



Estudio de Hidrología Básica
Infraestructura Penitenciaria en Costa Rica
Centro de Atención Institucional Marcus Garvey

Junio, 2020

ESTUDIO DE HIDROLOGÍA BÁSICA DEL CAUCE DE AGUA DE LA MICROCUENCA EN QUE SE LOCALIZA EL AP

**PROYECTO: Infraestructura penitenciaria en Costa Rica: CAI Marcus Garvey
(Limón)**

LOCALIZACIÓN: Provincia: **Limón** Cantón: **Limón** Distrito: **Río Blanco**

DESARROLLADOR: **Ministerio de Justicia y Paz**

**PROFESIONAL QUE ELABORA EL ESTUDIO: Profesional en Ingeniería Civil con
experiencia y conocimientos en el campo de la Hidrología**

Nombre del profesional: **Jorge Arturo Rodríguez Castillo**

Número de cédula: 2-0368-0863 **Número de colegiado:** IC-3606

Registro SETENA: CI-015-14 Vigencia: octubre 2021

DOCUMENTO DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

El suscrito Jorge Arturo Rodríguez Castillo, portador de la cédula de identidad número 2-0368-0863, profesional en ingeniería civil, manifiesto ser responsable directo de la información técnica científica que se aporta en el presente documento, la cual se elaboró para el proyecto denominado: **Infraestructura penitenciaria en Costa Rica: Centro de Atención Institucional Marcus Garvey**, el cual se desarrollará en el plano catastrado número: **7-419778-1997**, finca número: **L-7008769-000**.

En virtud de ello, someto el presente Estudio de Hidrología Básica del Cauce de Agua de la Microcuenca en que se localiza el AP, al conocimiento de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), como autoridad en materia de Evaluación de Impacto Ambiental del Estado costarricense, con el objetivo que sea analizado y se constate que el mismo ha cumplido con los lineamientos técnicos y normativos establecidos. Tengo presente que en apego al artículo 5 del Decreto Ejecutivo 32712-MINAE, la información contenida en este estudio se presenta bajo el concepto de Declaración Jurada, a conocimiento y conciencia de que dicha información es actual y verdadera y que, en caso contrario, pueden derivarse consecuencias penales del hecho. Por lo cual, manifiesto que, de encontrarse alguna irregularidad en la información, seré responsable no sólo por esta falta, sino también por las consecuencias de decisión que a partir de la información suministrada pudiera incurrir la SETENA y el desarrollador.

Atentamente.

Arturo Rodríguez Castillo

Fecha de emisión : 29 de junio de 2020

Contenido

1.	Resumen.....	3
2.	Introducción.....	3
3.	Trabajo realizado	6
4.	Resultados hidrológicos e hidráulicos obtenidos	22
5.	Evaluación de resultados y conclusiones hidrológicas.....	26
6.	Discusión sobre los grados de incertidumbre y alcance del estudio.....	27
7.	Referencias Bibliográficas.....	28

1. Resumen

1.1. Resumen de resultados

Desde el punto de vista de manejos de agua pluviales, el proyecto se considera viable.

En la finca donde se desarrollará el Proyecto Infraestructura Penitenciaria Centro de Atención Institucional (CAI) Marcus Garvey, el caudal de escorrentía producido para la condición de uso de suelo actual es de 2013,0 l/s. En la condición futura se proyecta la ampliación mediante la construcción de un módulo; en este escenario el caudal esperado a futuro es de 2044,7 l/s.

El desfogue propuesto para el Centro de Atención Institucional se realizará en el cauce ubicado en la misma propiedad, se localizará aproximadamente en la cota de 13.5 m, los resultados del modelo hidráulico en el cauce para un caudal total de 1069.2 l/s producto de una tormenta de periodo de retorno de 50 años (distribuido a lo largo de los puntos de desfogue de las áreas tributarias), indican que el nivel del agua en el sitio de desfogue será de 12.7 m. Además, el calado del agua en las secciones analizadas se encuentra por debajo de la línea formada por los puntos altos del cañón del cauce.

Mediante la vista de campo y la revisión de la información disponible en los mapas de amenazas publicados por la Comisión Nacional de Prevención y Atención de Desastres (CNE) se verifica que el sitio de estudio no se ubica en la zona de inundación del Río Blanco.

1.2. Resumen de conclusiones técnicas

Se espera que el cauce que cruza la finca (ubicado en el sector oeste del sitio del proyecto) no vea afectado su funcionamiento hidráulico al recibir un incremento de caudal del 2.6 % respecto a la escorrentía actual. Se evaluó la capacidad hidráulica del mismo ante un evento de periodo de retorno de 50 años, según los niveles de agua obtenidos del modelo, es posible desfogar la escorrentía pluvial generada por el proyecto, sin que ocurra desbordamiento del cauce y obstrucciones en el sitio de desfogue.

2. Introducción

A través de cooperación técnica, el Banco Centroamericano de Integración Económica se encuentra financiando la consultoría de "Asistencia técnica especializada para la gestión inicial de estudios del programa de obras de infraestructura penitenciaria de Costa Rica".

Dentro de este proyecto, se incluye la realización de estudios de hidrología en 3 centros penales. El presente informe incluye los resultados y análisis correspondientes al Centro de Atención Institucional Marcus Garvey (Limón).

2.1. Datos sobre la finca estudiada

La finca donde se desarrollará el proyecto se encuentra registrada con el número de folio real 7-7008769-000. Se ubica en la provincia de Limón, el cantón de Limón, y el distrito de Río Blanco. La finca contiene el plano 7-419778-1997, abarca un área de 160 257,10 m², actualmente en el terreno existen obras de infraestructura del Centro de Atención Institucional de Marcus Garvey, donde se alberga privados de libertad, además de áreas verdes, y boscosa. La finca es atravesada por un cauce en el que se desfogará la escorrentía directa generada en el Centro de Atención Institucional producto de las precipitaciones.

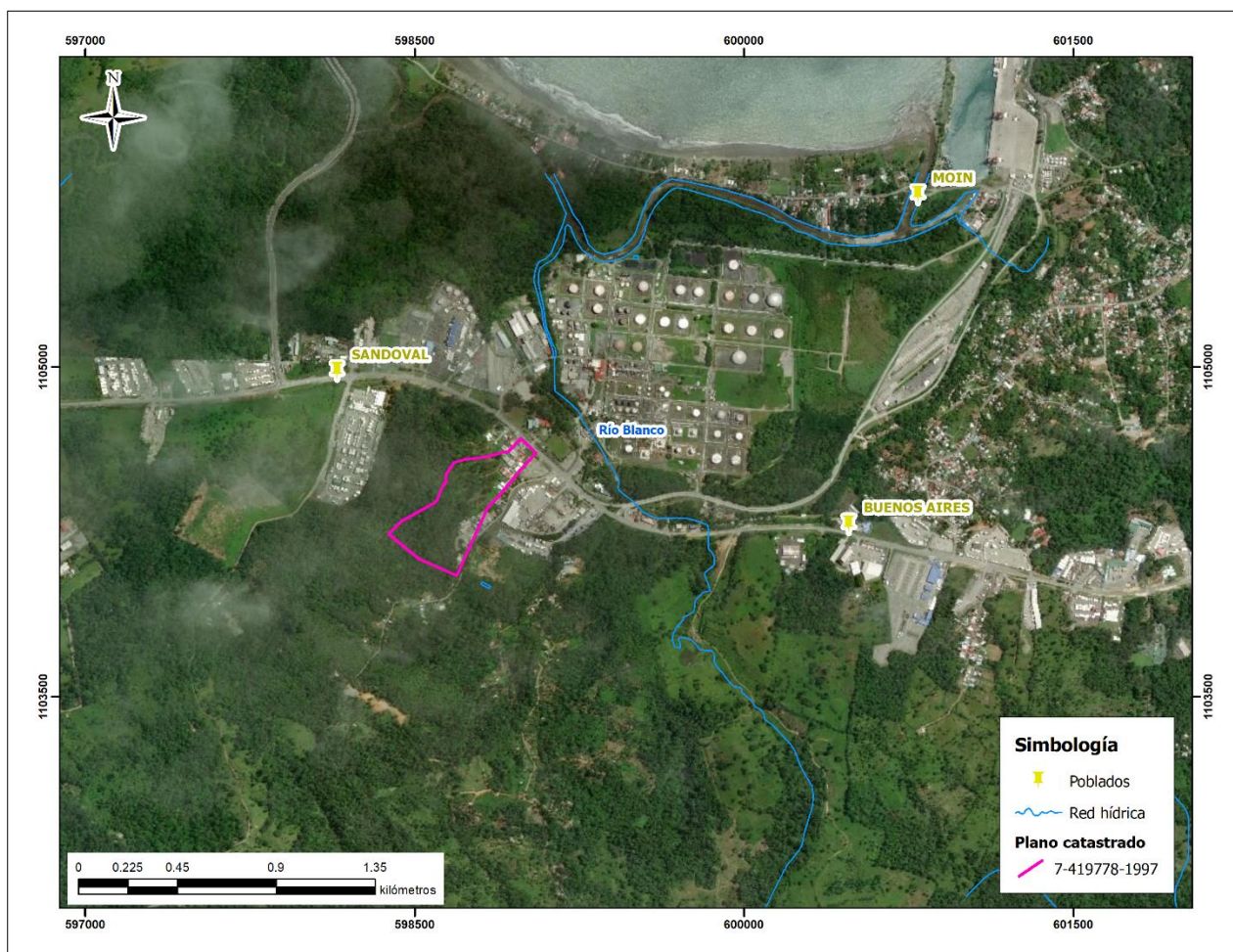


Figura 1. Ubicación del Centro de Atención Institucional Marcus Garvey

2.2. Coordinación profesional realizada

Para la realización del análisis hidrológico de la zona fue necesaria una visita al sitio para caracterizar el terreno y sus áreas aledañas, conocer condiciones de pendientes, uso del suelo, presencia de infraestructura pluvial actual, potenciales sitios de desfogue y caracterización del cuerpo receptor.

