

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

PROYECTO: “NUEVO EDIFICIO DE LA POLICÍA PENITENCIARIA Y CONSTRUCCIÓN DE ESPACIOS DE ALOJAMIENTO PARA LA POBLACIÓN PRIVADA DE LIBERTAD POR DELITOS POR CRIMEN ORGANIZADO EN EL CAI JORGE ARTURO MONTERO CASTRO”

LOCALIZACIÓN: Provincia: Alajuela **Cantón:** Alajuela **Distrito:** San Rafael

DESARROLLADOR: ESTADO-MINISTERIO DE JUSTICIA Y PAZ/2-100-042006

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

Nombre del profesional: Luis Ricardo López Rojas

Número de cédula: 2-0578-0459 **Número de colegiado:** IC-24759

Registro SETENA: CI-076-13 Vigencia: 26-02-2021

DOCUMENTO DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

El suscrito **Luis Ricardo López Rojas**, portador(a) de la cédula de identidad número **2-0578-0459**, 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: **“Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria y Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro”**, el cual se desarrollará en el plano catastrado número: **A-151437-1993**, finca número: **2-38105-000**.

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.

Firma del profesional responsable

Fecha de emisión: 03/12/2020

1. Tabla de Contenido

DOCUMENTO DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL	1
1. TABLA DE CONTENIDO	2
2. RESUMEN	4
2.1. RESUMEN DE RESULTADOS	4
2.2. RESUMEN DE CONCLUSIONES TÉCNICAS	6
3. INTRODUCCIÓN	9
3.1. DATOS SOBRE LA FINCA ESTUDIADA	9
3.2. RESUMEN DEL PROYECTO	13
3.3. COORDINACIÓN PROFESIONAL REALIZADA.....	13
3.4. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	15
3.5. METODOLOGÍA APLICADA PARA LLEVARLO A CABO.	15
4. TRABAJO REALIZADO	18
4.1. ASPECTOS HIDROLÓGICOS BÁSICOS DEL AP	18
4.2. MEMORIA DE CÁLCULO.....	19
4.2.1. CONDICIÓN ACTUAL AID	19
4.2.1.1. CONDICIÓN ACTUAL AID - DESARROLLO NUEVO EDIFICIO DE LA POLICÍA PENITENCIARIA.....	19
4.2.1.2. CONDICIÓN ACTUAL AID - CONSTRUCCIÓN DE ESPACIOS DE ALOJAMIENTO PARA LA POBLACIÓN PRIVADA DE LIBERTAD POR DELITOS POR CRIMEN ORGANIZADO.....	20
4.2.2. CONDICIÓN POSTPROYECTO AID.....	22
4.2.2.1. CONDICIÓN POSTPROYECTO AID - DESARROLLO NUEVO EDIFICIO DE LA POLICÍA PENITENCIARIA	22
4.2.2.2. CONDICIÓN POSTPROYECTO AID - ESPACIOS DE ALOJAMIENTO PARA LA POBLACIÓN PRIVADA DE LIBERTAD POR DELITOS POR CRIMEN ORGANIZADO	23
4.2.3. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PONDERADO	24
4.2.4. INTENSIDAD DE LLUVIA	26
4.2.5. PERIODO DE RETORNO.....	27
4.2.6. DURACIÓN DE LA TORMENTA O EL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	27
4.2.7. CAUDAL DE ESCORRENTÍA.....	27
5. RESULTADOS HIDROLÓGICOS OBTENIDOS PARA EL AP.....	29
5.1. DETERMINACIÓN ÁREA TRIBUTARIA DE DRENAJE DEL PROYECTO	29
5.2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	31
5.3. INTENSIDAD DE LLUVIA.....	33
5.4. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA PONDERADO	33
5.4.1. CONDICIÓN PREPROYECTO	33

5.4.2.	CONDICIÓN POSTPROYECTO	34
5.5.	CAUDAL MÁXIMO DE DISEÑO DE LA CONDICIÓN PREPROYECTO Y POSTPROYECTO	36
5.5.1.	CAUDAL MÁXIMO DISEÑO EN EL ÁREA TRIBUTARIA DE DRENAJE PARA EL DESARROLLO DEL EDIFICIO POLICÍA PENITENCIARIA	36
5.5.2.	CAUDAL MÁXIMO DISEÑO EN EL ÁREA TRIBUTARIA DE DRENAJE PARA EL DESARROLLO DE LOS ESPACIOS DE ALOJAMIENTO PARA LA POBLACIÓN PRIVADA DE LIBERTAD POR DELITOS POR CRIMEN ORGANIZADO	37
5.6.	VALORACIÓN DE CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LA INFRAESTRUCTURA PLUVIAL EXISTENTE Y ENTORNO HIDROLÓGICO	38
5.6.1.	INFRAESTRUCTURA PLUVIAL EXISTENTE PARA EL DESFOGUE PLUVIAL DEL EDIFICIO POLICÍA PENITENCIARIA	38
5.6.2.	VALORACIÓN CAPACIDAD HIDRÁULICA RÍO VIRILLA-SECTOR EDIFICIO POLICÍA PENITENCIARÍA..	41
5.6.3.	INFRAESTRUCTURA PLUVIAL EXISTENTE PARA EL DESFOGUE PLUVIAL LOS ESPACIOS DE ALOJAMIENTO PARA LA POBLACIÓN PRIVADA DE LIBERTAD POR DELITOS POR CRIMEN ORGANIZADO. ..	42
5.6.4.	VALORACIÓN CAPACIDAD HIDRÁULICA RÍO VIRILLA-SECTOR ESPACIOS DE ALOJAMIENTO PARA LA POBLACIÓN PRIVADA DE LIBERTAD POR DELITOS POR CRIMEN ORGANIZADO.....	46
6.	ANÁLISIS DE ZONAS DE RIESGO POTENCIAL DE INUNDACIÓN A TRAVÉS DE LA CNE.	47
7.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES HIDROLÓGICAS	49
7.1.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	49
7.1.1.	DISCUSIÓN Y CERTIFICACIÓN SOBRE LA VIABILIDAD DE LA ACTIVIDAD, OBRA O PROYECTO DESDE EL PUNTO DE VISTA HIDROLÓGICO.	49
7.1.2.	RECOMENDACIÓN SOBRE LAS MEDIDAS MITIGATORIAS QUE SEA NECESARIO IMPLEMENTAR EN EL DISEÑO CUANDO SEAN NECESARIAS.	52
8.	DISCUSIÓN SOBRE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO.....	54
8.1.	APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS.	54
8.2.	TAREAS PENDIENTES PARA FASES POSTERIORES DEL PROYECTO.	55
8.3.	INCERTIDUMBRES NO RESUELTAS.....	55
9.	CONCLUSIÓN GENERAL SOBRE LA VIABILIDAD HIDROLÓGICA DEL TERRENO EN VIRTUD DE LA OBRA A DESARROLLAR.	56
10.	BIBLIOGRAFÍA	59
11.	ANEXOS	60
11.1.	PLANO CATASTRO.	60
11.2.	DISEÑO DE SITIO CON TABLA DE ÁREAS NUEVO EDIFICIO DE LA POLICÍA PENITENCIARIA CAI JORGE ARTURO MONTERO CASTRO.....	61
11.3.	DISEÑO DE SITIO CON TABLA DE ÁREAS ESPACIOS DE ALOJAMIENTO PARA LA POBLACIÓN PRIVADA DE LIBERTAD POR DELITOS POR CRIMEN ORGANIZADO EN EL CAI JORGE ARTURO MONTERO CASTRO	62

2. Resumen

2.1. Resumen de resultados

En la condición preproyecto se obtuvo un coeficiente de escorrentía ponderado para **El Área Tributaria de Drenaje del Edificio de la Policía Penitenciaria** de **0.48** y de **0.75** para la condición postproyecto, quiere decir que sufrió un incremento de 0.27. Mientras que para la condición preproyecto del Área Tributaria de Drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado se obtuvo **0.45** y para la condición postproyecto se obtuvo **0.59**, aumentando en 0.14. Cabe señalar que lo anterior lo que refleja es que el desarrollo del proyecto no implica la impermeabilización de gran cantidad de área verde, sino que mucha de esta seguirá siendo grama natural.

El periodo de retorno se determinó para 25 años debido a que es un proyecto de interés del estado, que son edificaciones que deben tener una seguridad importante, que se encuentra dentro de las zonas con mayor intensidad de precipitación y porque el área de influencia directa es de 81 050.37 m². **El tiempo de concentración se definió en 10 minutos** ya que el cálculo por el método de Kirpich dio como resultados de 5.48 minutos para el Área tributaria de drenaje del Edificio Policía Penitenciaria y de 5.87 minutos para Área tributaria de drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado. Se obtuvo una **intensidad de la lluvia de diseño de 194.70 mm/hr**, a través de la ecuación de intensidad de lluvia Intensidad – duración - frecuencia para el Valle Central, propuesta por el Ing. Rafael Murillo Muñoz y el Ing. Rafael Oreamuno Vega en el VI Congreso Nacional de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, tomando como base los datos de la Estación del Aeropuerto Juan Santamaría.

