

MINISTERIO DE SEGURIDAD PÚBLICA
REPÚBLICA DE COSTA RICA
**ESTUDIO DE HIDROLOGÍA BÁSICA DEL CAUCE DE AGUA DE LA MICROCUENCA EN
QUE SE LOCALIZA EL ÁREA DE PROYECTO**

PROYECTO:

DELEGACIÓN POLICIAL SIQUIRRES

LOCALIZACIÓN

PROVINCIA: LIMÓN

CANTÓN: SIQUIRRES

DISTRITO: SIQUIRRES

DESARROLLADOR

MINISTERIO DE SEGURIDAD PÚBLICA, REPÚBLICA DE COSTA RICA
ESTUDIO A CARGO DE



PROFESIONAL RESPONSABLE:

ING. JOSÉ PABLO PORRAS VELÁSQUEZ, DR. -ING.

CÉDULA: 1-0948-0740

COLEGIADO CFIA: IC-9300

CONSULTOR INDIVIDUAL SETENA: CI-301-12

VIGENCIA: 18 DE NOVIEMBRE DE 2022

FECHA DE EMISIÓN

18 DE DICIEMBRE DE 2020

2010C37-S-801-DOC-REV0

PREFACIO

Participaron en la elaboración del presente informe los siguientes profesionales:

Ing. José Pablo Porras Velásquez, Dr.-Ing.
Profesional Responsable
Cédula 1-948-740
Colegiado CFIA IC-9300
Consultor Individual SETENA CI-301-12

Ing. Esteban Aguilera Chaves, M. Eng
Colegiado CFIA IC-22155

Ing. María José Chacón Rodríguez
Colegiado CFIA IC-22174

Control revisiones de documento					
Número de revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Descripción de cambios
0	18/12/20	M. Chacón / P. Porras	P. Porras	P. Porras	Versión final para entrega al Cliente

RESPONSABILIDAD PROFESIONAL POR LA INFORMACIÓN APORTADA

El suscrito (a) José Pablo Porras Velásquez, portador de la cédula de identidad número 1-0948-0740, profesional en Ingeniería Civil Incorporado al Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA), número de colegiado: IC-9300 consultor(a) inscrito(a) en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, según registro CI-301-12-SETENA, cuya vigencia se encuentra al día hasta el 18 de noviembre de 2022, manifiesto ser responsable directo de la información técnica científica que se aporta en el presente documento, la cual se elaboró para el proyecto denominado: Delegación Policial Siquirres, el cual se desarrollará en el plano catastrado número: L-806704-2002, parte de la finca número: 7-053070-000.

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,

Ing. José Pablo Porras Velásquez, Dr.-Ing.
Profesional Responsable
Cédula 1-948-740
Colegiado CFIA IC-9300
Consultor Individual SETENA CI-301-12

ÍNDICE

PREFACIO.....	I
RESPONSABILIDAD PROFESIONAL POR LA INFORMACIÓN APORTADA.....	II
ÍNDICE.....	III
1. RESUMEN EJECUTIVO	1
1.1 RESUMEN DE RESULTADOS	1
1.2 RESUMEN DE CONCLUSIONES TÉCNICAS	2
1.3 CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LA VIABILIDAD HIDROLÓGICA DEL TERRENO EN VIRTUD DE LA OBRA A DESARROLLAR.	2
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1 DATOS SOBRE LA FINCA ESTUDIADA	3
2.2 COORDINACIÓN PROFESIONAL REALIZADA.....	3
2.3 OBJETIVOS	3
2.4 METODOLOGÍA.....	4
3. SEGMENTO A: ANÁLISIS DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE PROYECTO.....	5
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
3.2 ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA PARA LA CONDICIÓN BASE (SIN PROYECTO).....	8
3.2.1 <i>Área de drenaje y coeficiente de escorrentía</i>	8
3.2.2 <i>Intensidad de la lluvia y tiempo de concentración</i>	10
3.2.3 <i>Cálculo de caudales máximos instantáneos</i>	13
3.3 ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA PARA LA CONDICIÓN CON PROYECTO	13
3.3.1 <i>Área de drenaje y coeficiente de escorrentía</i>	14
3.3.2 <i>Intensidad de la lluvia y tiempo de concentración</i>	17
3.3.3 <i>Cálculo de caudales máximos instantáneos</i>	17
3.4 RESUMEN DE RESULTADOS	19
3.4.1 <i>Caudales aportados</i>	19
3.4.2 <i>Consecuencias para el cauce receptor</i>	19
4. SEGMENTO B: ANÁLISIS HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN.....	21
5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES HIDROLÓGICAS.....	23
5.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL SEGMENTO A	23
5.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL SEGMENTO B	23
6. DISCUSIÓN SOBRE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO	24
6.1 APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS	24
6.2 TAREAS PENDIENTES PARA FASES POSTERIORES DEL PROYECTO	24
6.3 INCERTIDUMBRES NO RESUELTAS	24
6.4 CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LA VIABILIDAD HIDROLÓGICA DEL TERRENO EN VIRTUD DE LA OBRA A DESARROLLAR.	25
7. REFERENCIAS	26
ANEXOS	28

1. RESUMEN EJECUTIVO

Se analizó un terreno ubicado en el sector de Siquirres, Limón, donde se desarrollará la construcción de la Delegación Policial Siquirres, el cual cuenta con un área total de 12000 m² y un área de desarrollar de 2536 m². Se evaluó la generación de escorrentía dentro del Área de Proyecto, para condiciones pre-desarrollo y post-desarrollo. Posteriormente se analizó la situación general del terreno en cuanto a potenciales amenazas de inundación.

1.1 RESUMEN DE RESULTADOS

Los cálculos hidrológicos realizados para el desarrollo del Segmento A arrojaron los siguientes resultados:

- Considerando eventos de precipitación con períodos de retorno de entre 2 y 100 años, y duración de la lluvia igual al tiempo de concentración, el lote del Proyecto genera caudales máximos de escorrentía superficial de entre 33.2 y 75.6 l/s en el punto de desfogue en el lindero este, para la condición base (sin Proyecto).
- Para la microcuenca de la esquina este, estos caudales disminuirán a valores entre 15.9 y 34.9 l/s, según el período de retorno, una vez que se construya el Proyecto, debido a la disminución del coeficiente de escorrentía y la disminución del área de aporte por la inclusión de un segundo punto de desfogue. Por lo tanto, la escorrentía generada en el punto de desfogue de la esquina este experimentará una disminución de entre 17.4 y 40.8 l/s (52.2-53.9%) en los caudales desfogados al cuerpo receptor.
- Para la microcuenca de la esquina oeste, el nuevo aporte de caudal de escorrentía será de entre 27.7 y 57.8 l/s, según el período de retorno, una vez que se construya el Proyecto, debido a la redistribución de los caudales de escorrentía, el aumento del coeficiente de escorrentía y a la reducción de los tiempos de concentración, producto de la impermeabilización parcial del terreno.
- La escorrentía total generada por el lote en ambos puntos de desfogue experimentará un aumento de entre 10.4 y 16.4 l/s (21.7-31.2%) en los caudales desfogados al cuerpo receptor, con un recargo importante al sector oeste, que en la condición actual no recibe aportes de escorrentía del lote.
- El desfogue de las aguas pluviales del Proyecto se prevé que se realizará al sistema pluvial existente en la calle pública. Se propone preliminarmente el punto de desfogue con coordenadas CRTM 555040.323E, 1116286.750N.

En cuanto al “Segmento B”, se analizaron las condiciones geográficas y topográficas del terreno en estudio, así como los mapas de amenazas naturales del cantón de Pococí elaborados por la CNE y no se encontraron potenciales amenazas de inundación al terreno.

1.2 RESUMEN DE CONCLUSIONES TÉCNICAS

En cuanto a la generación de escorrentía en el terreno del AP, se concluye que se puede esperar un aumento de hasta un 31.2% en el caudal de escurrimiento superficial proveniente del terreno a desarrollar, producto del cambio en la cobertura del suelo hacia un esquema con porcentajes mayores de impermeabilización. El efecto hidrológico es relativamente alto para el punto de desfogue del sector oeste del proyecto, debido al alto porcentaje de impermeabilización (62%) que supone esa zona del lote a desarrollar por el proyecto. Los caudales de desfogue del proyecto, en el punto de desfogue preliminar definido en la esquina oeste del AP, son de entre 27.7 y 57.2 l/s, según el período de retorno, una vez que se construya el proyecto.

En cuanto a la amenaza de inundación, el terreno del AP no está ubicado dentro de áreas con potencial de inundación, de acuerdo con el mapa de amenazas naturales para el cantón de Siquirres. No hay cuerpos de agua cercanos que puedan generar inundaciones en el terreno. El extremo este del lote recibe escorrentía natural de predios vecinos, la cual tiende a encharcarse temporalmente. Sin embargo, este anegamiento es muy localizado y no afectará las zonas previstas a ser desarrolladas por el proyecto.

1.3 CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LA VIABILIDAD HIDROLÓGICA DEL TERRENO EN VIRTUD DE LA OBRA A DESARROLLAR.