Para esta visita se coordinó con personal del Ministerio de Justicia y Paz, de manera tal que se pudo visualizar en campo las propuestas de desarrollo.

Además, se contó con el insumo del levantamiento topográfico del área de estudio, a partir del cual se hicieron los análisis respectivos y se propuso la solución de manejo de aguas.

2.3. Objetivos del estudio

Objetivo general

Elaborar un análisis hidrológicos e hidráulicos en los terrenos propuestos para las nuevas obras del Centro de Atención Institucional de Marcus Garvey en Limón, tomando en cuenta los cambios en el uso del suelo de los terrenos, la topografía y condiciones existentes.

Objetivos específicos

- Calcular la escorrentía superficial debido a eventos de precipitación bajo la cobertura actual del suelo.
- Calcular el incremento en la escorrentía superficial, que generaría la construcción de nuevas obras en el Centro de Atención Institucional Marcus Garvey.
- Elaboración del modelo hidráulico para estimar tirantes y velocidades en la quebrada a desfogar.

2.4. Metodología aplicada para llevarlo a cabo.

El análisis realizado se hizo a partir de información bibliográfica que incluye normativa nacional, publicaciones científicas, libros, entre otros. Además, se contó con los insumos facilitados por el Ministerio de Justicia y Paz referentes al diseño de sitio propuesto. Por otra parte, se tiene la visita de campo para verificar las condiciones en sitio.

A partir de lo anterior se realizan los cálculos y caracterizaciones hidrológicas del área tributaria, con ayuda de Sistemas de Información Geográfica.

En la Figura 2 se plantea la metodología seguida para elaborar la memoria de cálculo de la estimación del exceso de escorrentía, generado por la construcción del Centro de Atención Institucional Marcus Garvey, y el comportamiento hidráulico del cauce ante el desfogue de la escorrentía pluvial.

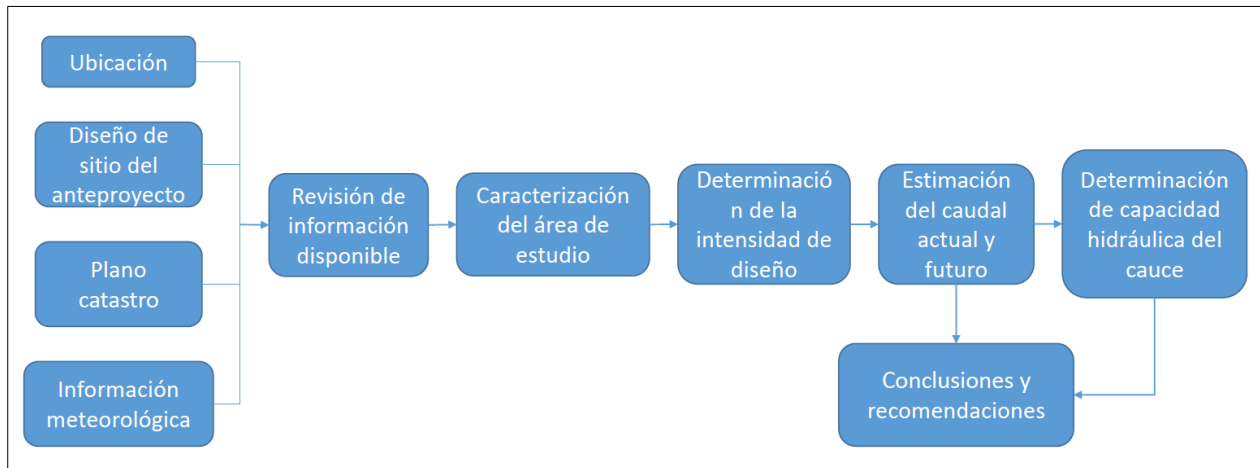


Figura 2. Metodología

3. Trabajo realizado

3.1. Condición actual

Para determinar el caudal previo al desarrollo del Centro de Atención Institucional, se consideró la cobertura de la finca, en la que aproximadamente el 72 % del área total corresponde a bosque, un 13 % a pastos y árboles dispersos, y 13 % a áreas impermeabilizadas.

En la Figura 3 se muestra una fotografía aérea del lote en donde se ubicará el proyecto, y la distribución espacial de las áreas existentes. En el Cuadro 1 se presentan las tablas de áreas actuales y el porcentaje de las coberturas.

Cuadro 1. Cobertura actual del lote

Uso del suelo	Área (m ²)	Porcentaje de cobertura %
Bosque	115314.4	72.0%
Pastos y árboles dispersos	21416.8	13.4%
Lastre	894.5	0.6%
Pavimento	10052.3	6.3%
Suelo desnudo	1300.3	0.8%
Techos	11289.7	7.0%
Total	160268.0	100.0%

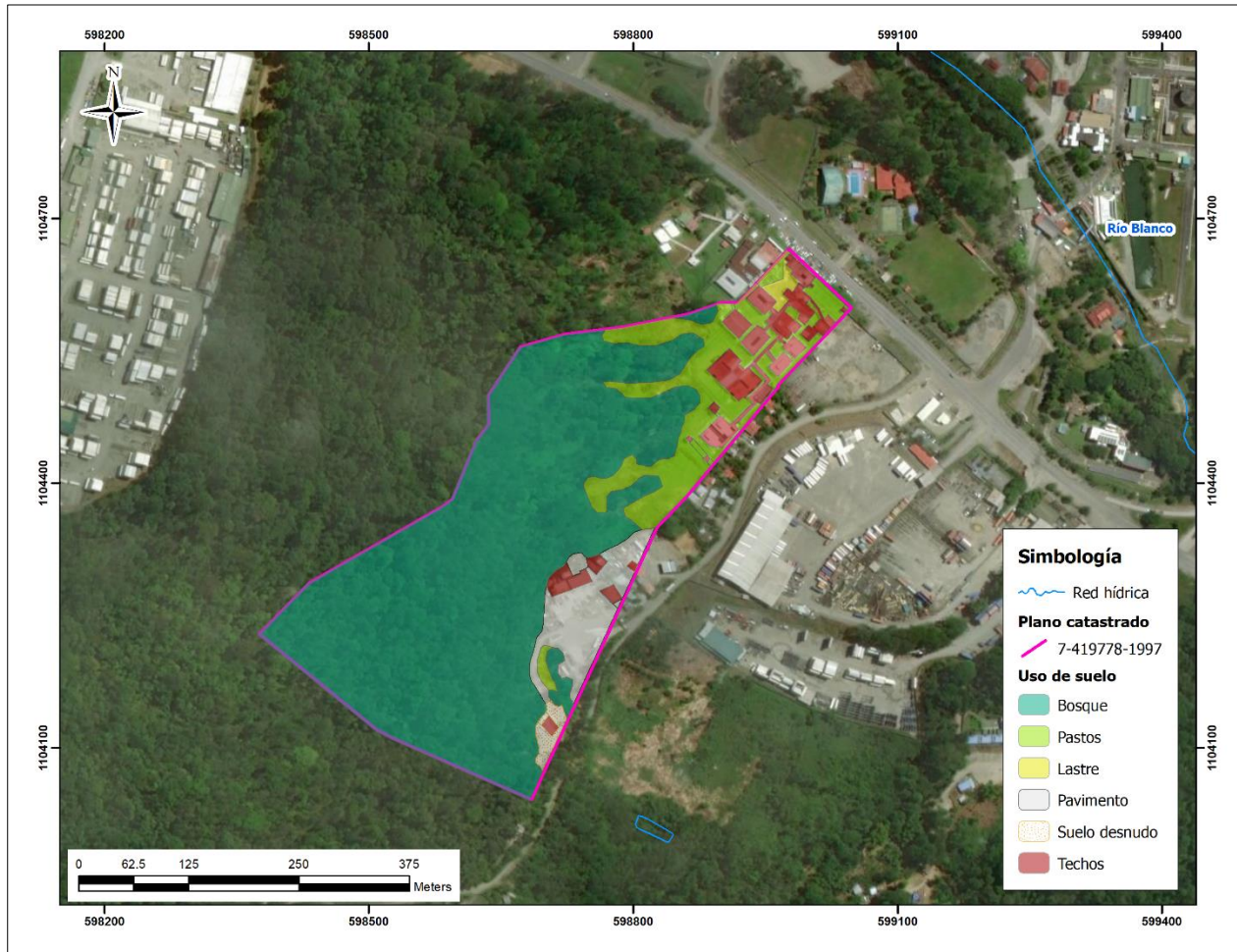


Figura 3. Cobertura actual del lote

La escorrentía generada por la finca no desfoga en su totalidad en la quebrada, esto debido a que la topografía condiciona la dirección del flujo natural, en la Figura 4 se detalla.