Según análisis de las zonas potenciales de inundación a través de los datos de la Comisión Nacional de Emergencias, El Centro Penal en toda su extensión colinda al sur con el río Virilla. Las AID por desarrollar se ubican entre 200 y 300 m de distancia del cauce. El río Virilla no se encuentra dentro de la lista de cauces causantes de

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

inundación. El sitio Reforma tampoco se encuentra dentro de las zonas o barrios con riesgo de inundación. Existen aportes externos que actualmente se encuentran controlados. Internamente existe infraestructura pluvial con capacidad adecuada para el manejo de la escorrentía. Se descarta la posibilidad de riesgo de inundación para ambas AID según el entorno valorado el día de la inspección y con respecto a lo evaluado en el presente estudio.

Los terrenos o AID desfogon por escorrentía natural a dos sitios diferentes a través de infraestructura pluvial existente. El Área Tributaria de Drenaje del Edificio de la Policía Penitenciaria de 7492.52 m² con un aporte externo de por medio ya contemplado dentro de este valor, desfoga la escorrentía pluvial a un canal que conecta con un entubado de 1.10 m de diámetro para posteriormente ser trasladado al cauce del río Virilla. El caudal de escorrentía de preproyecto es de 194.51 l/s mientras el de postproyecto es de 303.92 l/s, para un incremento de 109.41 l/s, mismo que representa un 56.25% de más respecto al caudal de preproyecto.

Según análisis hidráulico tanto el canal, el entubado y la sección del río cuentan con la suficiente capacidad hidráulica para recibir el incremento de la escorrentía pluvial. El canal cumple con capacidad hidráulica suficiente para recibir el aumento de la escorrentía por la construcción de esta edificación ya que el tirante se ubica entre 0.20 y 0.27 metros de una altura total de canal que varía entre 0.90 y 1.10 metros. El entubado cumple con capacidad hidráulica suficiente para recibir el aumento de la escorrentía por la construcción de esta edificación, ya que el tirante de agua llega a 0.31 m de 1.10 m del diámetro, lo cual significa una ocupación de la alcantarilla del 28%, siendo el máximo permitido un 85% del diámetro. Se realiza la recomendación de revestir de concreto el canal en tierra debido a que la velocidad del canal se considera erosiva por lo que se debe evitar con esa medida el arrastre de sedimentos aguas abajo. No obstante, debido a la capacidad de la infraestructura instalada y de la capacidad de la sección el río Virilla esto no representa un impacto significativo en los niveles de agua dicha infraestructura pluvial ni del cauce receptor.

Actualmente el Área Tributaria de Drenaje del terreno para el desarrollo de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, aporta ante una avenida máxima un caudal de **1843.81 litros/segundo**. Mientras que para la condición postproyecto lo haría con un caudal de **2417.43 litros/segundo**. El incremento en la escorrentía pluvial por la construcción de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en este terreno es de 573.63 litros/segundo, lo cual representa un aumento del 31.11% respecto a la condición de preproyecto. La infraestructura pluvial que recibe y recibirá la escorrentía pluvial posterior a la construcción de estas obras es un canal triangular de 1.30 m de ancho en la parte superior y una altura al centro de 0.70 m, el cual traslada la escorrentía pluvial hasta un cabezal con una tubería en 2 metros de diámetro en donde precisamente confluyen varios flujos de agua de lluvia de diversas áreas que operan del CAI. Cabe recalcar que si esta canal solo recibiera el caudal de postproyecto de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado tendría capacidad suficiente, sin embargo, al existir un área desarrolla colindante que aporta caudal desde hace varios años, se realiza el cálculo para la totalidad del caudal el cual es de 3.08 m³/s, situación que puso en evidencia la falta de capacidad del canal asumiendo dicho escenario, ya que por la construcción de las nuevas obras, el tirante de agua alcanzaría un nivel de 0.7537 metros y la altura del canal es de 0.7 metros. Por eso se recomendó conectar dicho Canal A con el canal B de la misma sección que va paralelo a la calle, pero del otro lado de esta. La medida planteada trasladará parte de la escorrentía al Canal B, disminuyendo considerablemente el tirante de agua en dicho canal de desfogue. Cabe señalar que el Canal B tiene asignada menos área tributaria, por ende, cuenta con la capacidad suficiente para recibir parte del aumento de caudal de escorrentía por la construcción de las obras.

2.2. Resumen de conclusiones técnicas

El área de proyecto es un área impactada con algunas superficies impermeables, con infraestructura pluvial existente y en actual operación pues es uno de los Centros Penales de mayor importancia en Costa Rica. Dentro de las AID se realizan

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

actividades agropecuarias, agrícolas, de recreación y de vigilancia. Se ubican algunas cubiertas de techo las cuales corresponden a un corral, una pequeña bodega y una caseta de vigilancia. La infraestructura pluvial instalada en el Complejo La Reforma mediante algunas mejoras menores, presentaría las condiciones adecuadas para recibir y conducir el incremento en la escorrentía pluvial producto del desarrollo del proyecto. El incremento en la escorrentía pluvial no representa un impacto significativo en los niveles de agua de la existente infraestructura pluvial ni del cauce receptor. El diseño propuesto para ambas edificaciones garantiza la permanencia de un porcentaje significativo de zonas verdes, el cual es del 25.65% para el área del Edificio Penitenciario y de 72.51% para el área de Espacios de alojamiento para los privados de libertad. El aumento de la escorrentía pluvial no representa un impacto significativo en los niveles de agua dicha infraestructura pluvial ni del cauce receptor. Por ende, se puede indicar que el impacto generado por la escorrentía estará controlado.

Según análisis de las zonas potenciales de inundación a través de los datos de la CNE, las AID por desarrollar se ubican entre 200 y 300 m de distancia del cauce. El río Virilla no se encuentra dentro de la lista de cauces causantes de inundación. El sitio Reforma tampoco se encuentra dentro de las zonas o barrios con riesgo de inundación

Par la construcción del Edificio Policía Penitenciaria se recomienda que el canal de tierra que atraviesa el área de proyecto sea revestido de concreto para evitar el efecto erosivo que provoca la velocidad de la escorrentía arrastrando sedimentos aguas abajo. Se recomienda darle mantenimiento periódico al alcantarillado que recibe y traslada hasta el río Virilla el caudal de escorrentía generado por la construcción del Edificio Policía Penitenciaria. La boca de la alcantarilla debe estar libre de objetos, ramas, basura y otros la boca de la alcantarilla, ya que con esto reduce su capacidad hidráulica.

Para la construcción de los Espacios de alojamiento de la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, se recomienda realizar una conexión

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

entre el canal de sección triangular que recibirá la escorrentía (Canal A) y el otro canal de la misma sección que va paralelo a la calle asfaltada (Canal B). La solicitud se realiza debido a que se determinó mediante un análisis hidráulico que el canal colindante con este proyecto (Canal A) no cuenta con la capacidad hidráulica suficiente para recibir el incremento debido a que hoy día recibe escorrentía de un área anexa al AP por desarrollar. Sin embargo, sabiendo que la infraestructura pluvial existente cuenta con capacidad, se considera prudente trasladar al otro canal (Canal B) una parte del volumen de escorrentía, ya que este segundo canal recibe menos escorrentía pluvial pues tiene menos área tributaria asignada para el desfogue de la escorrentía. Esta medida beneficiará significativamente la capacidad hidráulica del canal colindante con la AP.

Es importante además que el Canal A que servirá como punto inicial de desfogue del área de proyecto para la construcción de Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, sea completado hasta el punto final de desfogue pluvial, ya que existe un tramo de aproximadamente 15 m pendientes de construcción por lo que el agua actualmente escurre libremente entre la calle y la ronda hasta alcanzar el punto bajo el cual es un tragante y una alcantarilla de 2 m de diámetro. Es indispensable que la escorrentía generada por la construcción del proyecto sea correctamente canalizada y llevada de forma óptima hasta un cuerpo receptor.

De esta forma, basado en los resultados, propuestas de mejoras y análisis de capacidad del sistema pluvial en funcionamiento y valoración cauce del río Virilla, se concluye que el desarrollo del proyecto "Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria y Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro" no generaría un impacto significativo en el ambiente hidrológico de la zona, en los niveles de agua de la infraestructura existente, ni del cauce receptor. Por ende, desde el punto de vista hidrológico se considera viable la construcción y operación de ambas edificaciones.