Como conclusión general, se considera que el proyecto es viable desde un punto de vista hidrológico, ya que existe frente al lote un sistema pluvial público al cual desfogar; porque el aporte de escorrentía del terreno es muy reducido con respecto a los caudales naturales del cuerpo receptor final, la quebrada Caño Seco; y porque el terreno no presenta una amenaza de inundación que llegue a afectar las obras de infraestructura propuestas para el proyecto.

2. INTRODUCCIÓN

El presente es un informe con los resultados del Estudio de Hidrología Básica para un terreno ubicado en el sector de Siquirres del cantón de Siquirres en la provincia de Limón. El proyecto supone el desarrollo de un terreno con un área total de 12000 m², para la construcción de la Delegación Policial Siquirres, que se desarrollará en una porción del lote con un área parcial de 2536 m².

2.1 DATOS SOBRE LA FINCA ESTUDIADA

El proyecto construcción y equipamiento del Delegación Policial Siquirres se desarrollará en una finca ubicada en el distrito 1° Siquirres, cantón 3° Siquirres, provincia 7ª Limón, plano de catastro L-806704-2002, parte de la finca 7-053070-000. El plano catastrado del proyecto se incluye en el Anexo 1 del presente informe.

2.2 COORDINACIÓN PROFESIONAL REALIZADA

El Estudio de Hidrología Básica se coordinó directamente con el consorcio formado por las empresas Vieto S.A. y Consultorías Ambientales El Guayacán S.A., el cual está encargado de la coordinación de los estudios básicos para el proceso de evaluación ambiental para el desarrollador. El profesional que lidera y coordina la elaboración de los estudios ambientales para este proyecto por parte del consorcio es el Geóg. German Retana Calvo.

2.3 OBJETIVOS

El estudio tiene como objetivo general desarrollar los Segmentos A y B de la evaluación hidrológica de la cuenca donde se ubica el Área de Proyecto (AP), para lo que se requiere estimar la escorrentía generada en el terreno producto de su desarrollo y determinar posibles amenazas de inundación a las que el terreno pueda estar sujeto.

Como objetivos específicos se plantearon los siguientes:

- Valoración hidrológica general de la generación de escorrentía en el AP y su impacto sobre el cuerpo receptor.
- Valoración hidrológica e hidráulica de posibles amenazas de inundación a las que está sujeta el AP.

2.4 METODOLOGÍA

Para cumplir los objetivos anteriores, se siguió la siguiente metodología:

- Análisis hidrológico y estimación de la esorrentía superficial en el área de estudio, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, para las siguientes condiciones:
 - Condición base (sin proyecto)
 - Condición con proyecto, según diseño de sitio
- Estimación de los caudales máximos instantáneos a ser desfogados por el proyecto, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.
- Valoración de potenciales amenazas de inundación para el proyecto. Obtención de mapas de inundación para el terreno y determinación de áreas sujeta a amenaza de inundación, así como definición de elevaciones para las obras de desfogue del proyecto.

En los siguientes capítulos se presentan los resultados de los análisis y las recomendaciones planteadas.

3. SEGMENTO A: ANÁLISIS DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN EL ÁREA DE PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El terreno donde se construirá el Proyecto se ubica en el distrito de Siquirres, en el cantón de Siquirres, provincia de Limón, 250 m al norte del Gimnasio Municipal de Siquirres. La localización del Área de Proyecto (AP) se muestra en la Figura 3.1. La finca que compone el AP tiene un área total de 12000 m² según los datos catastrales, el lote se desarrollará parcialmente, con un área de intervención de 2536 m². El lote tiene frente a calle pública a lo largo de su lindero oeste y una servidumbre de paso en su lindero este.

El lote consiste en una finca con pastos naturales y algunos árboles dispersos concentrados en el sector este del lote, tal como se aprecia en el mapa de la Figura 3.2 y en la fotografía de la Figura 3.3.

Figura 3.1. Ubicación del Área de Proyecto (Hoja cartográfica escala 1:5000 SNIT)
Cuadrícula CRTM-05

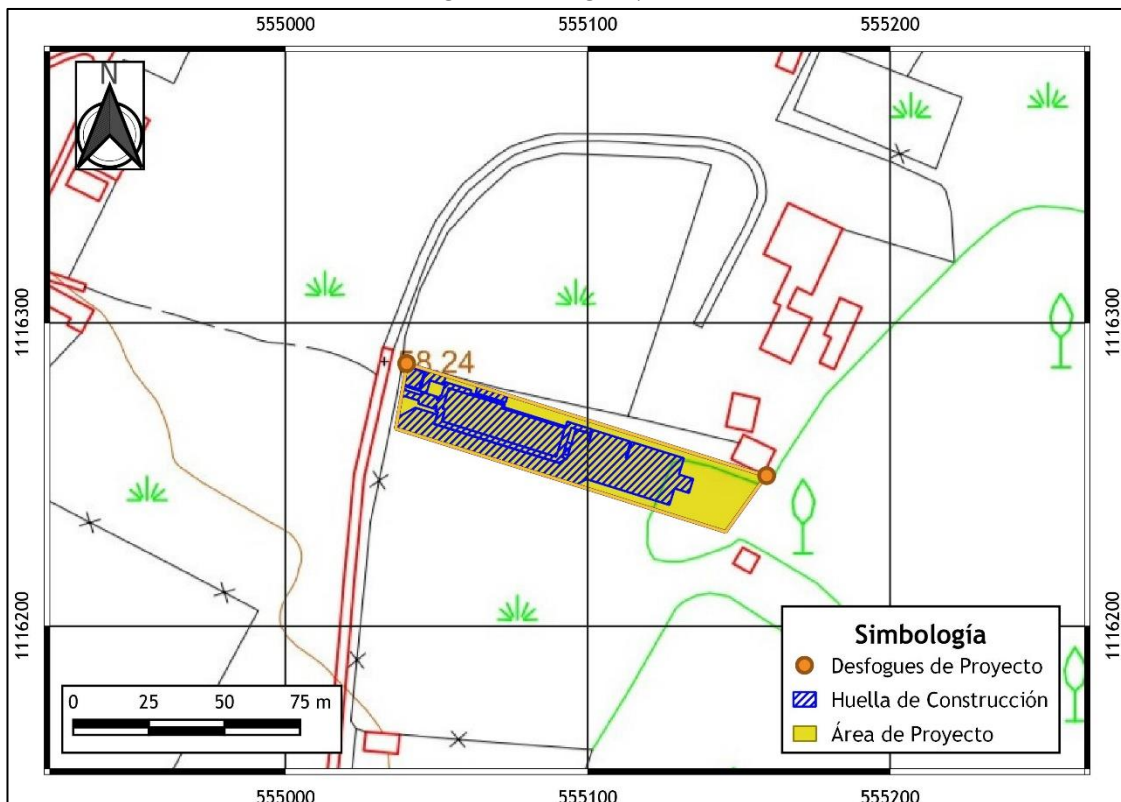


Figura 3.2. Detalle de ubicación del AP sobre imagen satelital (Google Earth, 2019)
Cuadrícula CRTM-05

