm.ap. mala el agua apareció a 25.0 mts</p> <p>46 - 54.00 m brecha volcánica rojiza, suave arcilla y arena con fragmentos de lava, material suelto, perm.ap. Moderada</p> <p>54 – 68 m lahar constituido por arcilla fundamentalmente perm.ap.baja</p> <p>68 – 84 m arcilla ,dura, plástica al mojarse, impermeable</p> <p>84 -114 m arcilla rojiza dura, veteada de gris y amarillo impermeable</p>	<p>0 – 30 m ciego</p> <p>30 – 68 m ranurada</p> <p>68 – 84 m ciego</p> <p>84 – 90 m Ranurado</p> <p>90 – 114 tapa en el fondo</p>	Volcánico (tobas, brechas y lavas)
AB-1017	515250	216400	AKRON	90	64.5	71.7	3.80	Industrial	<p>0 – 3 m arcilla impermeable</p> <p>3 – 13 m arenas finas a medias</p> <p>13 – 30 m ignimbritas contiene fiames prácticamente impermeables</p> <p>30 – 78 m lavas vacuolar porosa sin agua</p> <p>78 – 80 m pómez muy porosa sin agua</p> <p>80 – 85 m basalto perm.ap. baja a media</p> <p>85 – 90 m pómez perm.ap. baja a media</p>	<p>0 – 72 m PVC ciego</p> <p>72 – 90 m PVC Ranurado</p>	Basalto volcánico y lavas
AB-774	516100	216050	VERMADANA S.A.	81	43	75	0.50	domestico	<p>0 – 10 m suelo vegetal</p> <p>10 – 13 m roca volcánica solida</p> <p>13 – 74 m roca volcánica mixta</p> <p>74 – 81 basalto</p>	<p>0 – 13 m acero ciego</p> <p>13 – 81 m sin encamisar</p>	Basalto volcánico y lavas

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
ILG-875	516300	216220	Inversiones BETAVA S.A	-	-	-	-	-	-	-	-
AB-1356	515200	216650	Arnoldo Ruiz Solorzano	100	67	68	1.89	Domestico	<p>0 – 1 m arcilla color café claro plástica</p> <p>1 – 52 m ignimbritas de 1 a 35 m se encuentra muy alterada pero se reconocen algunas estructuras relicto de fluidez de 35 a 52 m la roca es cada vez más fresca, la matriz es pumítica hay abundante vidrio volcánico negro con fractura concoide la perm ap. es media</p> <p>52 – 80 m toba regularmente meteorizada con matriz arcillosa fragmentos lávicos y abundante cuarzo</p> <p>80 - 100 m lava, se trata de lava rojiza con textura afanítica aparentemente hay calcinación de la roca lo que le da una coloración rojiza.se observan planos de fracturas. La perm.ap. es alta</p>	<p>0 – 76 m PVC ciego</p> <p>76 – 100 m PVC Ranurado</p>	Volcánico (tobas y lavas)
AB-1198	515925	217200	CONCRETICO, S.A.	75	-	-	-	Industrial	<p>0 – 15 m toba</p> <p>15 – 34 m lava color gris</p> <p>34 – 44 m zona de alteración</p> <p>44 – 75 m lava menos densa</p>	<p>0 – 50 m acero</p> <p>50 – 75 m abierto</p>	Volcánico (lavas)

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-344	515400	216100	Beatriz Matamoros	14.65	13.4	-	0.50	Domestico	-	-	-
AB-1171	515250	216250	Eladio Ramirez Gonzalez	73	15	-	1.25	Domestico	<p>0 – 1 m suelo negro plástico 100%</p> <p>1 – 2 m suelo color café 80% arcilla 20% fragmentos de roca alterada</p> <p>2 – 12 m roca sedimentaria tipo lutitas con abundantes fracturas los planos de diaclasas tienen patinas de minerales ferromagnesianos y en ocasiones de manganesos</p> <p>12 – 73 m lava basáltica color negro matriz fanerítica de los 60a 65 se travesó un horizonte arcilloso color café marrón</p>	<p>0 – 24 m PVC ciego</p> <p>24 – 67 m PVC Ranurado</p> <p>67 – 73 m PVC ciego</p>	Volcánico (lavas)
ILG-250	515200	216300	Maria Cristina Calvo Arguedas	-	-	-	-	-	-	-	-

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-1971	515375	216000	TERRAMIX S.A.	146	31	-	5	Industrial	0 – 3 m arcilla impermeable 3 – 26 m toba gris oscura porosa impermeable 26 – 38 m material heterogéneo fragmentos sedimentarios y lavas la matriz es arcillosa perm.ap. baja a nula 38 – 62 m idem anterior pero con fragmentos de grava 62 – 89 m material sedimentario color café denso, poco permeable 89 – 95 m grava color rojizo con bastantes planos de oxidación perm.ap media a media alta 95 – 146 m materiales intrusivos perm.ap. Media	0 – 88 m PVC CIEGO 88 – 100 m PVC Ranurado 100 – 106 m PVC ciego 106 – 112 m PVC Ranurado 112 – 118 m PVC ciego 118 – 124 m PVC Ranurado 124 – 130 m PVC ciego 130 – 142 m PVC Ranurado 142 – 146 m PVC ciego	Volcánico y sedimentario
AB-2500	515602	215801	La Chuspa S.a.	115	16.24	46.67	4	Riego	0 – 3 m suelo arcilloso, posible tobas meteorizadas, color marrón oscuro	0 – 70 m PVC ciego 70 – 73 m PVC Ranurado 73 – 79 m PVC ciego 79 – 91 m PVC Ranurado 91 – 97 m PVC ciego 97 – 109 m PVC Ranurado 109 – 115 m PVC ciego	-