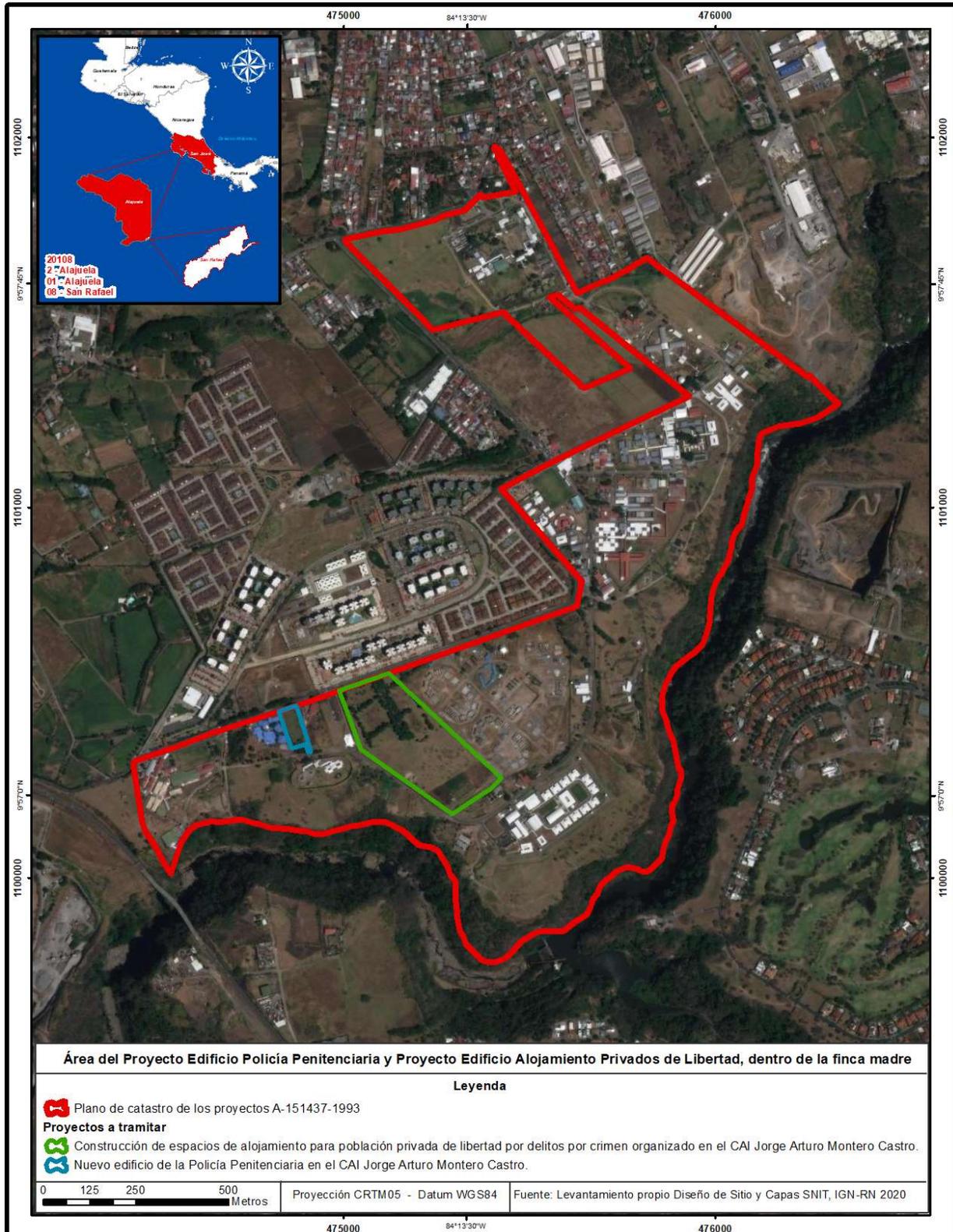
3. Introducción

3.1. Datos sobre la finca estudiada

El proyecto **“Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria y Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro”** se realizará en el terreno plano catastro: A-151437-1993, finca folio real: 2-38105-000 la cual presenta un área de 1 134 900.87 m² en el cual está situado el CAI Jorge Arturo Montero Castro, conocido como Complejo Occidente, sitio: La Reforma, distrito: San Rafael, cantón y provincia de Alajuela, propiedad del Estado-Ministerio de Justicia y Paz. El AID donde se construirá el Edificio de la Policía Penitenciaria con un A=5290.52 m², se ubica en las coordenadas CRTM: 214995.417 N y 511206.759 E. Mientras que el AID para la Edificación de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado con un A=75 759.85 m², se ubica en las coordenadas CRTM: 215085.776 N y 511475.042 E **(Ver figuras 1 y 2)**.

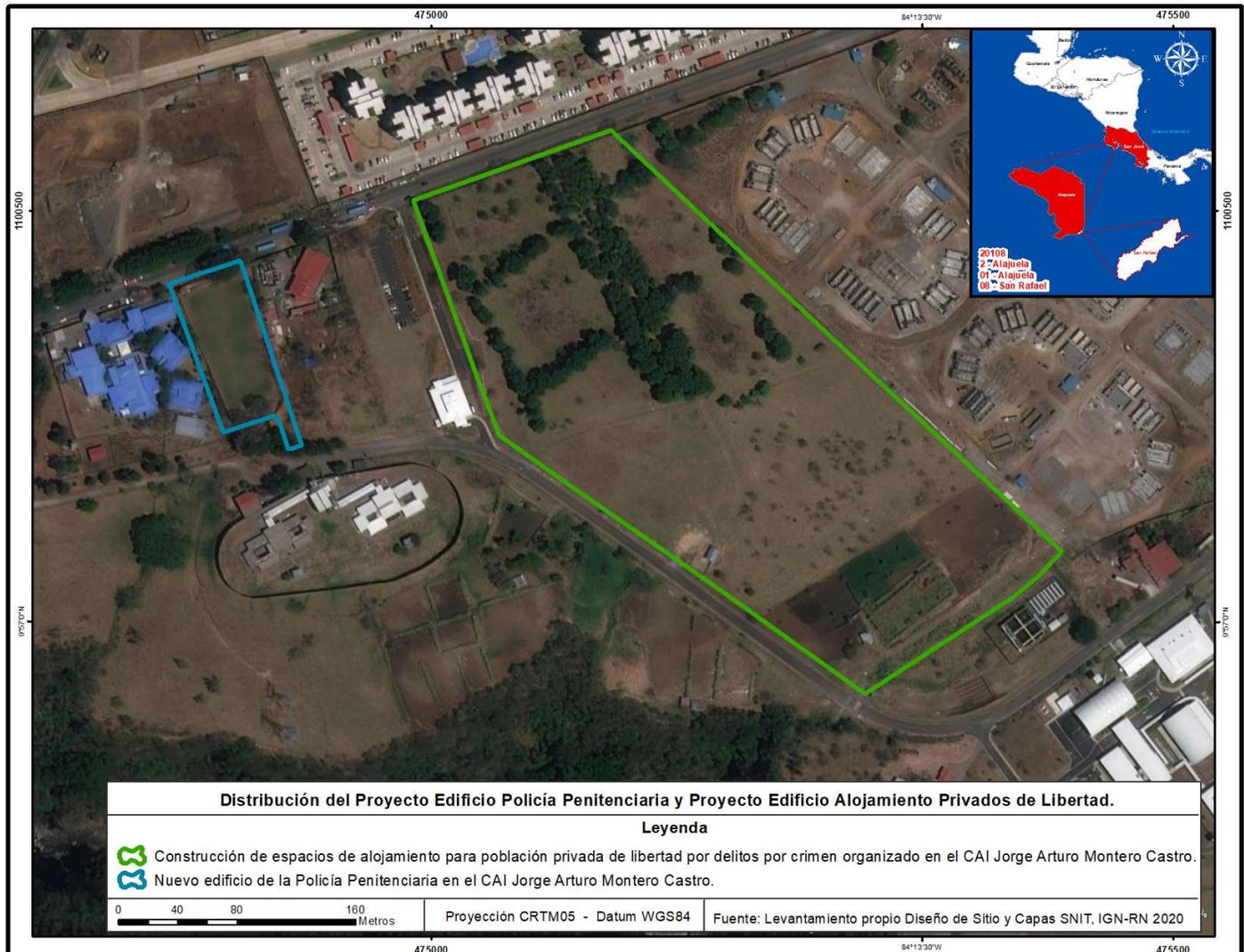
El terreno que se utilizará para la construcción del Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria es de topografía plana ya que actualmente es una plaza de fútbol. Mientras que el terreno donde se construirá la Edificación de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, presenta una inclinación hacia el sur entre el 1% y 5% **(Ver fotografías 1 y 2)**.

Figura 1. Ubicación de la finca del CAI Jorge Arturo Montero Castro y las respectivas áreas de influencia directas del proyecto.



Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

Figura 2. Ubicación de las AID del proyecto



Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

Fotografía 1: Vista AID-Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria



Fotografía 2: Vista AID-Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro



3.2. Resumen del proyecto

El Edificio de la Policía Penitenciaria tendrá un área constructiva interna de 1498.61 m² distribuida en 2 niveles, caseta de control de ingreso de 12.17 m², aceras de 771.23 m², parqueo de 788.41 m² y calle de acceso de 1047.32 m², **para un total de 4117.74 m²**. La edificación con espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, consiste en la construcción de dormitorios para la policía con un área de 474.96 m², gimnasio de 1223.73 m², área de ingreso de 554.82 m², área de recepción de 110.90 m², ingreso de visitas de 1140.75 m², bodega de 594.59 m², esclusa de 164.22 m², caseta de ingreso de 29.93 m², ingreso PL de 655.96 m², fortín de ingreso de 17.20 m², fortín módulos 157.44 m², módulos alojamiento 8481.76 m², área técnica de 2091.08 m², pasillo techado de 1707.38 m² y calles internas de 3421.87 m², **para un total de 20826.59 m²**. **El total de área constructiva del proyecto tomando en cuenta ambas edificaciones es de 24944.33 m²**

3.3. Coordinación profesional realizada

Con el presente estudio se suministra la información hidrológica básica del área tributaria del proyecto por desarrollar, con la cual se determina el aumento de la escorrentía pluvial producto del desarrollo del proyecto, analizando su impacto en el ambiente y el alcantarillado o infraestructura pluvial existente que recibirá el incremento de la escorrentía.

Para lo anterior se realizan los cálculos hidrológicos de dos tipos de situaciones:

1. Situación pre-proyecto.
2. Situación post-proyecto.

La situación pre-proyecto consiste en realizar los cálculos hidrológicos basados en la situación actual, antes de la ejecución y operatividad del proyecto, por ende, sin que aún sean impermeabilizados los terrenos o AID destinados para el proyecto de interés.

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

Para ello se realizó una visita de campo en la que se observó la condición actual de cobertura del suelo, así como la presencia de los sistemas de desfogue pluvial perimetrales y la existencia de aportes externos debido a escorrentía natural por topografía de áreas anexas al AP.

Dicha visita fue llevada a cabo el 10 de noviembre del presente año mediante previa coordinación y autorización del Patronato de Construcciones, Instalaciones y Adquisición de Bienes del Ministerio de Justicia y Paz, específicamente con el ingeniero Diego Venegas Sandí como Gestor Ambiental de dicho departamento.

En la inspección se encontró que ambas AID destinadas para cada una de las fases se encuentran a una distancia una de la otra de aproximadamente 300 metros lineales, las mismas presentan cobertura de pastos, árboles frutales y arbustos. Siendo más específico el Edificio de la Policía Penitenciaria con un área de terreno o AID de 5290.52 m² para su desarrollo es hoy día una plaza de fútbol de grama natural. Mientras que el área de terreno o AID de 75 759.85 m² destinada para la construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad presenta cobertura de pastos, árboles frutales, arbustos y un corral de aproximadamente 15 m² de cubierta de techo. Ambas áreas de impacto directo presentan pendiente hacia el sur precisamente hacia el cauce del río Virilla.

La situación post-proyecto consiste en realizar los cálculos hidrológicos, evaluando el escenario la etapa operativa del proyecto: **“Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria y Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro”**, ya que los cambios que podrían generarse producto de la ejecución del proyecto cambiarían significativamente las condiciones actuales del uso de los terrenos y AID, pues la escorrentía pluvial incrementaría producto de la impermeabilización de suelo.

3.4. Objetivos del estudio

- i. Estudiar la situación actual del terreno sobre el cual se pretende desarrollar el proyecto.
- ii. Estimar el incremento de la escorrentía pluvial producto de la ejecución del proyecto y por ende el impacto que éste genera en el medio ambiente.
- iii. Determinar si el proyecto se encuentra localizado dentro de un área calificada como zona de riesgo por la Comisión Nacional de Emergencias del país, o dentro de un valle de inundación según su ubicación y cuerpos de agua colindantes.
- iv. Verificar la capacidad del cuerpo de agua o infraestructura existente que recibiría el aporte extra producto de la construcción del proyecto.
- v. Proponer medidas de mitigación respecto al manejo y control de la escorrentía pluvial si así se requiere.

3.5. Metodología aplicada para llevarlo a cabo.

A continuación, se muestra un esquema de la metodología seguida para elaborar la memoria de cálculo, con la cual se estima el exceso de escorrentía generado por la construcción del proyecto: **Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria y Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro.**

Figura 3. Metodología



En primera instancia se realizó un estudio preliminar con la información disponible, tal como la ubicación del terreno, el plano de catastro, información registral asociada al mismo y datos meteorológicos disponibles para la zona; con los cuales se realizará más adelante el análisis para determinar el incremento o no en la escorrentía pluvial producto de la ejecución del proyecto.

Una vez determinada dicha información se procedió a realizar visita de campo, en donde se observaron las condiciones actuales del área de proyecto como cobertura, uso actual, topografía, aportes externos de escorrentía pluvial, infraestructura pluvial dentro del CAI Jorge Arturo Montero Castro, manejo de aguas pluviales, terrenos o áreas colindantes propiedad de terceros, cierres perimetrales y cercanía a ríos y quebradas.

Con la información recolectada en la visita se procedió a caracterizar el área de estudio, de forma que, junto con la información bibliográfica, se pudo determinar un valor asociado con el coeficiente de escorrentía para la situación pre-proyecto. En cuanto al coeficiente de escorrentía de post-proyecto se determinó recurriendo a la información planteada por el desarrollador para la ejecución del proyecto en cuanto a diseño de sitio, tabla de áreas y tipo cobertura propuesta para cada una de las obras y edificaciones.

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

Con la información meteorológica recolectada de diversa bibliografía, se procedió a determinar el tiempo de concentración y la intensidad de lluvia que podría presentarse en el sitio del proyecto dentro de un determinado periodo de retorno.

Finalmente, con la intensidad de lluvia, área tributaria de drenaje definida para cada AID y coeficientes de escorrentía pluvial, se logra estimar el caudal de escorrentía para la situación pre-proyecto y post-proyecto, con lo cual se analiza el impacto sobre el medio ambiente e infraestructura pluvial existente dentro del CAI.

4. Trabajo realizado

En la siguiente sección se recompila información metodológica y teórica utilizadas para el análisis de escorrentía en el sitio del proyecto.

4.1. Aspectos hidrológicos básicos del AP

Los cálculos hidrológicos del área de drenaje pluvial del proyecto se realizan para la situación pre-proyecto y post-proyecto, estimando el incremento de la escorrentía pluvial producto del desarrollo del proyecto y el impacto en el medio ambiente y entorno cercano.

Debido a la existencia de Estaciones Meteorológicas del Valle Central del Instituto Meteorológico Nacional, haremos uso de la más cercana al área de proyecto, la cual se encuentra localizada en el Aeropuerto Juan Santamaría a 4.75 Km del CAI Jorge Arturo Montero Castro, conocido como Complejo Occidente La Reforma. Con los datos meteorológicos de la misma se determina la intensidad de precipitación ya que esta forma parte de las variables para calcular el caudal generado por el área tributaria de drenaje del proyecto.

El AP y por ende las áreas por desarrollar pertenecen a la cuenca del río Virilla, el cual de hecho es colindante con la finca del CAI Jorge Arturo Montero Castro. Aguas abajo, el río Virilla vierte sus aguas en el río Grande de Tárcos, el cual es parte del régimen de precipitación de la Vertiente del Pacífico. Cabe señalar que la cuenca del río Virilla es de las importantes del país ya que drena el mayor porcentaje de las aguas de escorrentía pluvial del Gran Área Metropolitana.

La temporada de lluvia tarda alrededor de 9 meses y va regularmente desde marzo a enero. Siendo setiembre el mes en el que cae más lluvia con una acumulación total promedio de 168 milímetros. Los meses más secos son de enero a abril. La temperatura promedio en la zona es de 22.3°.