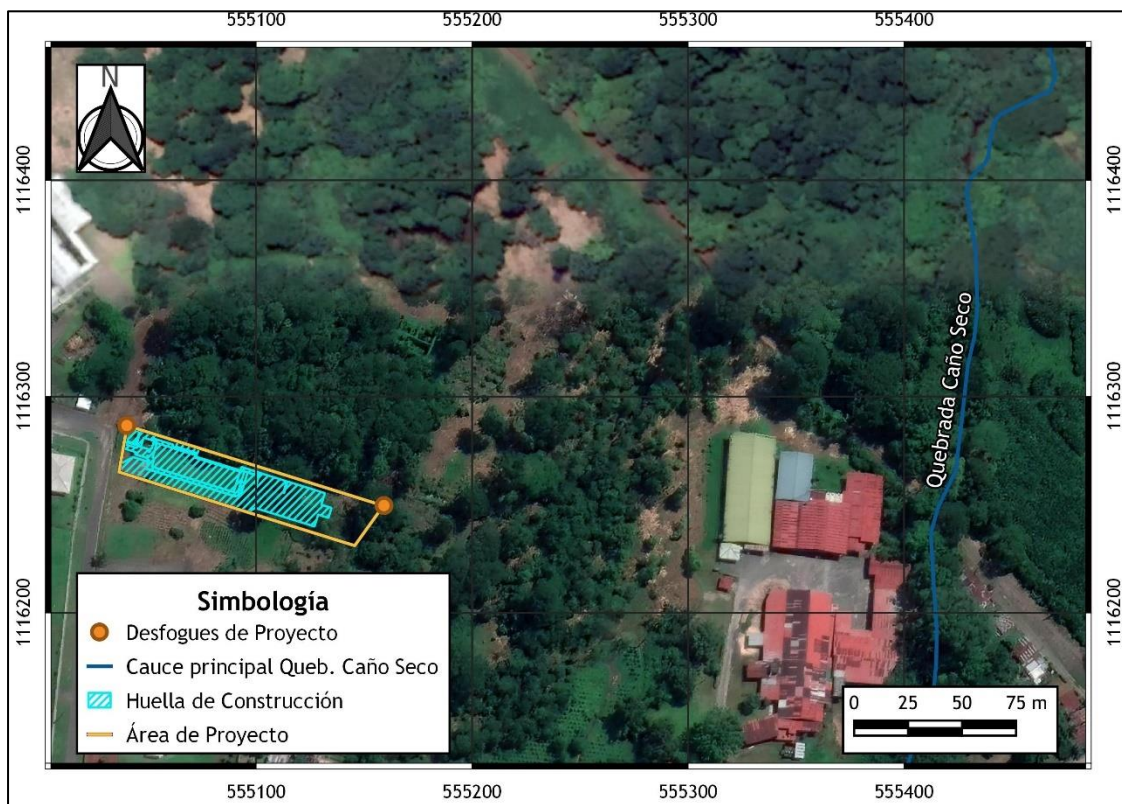


Figura 3.3. Vista general del lote del AP



El sector de la finca donde se ubica el AP tiene un desnivel de aproximadamente 3 m entre sus linderos oeste y este, según las observaciones realizadas durante la visita de campo al sitio. La escorrentía del sector es evacuada de forma distribuida hacia el lindero este, donde el agua tiende a acumularse en un punto bajo en la servidumbre de paso existente en el sector, estas aguas posteriormente discurren hacia el este por los terrenos de la zona hasta desfogar en la quebrada Caño Seco ubicada a aproximadamente 300 m del AP, la quebrada Caño Seco es el cuerpo de agua receptor dentro de cuya cuenca se ubica el AP (Figura 3.4). La quebrada Caño Seco forma parte de la cuenca del río Siquirres, que es un afluente del río Pacuare.

Figura 3.4. Contexto hidrográfico del AP: Ubicación de la quebrada Caño Seco respecto al terreno del proyecto. Cuadrícula CRTM-05



3.2 ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA PARA LA CONDICIÓN BASE (SIN PROYECTO)

El terreno del AP tiene una topografía con pendiente general hacia el este, con un desnivel aproximado de 3.0 m entre los linderos oeste y este, según las observaciones hechas durante la visita de campo al sitio, este desnivel representa una pendiente media aproximada del 2.48%. Toda la escorrentía superficial del lote se da en la dirección este, siendo el receptor final la quebrada Caño Seco, como se explicó en el apartado anterior. No existen aportes externos de escorrentía, ni de lotes vecinos ni de la calle pública.

Con el fin de caracterizar la generación de escorrentía superficial dentro del Área de Proyecto, se realizaron cálculos de caudales máximos instantáneos utilizando los conceptos del Método Racional. Éste es el método estándar para realizar estimaciones de caudal para áreas pequeñas de drenaje y para problemas de hidrología urbana (Chow et.al. 1994, Viessman 2003, Bedient et.al. 2008).

El Método Racional se basa en el concepto de que el caudal máximo instantáneo de escorrentía superficial proveniente de un terreno es directamente proporcional a la intensidad máxima de la lluvia de una tormenta con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje. La constante de proporcionalidad es el producto del área superficial de drenaje y de un coeficiente de escorrentía, definido por las pendientes del sitio y por la cobertura del suelo (CFIA, 2017):

$$Q_{max} = \frac{C * A * i_{tc}}{3600} \quad (1)$$

donde:

$Q_{m\acute{a}x}$ = caudal máximo instantáneo [l/s]

C = coeficiente de escorrentía

A = área superficial de drenaje [m²]

i_{tc} = intensidad de la lluvia para el tiempo de concentración del área de drenaje [mm/hr].

Para el cálculo de la escorrentía y del caudal máximo instantáneo de desfogue pluvial se analizaron períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, como es usual para el análisis de sistemas de escorrentía urbana (Chow et.al. 1994). El detalle de los cálculos realizados se presenta en los siguientes párrafos.

3.2.1 Área de drenaje y coeficiente de escorrentía

Según datos del croquis de replanteo de la porción a desarrollar del terreno, el área a desarrollar es de 2536 m², valor que será empleado como área total para todos los cálculos hidrológicos del

presente estudio, debido a que no existen aportes externos de terrenos vecinos. A partir de la visita de campo se definió un punto de desfogue preferencial en el sector este del lote.

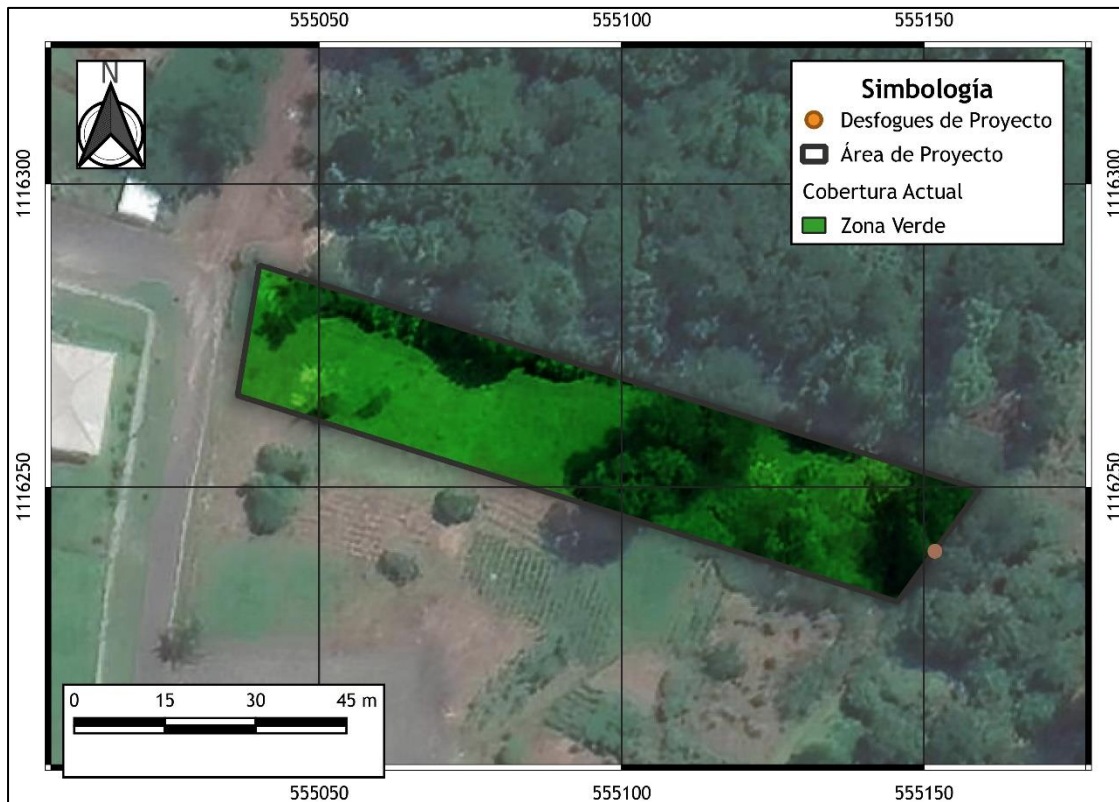
En cuanto al coeficiente de escorrentía, en su condición actual el lote presenta un tipo de cobertura predominante, de zona verde con césped. Para este tipo de cobertura se asignaron coeficientes de escorrentía para los períodos de retorno analizados, de acuerdo con referencias de literatura (Chow et.al. 1994, Viessman 2003, Bedient et.al. 2008). El Cuadro 3.1 muestra el resumen de esta estimación

Cuadro 3.1. Caracterización de área de drenaje y coeficientes de escorrentía para la condición base (sin Proyecto)

Microcuenca esquina suroeste

Cobertura del suelo	Área (m ²)	% Área	C _E TR = 2 años	C _E TR = 5 años	C _E TR = 10 años	C _E TR = 25 años	C _E TR = 50 años	C _E TR = 100 años
Zonas verdes	2536.0	100%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53