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-2290	516462	216068	Agua Azul de Santa Ana S.A.	105	68	82	1.60	Domestic –riego	<p>0 – 6 m relleno suelo gris oscuro textura limo-arcillosa con algunos fragmentos andesíticos</p> <p>6 – 69 m brecha con fragmentos volcánicos, heterogéneos bien cementados en una matriz fina bastante arcillosa perm.ap. baja</p> <p>69 – 98 m toba con fragmentos líticos y minerales en una matriz negra con baja a moderada perm.ap</p> <p>98 – 101 m lava gris verdoso textura afanítica, y composición aparentemente andesítica. bastante alterada y con moderada perm.ap.</p> <p>101 – 105 m toba de grano medio color café con moderada perm.ap.</p>	<p>0 – 70 m tubería ciega</p> <p>70 – 76 m tubería ranurada</p> <p>76 - 90 m tubería ciega</p> <p>90 – 105 m tubería ranurada</p>	Volcánico (tobas y lavas)
AB-767	515750	215750	Reino Vegetal	61	8.5	-	0.50	Domestic	-	<p>0 -36. 5 m PVC ciego</p> <p>36.5 – 61 m PVC Ranurado</p>	-
AB-576	515500	215800	Jorge Marin	160	8.40	-	2.52	Domestic	<p>0 – 15.2 m no hay testigo de muestra</p> <p>15.2 – 21.3 m ignimbritas color gris</p> <p>21.3 – 38.1 m toba color café</p> <p>38.1 – 48.7 m ignimbritas de color gris.</p>	<p>0 – 100 m PVC ciego</p> <p>100 – 160 m PVC Ranurado</p>	-
AB-1300	516400	215950	Jorge Saul Marin Hidalgo	50	12	45	0.36	Domestic	<p>0 – 10 m arcilla densa plástica color café oscuro</p> <p>10 – 50 m toba matriz arenosa clara pumítica limonitas, abundante vidrio volcánico y cuarzo, caolín pómez perm ap.baja</p>	<p>0 – 12 m PVC ciego</p> <p>12 – 50 m PVC Ranurado</p>	Volcánico (tobas)
AB-691	515650	215700	James Willard Colgrove	45.6	13.68	-	0.50	Domestic	<p>0 - 12.20 m toba soldada color café p.a baja</p> <p>12.20 - 45.70 m toba soldada ignimbritas p.a.baja</p>	<p>0 – 24.32 m PVC ciego</p> <p>24.32 – 45.6 m PVC Ranurado</p>	Volcánico (tobas)

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-1396	515250	215880	German Elizondo Valverde	42	7	-	1.90	Domestico	0 – 6 m arcilla plástica impermeable 6 – 21 m roca sedimentaria meteorizada perm.ap.baja 21 – 42 m lutitas y areniscas secuencia de rocas sedimentarias mayor permeabilidad aparente	0 – 21 m PVC ciego 21 – 42 m PVC Ranurado	Sedimentario
AB-553	515300	215800	Matilde Volio	160	33	-	-	.	0 – 35.57 m ignimbritas color gris oscuro, con contenido vidrioso, poco denso, con algún material volcánico de color anaranjado y uno que otro fragmento acido, inclusive algunos fragmentos lávicos. Las permeabilidades a través de fisuras. 35.57 – 48. 76 m ignimbritas ídem, estas son más homogéneas y presentan bolsas de escoria, muy porosas y de color negro. La permeabilidad es Buena	0 – 60 m galvanizado ciego 60 – 160 m galvanizado Ranurado	Volcánico (tobas y lavas)
AB-653	515900	215650	Modesto Gonzalez	60.8	7	-	0.50	Domestico	0 - 7.6 m coluvio con fragmentos angulosos p.a baja a media 7.6 - 15.2 m tobas líticas gris claro p.a media 15.2 – 61 m vulcarenitas(tobas meteorizadas) p.a media a baja Fm Pacacua	0 – 36.5 m PVC ciego 36.5 – 60.8 m PVC Ranurado	Sedimentario
ILG-515	515400	215740	Hacienda Ganadera Volio y Jime	-	-	-	-	.	-	-	-
AN-924	516580	216020	Valle Yumuri	60	-	-	1	Domestico	-	-	-

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-1239	515250	215800	Luis Chavarria Rojas	40	11.5	13	0.50	Domestico	<p>0 – 2 m arcilla plástica</p> <p>2 – 20 m material areno-arcilloso producto de la meteorización de tobas ignimbritas, ya que se identifica material pumítica.</p> <p>20 – 40 m ignimbritas se reconoce vidrio volcánico negro, material pumítica gris perm. Alta</p>	<p>0 – 15 m PVC ciego</p> <p>15 – 40 m PVC Ranurado</p>	Tobas y lavas

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-1669	515000	216040	TERRAMIX S.A.	146	34.2	-	3	Industrial	<p>0 - 2.50 m suelos orgánicos y arcillas limosas con algunos bloques lávicos</p> <p>2.50 – 89 m rocas piroclásticas desde tobas cineríticas a aglomerados. A partir de los 61.0. m predominan la ignimbritas</p> <p>89 – 132 m flujos lávicos desde brechas lavas andesíticas porfiríticos grises y compactas de poco espesor</p> <p>132 – 146 m rocas sedimentarias de Fm Pacacua</p>	<p>0 – 36 m ciego</p> <p>36 – 46 m rejillas</p> <p>46 – 55 m ciego</p> <p>55 – 65 m rejillas</p> <p>65 – 75 m ciego</p> <p>75 – 85 m rejillas</p> <p>85 – 95 m ciego</p> <p>95 – 104 m rejillas</p> <p>104 – 114 m ciego</p> <p>114 – 124 m rejillas</p> <p>124 – 134 m ciego</p> <p>134 – 146 m ninguno</p>	Volcánico y sedimentario

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-1852	515160	215850	Hules Tecnicos S.A.	135	39.97	-	5.50	Industrial	0 – 3 m suelo arcilloso color café 3 – 35 m toba color que varía de café a gris p.a baja 35 – 42 m lahar color café p.a baja a media 42 – 48 m tobas grises p.a baja 48 – 51 m lahar color gris perm.ap. media 51 – 60 m tobas grises p.a baja 60 - 75 m lahar p.a baja 75 – 78 m paleosuelo arcilloso p.a baja 78 – 90 m lavas densas de color gros a café p.a alta 90 – 135 m lavas color gris p.a alta	0 – 84 m ciega 84 – 90.30 m rejillas 90.30 – 95.20 m ciega 95.20 - 100.10 m rejillas 100.10 – 105 ciego 105 – 111.30 m rejillas 111.30 – 116.20 m ciego 116.20 – 121.10 m rejillas 121.10 – 126 m ciego 126 – 132.30 m rejillas 132.30 – 134.75 m ciego	Tobas y lavas
ILG-416	515800	215600	Mario Podetti Langella	-	-	-	-	-	-	-	-
AB-621	514950	216100	Empleados de Fomeco	21.34	2.71	-	0.50	Domestico	-	0 – 6.96 m PVC ciego 6.96 – 21.34 m abierto	-