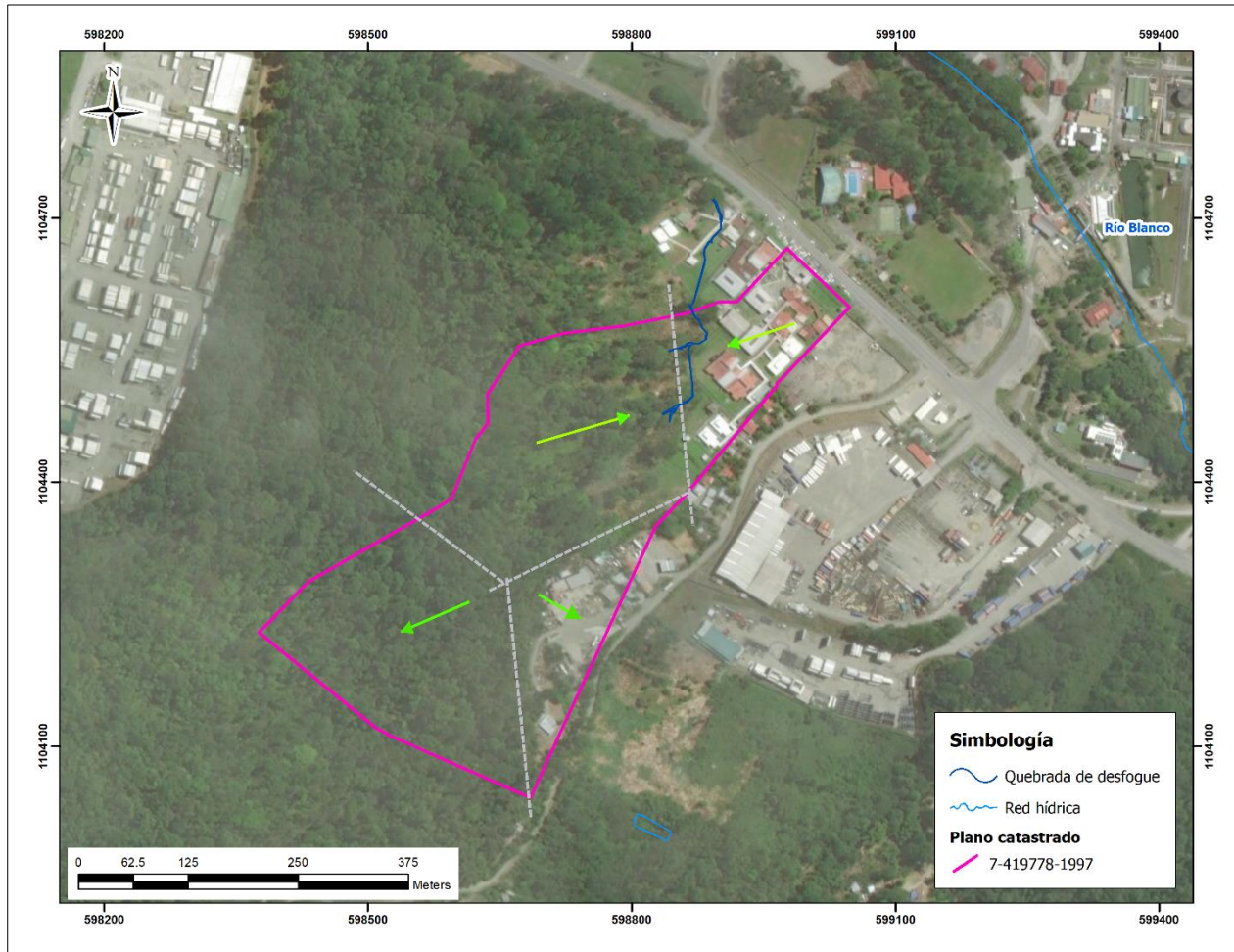


Figura 4. Dirección de la escorrentía natural del lote

Las áreas del proyecto y las cuencas aledañas que contribuyen en la escorrentía que desfoga en la quebrada se identifican en el Cuadro 2 y Figura 5.

Cuadro 2. Áreas tributarias que contribuyen en la escorrentía que desfoga en la quebrada, condición actual

Uso de suelo	Área (m ²)	Porcentaje de cobertura %
Bosque	60168.3	66.1%
Pasto	20715.3	22.7%
Lastre	894.5	1.0%
Techos	9295.5	10.2%
Total	91073.5	100.0%

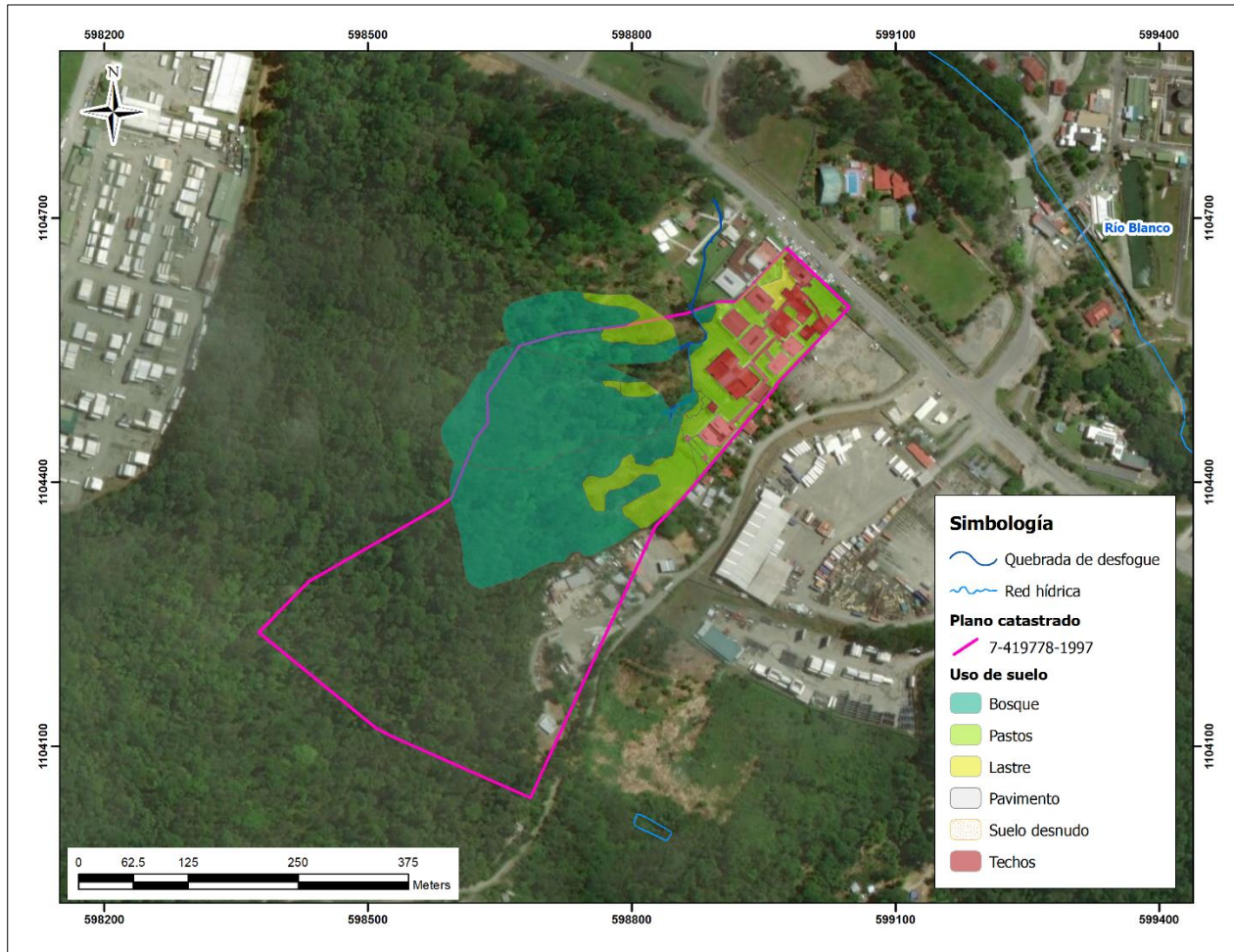


Figura 5. Áreas tributarias que contribuyen en la escorrentía desfogada en la quebrada, condición actual

En las siguientes figuras se observan algunas zonas de la cobertura actual del sitio.