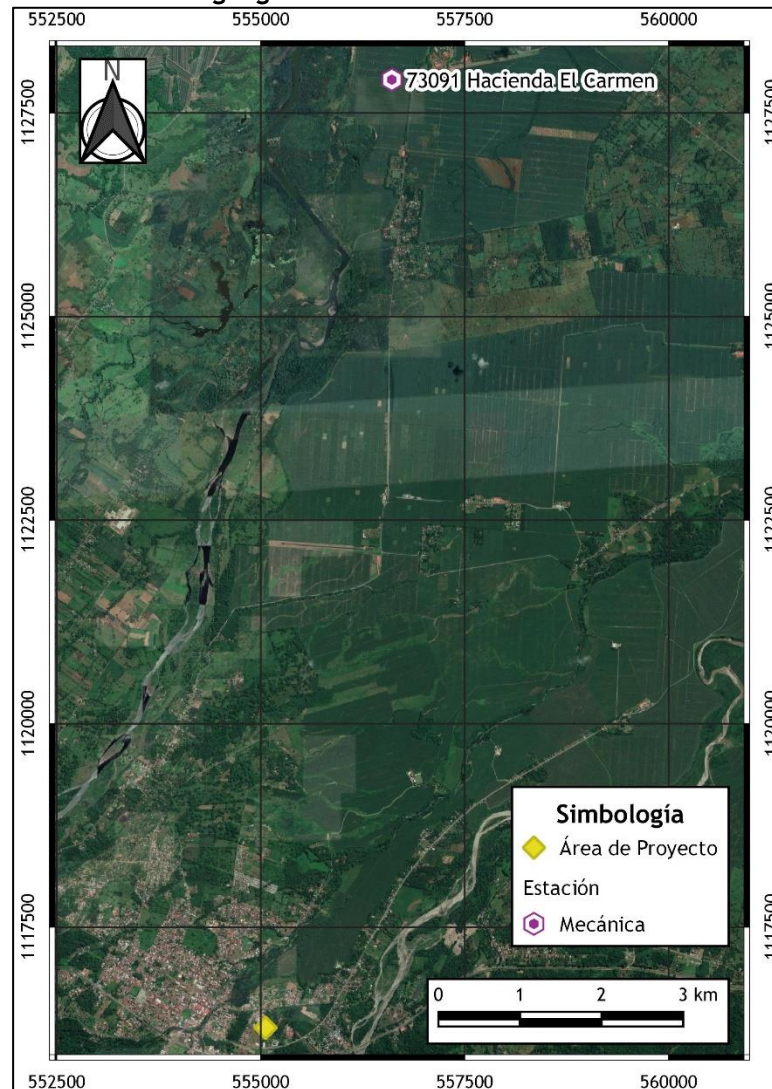
Figura 3.5. Cobertura actual del suelo en el AP, según clasificación realizada a partir de imagen satelital



3.2.2 Intensidad de la lluvia y tiempo de concentración

Existen en la literatura relaciones intensidad-duración-frecuencia (i-d-f) para las precipitaciones en Costa Rica con las que es posible definir la intensidad de la lluvia de diseño para la estimación de caudales máximos instantáneos mediante la aplicación del Método Racional. En este caso se utilizó la información de la estación 73-91 Hacienda El Carmen, del Instituto Meteorológico Nacional, la cual se ubica en las cercanías (~ 12 km) de la región del AP, tal como se puede ver en la Figura 3.6. La aplicación principal de las relaciones i-d-f es su uso para estimar caudales empleando el Método Racional en cuencas pequeñas (< 1-2 km²) específicamente en el cálculo del caudal del sitio del proyecto, aunque también resultan de utilidad para estimar hietogramas de diseño, como se presentará más adelante.

Figura 3.6. Ubicación geográfica de la estación 73-91 Hacienda El Carmen



Esta estación cuenta con curvas intensidad-duración-frecuencia reportadas en la literatura técnica (Rojas, 2011), basadas en un registro de 31 años de extensión, las cuales se usaron como base para los cálculos de lluvias e intensidades de diseño.

La ecuación i-d-f para la estación Hacienda El Carmen según Rojas (2011) se puede expresar como:

$$i = \frac{372.77 * TR^{0.116}}{d^{0.497}} \quad (2)$$

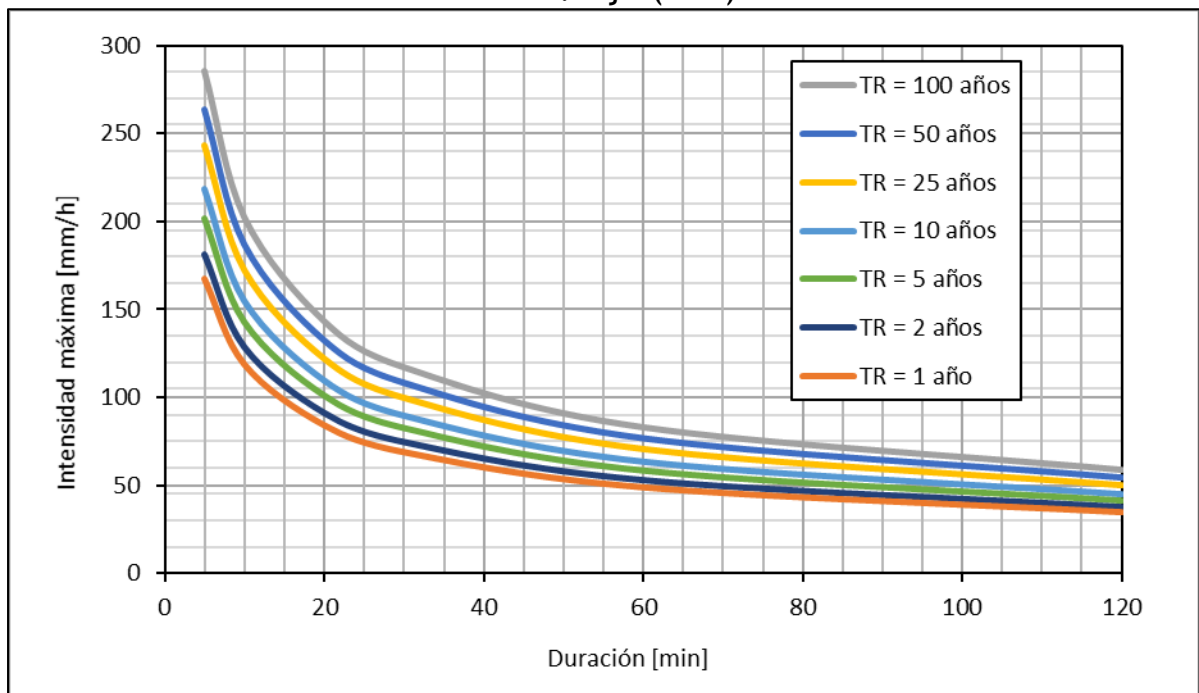
donde

i = intensidad de la lluvia [mm/hr]

d = duración de la lluvia [min]

TR = período de retorno [años]

Figura 3.7. Curvas i-d-f para la estación 73-91 Hacienda El Carmen
Fuente: Rojas (2011)



El tiempo de concentración es el tiempo que se requiere, a partir del inicio de un evento de precipitación, para que toda el área de drenaje esté aportando escorrentía hasta el punto de control donde se quiere estimar el caudal.

Este tiempo es importante ya que es el que determina la duración de la precipitación y la intensidad de la lluvia que se utilizará para la estimación de caudales.

Para la estimación del tiempo de concentración se dispone de diferentes metodologías y formulaciones reportadas en la literatura. Para el caso de áreas pequeñas sin un cauce definido y donde predomina el flujo en láminas sobre laderas (sheet flow) es posible utilizar la fórmula de onda cinemática (Bedient et.al., 2008), la cual permite estimar el tiempo de concentración en función de la longitud media del flujo, la pendiente media del área de drenaje, el coeficiente de rugosidad de Manning y la intensidad de la lluvia de diseño:

$$t_c = \frac{6.9}{i_e^{0.4}} \left(\frac{n * L}{\sqrt{S}} \right)^{0.6} \quad (3)$$

donde

- t_c = tiempo de concentración [min]
- n = coeficiente de rugosidad de Manning
- L = longitud media de flujo en superficie [m]
- S = pendiente media de la superficie de drenaje
- i_e = intensidad efectiva de la tormenta de diseño [mm/h]

El término i_e , se puede aproximar mediante el producto de la intensidad de diseño y el respectivo coeficiente de escorrentía. La presencia de este término obliga a una solución iterativa para encontrar simultáneamente el tiempo de concentración y la intensidad de la lluvia, por lo que es necesario integrar en el cálculo la relación de la intensidad en función del período de retorno de diseño.

Según la práctica usual de cálculos hidrológicos (e.g. Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Saneamiento y Pluvial del AyA, 2017), no es recomendable usar tiempos de concentración menores a 10 minutos, por lo que se usará dicho valor como límite mínimo para el cálculo, de ser el caso. Con base en lo anterior, se estimaron los tiempos de concentración y las intensidades de lluvia para períodos de retorno de entre 2 y 100 años, de acuerdo con la relación i-d-f de la estación 73-91 Hacienda El Carmen, tal como se muestra en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Intensidades de lluvia para diferentes períodos de retorno estimadas para el sitio para la condición base (sin Proyecto).

Parámetro	TR 2 años	TR 5 años	TR 10 años	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
t_c (min)	10.18	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
i (mm/hr)	127.48	143.06	155.04	172.43	186.86	202.51

3.2.3 Cálculo de caudales máximos instantáneos

Utilizando la ecuación (1) para la aplicación del Método Racional se estimaron los caudales máximos instantáneos para períodos de retorno de entre 2 y 100 años, para las condiciones actuales (sin Proyecto), tal como se muestra en el Cuadro 3.3. Estos caudales representan las tasas de escorrentía superficial que genera la propiedad en su condición actual, considerando la acumulación de dicha escorrentía en el sector este de la propiedad.