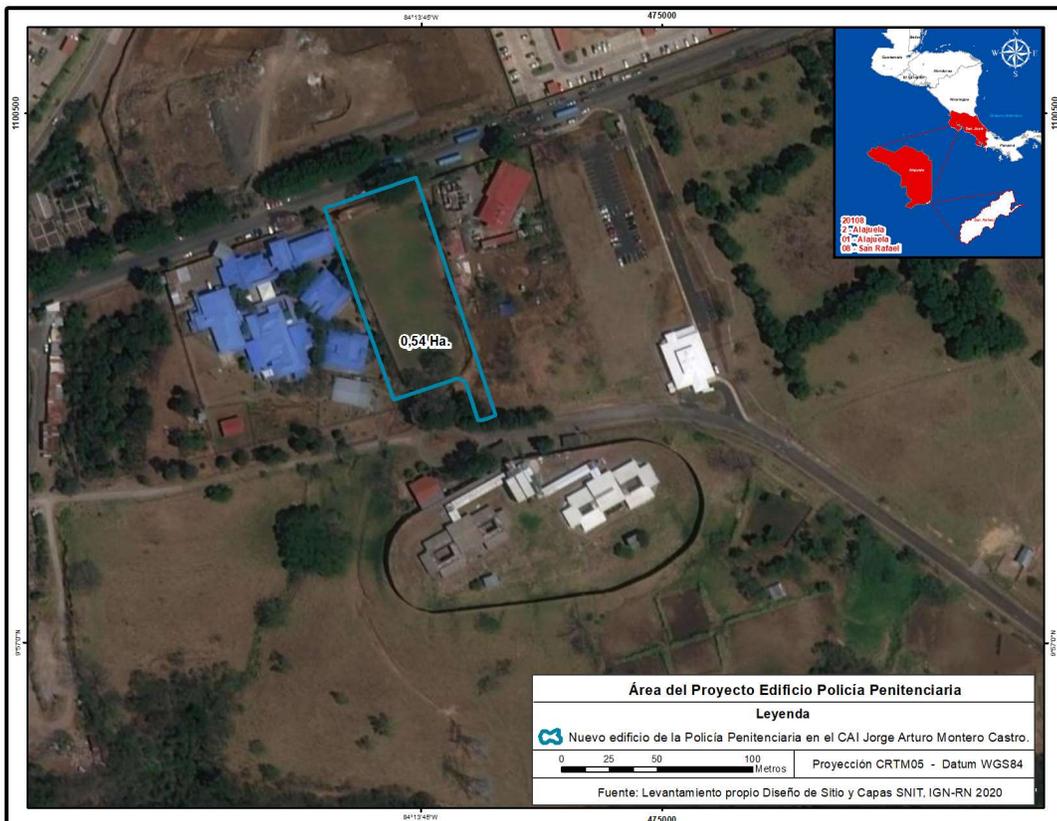
4.2. Memoria de cálculo

4.2.1. Condición actual AID

4.2.1.1. Condición actual AID - Desarrollo Nuevo Edificio de la Policía Penitenciaria

El AID que se utilizará para la construcción del Nuevo Edificio de la Policía Penitenciaria es de topografía plana ya que actualmente es una plaza de fútbol de grama natural. Alrededor se observan algunos árboles y una caseta de vigilancia. El **área total de esta AID es de 5290.52 m²** (ver figura 4 y fotografía 3).

Figura 4. Vista aérea condición preproyecto AID-Desarrollo Nuevo Edificio de la Policía Penitenciaria.



Fotografía 3: Condición Actual AID-Desarrollo Nuevo Edificio de la Policía Penitenciaria.

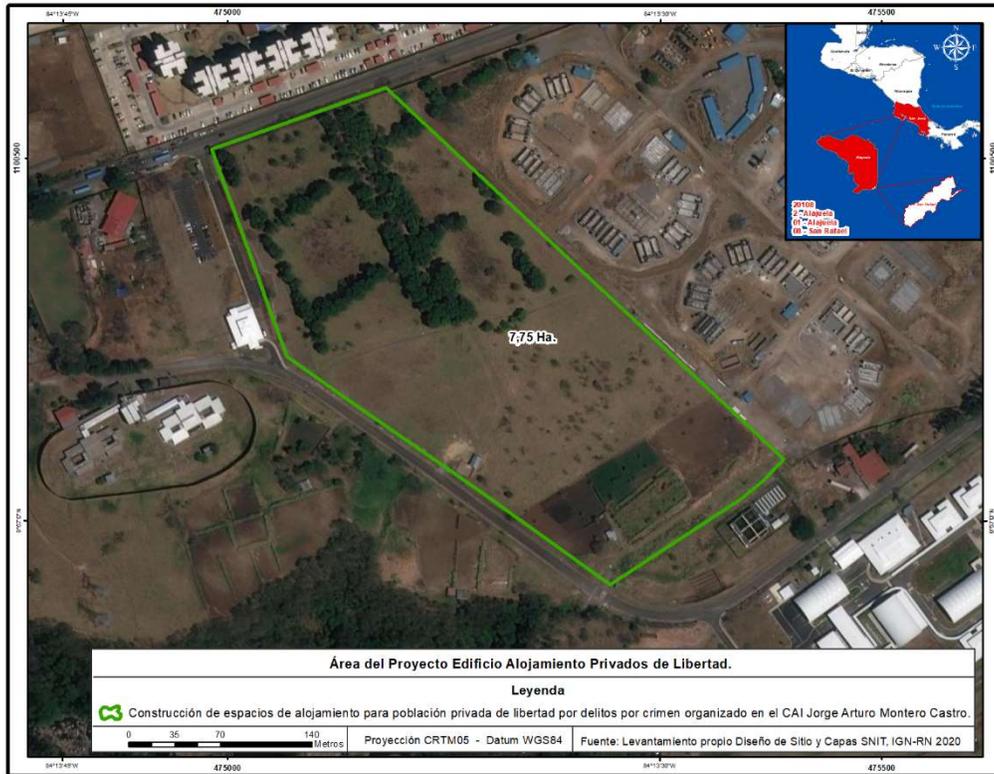


4.2.1.2. Condición actual AID - Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado

El terreno donde se construirá la Nueva edificación de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, **presenta un área total de 75 759.85 m²**, la cual se tomará como el área tributaria de drenaje para el cálculo de caudal de escorrentía pluvial pre y postproyecto, pues no presenta aportes externos. El área de desarrollo tiene una inclinación hacia el sur entre el 1% y 5%. Su uso hoy día es agropecuario, ya que se observan pastizales con una altura promedio de 40 cm, un corral, caballos y algunas reses. Además de una zona sembrada de árboles de Mango (**ver figura 5 y fotografías 4, 5, 6 7, 8 y 9**).

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

Figura 5. Vista aérea condición preproyecto AID - Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado



Fotografías 4, 5, 6, 7, 8 y 9: Condición Actual AID- Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado



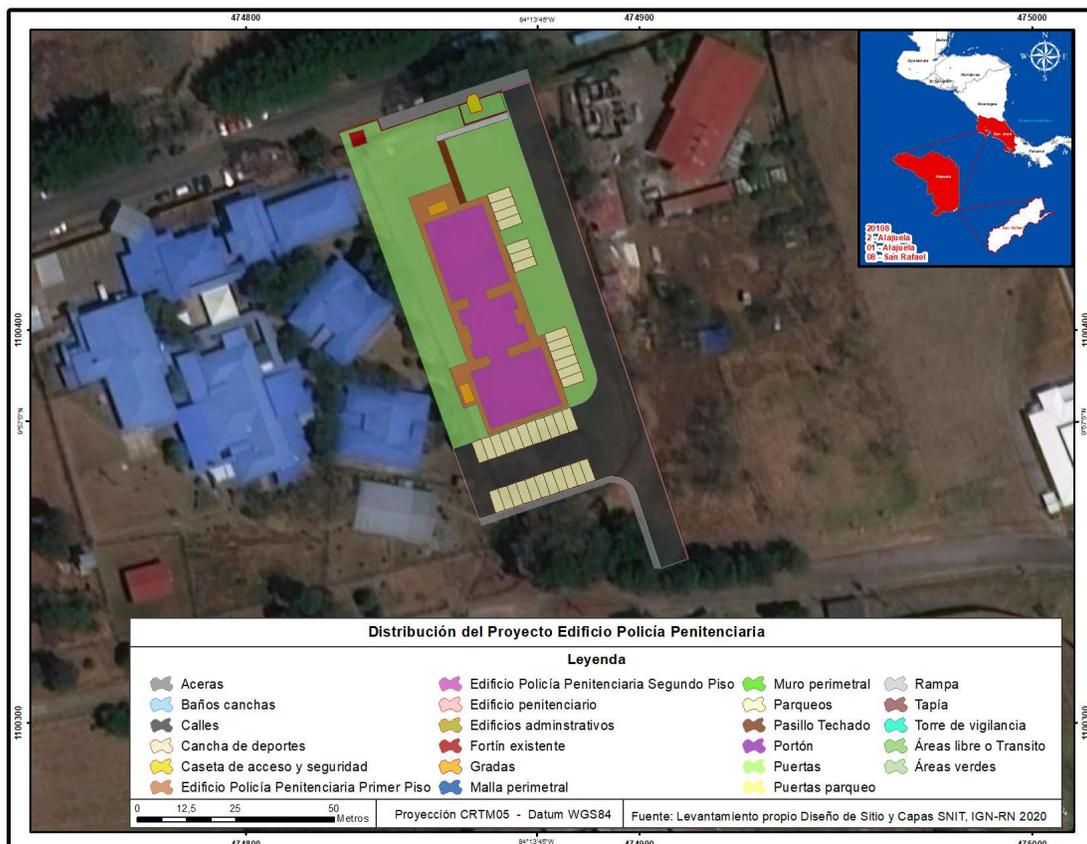
4.2.2. Condición postproyecto AID

Dicha condición se ve determinada por las características definidas por el desarrollador y propietario del proyecto en la etapa de diseño. Por ende, para definir la huella y cobertura del proyecto se utilizaron los archivos en formato DWG aportados, así como las láminas de diseño de sitio con tabla de áreas.

4.2.2.1. Condición postproyecto AID - Desarrollo Nuevo Edificio de la Policía Penitenciaria

El Edificio de la Policía Penitenciaria tendrá un área constructiva interna de 1498.61 m² distribuida en 2 niveles, caseta de control de ingreso de 12.17 m², aceras de 771.23 m², parqueo de 788.41 m² y calle de acceso de 1047.32 m², **para un total de 4117.74 m²** en un área de terreno o **AID de 5290.52 m²**, por lo que el área cubierta se estima en un 64% (ver figura 6).