Pozo	Longitud (m)	Latitud (m)	Propietario	Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Q (l/s)	Uso	Litología (m)	Armado (m)	Acuífero captado
AB-1271	515350	215700	Carlos Ramirez Delgado	40	17	20	1.30	Domestico	0 – 4 m arcilla color negro plastica 4 – 24 m ignimbrita o toba ,arenosa con pomez,color gris claro poco contenido arcilloso perm.ap. media 24 – 27 m muestras de lava gris con matriz afnitica y fenocristales de felfespato 27 – 29 m ignimbrita ignimbrita con abundantes vidrio volcanico negro 29 – 34 m arcillas 34 – 40 m ignimbrita con pomez se observan microestructuras de fiames al binocular en algunas muestras	0 – 16 m PVC ciego 16 – 40 m PVC ranurado	Tobas y lavas

Cuadro N°25. Lista de concesiones registradas en la Dirección de Agua del MINAE para la zona de estudio.

Expediente	Longitud (m)	Latitud (m)	Estado	Propietario	Fuente	Nombre de la fuente	Q (l/s)
R-602	479906	1102653	Otorgado	AyA	Naciente	Túnel 1, 2, 3 puente de mulas	-
H- 13	479865	1102701	Otorgado	Compañía nacional de fuerza y luz, S.A.	Rio	Virrilla	14000
P-5313	479590	1102582	Cancelado por vencimiento	Tajo hermanos Ramirez Crexpo S.A.	Acuífero	AB-1198	0.04
P-19378	479414	1102182	Solicitud Nueva	Banco Improsa Sociedad Anonima	Acuífero	AB-1578	-
P-12617	478974	1102142	Cancelado por vencimiento	Corporacion de Supermercados Unidos S.A.	Acuífero	AB-1636	0.76
P-8399	479104	1102082	Cancelado	Inmobiliaria M X M, S.A.	Acuífero	AB-1636	-
P-6740	479064	1101882	Cancelado	Desarrollos Inmobiliarios Habitasul S.A.	Acuífero	AB-643	5
P-4006	478964	1101782	Moroso pago de canon	Fondo de Inversiones Inmobiliarios derente Plusvalias	Acuífero	AB-2588	0.03
P-3303	478864	1101682	Cancelado por vencimiento	Maria Cristina Calvo Arguedas	Acuífero	Sin nombre	0.23

Expediente	Longitud (m)	Latitud (m)	Estado	Propietario	Fuente	Nombre de la fuente	Q (l/s)
P-3428	478864	1101383	Cancelado	Arnoldo Ruiz Solorzano	Acuífero	Sin nombre	-
P-18215	479039	1101382	Otorgado	Banco Improsa Sociedad Anonima	Acuífero	AB-1971	1.56
P-6123	479164	1101582	Otorgado	Apartamentos MONTVIC S.A	Acuífero	AB-1335	0.96
P-3920	479264	1101782	Cancelado	L.S & S. Compañía Constructora S.A	Acuífero	Sin nombre	-
P-8819	479339	1101707	Cancelado por vencimiento	L.S & S. Compañía Constructora S.A	Acuífero	Sin nombre	0.1
P-3851	479464	1101782	Cancelado	Inversiones BATAVA S.A	Acuífero	Sin nombre	-
PA-19631	479463	1101540	Solicitud nueva	ALRONE S.A.	Acuífero	AB-2598	-
A-13841	479664	1101382	Resuelto	Inversiones Llaves S.A	Quebrada	Pilas	-
P-8719	479964	1101601	Moroso pago de canon	Inversiones BATAVA S.A.	Acuífero	AB-491	0.1
P-11779	480126	1101449	Otorgado	Agua Azul de Santa Ana Sociedad Anonima	Acuífero	AB-2290	0.08
P-14850	479265	1101183	Moroso pago de canon	La Chuspa, S.A.	Acuífero	AB-2500	0.55
P-3843	479463	1100982	Cancelado	Mario Podetti Langella	Acuífero	Sin nombre	-
P-4003	479363	1101032	Cancelado	Williard James Colegrove	Acuífero	AB-691	-
P-3823	479313	1101022	Cancelado	Edwin Ricardo Marin Delgado	Acuífero	AB-557	-
P-4364	479063	1101122	Cancelado	Hacienda Ganadera Jimenez y Volio S.A.	Acuífero	Sin nombre	-
P-5589	478954	1101139	Otorgado	Marta Eugenia Sibaja Solano	Acuífero	AB-1266	0.03
P-7067	478913	1101182	Cancelado por vencimiento	Heifel Inversiones S.A.	Acuífero	AB-1239	0.5
P-18215	478813	1101233	Otorgado	Banco Improsa Sociedad Anonima	Acuífero	AB-1852	1.54

Anexo 10

Información del Balance Hídrico

Cuadro N°26: Cálculo de Recarga potencial anual (mm/año).

BALANCE HIDRICO DE SUELOS Gunther Schosinsky

Zona de Estudio: Urbanización Bosques (brote de agua)

Fecha: 02-dic-20

Textura de Suelo: Arenoso-Arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

(CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

C1: Factor de ETP, por cierre de estomas, antes que ocurra ETR

C2: Factor de ETP, por cierre de estomas, después que ocurre ETR

Kp: Factor por pendiente (ver léame)

Kv: Factor por vegetación (ver léame)

Kfc: Factor estimado con base a la prueba de infiltración

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

NR: Necesidad de Riego.

Ret: Retención de Lluvia

fc [mm/d]

786.00

Kp [0.01%]

0.10

Kv [0.01%]

0.20

Kfc [0.01%]

0.936

I [0.01%] =

1

DS (g/cm³):

1.30

PR (mm)

0.40

HSi (mm)

213.30

Nº de mes con que inicia HSi;1,2,3...12?