Cuadro 3.3. Caudales máximos instantáneos de escorrentía en el punto actual de desfogue para la condición base (sin Proyecto).

$$A = 2536 \text{ m}^2 \quad \text{Caudales en l/s}$$

Parámetro	TR 2 años	TR 5 años	TR 10 años	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
C_E	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53
t_c (min)	10.18	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
i_{tc} (mm/hr)	127.48	143.06	155.04	172.43	186.86	202.51
Q (L/s)	33.2	40.3	47.0	55.9	64.5	75.6

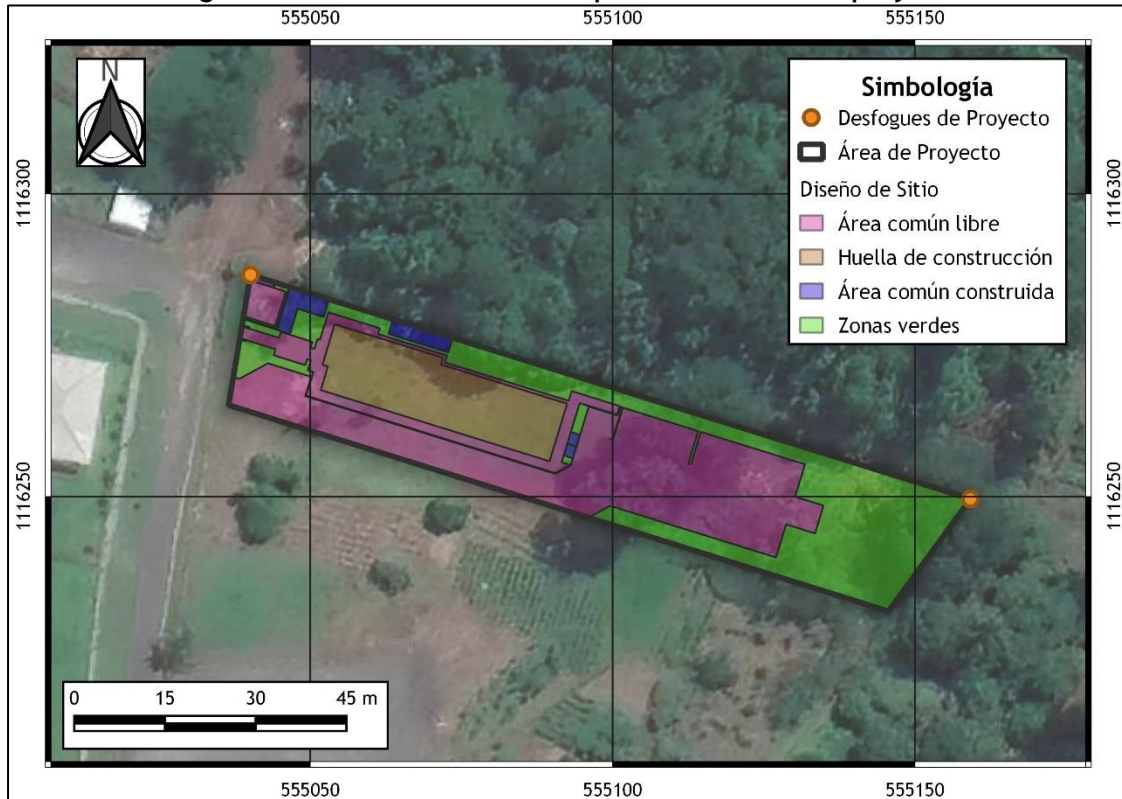
3.3 ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA PARA LA CONDICIÓN CON PROYECTO

Una vez con el análisis hidrológico de la condición base (sin Proyecto) se procedió a realizar los cálculos hidrológicos para la condición esperada cuando el Proyecto esté construido. En esta condición, al darse un cambio en el uso del suelo hacia una mayor impermeabilización, es de esperar que se incrementen los caudales máximos instantáneos de escorrentía producto de la precipitación. El nuevo uso del suelo planeado para el lote a desarrollar se muestra esquemáticamente en la Figura 3.8, de acuerdo con el diseño de sitio de anteproyecto.

Se debe mencionar que, aunque los puntos de desfogue exactos no están especificados, se prevé que cuando el Proyecto esté construido las aguas desfogarán hacia el lindero oeste de la

propiedad, al sistema pluvial existente en la calle pública. En este sector se recogería la mayor parte del caudal excedente producto de la impermeabilización del terreno producto de la construcción de estructuras. En el sector del lindero este se desfogará la escorrentía producto del sector de parqueos y las zonas verdes dispuestas en el diseño de sitio para esa zona de la propiedad. Se propone preliminarmente el punto de desfogue oeste mostrado en la Figura 3.10, con coordenadas CRTM 555040.323E, 1116286.750N.

Figura 3.8. Área de construcción planteada en el anteproyecto



El diseño de sitio utilizado para los cálculos del presente informe es preliminar para la etapa de anteproyecto, especifica de manera general la distribución de las estructuras y distintos espacios a construir. Se supone que toda el área de construcción será de techos y estructuras de concreto y las calles y parqueos estarán recubiertos por zacate block, en las zonas designadas como zonas verdes se estimó que el 100% de área corresponderá a cobertura de césped.

3.3.1 Área de drenaje y coeficiente de escorrentía

El área de drenaje para la condición con Proyecto coincide con el área de la condición base, debido a que no hay nuevos aportes, en este caso el área será dividida en dos microcuencas asociadas a los puntos de desfogue indicados anteriormente. El Cuadro 3.4 muestra la

distribución de áreas dentro del lote para la condición post-desarrollo, así como los coeficientes de escorrentía asignados para cada área, para cada período de retorno analizado, según referencias de la literatura (Chow et.al. 1994, Viessman 2003, Bedient et.al. 2008). La Figura 3.10 muestra la distribución de áreas para las microcuencas esperadas para la condición futura, producto de la ubicación de las nuevas obras. Para la microcuenca este se observa una disminución de entre un 4.1% y un 6.6% en los coeficientes de escorrentía ponderados con respecto a la condición base. Para la microcuenca oeste se observa un incremento de entre un 49.3% y un 63.2% en los coeficientes de escorrentía ponderados con respecto a la condición base.

Figura 3.9. Cobertura futura del suelo en el AP, según clasificación realizada a partir de imagen satelital y según propuesta de anteproyecto