Figura 6. Cobertura de la propiedad

3.2. Condición futura considerando las nuevas obras del Centro de Atención Institucional El proyecto del Centro de Atención Institucional se desarrollará hacia el sur de las obras existentes, abarcado un área de 668,9 m². Dicho proyecto modificará el uso de suelo presente en la Figura 7 se señala la cobertura futura del lote donde se ubicará el proyecto. En el Cuadro 3 se presentan las tablas de áreas futuras y el porcentaje de las coberturas.

Cuadro 3. Cobertura futura del lote

Uso del suelo	Área (m ²)	Porcentaje de cobertura %
Bosque	114892.0	71.7%
Pastos	21170.3	13.2%
Lastre	894.5	0.6%
Pavimento	10052.3	6.3%
Suelo desnudo	1300.3	0.8%
Techos	11958.6	7.5%
Total	160268.0	100.0%

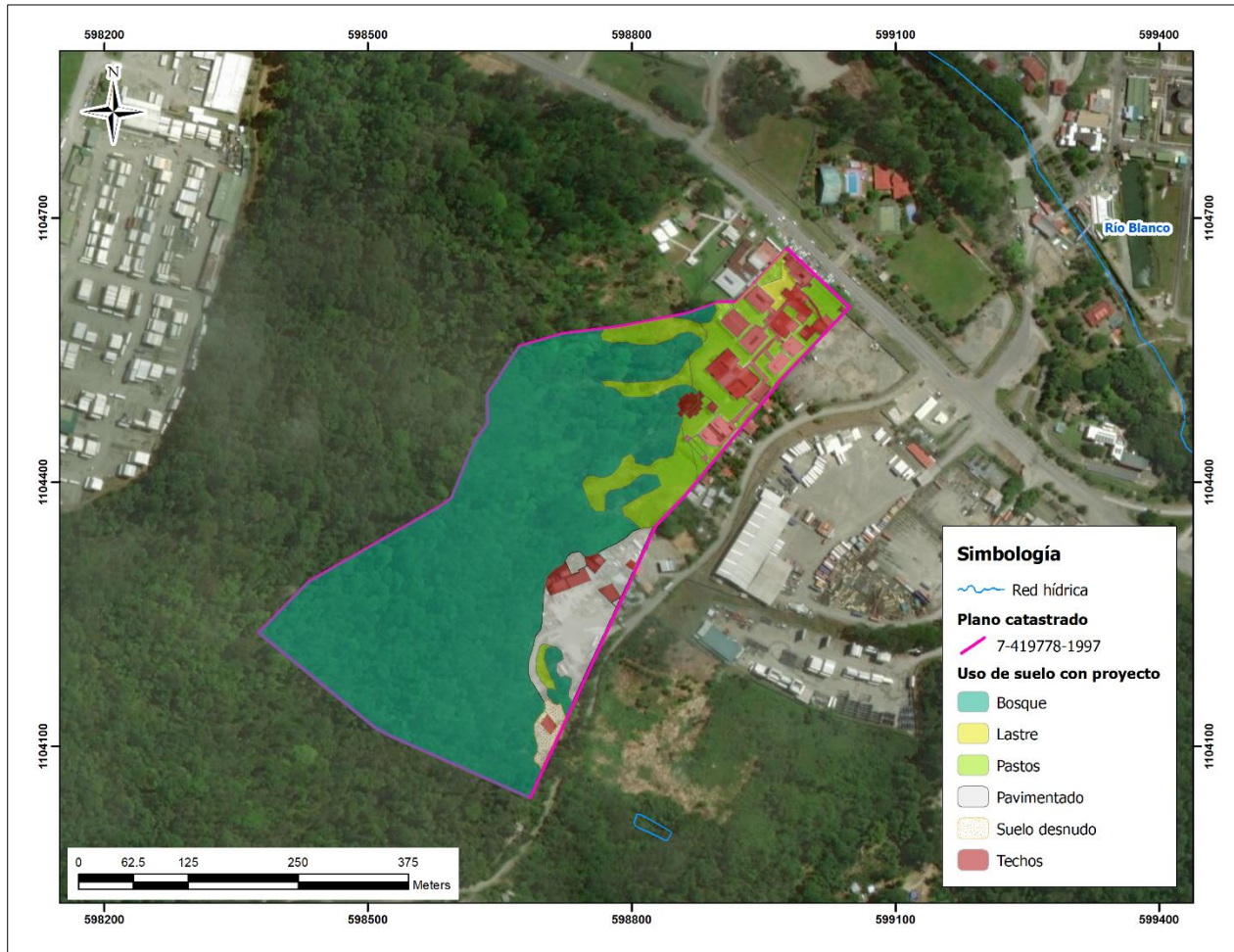


Figura 7. Cobertura futura de la finca

En el Cuadro 4 y Figura 8 se indican las áreas consideradas en la estimación de la escorrentía futura que desfogará en la quebrada ubicada dentro del lote.

Cuadro 4. Áreas tributarias que contribuyen en la escorrentía que desfoga en la quebrada, condición futura

Uso de suelo	Área (m ²)	Porcentaje de cobertura %
Bosque	59745.8	66.0%
Pasto	19920.8	22.0%
Lastre	894.5	1.0%
Techos	9964.4	11.0%
Total	90525.5	100.0%

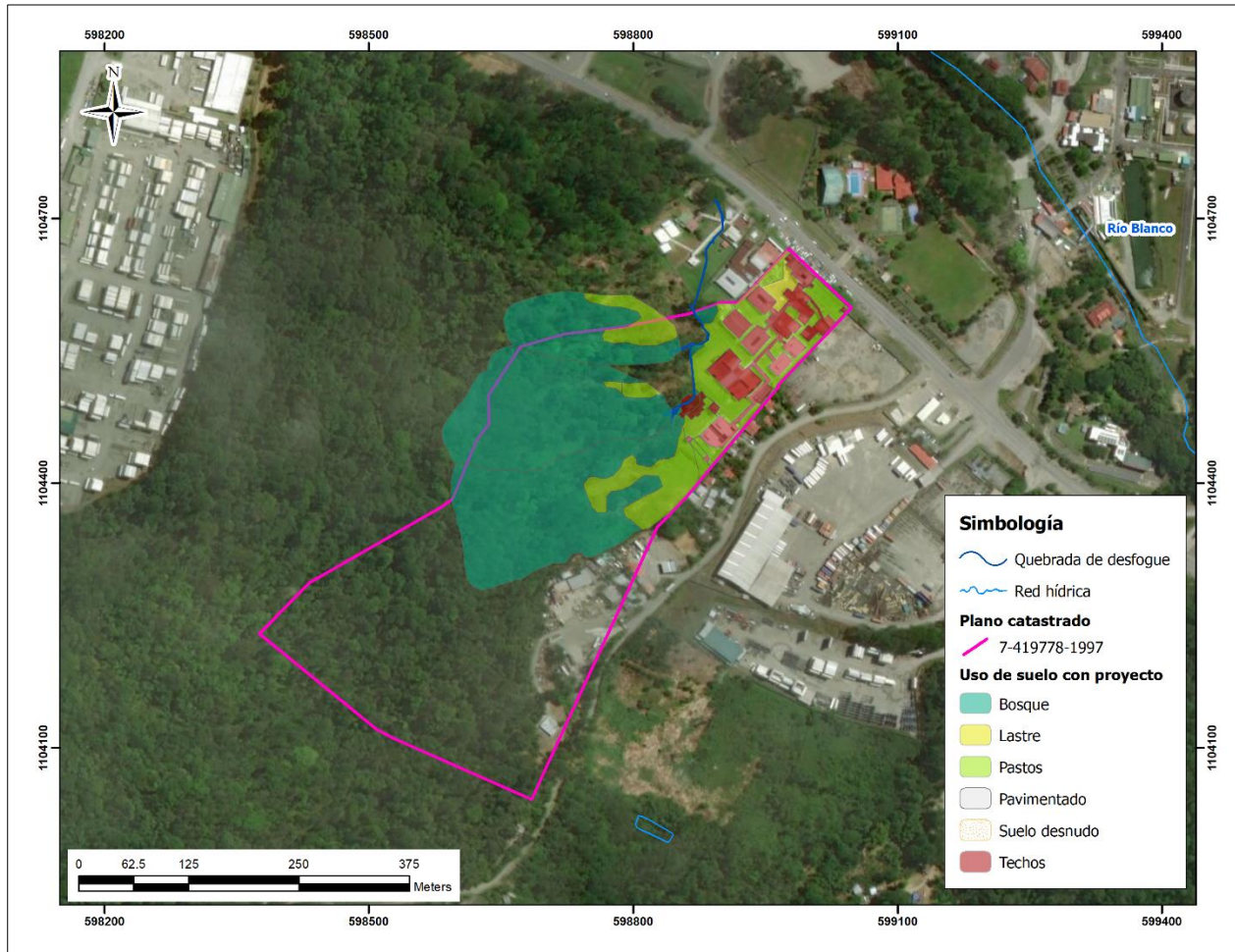


Figura 8. Áreas tributarias que contribuyen en la escorrentía desfogada en la quebrada, condición futura

3.3. Estimación de caudal

Conforme aumenta la cobertura impermeable de un área también se incrementa la escorrentía directa, ya que el agua de lluvia no tiene espacio libre o “en verde” para infiltrarse. El exceso de aguas superficiales en una cuenca puede provocar inundaciones, erosión de los cauces o socavación de estructuras mayores.