10

Lluvia retenida [0.01%]: Bosques=0.2, otros=0.12

0.12

por peso

(%)

(mm)

CC

41.00

0.21

PM

38.00

0.20

(CC-PM)

3.00

0.02

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	2.90	9.20	12.20	59.80	147.10	143.80	101.70	139.80	188.50	213.30	76.00	17.30	1111.60
Ret [mm]	2.90	5.00	5.00	7.18	17.65	17.26	12.20	16.78	22.62	25.60	9.12	5.00	146.30
Pi (mm)	0.00	4.20	7.20	52.62	129.45	126.54	89.50	123.02	165.88	187.70	66.88	12.30	965.30
ESC (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ETP (mm)	152.99	89.54	102.55	104.36	106.58	103.04	105.91	103.46	98.04	96.72	91.79	94.17	1249.15
HSi (mm)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	213.30	0.21	0.21	
C1	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	
HD (mm)	0.00	4.20	7.20	52.62	129.46	126.56	89.51	123.04	165.90	400.81	66.90	12.32	
ETR (mm)	0.00	4.20	7.20	52.18	106.58	103.04	52.96	103.46	98.04	96.72	45.90	12.32	682.59
HSf (mm)	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	
DCC (mm)	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.43	22.87	23.50	36.54	19.56	67.84	304.07	20.99	0.00	495.80
NR (mm)	153.01	85.36	95.37	52.18	0.00	0.00	52.96	0.00	0.00	0.00	45.90	81.87	566.63

Anexo 11

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

Cuadro N° 26: Matriz de riesgo de sector interno A1, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	*Flujo de lodos	*Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A1: Sector de la urbanización de Bosques colindante a la entrada del tajo MECOSANTANA	Avenida 75: desde la entrada del tajo MECOSANTANA hasta diagonal de la avenida 75 con la Calle 22 de la urbanización Bosques	Inundaciones en viviendas y carretera con sobre flujo de escorrentía, además del arrastre de lodos del tajo MECOSANTANA. Colapso de conductos pluviales y tragantes por acumulación de sedimentos finos.	Índice de Severidad (S)	1.0	5.0	5.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	18.75	15.5	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Alto	Alto	Medio

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

Cuadro N° 27: Matriz de riesgo de sector interno A2, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	Flujo de lodos	*Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A2: Sector de la urbanización Bosques (Avenida 73 A, diagonal 73)	Tramo de la urbanización Bosques donde los bloques A y B colindantes a la parada de buses Pavicen distribuyen sus aguas al bloque E	Se presentan problemas de inundaciones afectando a las viviendas que se encuentran en el bloque E	Índice de Severidad (S)	1.0	5.0	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	18.75	3.10	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Alto	Bajo	Medio

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

Cuadro N° 28: Matriz de riesgo de sector interno A3, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	Flujo de lodos	*Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A3: Sector de la urbanización Bosques situada en el medio de los bloques E y Q	Tramo de la urbanización Bosques donde los bloques E y Q colindan con el boulevard de la avenida 73	La avenida 75 y 73 aportan la escorrentía pluvial generando un sobre flujo que se concentran en los bloques E y Q, ocasionando inundaciones	Índice de Severidad (S)	1.0	5.0	1.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	18.75	3.10	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Alto	Bajo	Medio

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

Cuadro N° 29: Matriz de riesgo de sector interno A4, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	Flujo de lodos	*Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A4: Sector de la entrada a la urbanización Bosques, colindante a Condominio Q	Avenida 73: desde la entrada de la urbanización Bosques, en diagonal a la ruta 310, sobre el Bulevar entre los bloques F, H e I	<p>Inundaciones en viviendas y carretera con sobre flujo de escorrentía, además del aporte de humedad que genera el brote de agua que aflora en la esquina del condominio Q.</p> <p>Velocidad y exceso de escorrentía que se impulsa por la pendiente de la ruta 310, donde el agua se acumula en la avenida 73, afectando específicamente las viviendas de los bloques F, H e I.</p>	Índice de Severidad (S)	1.5	5.0	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	4.5	18.75	3.10	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Alto	Bajo	Medio

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

Cuadro N° 30: Matriz de riesgo de sector interno A5, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo

Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	*Flujo de lodos	*Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A5: Sector de la urbanización Bosques colindante al bloque J	Tramo de la urbanización Bosques donde la avenida 71 es perpendicular a la calle 16	Se presentan inundaciones que afectan a las viviendas circundantes y el pozo pluvial de la vía está colapsado por sedimentación, además se desconoce la dirección de flujo del conducto de evacuación	Índice de Severidad (S)	1.0	5.0	3.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	18.75	9.3	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Alto	Medio	Medio

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

Cuadro N° 31: Matriz de riesgo de sector interno A6, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	*Flujo de lodos	*Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A6: Sector de la urbanización Bosques, desde la cancha de tenis hasta la colindancia con el súper Lisa	Calle 16: desde la parte diagonal con la ruta 310, sitio colindante con el súper Lisa, hasta el puente que existe cerca de la cancha de tenis	Inundación en las viviendas y la vía del bloque M, donde actualmente se tienen conductos pluviales colapsados por sedimentación, además se desconoce la dirección de evacuación que deben tener las estructuras hidráulicas.	Índice de Severidad (S)	1.0	5.0	3.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	18.75	9.3	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Alto	Medio	Medio

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

Cuadro N° 32: Matriz de riesgo de sector interno A7, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	*Flujo de lodos	*Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A7: Área de la urbanización Bosques frente al Cedi Santa Ana, entre el cruce de la calle 22A y avenida 75 hasta la zona baja del bloque O	Calle 22A: desde la parte diagonal con la avenida 75, hasta las viviendas apegadas a la curva final del bloque O, sobre avenida 71	Inundación entre la avenida 75 y la calle 22A, y en las viviendas de la parte baja del bloque O y la avenida 71.	Índice de Severidad (S)	1.0	5.0	4.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	18.75	12.40	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Alto	Alto	Medio