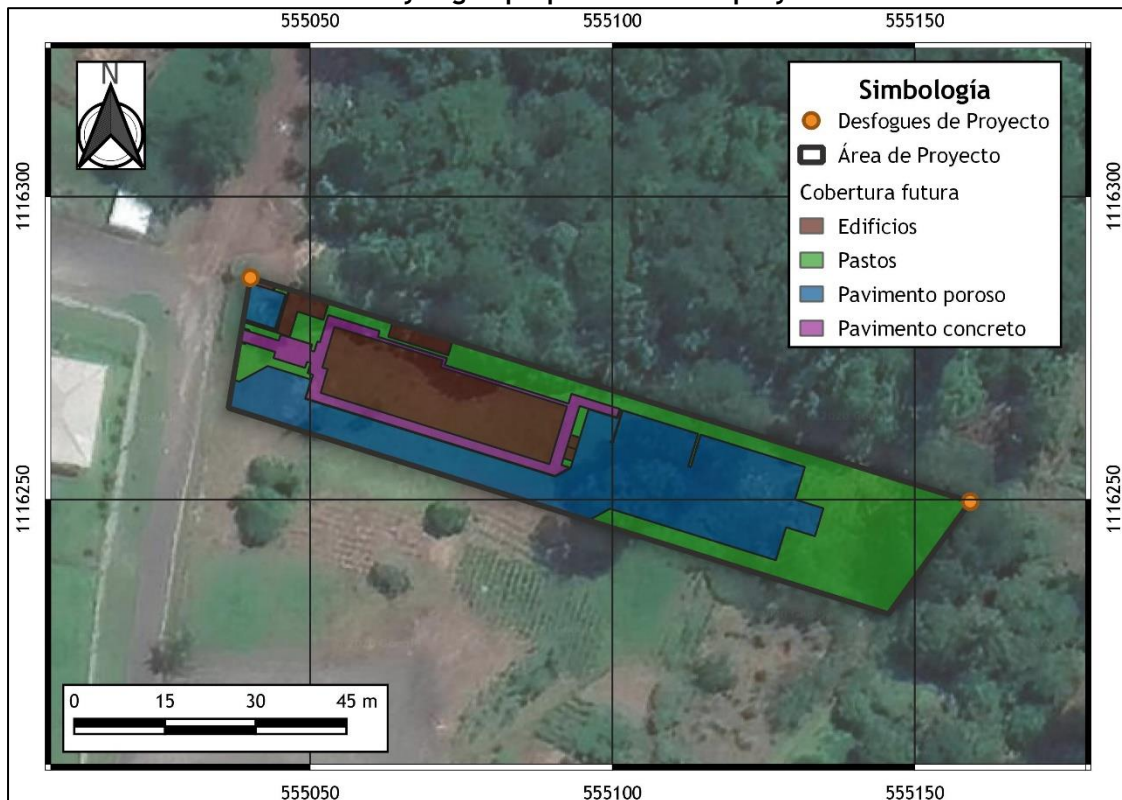
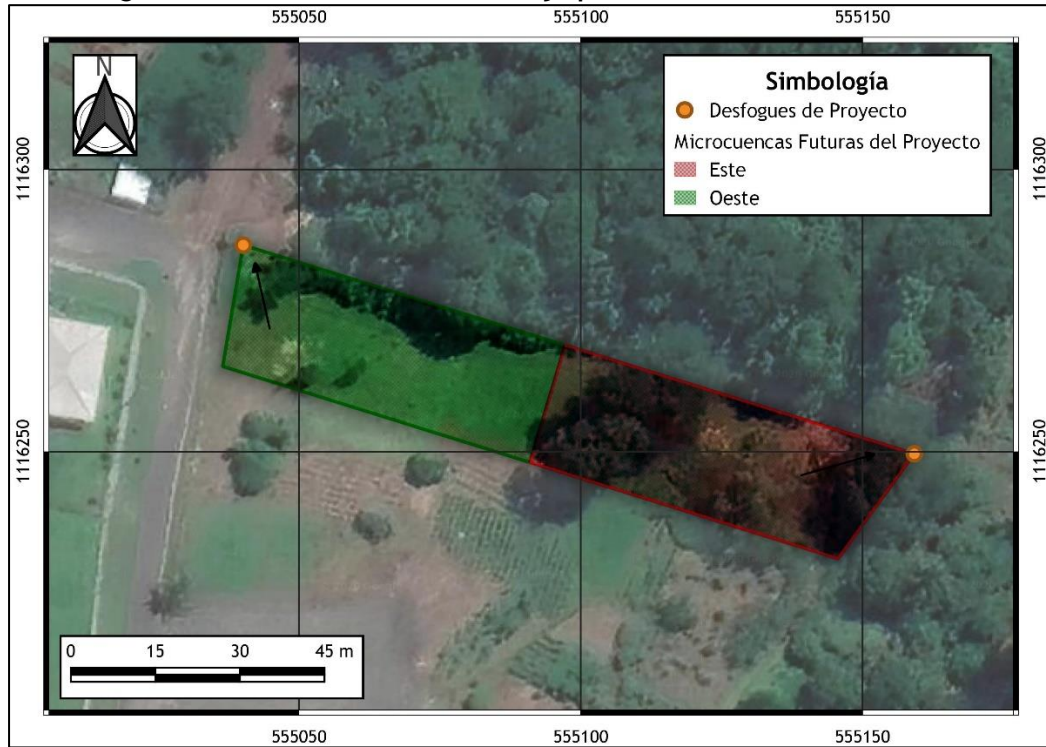


Figura 3.10. Microcuencas de drenaje para la condición futura del AP



Cuadro 3.4. Caracterización de área de drenaje y coeficientes de escorrentía para la condición con Proyecto

Microcuenca este

Cobertura del suelo	Área (m ²)	% Área	C _E TR = 2 años	C _E TR = 5 años	C _E TR = 10 años	C _E TR = 25 años	C _E TR = 50 años	C _E TR = 100 años
Parqueos oficiales (zacate block)	648	52%	0.38	0.39	0.4	0.44	0.48	0.5
Zonas Verdes	603.2	48%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
Total/Ponderado	1251.20	100%	0.35	0.37	0.39	0.43	0.47	0.50

Microcuenca oeste

Cobertura del suelo	Área (m ²)	% Área	C _E TR = 2 años	C _E TR = 5 años	C _E TR = 10 años	C _E TR = 25 años	C _E TR = 50 años	C _E TR = 100 años
Edificios	421.00	33%	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97
Aceras perimetrales módulos	195.00	15%	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97
Estructuras para equipos de mantenimiento	183.00	14%	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97
Parqueo visitas (zacate block)	35.00	3%	0.38	0.39	0.4	0.44	0.48	0.5
Parqueos oficiales (zacate block)	300.00	23%	0.38	0.39	0.4	0.44	0.48	0.5
Zonas Verdes	150.80	12%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
Edificios	421.00	33%	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97
Total/Ponderado	1284.80	100%	0.60	0.64	0.67	0.71	0.75	0.79

3.3.2 Intensidad de la lluvia y tiempo de concentración

Las intensidades de lluvia se calcularon con la misma relación i-d-f utilizada para la condición pre-desarrollo. Los tiempos de concentración para la condición post-desarrollo se recalcularon considerando el impacto que tendrá la impermeabilización sobre la aceleración de los flujos, de acuerdo con los principios de la ecuación de onda cinemática.

3.3.3 Cálculo de caudales máximos instantáneos

Empleando la ecuación (1) para la aplicación del Método Racional se estimaron los caudales máximos instantáneos de escorrentía para períodos de retorno de entre 2 y 100 años, para el Proyecto desarrollado, tal como se muestra en el Cuadro 3.5. Para el caso del punto de desfogue de la esquina este, los valores obtenidos muestran una disminución de entre un 52.2 % y un 53.9 % en el caudal de escorrentía superficial con respecto a la condición base, que corresponde a la nueva división del área en 2 microcuencas, de modo que parte del caudal que escurría hacia el sector este ahora lo hará al nuevo punto de desfogue definido en el lindero oeste de la propiedad. Para el caso de la microcuenca de la esquina oeste, donde se dará el desfogue pluvial de los edificios, los valores obtenidos para los nuevos caudales de escorrentía en este sector están entre los 27.7 y 57.2 l/s. Considerando los caudales totales, el aumento neto en el caudal de escorrentía del lote está entre el 21.7 y el 31.2%, con un recargo de este aumento hacia el sector oeste, que en la condición actual no recibe caudales producto de la escorrentía del lote.

Cuadro 3.5. Caudales máximos instantáneos de escorrentía en el punto de desfogue para la condición con Proyecto.

Microcuenca este A = 1251.2 m² Caudales en l/s

Parámetro	TR = 2 años	TR = 5 años	TR = 10 años	TR = 25 años	TR = 50 años	TR = 100 años
C _E	0.35	0.37	0.39	0.43	0.47	0.50
t _c (min)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
I _{tc} (mm/hr)	128.64	143.06	155.04	172.43	186.86	202.51
Q (L/s)	15.9	18.6	21.0	25.8	30.2	34.9
ΔQ (L/s)	-17.4	-21.7	-25.9	-30.1	-34.3	-40.8
ΔQ (%)	-52.2%	-53.8%	-55.2%	-53.8%	-53.1%	-53.9%

Microcuenca oeste A = 1284.8 m² Caudales en l/s

Parámetro	TR = 2 años	TR = 5 años	TR = 10 años	TR = 25 años	TR = 50 años	TR = 100 años
C _E	0.60	0.64	0.67	0.71	0.75	0.79
t _c (min)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
I _{tc} (mm/hr)	128.64	143.06	155.04	172.43	186.86	202.51
Q (L/s)	27.7	32.7	36.8	43.8	50.0	57.2
ΔQ (L/s)	27.7	32.7	36.8	43.8	50.0	57.2

Parámetro	TR = 2 años	TR = 5 años	TR = 10 años	TR = 25 años	TR = 50 años	TR = 100 años
Q este final (L/s)	15.87	18.61	21.03	25.79	30.23	34.85
Q oeste final (L/s)	27.72	32.72	36.80	43.77	50.02	57.18
Q total final (L/s)	43.59	51.32	57.83	69.56	80.26	92.03
Q total actual (L/s)	33.23	40.31	46.96	55.87	64.50	75.61
ΔQ total (L/s)	10.36	11.01	10.87	13.69	15.76	16.42
% Incremento total	31.2%	27.3%	23.1%	24.5%	24.4%	21.7%

3.4 RESUMEN DE RESULTADOS

3.4.1 Caudales aportados

Los cálculos hidrológicos presentados en los apartados anteriores arrojaron los siguientes resultados:

- Considerando eventos de precipitación con períodos de retorno de entre 2 y 100 años, y duración de la lluvia igual al tiempo de concentración, el lote del Proyecto genera caudales máximos de escorrentía superficial de entre 33.2 y 75.6 l/s en el punto de desfogue en el lindero este, para la condición base (sin Proyecto).
- Para la microcuenca de la esquina este, estos caudales disminuirán a valores entre 15.9 y 34.9 l/s, según el período de retorno, una vez que se construya el Proyecto, debido a la disminución del coeficiente de escorrentía y la disminución del área de aporte por la inclusión de un segundo punto de desfogue. Por lo tanto, la escorrentía generada en el punto de desfogue de la esquina este experimentará una disminución de entre 17.4 y 40.8 l/s (52.2-53.9%) en los caudales desfogados al cuerpo receptor.
- Para la microcuenca de la esquina oeste, el nuevo aporte de caudal de escorrentía será de entre 27.7 y 57.8 l/s, según el período de retorno, una vez que se construya el Proyecto, debido a la redistribución de los caudales de escorrentía, el aumento del coeficiente de escorrentía y a la reducción de los tiempos de concentración, producto de la impermeabilización parcial del terreno.
- La escorrentía total generada por el lote en ambos puntos de desfogue experimentará un aumento de entre 10.4 y 16.4 l/s (21.7-31.2%) en los caudales desfogados al cuerpo receptor, con un recargo importante al sector oeste, que en la condición actual no recibe aportes de escorrentía del lote.
- El desfogue de las aguas pluviales del Proyecto se prevé que se realizará al sistema pluvial existente en la calle pública para el caso del punto de desfogue oeste. Se propone preliminarmente el punto de desfogue con coordenadas CRTM 555040.323E, 1116286.750N.