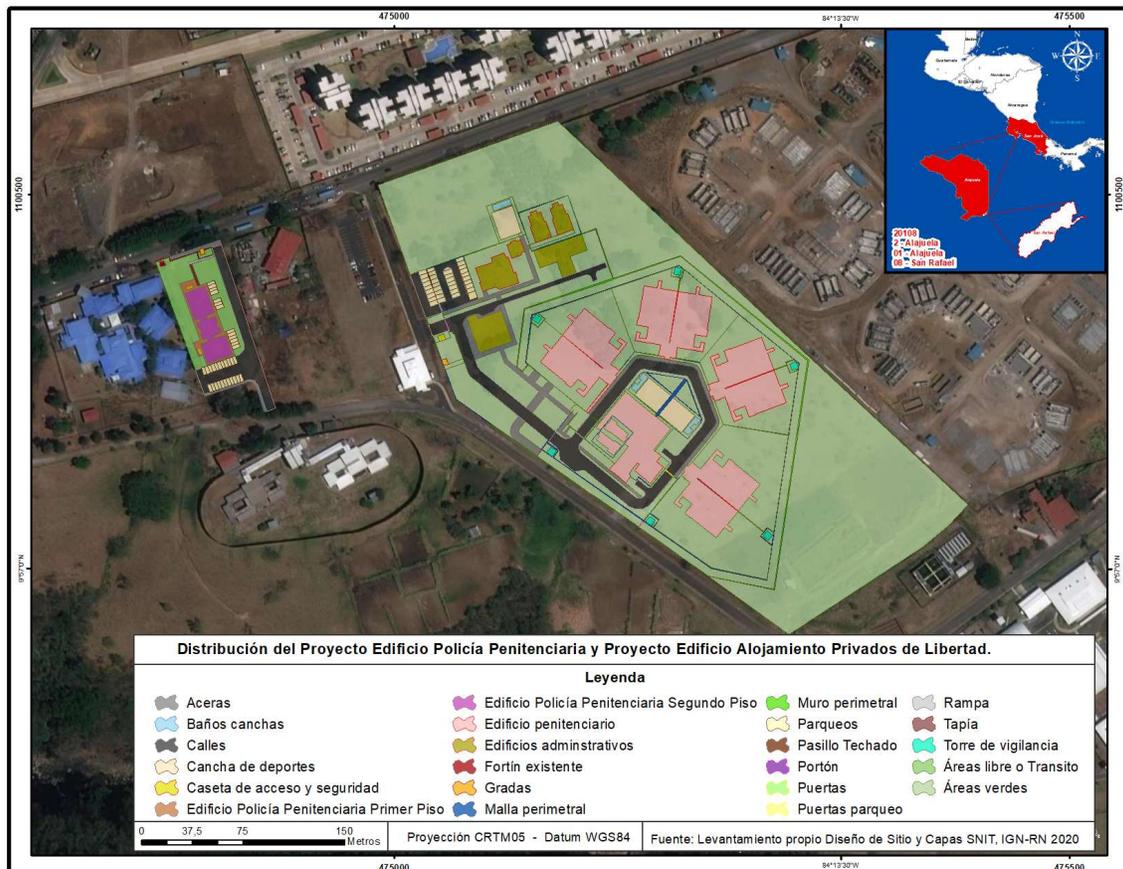
Figura 6. Condición postproyecto AID - Desarrollo Nuevo Edificio de la Policía Penitenciaria.



4.2.2.2. Condición postproyecto AID - Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado

La edificación con espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, consiste en la construcción de dormitorios para la policía con un área de 474.96 m², gimnasio de 1223.73 m², área de ingreso de 554.82 m², área de recepción de 110.90 m², ingreso de visitas de 1140.75 m², bodega de 594.59 m², esclusa de 164.22 m², caseta de ingreso de 29.93 m², ingreso PL de 655.96 m², fortín de ingreso de 17.20 m², fortín módulos 157.44 m², módulos alojamiento 8481.76 m², área técnica de 2091.08 m², pasillo techado de 1707.38 m² y calles internas de 3421.87 m², **para un total de 20826.59 m² de área constructiva** en un área de terreno o **AID de 75 759.85 m²**. Por lo que el porcentaje de área cubierta se estima en 27.50% (ver figura 7).

Figura 7. Condición postproyecto AID - Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado.



4.2.3. Coeficiente de escorrentía ponderado

Con el fin de determinar el grado de afectación generado por el incremento de la escorrentía se procedió a calcular el coeficiente asociado a las condiciones de preproyecto y postproyecto por medio de la siguiente ecuación.

$$C = \frac{\sum(C_i \cdot A_i)}{(A_T)}$$

Ecuación 1. Coeficiente de escorrentía ponderado

En donde:

- C : Coeficiente de escorrentía ponderado (adimensional).
- C_i : Coeficiente de escorrentía de los diferentes tipos de superficie (adimensional).
- A_i : Área de los diferentes tipos de superficie (m^2).
- A_T : Área total del terreno (m^2).

A partir **las condiciones pre y postproyecto**, fue posible determinar el coeficiente de escorrentía ponderado a través de la **Ecuación 1** para la condición post-proyecto y pre-proyecto respectivamente.

Para cada uno de los coeficientes de escorrentía ponderado se recurrió a la siguiente tabla, en donde se muestran los valores estimados según el tipo de superficie y su pendiente promedio (**ver tabla 1**).

Tabla 1. Coeficiente de escorrentía para distintas coberturas vegetales y pendientes de terreno

Cobertura Vegetal	Tipo de Suelo	Pendiente del Terreno (%)				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		>50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pasto - Vegetación Ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba - Grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosque - Vegetación densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Tipo de área	C	Tipo de Superficie	C		
Comercial céntrico	0.70 - 0.95	Sin Pavimentar	0.10 - 0.30		
Comercial periférico	0.50 - 0.70	Pavimentos	Asfálticos	0.85 - 0.90	
Oficinas comerciales	0.50 - 0.70		Mezclas bituminosas	0.90 - 1.00	
Industrial espaciada	0.50 - 0.80		Adoquinado	Ordinario	0.50 - 0.70
Industrial densa	0.60 - 0.90			Rejuntado	0.80 - 0.85
Residencial unifamiliar	0.30 - 0.50			Con Estancas	0.70 - 0.80
Residencial unifamiliar espaciado	0.40 - 0.60		Con Abiertas	0.60 - 0.70	
Residencial unifamiliar densa	0.60 - 0.75		Empedrado	Ordinario	0.15 - 0.30
Residencial semiurbana	0.25 - 0.40			De Mosaico	0.40 - 0.50
Deportivas	0.20 - 0.35		Macadán	Ordinario	0.25 - 0.50
Parques	0.20 - 0.35			Bituminoso	0.70 - 0.90
Estaciones ferrocarril	0.20 - 0.40		Hormigón	0.90 - 1.00	
Condominios	0.40 - 0.60		Ladrillo	0.70 - 0.95	
Apartamentos	0.60 - 0.80		Grava	0.20 - 0.30	
Cementerios	0.20 - 0.35		Techos	0.80 - 0.95	

Fuente: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2017-Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones

A partir **las condiciones pre y post-desarrollo citadas**, fue posible determinar el coeficiente de escorrentía ponderado a través de la **Ecuación 1** para la condición post-proyecto y pre-proyecto respectivamente.

4.2.4. Intensidad de lluvia

Se determina la intensidad de lluvia adecuada para el cálculo de la escorrentía, en la cual se consideren las características meteorológicas predominantes en el AP, así como un periodo de retorno adecuado según el tipo de proyecto que se pretende desarrollar. Para el caso del Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria y Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro y su ubicación, la intensidad de la lluvia de diseño se calcula mediante la **Ecuación 2: Intensidad – duración - frecuencia** para el Valle Central, propuesta por el Ing. Rafael Murillo Muñoz y el Ing. Rafael Oreamuno Vega en el VI Congreso Nacional de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental. Esta es de uso aceptado y vigente, recomendada por el Acueducto y Alcantarillados en proyectos donde se tenga una estación meteorológica relativamente cercana, tal y como se mencionó en la sección 3.1. Por el sitio del proyecto se utilizaron los datos de la estación meteorológica del Aeropuerto Juan Santamaría (**ver tabla 2**).

$$i = \frac{CT^m}{(t_c + d)^n}$$

Ecuación 2. Intensidad de lluvia

En donde:

- *i*: Intensidad de lluvia (mm/hr).
- *C*: Coeficiente.
- *T*: Periodo de retorno (años).
- *m*: Exponente.
- *T_c*: duración de la tormenta o tiempo de concentración (minutos).
- *d*: Parámetros de ajuste.
- *n*: Exponente.

Tabla 2. Valores de las variables de la ecuación 2 de la Estación Meteorológica Juan Santamaría.