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

Anexo 12

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

Cuadro N° 33: Matriz de riesgo sector externo A1, microcuenca de la quebrada 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	3.75	3.10	3.0
Externo	E1: Segmento de la quebrada Pilas aguas abajo del (AP) colindante al supermercado Vindi y avenida 63	Tramo donde la quebrada Pilas traza el puente cercano al residencial Montaña	Se observa gran cantidad de materiales sólidos en el cauce como troncos, hojas y charral lo cual puede provocar una importante avenida obstruyendo el cauce y afectando la infraestructura del puente	Índice de Severidad (S)	1.0	3.0	1.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	11.25	3.10	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Medio	Bajo	Medio

Cuadro N° 34: Matriz de riesgo sector externo A2, microcuenca de la quebrada 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	3.75	3.10	3.0
Externo	E2: Este sector se ubica aguas debajo de la urbanización Bosques (AP), exactamente bajo el puente en la ruta 147 entre la bomba Uno Lindora y Howard's Cantina	Cauce de la quebrada Pilas que traza su paso bajo el puente de la ruta 147	E2 Puente sobre Ruta 147: en este sitio sobre el lecho de la quebrada se observan obstáculos como residuos sólidos, excesos de materia orgánica y biológica, entre los cuales se pueden observar bolsas, madera y exceso de vegetación sobre el lecho del río lo cual podría ocasionar obstrucción del cauce en el punto donde se encuentra el puente y por ende que esta área se inunde por la obstrucción del paso del agua bajo el puente de la ruta 147.	Índice de Severidad (S)	1.0	4.0	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	15.0	3.10	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Alto	Bajo	Medio

Cuadro N° 35: Matriz de riesgo sector externo A3, microcuenca de la quebrada 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	3.75	1.70	3.0
Externo	A3: El sector de Lagos de Lindora, y el CTP de Santa Ana hasta a piscina Municipal	Puente sobre la ruta de Lagos de Lindora, colindante al CTP de Santa Ana hasta la avenida 57	E3 Lagos de Lindora y CTP Santa Ana: El escenario actual muestra obstáculos en el cauce que son observados desde la carreta del puente, por lo que dicha acumulación de residuos sólidos biológicos y artificiales pueden ocasionar una represa, acumulando el caudal de la quebrada Pilas, generando remansos y desbordes del cauce, inundando la carretera e impactando al CTP y locales comerciales cercanos.	Índice de Severidad (S)	1.0	4.0	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	15	1.70	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Alto	Bajo	Medio

Cuadro N° 36: Matriz de riesgo sector externo A4, microcuenca de la quebrada Pilas 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	3.75	1.70	3.0
Externo	A4: El sector de Valle del Sol, y el sitio donde la quebrada Pilas tributa sobre el rio Virilla	Puente sobre la calle de Valle del Sol, y la diagonal con la avenida 39B	Sobre el pequeño puente donde traza la quebrada Pilas, en diagonal a la avenida 39B, se evidencia el exceso de vegetación en el lecho del cauce, además de la acumulación de residuos sólidos en ese trayecto, lo que puede contribuir con un eventual desbordamiento de las aguas sobre la carretera y los espacios colindantes	Índice de Severidad (S)	1.0	3.0	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	11.25	1.70	6.0
				Nivel de Riesgo	Medio	Medio	Bajo	Medio

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

Anexo 13

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

Cuadro N° 37: Matriz de riesgo de sector interno A1, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	*Flujo de lodos	Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A1: Sector de la urbanización de Bosques colindante a la entrada del tajo MECOSANTANA	Avenida 75: desde la entrada del tajo MECOSANTANA hasta diagonal de la avenida 75 con la Calle 22 de la urbanización Bosques	Inundaciones en viviendas y carretera con sobre flujo de escorrentía, además del arrastre de lodos del tajo MECOSANTANA. Colapso de conductos pluviales y tragantes por acumulación de sedimentos finos.	Índice de Severidad (S)	1.0	1.5	1.5	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	5.6	4.65	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Cuadro N° 38: Matriz de riesgo de sector interno A2, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	Flujo de lodos	Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A2: Sector de la urbanización Bosques (Avenida 73 A, diagonal 73)	Tramo de la urbanización Bosques donde los bloques A y B colindantes a la parada de buses Pavicen distribuyen sus aguas al bloque E	Se presentan problemas de inundaciones afectando a las viviendas que se encuentran en el bloque E	Índice de Severidad (S)	1.0	1.0	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	3.75	3.10	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Cuadro N° 39: Matriz de riesgo de sector interno A3, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	Flujo de lodos	Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A3: Sector de la urbanización Bosques situada en el medio de los bloques E y Q	Tramo de la urbanización Bosques donde los bloques E y Q colindan con el boulevard de la avenida 73	La avenida 75 y 73 aportan la escorrentía pluvial generando un sobre flujo que se concentran en los bloques E y Q, ocasionando inundaciones	Índice de Severidad (S)	1.0	5.0	1.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	5.6	3.1	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Cuadro N° 40: Matriz de riesgo de sector interno A4, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	Flujo de lodos	Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A4: Sector de la entrada a la urbanización Bosques, colindante a Condominio Q	Avenida 73: desde la entrada de la urbanización Bosques, en diagonal a la ruta 310, sobre el Bulevar entre los bloques F, H e I	<p>Inundaciones en viviendas y carretera con sobre flujo de escorrentía, además del aporte de humedad que genera el brote de agua que aflora en la esquina del condominio Q.</p> <p>Velocidad y exceso de escorrentía que se impulsa por la pendiente de la ruta 310, donde el agua se acumula en la avenida 73, afectando específicamente las viviendas de los bloques F, H e I.</p>	Índice de Severidad (S)	1.5	1.5	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	4.5	5.60	3.10	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Cuadro N° 41: Matriz de riesgo de sector interno A5, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo

Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	*Flujo de lodos	Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A5: Sector de la urbanización Bosques colindante al bloque J	Tramo de la urbanización Bosques donde la avenida 71 es perpendicular a la calle 16	Se presentan inundaciones que afectan a las viviendas circundantes y el pozo pluvial de la vía está colapsado por sedimentación, además se desconoce la dirección de flujo del conducto de evacuación	Índice de Severidad (S)	1.0	1.0	1.5	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	3.75	4.65	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Cuadro N° 42: Matriz de riesgo de sector interno A6, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	*Flujo de lodos	Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A6: Sector de la urbanización Bosques, desde la cancha de tenis hasta la colindancia con el súper Lisa	Calle 16: desde la parte diagonal con la ruta 310, sitio colindante con el súper Lisa, hasta el puente que existe cerca de la cancha de tenis	Inundación en las viviendas y la vía del bloque M, donde actualmente se tienen conductos pluviales colapsados por sedimentación, además se desconoce la dirección de evacuación que deben tener las estructuras hidráulicas.	Índice de Severidad (S)	1.0	1.5	1.5	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	5.6	4.65	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Cuadro N° 43: Matriz de riesgo de sector interno A7, área de la urbanización Bosques.