3.4.2 Consecuencias para el cauce receptor

El cauce receptor final del desfogue pluvial del proyecto será la quebrada Caño Seco. En el punto de paso de la quebrada por la calle Rojitas, a aproximadamente 300 m del AP, se define una cuenca de 2.47 km², con un área de drenaje más de 900 veces mayor al área del AP.

Dados los valores esperados del caudal producto del desarrollo del AP, no se prevé afectación al cauce receptor de la quebrada Caño Seco. Durante la etapa de diseño de detalle del proyecto

se deberá verificar que el sistema pluvial de la calle pública del sector oeste esté en buen estado y tenga la capacidad adecuada para trasegar los caudales producto de la esorrentía del proyecto.

4. SEGMENTO B: ANÁLISIS HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA DE INUNDACIÓN

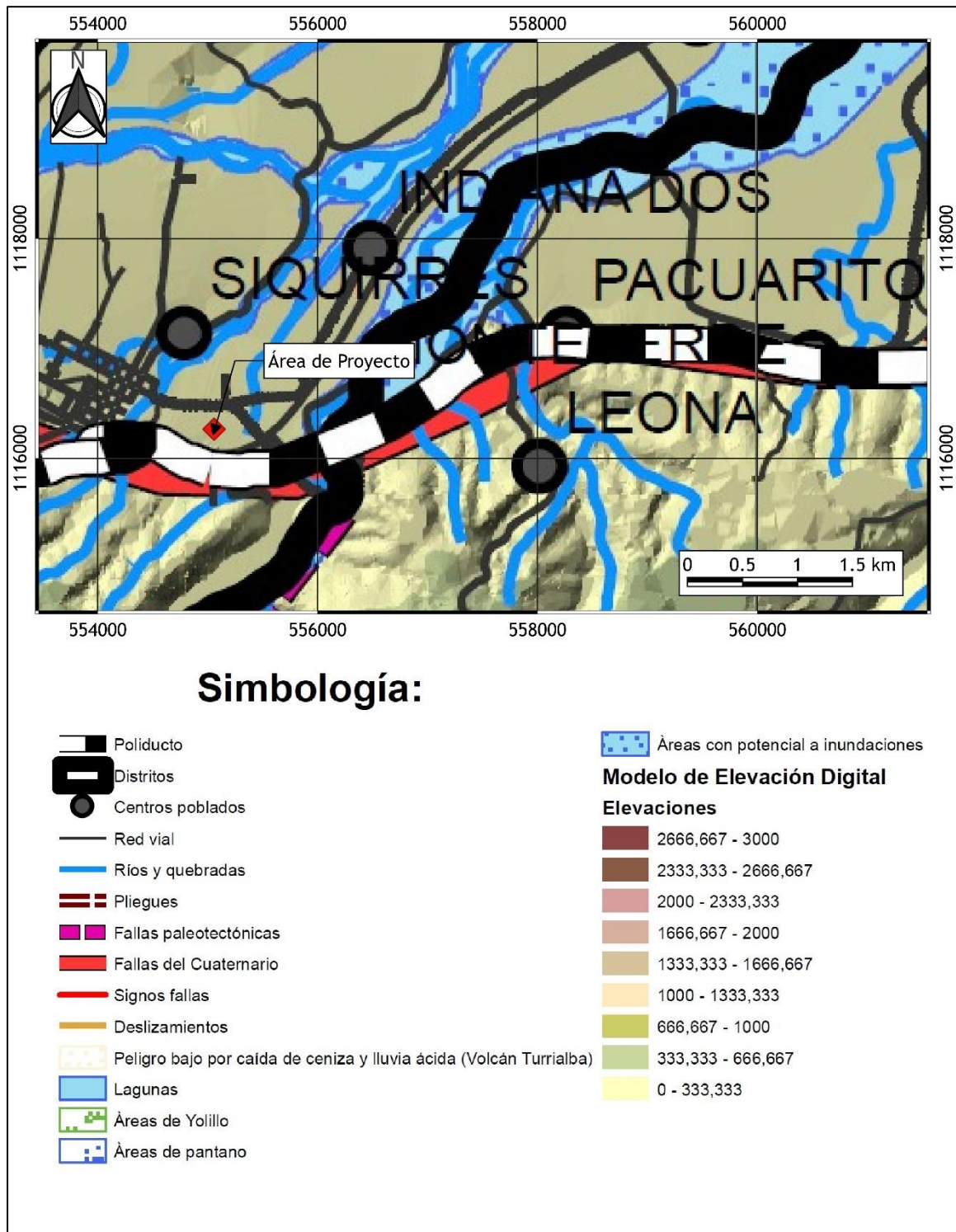
Como se indicó anteriormente, el AP forma parte de la cuenca de la quebrada Caño Seco, ubicada a aproximadamente 300 m del lote y con una diferencia de elevación respecto a este de aproximadamente 10 m. En la actualidad el AP drena hacia el sector de su lindero este hacia la servidumbre de paso ubicada en la zona y posteriormente las aguas discurren por terrenos del sector hasta desfogar a la quebrada.

Con el desarrollo del AP, se plantea una modificación a este patrón de escorrentía natural, de modo que parte de las aguas sean desfogadas hacia el sistema pluvial existente en la calle pública del lindero oeste del proyecto, este sistema pluvial también forma parte de la cuenca de la quebrada Caño Seco.

Debido a las diferencias de nivel entre el AP y el cauce de la quebrada, y la distancia entre ésta y el lote, de 300 m, no se prevén amenazas de inundación en el proyecto producto de eventos hidrometeorológicos en la cuenca de la quebrada Caño Seco.

En el mapa de amenazas naturales potenciales del cantón de Siquirres, elaborado por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) (Figura 4.1) se aprecia que el AP se ubica fuera de la mancha de inundación de la quebrada Caño Seco y de los ríos Pacuare y Siquirres, que se encuentran también en las cercanías del área geográfica del proyecto, de modo que se confirma que no existe amenaza de inundación en el AP.

Figura 4.1. Mapa de Amenazas Naturales de la CNE para el sector aledaño al Área de Proyecto



5. EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES HIDROLÓGICAS

Se analizó un terreno ubicado en el sector de Siquirres, Limón, donde se desarrollará la construcción y equipamiento de la Delegación Policial Siquirres con un área total de 2536 m². Se evaluó la generación de escorrentía dentro del Área de Proyecto, para condiciones pre-desarrollo y post-desarrollo. Posteriormente se analizó la situación general del terreno en cuanto a potenciales amenazas de inundación.

5.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL SEGMENTO A

En cuanto a la generación de escorrentía en el terreno del AP, se concluye que se puede esperar un aumento de hasta un 31.2% en el caudal de escurrimiento superficial proveniente del terreno a desarrollar, producto del cambio en la cobertura del suelo hacia un esquema con porcentajes mayores de impermeabilización. El efecto hidrológico es relativamente alto para el punto de desfogue del sector oeste del proyecto, debido al alto porcentaje de impermeabilización (62%) que supone esa zona del lote a desarrollar por el proyecto. Los caudales de desfogue del proyecto, en los puntos de desfogue preliminares definidos en las esquinas este y oeste del AP, son de 15.9 y 34.9 l/s para la esquina este y 27.7 y 57.2 l/s para la esquina oeste, según el período de retorno, una vez que se construya el proyecto.

A efectos de reducir el impacto hidrológico del proyecto, se recomienda al desarrollador implementar el concepto de Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés). Este tipo de desarrollo se refiere a una serie de medidas estructurales y no estructurales que permiten concebir proyectos de desarrollo de terrenos que tengan el menor impacto hidrológico posible sobre su entorno. Estas medidas pueden involucrar el aumentar las zonas permeables, propiciar la infiltración y propiciar el retardo de las aguas pluviales antes de ser desfogadas al río Liberia, si las condiciones del terreno y consideraciones de diseño así lo permiten.

5.2 EVALUACIÓN DE RESULTADOS DEL SEGMENTO B

El terreno del AP no está ubicado dentro de áreas con potencial de inundación, de acuerdo con el mapa de amenazas naturales para el cantón de Siquirres. A 300 m al este del terreno discurre la quebrada Caño Seco, que es el cuerpo de agua más cercano al AP. Debido a las diferencias de nivel entre el AP y la quebrada Caño Seco, y la distancia entre ésta y el lote, no se prevén amenazas de inundación en el proyecto producto de eventos hidrometeorológicos en la cuenca de la quebrada Caño Seco.