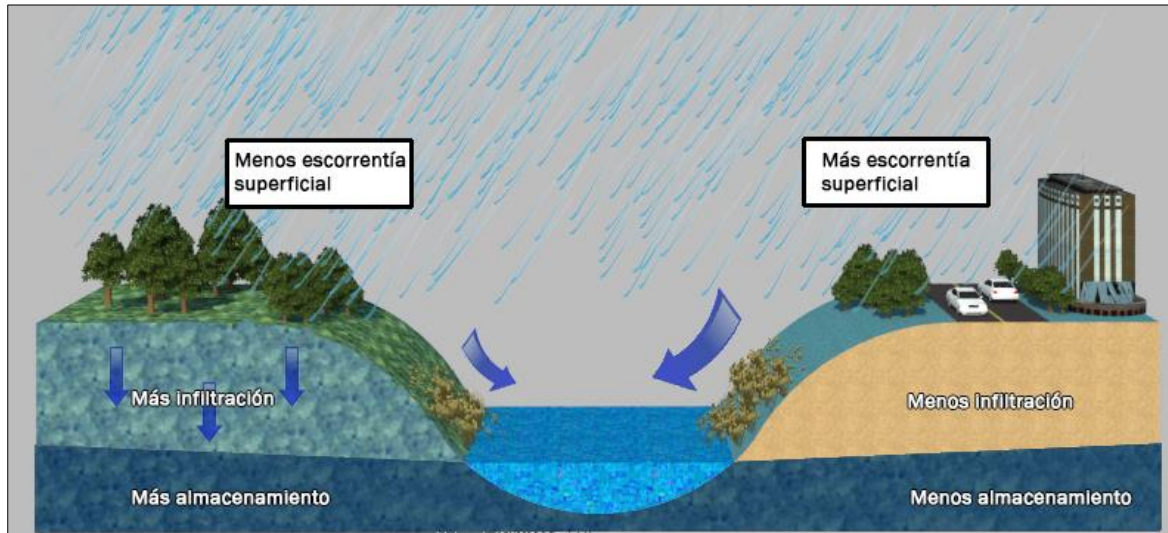


Figura 9. Superficies cubiertas contra no cubiertas

Según la nueva cobertura propuesta, el área verde y boscosa se reducirá en menos de 1 % del área total, y el área impermeabilizada incrementará en 0,5 %, por lo que el cambio en la escorrentía resulta poco significativo. Sin embargo, se analizan las condiciones hidráulicas del cauce para verificar que las obras no se vean afectadas en caso del desbordamiento del agua.

3.3.1. Caudal

Para el cálculo del caudal, tanto de la condición de uso de suelo actual y la posterior a la construcción del Centro de Atención Institucional, se utilizó el método racional.

El método racional es un método empírico que se utiliza para encontrar el caudal máximo correspondiente a un periodo de retorno dado. El método supone que las lluvias de diseño son de intensidad, duración y frecuencia constantes y uniformes en toda la extensión de la cuenca.

“El método racional supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración”. (Villón, 2004)

El caudal que escurre por un área conocida puede determinarse a partir de la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{C * i * A}{3600}$$

Donde,

Q: caudal de diseño (l/s)

i: intensidad de la lluvia (mm/h)

C: coeficiente de escorrentía (adimensional)

A: Área de drenaje (m²)

3.3.2. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo en que una gota que cae en el punto más alejado llega al punto de control. Este tiempo depende básicamente de la topografía, la cobertura del suelo y las dimensiones de la cuenca, o del lote en este caso en específico.

Existen varias maneras de medir el tiempo de concentración, entre ellas se encuentran las medidas directas usando trazadores, las características hidráulicas de la cuenca, estimando velocidades o por formulaciones empíricas.

Para el presente análisis se utilizó un tiempo de concentración de 10 min. De acuerdo con la Reglamentación Técnica para Diseño y Construcción de Urbanizaciones, Condominios y Fraccionamientos "el tiempo de concentración de la lluvia que debe considerarse para la determinación de la intensidad y el caudal en ningún caso será inferior a diez minutos" (AyA, 2007), por lo que se acata dicha recomendación y se establece el mínimo en el valor sugerido.

3.3.3. Periodo de retorno

El período de retorno está relacionado con la probabilidad de ocurrencia de un evento de precipitación. Cuanto mayor sea el período de retorno, más fuertes serán los eventos de precipitación y menor su probabilidad de ocurrencia.

Para cada proyecto se debe definir un período de retorno adecuado según sus características. Se debe prestar especial atención al costo de las obras, la seguridad humana y la importancia que tiene el proyecto.

Para este proyecto se definió un período de retorno de 50 años. Esto implica que se espera que la probabilidad de superar este evento en un año sea del 2 %.

3.3.4. Intensidad de la lluvia

En la Figura 10 se observa la estación meteorológica más cercana al sitio de estudio; la intensidad de la lluvia se obtendrá a partir de las curvas intensidad-duración-frecuencia de la estación Aeropuerto Limón, 81-05 del Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Esta información se encuentra en la publicación "Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas" publicado por el IMN (2011).

Para un periodo de retorno de 50 años y una tormenta con duración de 10 minutos, la intensidad esperada para la estación de Aeropuerto Limón es de 205,4 mm/h.

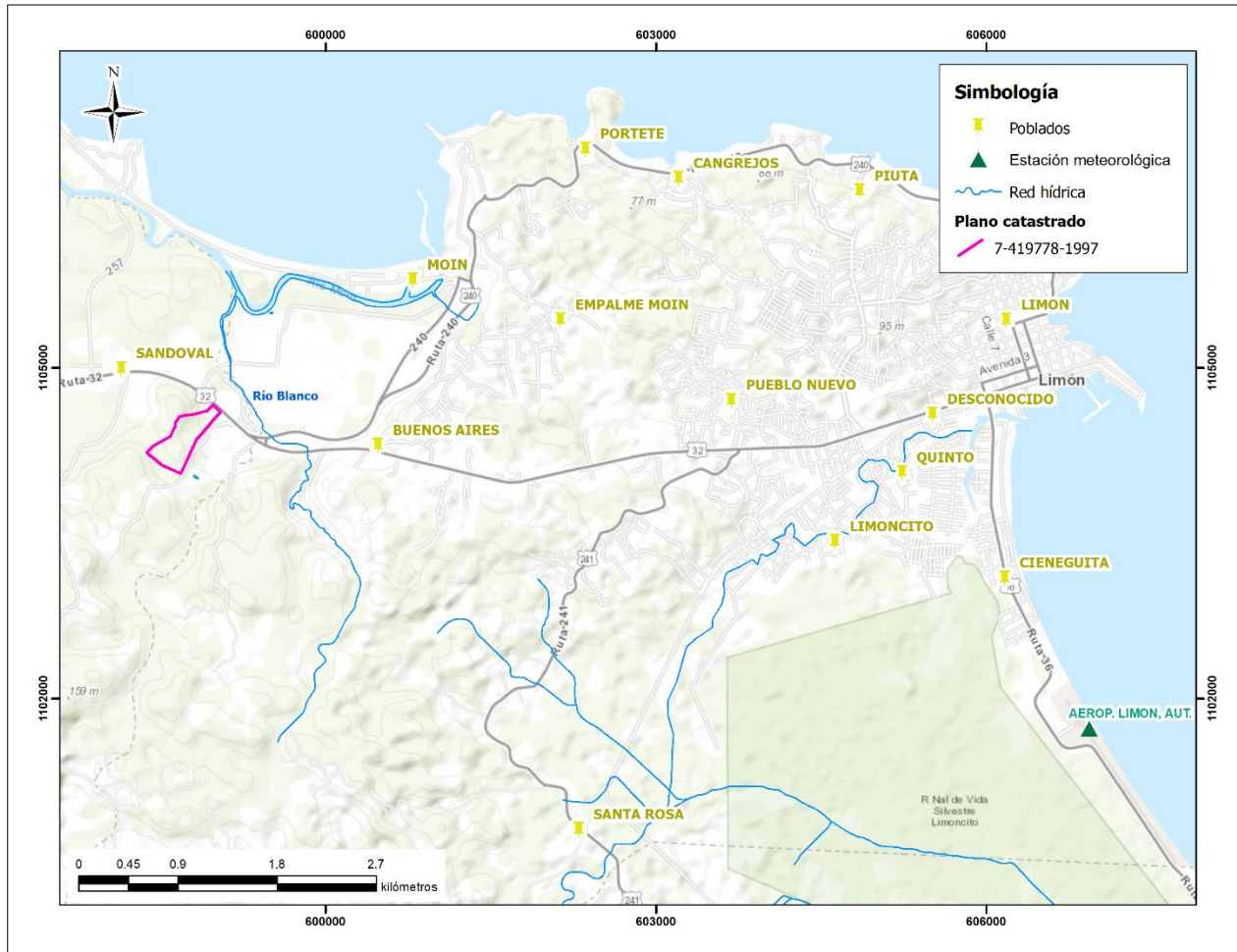


Figura 10. Ubicación de la estación meteorológica

3.3.5. Coeficiente de escorrentía esperado

El coeficiente de escorrentía representa el porcentaje de agua de la tormenta que efectivamente escurre hacia el punto de control.

$$C = \frac{\text{Volumen de escorrentía superficial total}}{\text{Volumen precipitado total}}$$

El coeficiente de escorrentía se obtendrá de acuerdo a los valores recomendados en la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial del AyA (2017) y el "Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones 2017" del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2017).