Matriz de Riesgo								
Sector	Área	Tramo (Tr)	Escenario actual	Amenaza	Deslizamiento	*Inundación	*Flujo de lodos	Sísmica
				Índice de amenaza (N)	3.0	3.75	3.10	3.0
Interno	A7: Área de la urbanización Bosques frente al Cedi Santa Ana, entre el cruce de la calle 22A y avenida 75 hasta la zona baja del bloque O	Calle 22A: desde la parte diagonal con la avenida 75, hasta las viviendas apegadas a la curva final del bloque O, sobre avenida 71	Inundación entre la avenida 75 y la calle 22A, y en las viviendas de la parte baja del bloque O y la avenida 71.	Índice de Severidad (S)	1.0	1.5	1.5	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	5.6	4.65	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Anexo 14

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

Cuadro N°44: Matriz de riesgo sector externo A1, microcuenca de la quebrada Pilas 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	3.75	3.10	3.0
Externo	E1: Segmento de la quebrada Pilas aguas abajo del (AP) colindante al supermercado Vindi y avenida 63	Tramo donde la quebrada Pilas traza el puente cercano al residencial Montaña	Se observa gran cantidad de materiales sólidos en el cauce como troncos, hojas y charral lo cual puede provocar una importante avenida obstruyendo el cauce y afectando la infraestructura del puente	Índice de Severidad (S)	1.0	1.5	1.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	5.6	3.10	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Cuadro N° 45: Matriz de riesgo sector externo A2, microcuenca de la quebrada Pilas 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	3.75	3.10	3.0
Externo	E2: Este sector se ubica aguas debajo de la urbanización Bosques (AP), exactamente bajo el puente en la ruta 147 entre la bomba Uno Lindora y Howard's Cantina	Cauce de la quebrada Pilas que traza su paso bajo el puente de la ruta 147	E2 Puente sobre Ruta 147: en este sitio sobre el lecho de la quebrada se observan obstáculos como residuos sólidos, excesos de materia orgánica y biológica, entre los cuales se pueden observar bolsas, madera y exceso de vegetación sobre el lecho del río lo cual podría ocasionar obstrucción del cauce en el punto donde se encuentra el puente y por ende que esta área se inunde por la obstrucción del paso del agua bajo el puente de la ruta 147.	Índice de Severidad (S)	1.0	1.0	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	3.75	3.10	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Cuadro N° 46: Matriz de riesgo sector externo A3, microcuenca de la quebrada Pilas 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	3.75	1.70	3.0
Externo	A3: El sector de Lagos de Lindora, y el CTP de Santa Ana hasta a piscina Municipal	Puente sobre la ruta de Lagos de Lindora, colindante al CTP de Santa Ana hasta la avenida 57	E3 Lagos de Lindora y CTP Santa Ana: El escenario actual muestra obstáculos en el cauce que son observados desde la carreta del puente, por lo que dicha acumulación de residuos sólidos biológicos y artificiales pueden ocasionar una represa, acumulando el caudal de la quebrada Pilas, generando remansos y desbordes del cauce, inundando la carretera e impactando al CTP y locales comerciales cercanos.	Índice de Severidad (S)	1.0	1.5	1.0	2.0
				Calculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	5.60	1.70	6.0
				Nivel de Riesgo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Cuadro N° 47: Matriz de riesgo sector externo A4, microcuenca de la quebrada Pilas 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	3.75	1.70	3.0
Externo	A4: El sector de Valle del Sol, y el sitio donde la quebrada Pilas tributa sobre el río Virilla	Puente sobre la calle de Valle del Sol, y la diagonal con la avenida 39B	Sobre el pequeño puente donde traza la quebrada Pilas, en diagonal a la avenida 39B, se evidencia el exceso de vegetación en el lecho del cauce, además de la acumulación de residuos sólidos en ese trayecto, lo que puede contribuir con un eventual desbordamiento de las aguas sobre la carretera y los espacios colindantes	Índice de Severidad (S)	1.0	1.0	1.0	2.0
				Cálculo de Riesgo (R= S * N)	3.0	3.75	1.70	6.0
				Nivel de Riesgo	Medio	Bajo	Bajo	Medio

*Aplicación de medidas de mitigación.

Anexo 15

Fotografías de los sectores más vulnerables a problemáticas de inundación en la Urbanización Bosque



**Fotografía N°24. Sector con problemáticas de inundación, cercano a la entrada del tajo
MECOSANTANA: 479269E /1102169N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°25. Construcción de tragante pluvial por el AyA, en la entrada del tajo
MECOSANTANA: 479324E / 1102236N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°26. Sector con problemáticas de inundación, entre los bloques A, E y B:
479169E /1102035N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°27. Sector con problemáticas de inundación, entre los bloques A, E y B:
479212 E / 1102041 N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°28. Sector con problemáticas de inundación, avenida del boulevard:
479464E /1101963N proyección CRTM-05.**



**Fotografía N°29. Sector con problemáticas de inundación, entre los bloques E, G y Q:
479212 E / 1102041 N proyección CRTM-05.**



Fotografía N°30. Sector con problemáticas de inundación, en Calle 16: 479342 E /1101818 N proyección CRTM-05.



Fotografía N°31. Sector con problemáticas de inundación, colindante a la cancha de tenis, bloque M: 479302 E / 1101797 N proyección CRTM-05.