6. DISCUSIÓN SOBRE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO

6.1 APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente estudio son aplicables solamente a la microcuenca donde se desarrollará el proyecto específico.

En cuanto al análisis de escorrentía del AP (Segmento A), los resultados suponen una cierta distribución del uso del suelo para el desarrollo del proyecto. Los resultados seguirán siendo aplicables en el tanto los porcentajes de áreas a desarrollar, y sus características, se mantengan, aun cuando haya cambios en la configuración y disposición de las obras.

En cuanto al análisis del “Segmento B”, estos resultados responden a las condiciones actuales de la cuenca y cauce de la quebrada Caño Seco y se refieren a eventos de escorrentía producto de eventos hidrometeorológicos extremos.

Se considera que los resultados obtenidos permiten contar con criterio suficiente para la evaluación de las condiciones e impactos hidrológicos del proyecto.

6.2 TAREAS PENDIENTES PARA FASES POSTERIORES DEL PROYECTO

En cuanto a la evaluación hidrológica del proyecto, se considera que el presente estudio es suficiente para valorar el otorgamiento de la Viabilidad Ambiental.

En etapas posteriores, se deberá plantear el diseño detallado de los sistemas de manejo de escorrentía y aguas pluviales, conforme a la evaluación hidrológica planteada en el presente estudio.

6.3 INCERTIDUMBRES NO RESUELTAS

En el desarrollo de las estimaciones hidrológicas e hidráulicas existen diversas fuentes de incertidumbre, entre las cuales se pueden citar las siguientes:

- Se aplicó el Método Racional para la estimación de caudales en el sitio del proyecto para las condiciones antes y después de la construcción. Si bien este método es una aproximación simplificada de las relaciones precipitación-escorrentía, permite estimar adecuadamente el caudal máximo de escorrentía en cuencas pequeñas. El tiempo de concentración, parámetro clave en este cálculo, se estimó a través de la metodología de onda cinemática, que brinda resultados confiables para cuencas pequeñas.

A pesar de las incertidumbres discutidas anteriormente, se considera que los resultados hidrológicos e hidráulicos son adecuados, ya que las magnitudes de caudales y niveles estimadas en este estudio son concordantes con las condiciones que se observan en el sitio.

6.4 CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LA VIABILIDAD HIDROLÓGICA DEL TERRENO EN VIRTUD DE LA OBRA A DESARROLLAR.

Como conclusión general, se considera que el proyecto es viable desde un punto de vista hidrológico, ya que existe frente al lote un sistema pluvial público al cual desfogar; porque el aporte de escorrentía del terreno es muy reducido con respecto a los caudales naturales del cuerpo receptor final, la quebrada Caño Seco; y porque el terreno no presenta una amenaza de inundación que llegue a afectar las obras de infraestructura propuestas para el proyecto.

7. REFERENCIAS

Referencias bibliográficas:

AyA (2017). Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Saneamiento y Pluvial del AyA. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Publicado en el Alcance No. 227 a La Gaceta No. 180, Setiembre 2017, San José.

Bedient, P.B., Huber, W.C., Vieux, B.E. (2008) Hydrology and Floodplain Analysis. 4a Edición. Prentice Hall, New Jersey.

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

Chang, H. (1992) Fluvial Processes in River Engineering. Edición reimpressa y revisada en 2008. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.

Chow (1994) Hidráulica de Canales Abiertos. Edición en español. McGraw-Hill, Bogotá.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1994) Hidrología Aplicada. McGraw-Hill, Bogotá.

Dwyer, I.J., Reed, D.W. (1995). Allowance for Discretization in Hydrological and Environmental Risk Estimation. IH Report No. 126. Institute of Hydrology, Oxfordshire, Reino Unido.

García, M. (Ed.) (2007) Sedimentation Engineering. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 110. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.

Rojas, N (2011) Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, Instituto Meteorológico Nacional, San José.

Rojas, N (2011) Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas mecánicas. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, Instituto Meteorológico Nacional, San José.

Solano, J., Villalobos, R. (2001). Aspectos fisiográficos aplicados a un bosquejo de regionalización geográfico climático de Costa Rica. Tópicos de Meteorología y Oceanografía, 8(1):26-39,2001. San José.

Viessman, W., Lewis, G.L. (2003) Introduction to Hydrology. 5ª Edición. Prentice Hall, New Jersey.

Otras referencias no bibliográficas:

Google Earth (software gratuito basado en internet)

Google Maps, maps.google.com

Instituto Geográfico Nacional, hojas cartográficas escala 1:50 000

Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Atlas Digital de Costa Rica 2008

SNIT, cartografía escala 1:5000

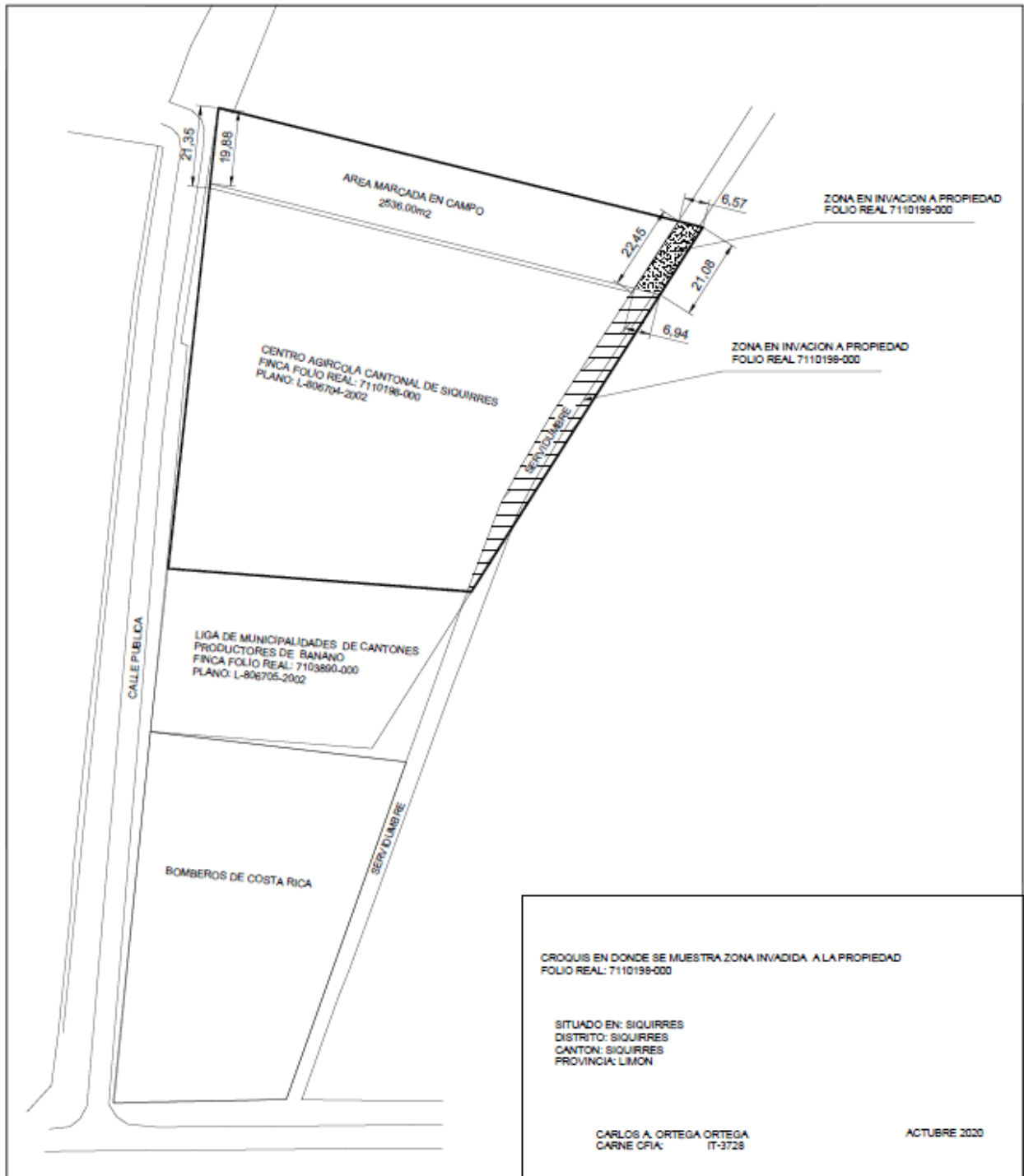
ANEXOS

- 1) Anexo 1: Copia del plano de catastro
- 2) Anexo 2: Croquis de replanteo de porción de terreno a desarrollar
- 3) Anexo 2: Diseño de sitio preliminar

ANEXO 1: COPIA DEL PLANO DE CATASTRO



ANEXO 2: CROQUIS DE REPLANTEO DE PORCIÓN DE TERRENO A DESARROLLAR



ANEXO 3: DISEÑO DE SITIO PRELIMINAR