Los coeficientes de escorrentía asignados a los distintos usos del suelo, y el valor ponderado para las condiciones actual y futura se muestran a continuación. Cuanto menor sea el coeficiente de escorrentía, menor será el escurrimiento superficial sobre el terreno.

Cuadro 5. Cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado para la condición actual

Condición	Cobertura	Área (m²)	CE
Área de la finca*	Bosque	115314.4	0.1
	Pastos	21416.8	0.15
	Lastre	894.5	0.35
	Pavimento	10052.3	0.9
	Suelo desnudo	1300.3	0.35
	Techos	11289.7	0.95
CE ponderado			0.22
Áreas tributarias que desfogan en el cauce	Bosque	60168.3	0.1
	Pasto	20715.3	0.15
	Lastre	894.5	0.35
	Techos	9295.5	0.95
CE ponderado			0.20

*El área total de la finca no desfoga en el cauce.

Cuadro 6. Cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado para la condición futura

Condición	Cobertura	Área (m²)	CE
Área de la finca*	Bosque	114892.0	0.1
	Pastos	21170.3	0.15
	Lastre	894.5	0.35
	Pavimento	10052.3	0.9
	Suelo desnudo	1300.3	0.35
	Techos	11958.6	0.95
CE ponderado			0.22
Áreas tributarias que desfogan en el cauce	Bosque	59745.8	0.1
	Pasto	19920.8	0.15
	Lastre	894.5	0.35
	Techos	9964.4	0.95
CE ponderado			0.21

*El área total de la finca no desfoga en el cauce.

3.4. Modelo hidráulico del cauce

El análisis hidráulico del cauce en el que se desfogará la escorrentía pluvial se realizó mediante la aplicación del modelo unidimensional HEC-RAS. Para esto se utilizaron secciones transversales producto del levantamiento topográfico del sitio, en un recorrido de 155 m del cauce.

Se realizaron simulaciones en régimen permanente para determinar parámetros hidráulicos en las secciones para el caudal producto de la tormenta de periodo de retorno de 50 años.

3.4.1. Secciones del cauce

A partir del levantamiento topográfico del terreno se realizó una superficie del terreno, de la que se obtuvieron las secciones a lo largo del cauce. Se densificaron las secciones con especial interés en el sitio donde cambia la dirección del flujo, con el fin de obtener una topografía adecuada para aplicar el modelo hidráulico.

Se proyectaron 32 secciones a lo largo de los 155 m aproximadamente, repartidas a cada 5 m. Las secciones utilizadas en el modelo hidráulico se aprecian en la siguiente figura.

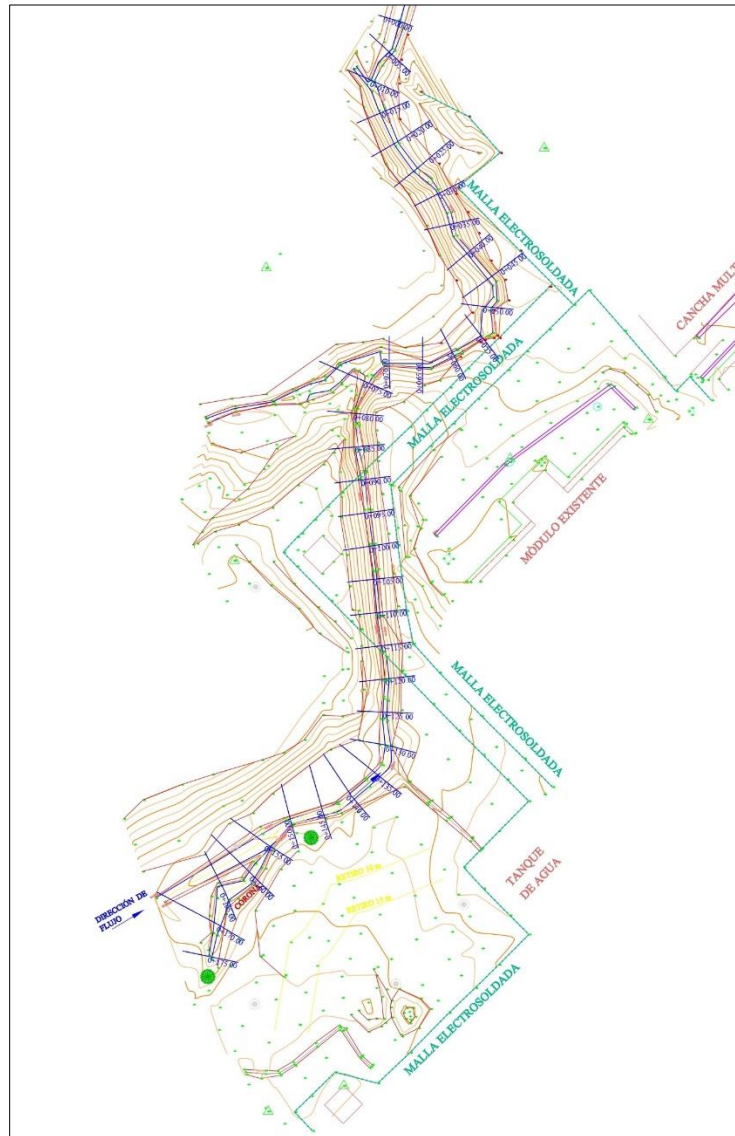


Figura 11. Secciones transversales generales para el modelo hidráulico

3.4.2. Rugosidad del canal

Para la modelación hidráulica de un canal se debe estimar la resistencia que opone la superficie al contacto con el agua. Para el presente análisis se aplica la ecuación propuesta por Robert Manning, la cual ha sido utilizada ampliamente en aplicaciones fluviales.

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Donde

V: velocidad media (m/s)

n: coeficiente de Manning

R: radio hidráulico (m)

S: gradiente de energía (m/m)

Según Chow (1988), los factores que ejercen mayor influencia sobre el coeficiente de rugosidad son:

- a. Rugosidad superficial (tamaño y forma de los granos del material en el perímetro mojado).
- b. Vegetación.
- c. Irregularidad del canal (irregularidades en el perímetro mojado, variaciones en la sección transversal, tamaño y forma de las secciones a lo largo del canal).
- d. Alineamiento del canal.
- e. Sedimentación y socavación.
- f. Obstrucciones.
- g. Tamaño y forma del canal.
- h. Nivel y caudal.
- i. Cambio estacional.
- j. Material en suspensión y carga del lecho.

Para el canal analizado se aplicó la metodología propuesta por Cowan (Chow, 1998) en donde el "n" se define mediante la siguiente ecuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Donde

n_0 : valor básico para un canal recto, uniforme y liso en los materiales involucrados.

n_1 : corrección por irregularidades superficiales.

n_2 : corrección por variaciones en forma y tamaño de la sección transversal.

n_3 : corrección por obstrucciones.

n_4 : corrección por vegetación y condiciones de flujo.

m_5 : corrección por efectos de meandros.

Los valores básicos para canales estables se tomaron de los propuestos por Arcement y Schneider (1989). En el caso de las llanuras de inundación es importante recalcar que los valores propuestos estiman que la zona de protección del cauce se respetará y su cobertura seguirá siendo la misma a la aquí considerada.

En el Cuadro 8 se presentan los factores de ajuste para el coeficiente de rugosidad "n" de los canales y las llanuras de inundación. A continuación, se resumen los coeficientes de Manning utilizados.

Cuadro 7. Coeficientes de rugosidad de Manning

Cauce	Material del lecho	Bancos
Cauce que atraviesa el lote	0.04	0.045

Cuadro 8. Factores de ajuste de "n" para canales

Condiciones del canal		"n" de Manning
Material involucrado	Tierra	0.020
	Corte en roca	0.025
	Grava fina	0.024
	Grava gruesa	0.028
Grado de irregularidad (n_1)	Suave	0
	Menor	0.001-0.005
	Moderado	0.006-0.01
	Severo	0.011-0.20
Variaciones en la sección transversal (n_2)	Gradual	0
	Ocasionalmente alternante	0.001-0.005
	Frecuentemente alternante	0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones (n_3)	Insignificante	0-0.004
	Menor	0.005-0.015
	Apreciable	0.02-0.03
	Severo	0.04-0.05

Vegetación (n ₄)	Baja	0.002-0.01
	Media	0.01-0.025
	Alta	0.025-0.05
	Muy alta	0.05-0.1
Grado de los efectos por meandros (m ₅)	Menor	1.0
	Apreciable	1.15
	Severo	1.3

El cauce de la quebrada presenta una sección definida por pendientes pronunciadas en ambas márgenes. El material del lecho corresponde a tierra, con vegetación de matorrales y árboles dispersos en los bancos de las secciones.