Estación	C	m	n	d
Aeropuerto Juan Santamaría	355.803	0.131	0.445	0.000

4.2.5. Periodo de retorno

Considerando que el proyecto es de interés del estado, que son edificaciones que deben tener una seguridad importante, que se encuentra dentro de las zonas que presenta mayor intensidad de precipitación y que el área de influencia directa es de 81 050.37 m², **se considera adecuado utilizar un periodo de retorno de 25 años.**

4.2.6. Duración de la tormenta o el tiempo de concentración

La duración de la tormenta o el tiempo de concentración se estima con base en la siguiente ecuación.

$$t_c = 56,77 \frac{L^{1,155}}{h^{0,385}}$$

Ecuación 3. Tiempo de concentración de Kirpich

En donde:

- t_c : *Tiempo de concentración (min).*
- L : *Distancia de recorrido máxima de una gota de agua a través del terreno (km).*
- h : *Diferencia de elevación (m).*

4.2.7. Caudal de escorrentía

El caudal máximo de escorrentía pluvial se calcula con la siguiente ecuación (Formula racional).

$$Q = \frac{ciA}{3600}$$

Ecuación 4. Caudal máximo

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

En donde:

- Q : Caudal $\left(\frac{l}{s}\right)$.
- C : Coeficiente ponderado de escorrentía (adimensional).
- I : Intensidad de precipitación $\left(\frac{mm}{h}\right)$.
- A : Área tributaria (m^2).

En donde:

- Q : Caudal $\left(\frac{l}{s}\right)$.
- C : Coeficiente ponderado de escorrentía (adimensional).
- I : Intensidad de precipitación $\left(\frac{mm}{h}\right)$.
- A : Área tributaria (m^2).

5. Resultados hidrológicos obtenidos para el AP

Con base en los aspectos discutidos en las secciones anteriores, así como en las fórmulas presentadas en la memoria de cálculo se obtuvieron los siguientes resultados.

5.1. Determinación área tributaria de drenaje del proyecto

Debido a que ambos terrenos por desarrollar tributan a la cuenca del río Virilla, pero internamente desfogan a puntos distintos se estimara el caudal pluvial para cada uno de las áreas de interés.

Edificio de la Policía Penitenciaria:

En inspección se observó el aporte externo de escorrentía pluvial proviene de un sector de la calle pública con un área de 2202 m². El agua pluvial ingresa al terreno a través de una rejilla y conecta con un canal interno en tierra de sección rectangular el cual termina en una alcantarilla con un diámetro de 1.10 metros (**ver fotografías 10 y 11**). Por ende, el **área tributaria de drenaje** para el cálculo de caudal de escorrentía pluvial de pre y postproyecto de esta AID de 5290.52 m², prevista para la construcción del Nuevo Edificio de la Policía Penitenciaria es de **7492.52 m²**.

Fotografías 10 y 11: Área tributaria de drenaje y manejo de aguas pluviales-Edificio Policía Penitenciaria.



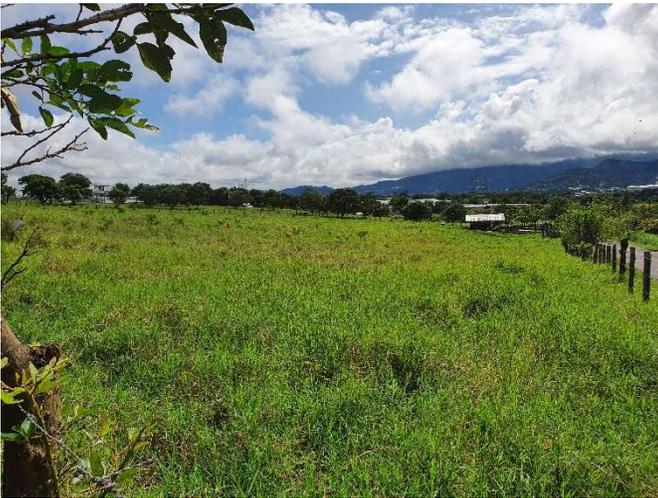
Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado:

Para este terreno no se consideran aportes externos de escorrentía pluvial ya que perimetralmente se encuentra confiado por el parte aguas. Del sector norte colindante con calle pública no hay ingreso de escorrentía externa (**ver fotografías 12 y 13**). Actualmente el terreno por topografía escurre de manera natural hacia un canal de sección triangular ubicado al sur del AP con dimensiones de 1.30 m de ancho y 0.70 m de profundidad.

El **área tributaria de drenaje** para el cálculo de caudal de escorrentía pluvial de pre y postproyecto es la misma AID de **75 759.85 m²**.

Fotografías 12 y 13: Área tributaria de drenaje y manejo de aguas pluviales - Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado Penitenciaria.



5.2. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se obtuvo por medio de la fórmula de Kirpich, mostrada en la **Ecuación 3**.

Por regulación nacional, si el Tc en alcantarillados o canales es menor a 10 minutos se debe estimar la intensidad de lluvia con un Tc de 10 minutos. **Ver tablas 3 y 4.**

Tabla 3. Cálculo de tiempo de concentración para el Área tributaria de drenaje del Edificio Policía Penitenciaria

Cálculo del Tc para Área tributaria de drenaje del Edificio Policía Penitenciaria	
Método de Kirpich (1940)	
Para cuencas pequeñas en las cuales predomina el flujo por canal , Kirpich dedujo la siguiente fórmula para determinar el tiempo de concentración.	
L = longitud hasta interceptar el parte aguas, en kilómetros =	0.240 Km
Elevación superior =	824.0 referencia local
Elevación inferior =	818.0 referencia local
h = diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal, en metros. =	6 m
S = pendiente del flujo (adimensional)	0.025 m/m 2.50 %
tc = tiempo de concentración, en minutos =	5.48 minutos

Por regulación, si el Tc en alcantarillados y canales es menor a 10 minutos se debe estimar la intensidad de lluvia con un Tc de 10 minutos. **Por ende, tanto el Tc es de 10 minutos para ambos terrenos.**

Tabla 4. Cálculo de tiempo de concentración para Área tributaria de drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado.

Cálculo del Tc para Área tributaria de drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado Penitenciaria.	
Método de Kirpich (1940)	
Para cuencas pequeñas en las cuales predomina el flujo por canal , Kirpich dedujo la siguiente fórmula para determinar el tiempo de concentración.	
L = longitud hasta interceptar el parte aguas, en kilómetros =	0.410 Km
Elevación superior =	832.0 referencia local
Elevación inferior =	807.0 referencia local
h = diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal, en metros. =	25 m
S = pendiente del flujo (adimensional)	0.061 m/m 6.10 %
tc = tiempo de concentración, en minutos =	5.87 minutos

5.3. Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia se calculó basados en la **Ecuación 2** y **valores de la Tabla 2**.
 La cual dio un resultado de **194.70 mm/hr (ver tabla 5)**.

Tabla 5. Intensidad de precipitación para un periodo retorno de 25 años y una duración de 10 minutos.

Lista de Estaciones Meteorológicas del Valle Central							
Número	Estación	Coordenadas Lambert Norte		Número	Estación	Coordenadas Lambert Norte	
84001	San José	526047	212784	84075	Cooperativa de café, Naranjo	493275	233016
84021	A.J. Santamaría	513522	220141	84096	Sabana Norte	524566	212784
84034	Embalse La Garita	496956	214623	84111	Santa Lucía	522725	221980
84046	San Josecito, Heredia	535610	223820	84115	Sabanilla U.C.R	530088	214623
84074	Aeropuerto Pavas	520885	216462	69505	Vara Blanca	519044	238534

Determinación de la Estación Meteorológica más cercana

Coordenadas del Proyecto: 512,500 215,500

Estación	Distancia (m)
San José	13,817
A.J. Santamaría	4,752
Embalse La Garita	15,569
San Josecito, Heredia	24,562
Aeropuerto Pavas	8,440
Cooperativa de café, Naranjo	26,008
Sabana Norte	12,368
Santa Lucía	12,105
Sabanilla U.C.R	17,610
Vara Blanca	23,946

i: intensidad de la lluvia en milímetros por hora

$$i = \frac{CT^m}{(t+d)^n}$$

C: coeficiente
 T: periodo de retorno en años
 m: exponente
 t: duración de la tormenta en minutos (tiempo de concentración)
 d: parámetro de ajuste
 n: exponete

25 años
 10 minutos

Ecuaciones de Intensidad - Duración - Frecuencia para el Valle Central

Del Ing. Rafael Murillo Muñoz Ing. Rafael Oreamuno Vega

Estación	C	m	n	d	i mm/hr
San José	466.802	0.156	0.555	8.768	151.5
Santamaría	355.830	0.131	0.445	0.000	194.7
La Garita	431.764	0.150	0.492	7.617	170.6
San Josecito	430.474	0.160	0.522	9.036	154.8
Pavas	445.609	0.132	0.518	5.441	165.1
Naranjo	584.873	0.131	0.601	5.982	168.6
Sabana Norte	902.865	0.159	0.740	10.301	162.3
Santa Lucía	358.921	0.166	0.414	1.582	222.2
Sabanilla	203.870	0.143	0.361	0.000	140.7
Vara Blanca	236.691	0.145	0.428	0.000	140.9

Cuadro No 3					
t = 10 minutos			t = 15 minutos		
T=5	T=10	T=25	T=5	T=10	T=25
117.9	131.3	151.5	103.4	115.2	132.9
157.7	172.7	194.7	131.7	144.2	162.6
134.0	148.7	170.6	118.5	131.5	150.9
119.6	133.7	154.8	105.9	118.3	137.0
133.5	146.3	165.1	115.4	126.5	142.8
136.5	149.5	168.6	115.9	126.9	143.1
125.7	140.3	162.3	106.8	119.2	137.9
170.1	190.8	222.2	146.6	164.5	191.5
111.8	123.4	140.7	96.5	106.6	121.5
111.6	123.4	140.9	93.8	103.7	118.4

5.4. Coeficiente de escorrentía ponderado

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía y de su respectivo caudal se recurrió a los valores de la **Tabla 1**.