Fotografía N°32. Sector con problemáticas de inundación, en Calle 22A: 478988 E /1101983 N proyección CRTM-05.



Fotografía N°33. Sector con problemáticas de inundación, entre los bloques O y P: 479029 E / 1101828 N proyección CRTM-05.

Anexo 16

**Croquis de la urbanización Bosques de Santa Ana.
Elaborado por la junta de vecinos.**

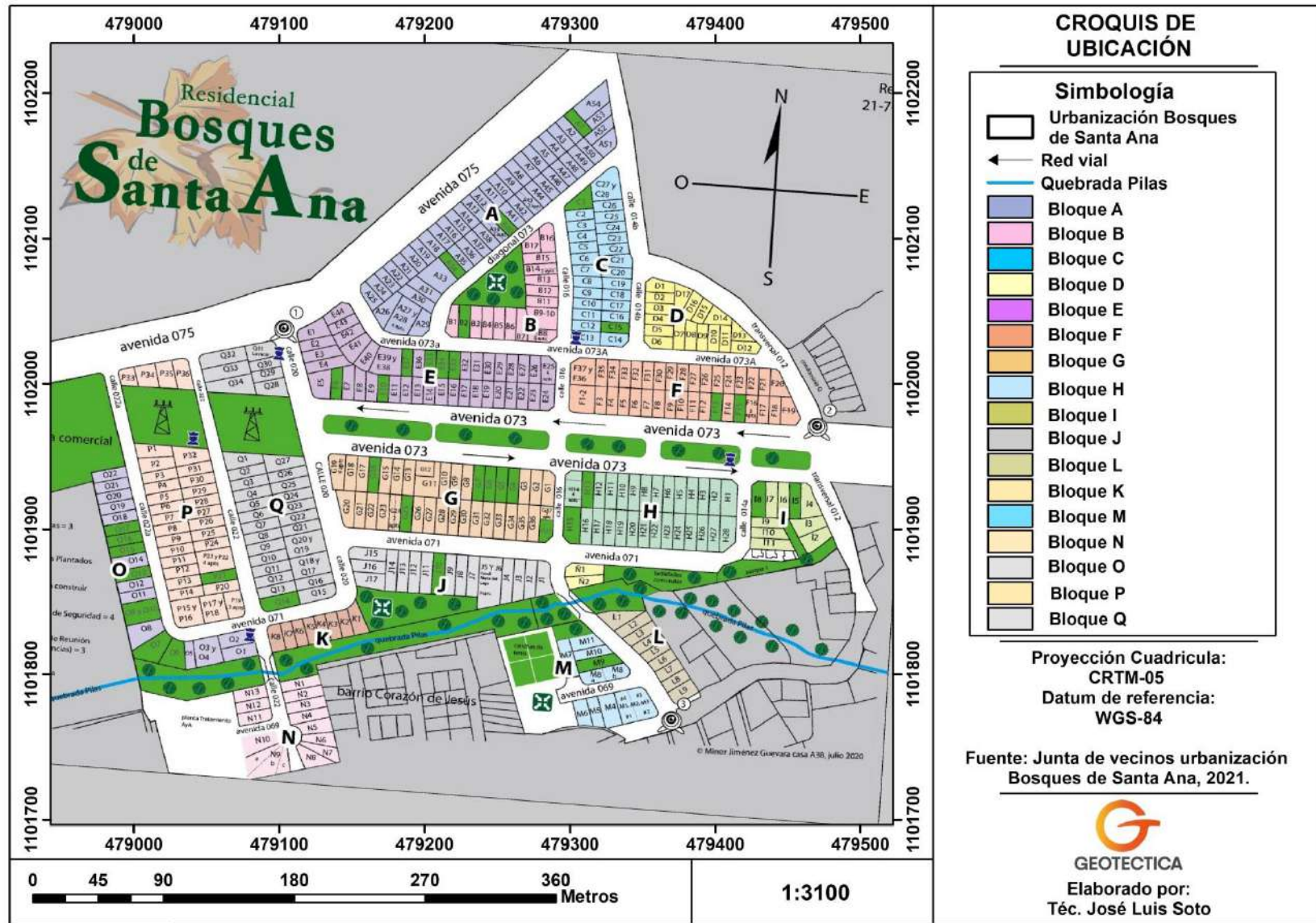


Figura N° 42: Croquis de la urbanización Bosques Santa Ana.

Anexo 17

Prediseño del futuro proyecto a desarrollar sobre la comunidad de Bosques de Santa Ana.



PROYECTO: CONTRATACIÓN DIRECTA N° 2020CD-000175-0002400001
"MEJORA DE ENTUBADO EN COMUNIDAD BOSQUES DE SANTA ANA,
ETAPA I ELABORACIÓN DE ESTUDIOS HIDROLÓGICOS, DISEÑO, PLANOS,
PRESUPUESTO Y FISCALIZACIÓN DE LA OBRA"

PROFESIONALES RESPONSABLES:

ING. HUGO OVIEDO CHACÓN, MAP. IC-23617
GEOL. CARLOS ALONSO VARGAS CAMPOS. CGCR-271

ÍNDICE DE LÁMINAS		
N° DE LÁMINA	ESPECIALIDAD	DESCRIPCIÓN
001	GENERAL	PORTADA, UBICACIÓN DEL PROYECTO, ÍNDICE DE LÁMINAS
002	TOPOGRAFÍA	PLANTA DE CURVAS DE NIVEL DEL PROYECTO
003	GEOLOGÍA	PLANTA DE PERFILES GEOLÓGICOS, HIDROGEOLOGICOS Y SERVS
004	GEOLOGÍA	PERFILES GEOLÓGICOS, HIDROGEOLOGICOS Y SERVS
005	HIDRAULICA	PLANTA DE LA QUEBRADA PILAS Y SECCIONES TRANSVERSALES DE LA QUEBRADA
006	ESTRUCTURAL	PLANTA DE POZOS PLUVIALES, TRAGANTES Y TANQUES DE AGUA
007	ESTRUCTURAL	PERFILES DE POZOS PLUVIALES
008	ESTRUCTURAL	DETALLES PLUVIALES VARIOS 01
009	ESTRUCTURAL	DETALLES PLUVIALES VARIOS 02