Figura 12. Sección del cauce

4. Resultados hidrológicos e hidráulicos obtenidos

4.1. Caudales esperados

Una vez obtenidos todos los parámetros necesarios para aplicar el método racional, se calculó el caudal correspondiente a un período de retorno de 50 años considerando los diferentes usos de suelo.

Cuadro 9. Caudales generados en el lote ante un evento de precipitación de T=50 años, condición actual

Área considerada	<i>i</i> (mm/h)	<i>C</i>	<i>A</i> (m²)	<i>Q</i> (l/s)
Área de la finca*	205,4	0.220	160268.0	2013.0
Áreas tributarias que desfogan en el cauce	205.4	0.20	91073.5	1042,2

*El área total de la finca no desfoga en el cauce.

Cuadro 10. Caudales esperados en el lote ante un evento de precipitación de T= 50 años, condición futura

Área considerada	<i>i</i> (mm/h)	<i>C</i>	<i>A</i> (m²)	<i>Q</i> (l/s)
Área de la finca*	205,4	0.224	160268.0	2044.7
Áreas tributarias que desfogan en el cauce	205.4	0.21	91073.5	1069.2

*El área total de la finca no desfoga en el cauce.

De los cuadros anteriores se determinó que el caudal actual generado en el lote es de 2013,0 l/s. En la condición futura el aumento de caudal debido a la construcción del Centro de Atención Institucional es de 2044.7 l/s, esto corresponde a un incremento de 1,6 % respecto del caudal actual.

El caudal estimado para la revisión de la capacidad hidráulica del cauce es de 1069.2 l/s, distribuidos según el punto de control de las cuencas delimitadas y los desfogues de la infraestructura existente y proyectada.

4.2. Punto de desfogue recomendado

Actualmente en el terreno existe una quebrada que sirve para canalizar las aguas pluviales, según levantamiento topográfico en el estacionamiento 0+060 m con dirección de sur a norte.

Se recomienda el desfogue directamente a esta quebrada, en el estacionamiento 0+145 m, en la siguiente sección se verifica la capacidad hidráulica de la quebrada de manera que el nivel del agua no afecta la infraestructura actual y proyectada.

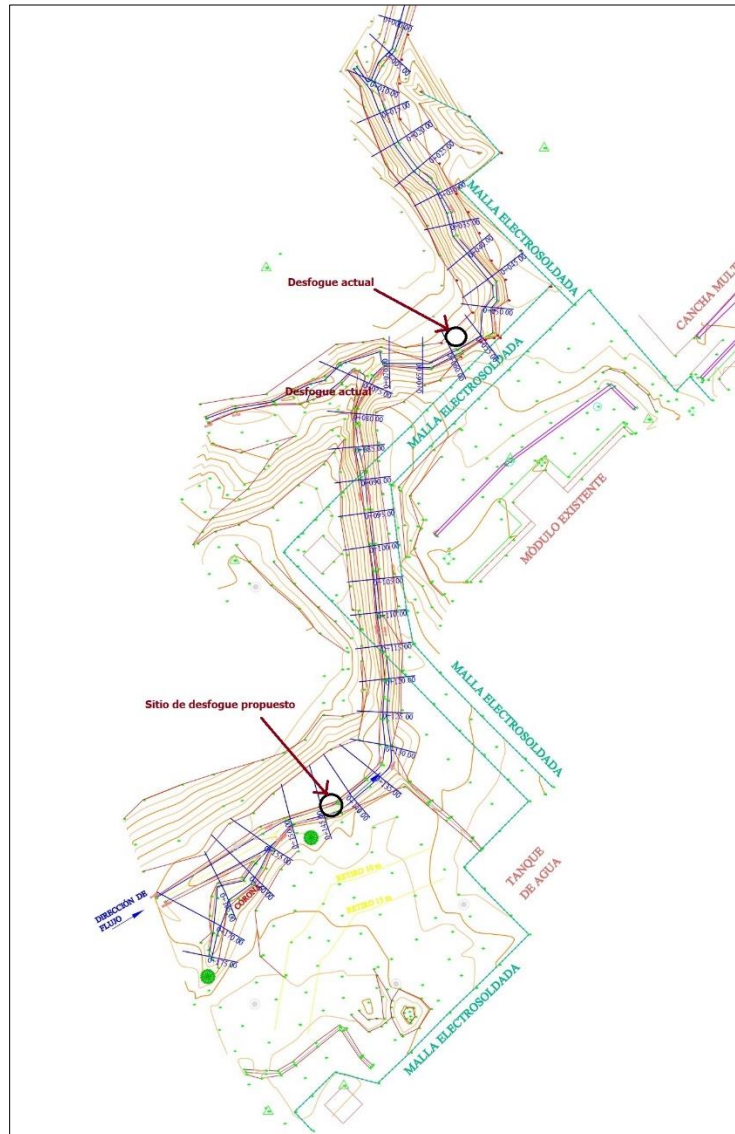


Figura 13. Sitio de desfogue propuesto

4.3. Variables hidráulicas

A partir de la información topográfica y las características de rugosidad de las secciones evaluadas del cauce, se obtuvo la profundidad máxima esperada y velocidad promedio de las secciones.

Cuadro 11. Resultados del modelo hidráulico en HEC-RAS

Estacionamiento	Cota elevación de fondo (msnm)	Cota elevación del agua (msnm)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Froude
155 (primera sección aguas arriba)	12.48	12.78	0.3	0.53	0.34	0.34
150	12.26	12.74	0.48	0.83	0.34	0.41
145 (sitio de desfogue del nuevo módulo)	12.32	12.68	0.36	1.09	0.38	0.63
140	12.26	12.63	0.37	1.06	0.38	0.61
135	12.24	12.61	0.37	0.9	0.38	0.5
130	12.17	12.6	0.43	0.71	0.38	0.36
125	12.14	12.45	0.31	1.69	0.38	0.96
120	12	12.4	0.4	1.38	0.38	0.73
115	11.8	12.37	0.57	1.27	0.38	0.58
110	11.77	12.21	0.44	1.91	0.38	0.98
105	11.67	12.05	0.38	2.08	0.38	1.1
100	11.52	11.91	0.39	2.02	0.38	1.08
95	11.43	11.78	0.35	2	0.38	1.13
90	11.15	11.41	0.26	2.59	0.38	1.73
85	10.38	10.65	0.27	3.32	0.38	2.34
80	9.83	10.43	0.6	3.05	0.38	1.28
75	9.3	10.04	0.74	0.79	0.38	0.36
70	9.29	9.89	0.6	1.15	0.47	0.48
65	9.19	9.88	0.69	0.77	0.47	0.3
60 (desfogue de la infraestructura actual)	9.03	9.74	0.71	1.37	1.1	0.54
55	8.81	9.57	0.76	2.07	1.1	0.91
50	8.72	9.6	0.88	1.03	1.1	0.35
45	8.79	9.38	0.59	1.98	1.1	0.84
40	8.54	9.39	0.85	1.4	1.1	0.5
35	8.31	9.3	0.99	1.19	1.1	0.39
30	8.37	9.09	0.72	2.56	1.1	1
25	8.06	8.88	0.82	1.18	1.1	0.43
20	8.16	8.82	0.66	1.51	1.1	0.6
15	7.89	8.85	0.96	0.9	1.1	0.3
10	8.13	8.67	0.54	2.2	1.1	0.97
5	8.01	8.49	0.48	2.59	1.1	1.24
0	7.83	8.41	0.58	2.26	1.1	1.04

Se muestran en las siguientes figuras, como en los sitios de desfogue actual y propuesto el nivel del agua producto de una tormenta de T= 50 años, no sobrepasa los niveles de banco del cauce.