01 UBICACIÓN DEL PROYECTO URB. BOSQUES DE SANTA ANA
ESCALA: N/A ACOTADO EN: N/A

CONTENIDO:
- PERFILES DE LÁMINAS

SECCIONES DE LÁMINAS	ESPECIALIDAD	ESCALA:
01	GENERAL	1:500

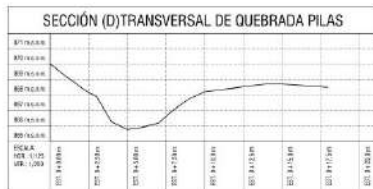
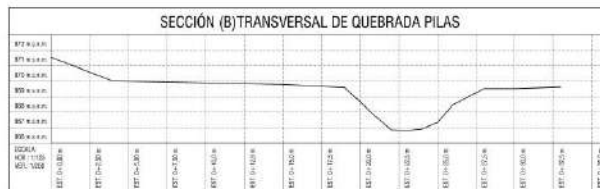
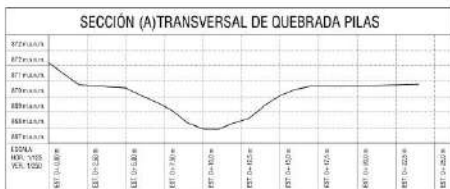
El presente documento es una obra de ingeniería y su contenido es confidencial. Toda reproducción o uso no autorizado sin el consentimiento escrito de Geotectica S.A. será considerado un delito y se procederá a las acciones legales correspondientes. Geotectica S.A. no se hace responsable por los daños o perjuicios que se ocasionen por el uso no autorizado de esta obra. Geotectica S.A. se reserva todos los derechos de propiedad intelectual y moral. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad o parcialmente. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad o parcialmente. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad o parcialmente.







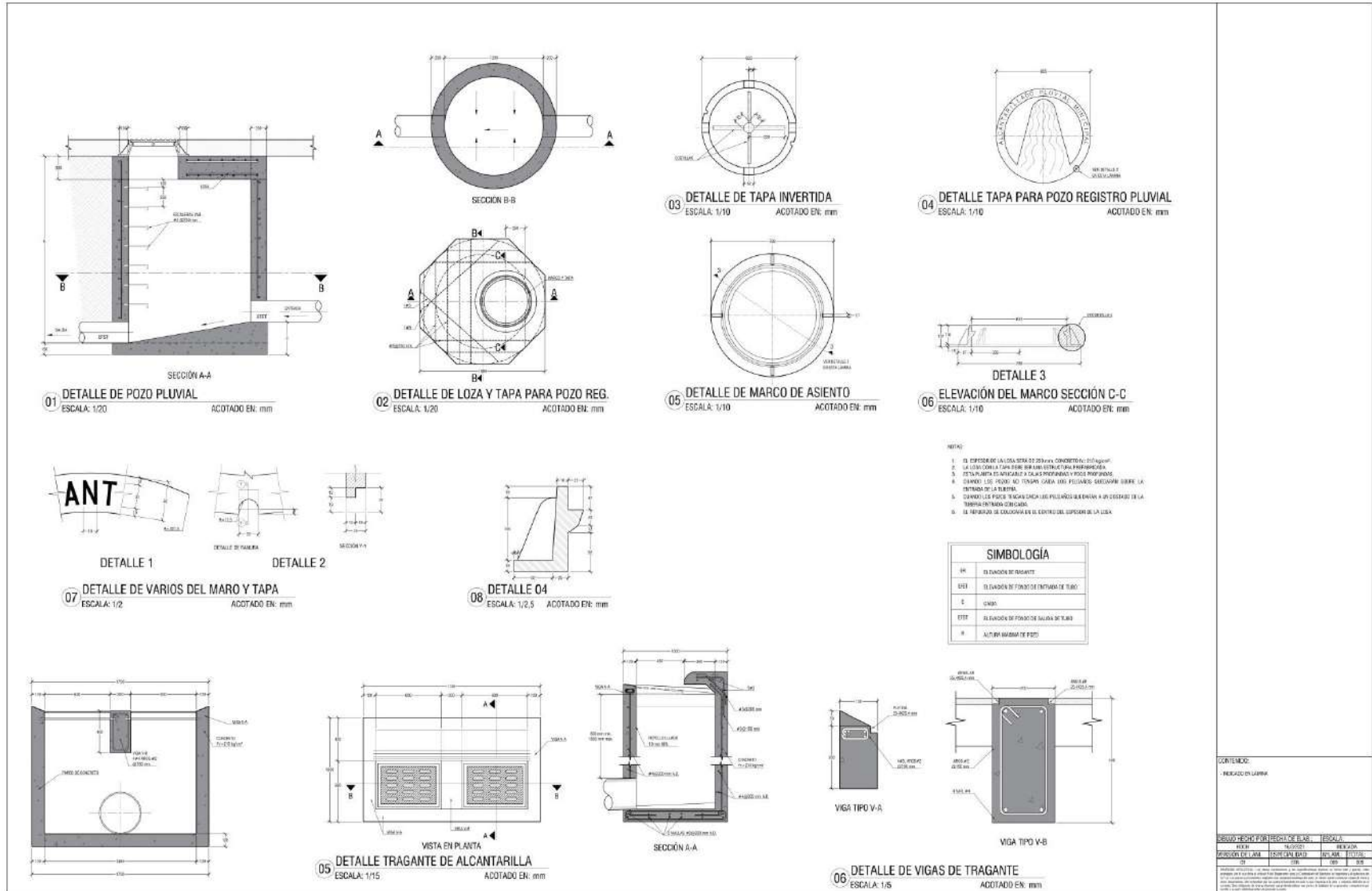
01 PLANTA DE QUEBRADA PILAS UR. BOSQUES DE SANTA ANA
ESCALA: 1/750 AOTADO EN: N/A



CONTENIDO:
PROYECTO DE OBRAS

UNIDAD DE OBRAS		CANTIDAD	
UNIDAD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR ESTIMADO
1	1	1	1







repcion@geotectica.com



8343-4204



www.geotectica.com



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