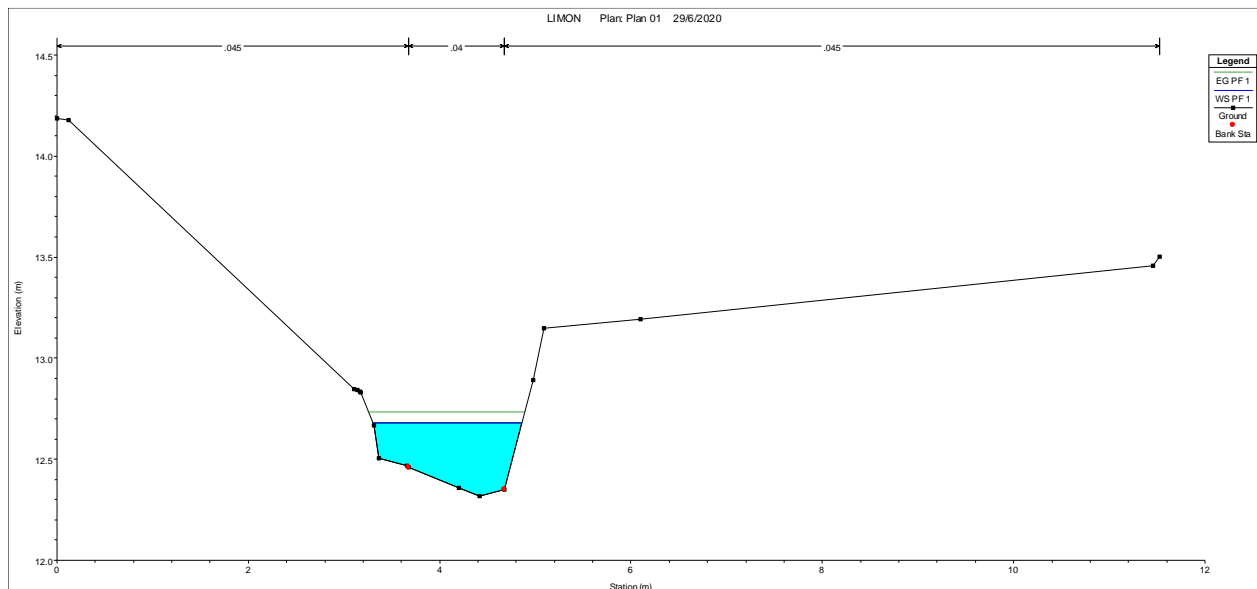


Figura 14. Estacionamiento 0+145 (desfogue propuesto para el nuevo módulo), sección transversal del cauce y elevación del agua para la tormenta de T=50 años

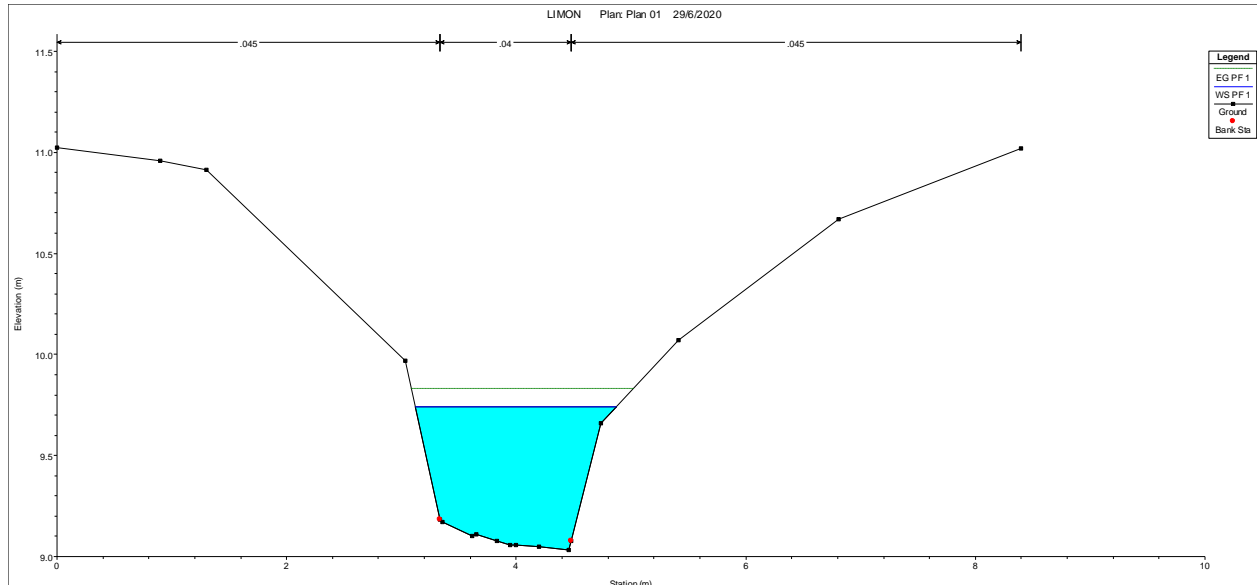


Figura 15. Estacionamiento 0+060 (desfogue de la infraestructura actual), sección transversal del cauce y elevación del agua para la tormenta de T=50 años

De los datos anteriores para la tormenta de T= 50 años el nivel del agua alcanzaría una elevación de 12.7 msnm en el sitio de desfogue propuesto (estacionamiento a los 145 m), mientras que el punto de desfogue se localizaría a una elevación de 13.5 msnm.

4.4. Consecuencias para el cauce receptor

La ejecución del proyecto de construcción del Centro de Atención Institucional, provocaría un incremento del 2,6 % de la escorrentía superficial actual que discurre de forma directa hacia el cauce de agua que atraviesa la finca.

El posible canal de desfogue del proyecto se localizará a una elevación 13.5 m, por lo que el nivel del agua a 12.7 m (tormenta de T= 50 años) en el sector de desfogue no afectará la salida de la escorrentía durante las tormentas. Además, que el aumento del nivel del agua no sobrepasaría los puntos altos del cañón de la quebrada.

5. Evaluación de resultados y conclusiones hidrológicas

En este informe se determinó el caudal generado sobre el lote donde se construirá el Centro de Atención Institucional Marcus Garvey, para un evento de precipitación con periodo de retorno de 50 años.

Actualmente el área del lote se encuentra cubierta por una superficie permeable (85.3 %) ya sea por el uso de bosque y pasto, y una superficie impermeable (14.7%) que comprende caminos y los distintos módulos del centro. Aplicando el método racional se estimó que el caudal pico esperado en el lote para la situación actual es de 2013,0 l/s.

En la situación futura el porcentaje de impermeabilización en el lote alcanza 15.1 % del área total, por lo que el incremento de la escorrentía superficial directa respecto a la condición actual es de 1.6 %, que corresponde a un caudal de 2044.7 l/s.

Los caudales generados en la condición actual y futura no son, ni serán desfogados en su totalidad en la quebrada analizada en este informe, ya que por la topografía y las condiciones de escorrentía natural el agua desfoga en otros sitios. Para la tormenta de T=50 años el caudal que desfoga actualmente en la quebrada es de 1042.2 l/s, la construcción del nuevo módulo implicaría un incremento de 2,6 % que equivale a un caudal a evacuar a futuro de 1069.2 l/s.

Desde el punto de vista hidrológico el incremento de la escorrentía pico durante una tormenta de T= 50 años, que corresponde al caudal de 1069,2 l/s, puede ser trasladado por la quebrada sin

que genere problemas de inundación, además de que el nivel del agua no afectaría la salida del canal de desfogue del proyecto.

El diseño de las obras de desfogue pluvial deberá acatar las disposiciones establecida por el AyA tanto para el diseño como construcción del sistema pluvial.

6. Discusión sobre los grados de incertidumbre y alcance del estudio

El alcance del presente estudio abarca el análisis hidrológico necesario para recomendar un correcto punto de desfogue para aguas pluviales, tomando en cuenta las características del terreno y su entorno (a nivel de microcuenca). Además de verificar los caudales por lluvia generados en la condición actual del terreno y bajo el escenario de la construcción de la infraestructura propuesta.

Se debe verificar los resultados en caso de que se plantee un cambio significativo en el área de impermeabilización propuesta. De igual manera si ocurriera un cambio en el uso del suelo en terrenos dentro del área tributaria y que pudieran ocasionar un aporte importante en el caudal que llega hasta el terreno en estudio.

En caso de que se propongan movimientos de tierra (excavaciones o rellenos) que cambien considerablemente los niveles existentes, se recomienda revisar los valores de pendientes para el manejo de las aguas.

Se deberá verificar el sitio donde se construirá el nuevo módulo ya que en la propuesta de diseño de sitio se observa el traslape de las áreas a construir y la zona de retiro de los cauces (15 m) indicadas por Ley.

Los valores obtenidos por el Método Racional se consideran adecuados ya que el área estudiada es inferior a 100 Ha, valor máximo recomendado para la aplicación de esta metodología.

Se deberá acatar lo referente a permisos de desfogue pluvial emitidos por la Municipalidad, además de verificar que el diseño del sistema pluvial cumpla con la normativa de AyA, específicamente "NORMA TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DE SANEAMIENTO Y PLUVIAL" (publicado en los Alcances N°227 A, B, C, D, E, F, G de la Gaceta N° 180, del viernes 22 de setiembre del 2017).

Según los resultados se estima que el incremento de la escorrentía debido al proyecto, podrá ser desfogado en el cauce localizado en medio del lote, ya que el incremento del nivel del agua no

genera problemas de inundación en el Centro de Atención Institucional, ni obstruye el sitio de desfogue de la esorrentía pluvial.

7. Referencias Bibliográficas

Arcement, G., & Scheider, V. (1989). *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. Washington D.C. y Denver, Colorado: United States Geological Survey WSP 2339.

Chow, V. et al. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.

Chow, V. et al. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. (2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones 2017*.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). *Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial*. San José: Acuerdo de Junta Directiva N. 2017-281, AyA.

Nacional, I. M. (2011). *Curvas de intensidad de duración de frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas*.

Villón, M. (2004). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.