5.4.1. Condición preproyecto

La condición actual del área tributaria de drenaje del Edificio Policía Penitenciaria corresponde a grama natural, caseta de vigilancia y un área externa de calle pública de pavimento.

La condición actual del área tributaria de drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, corresponde a un área corral, una bodega en un área de cultivo de chayote y una amplia zona verde de pasto y árboles frutales.

A continuación, se le asigna un valor de coeficiente de escorrentía a cada una de las superficies actuales del área tributaria de drenaje, tomando en cuenta pendiente y condición. Se estima el porcentaje cobertura y el coeficiente de escorrentía ponderado para la condición preproyecto en ambos terrenos por desarrollar.

Tabla 6. Coeficiente de escorrentía asignado a cada cobertura y obtención de coeficiente de escorrentía ponderado para la condición preproyecto

POSTPROYECTO	DESCRIPCIÓN	M ²	COBERTURA	COEFICIENTE ESCORRENTÍA ASIGNADO	% COBERTURA	C x A	SITIO DESFOGUE
	Área tributaria de drenaje del Edificio Policía Penitenciaria						
	Caseta Vigilancia	15.00	Cubierta de techo	0.95	0.20%	14.25	DESFOGA A ALCANTARILLADO
	Zona Verde	5275.52	Grama	0.30	70.41%	1582.66	
	Área tributaria aporte externo	2202.00	Pavimento	0.90	29.39%	1981.80	
	Área tributaria de drenaje Edificio Policía Penitenciaria	7492.52			100.00%	3578.71	
			C ponderado	0.48			
Área tributaria de drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado.							
	DESCRIPCIÓN	M ²	COBERTURA	COEFICIENTE ESCORRENTÍA ASIGNADO	% COBERTURA	C x A	SITIO DESFOGUE
	Corral	55.00	Cubierta de techo	0.95	0.07%	52.25	DESFOGA A CANAL TRIANGULAR
	Bodega para cultivo de chayote	45.00	Cubierta de techo	0.95	0.06%	42.75	
	Zona Verde	75659.85	Repastos y árboles	0.45	99.87%	34046.93	
	Área tributaria de drenaje Edificio Policía Penitenciaria	75759.85			100.00%	34141.93	
			C ponderado	0.45			

Con las condiciones de preproyecto, el coeficiente de escorrentía ponderado es de **0.48** para el área tributaria de drenaje correspondiente al desarrollo del Edificio Policía Penitenciaria y de **0.45** para el área tributaria de drenaje correspondiente a los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado (ver tabla 6).

5.4.2. Condición postproyecto

Para esta condición se considera que las estructuras del proyecto ya han sido desarrolladas, por ende, las áreas se han visto afectadas por la impermeabilización del suelo, lo que a su vez produce un aumento de la escorrentía pluvial.

Se le asigna un valor de coeficiente de escorrentía a cada una de las superficies que quedaran posterior al desarrollo del proyecto, tomando en cuenta pendiente y condición. Se estima el porcentaje cobertura y finalmente el coeficiente de escorrentía ponderado para cada una de las áreas tributarias de drenaje.

Tabla 7. Coeficiente de escorrentía asignado a cada cobertura y obtención de coeficiente de escorrentía ponderado para la condición postproyecto

POSTPROYECTO	DESCRIPCIÓN	M ²	COBERTURA	COEFICIENTE ESCORRENTÍA ASIGNADO	% COBERTURA	C x A	SITIO DESFOGUE
	Área tributaria de drenaje del Edificio Policía Penitenciaria						
	Edificio principal	749.31	Cubierta de techo	0.95	10.00%	711.84	DESFOGA A ALCANTARILLADO
	Caseta control de ingreso	12.17	Cubierta de techo	0.95	0.16%	11.56	
	Aceras	771.23	Concreto	0.90	10.29%	694.11	
	Parqueo	788.41	Pavimento	0.90	10.52%	709.57	
	Calle de acceso	1047.32	Pavimento	0.90	13.98%	942.59	
	Área tributaria aporte externo	2202.00	Pavimento	0.90	29.39%	1981.80	
	Zona Verde	1922.09	Gramina natural	0.30	25.65%	576.63	
	Área tributaria de drenaje Edificio Policía Penitenciaria	7492.52			100.00%	5628.09	
			C ponderado	0.75			
Área tributaria de drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado.							
	DESCRIPCIÓN	M ²	COBERTURA	COEFICIENTE ESCORRENTÍA ASIGNADO	% COBERTURA	C x A	SITIO DESFOGUE
	Dormitorios para la policía	474.96	Cubierta de techo	0.95	0.43%	451.21	DESFOGA A CANAL TRIANGULAR
	Gimnasio	1223.73	Cubierta de techo	0.95	1.62%	1162.54	
	Área de ingreso	554.82	Cubierta de techo	0.95	0.73%	527.08	
	Área de recepción	110.90	Cubierta de techo	0.95	0.15%	105.36	
	Ingreso de visitas	1140.75	Cubierta de techo	0.95	1.51%	1083.71	
	Bodega	594.59	Cubierta de techo	0.95	0.78%	564.86	
	Esclusa	164.22	Cubierta de techo	0.95	0.22%	156.01	
	Caseta de ingreso	29.93	Cubierta de techo	0.95	0.04%	28.43	
	Ingreso PL	655.96	Cubierta de techo	0.95	0.87%	623.16	
	Forjín de ingreso	17.20	Cubierta de techo	0.95	0.02%	16.34	
	Forjín de módulos	157.44	Cubierta de techo	0.95	0.21%	149.57	
	Módulos de alojamiento	8481.87	Cubierta de techo	0.95	11.20%	8057.78	
	Área técnica	2091.08	Cubierta de techo	0.95	2.76%	1986.53	
	Pasillo techado	1707.38	Cubierta de techo	0.95	2.25%	1622.01	
	Calles internas	3421.87	Pavimento	0.90	4.52%	3079.68	
	Zona Verde	54933.26	Gramina natural	0.45	72.51%	24719.97	
	Área tributaria de drenaje Edificio Policía Penitenciaria	75759.96			100.00%	44334.24	
			C ponderado	0.59			

Con las condiciones de postproyecto, el coeficiente de escorrentía ponderado es de **0.75** para el Área tributaria de drenaje una vez construido el Edificio Policía Penitenciaria y de **0.59** para el Área tributaria de drenaje una vez construidos los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado (ver tabla 7).

5.5. Caudal máximo de diseño de la condición preproyecto y postproyecto

5.5.1. Caudal máximo diseño en el área tributaria de drenaje para el desarrollo del Edificio Policía Penitenciaria

Con base en la **Ecuación 4**, sustituyendo los valores de escorrentía, área tributaria de drenaje e intensidad de lluvia mencionados en la memoria de cálculo se obtiene un **caudal máximo de diseño** para la condición de preproyecto y postproyecto del Área tributaria de drenaje del Edificio Policía Penitenciaria (**Ver tablas 8 y 9**).

Tablas 8 y 9. Caudal de escorrentía para la condición preproyecto y postproyecto Área tributaria de drenaje del Edificio Policía Penitenciaria.

Caudal avenida máxima T=25 años para la situación preproyecto del Área tributaria de drenaje para el desarrollo del Edificio de la Policía Penitenciaria					
Total	Coefficiente ponderado de la escorrentía:	Período de retorno	Tiempo de concentración	Intensidad de la lluvia	Caudal real
AT	C	tn	tc _i	I	q
m ²		años	minutos	mm / h	l/s
Ecuación de Intensidad para:		Estación Aeropuerto Juan Santamaría			
	0.48	25			
7,492.52			10.00	194.70	194.51

Caudal avenida máxima T=25 años para la situación postproyecto del Área tributaria de drenaje para el desarrollo del Edificio de la Policía Penitenciaria					
Total	Coefficiente ponderado de la escorrentía:	Período de retorno	Tiempo de concentración	Intensidad de la lluvia	Caudal real
AT	C	tn	tc _i	I	q
m ²		años	minutos	mm / h	l/s
Ecuación de Intensidad para:		Estación Aeropuerto Juan Santamaría			
	0.75	25			
7,492.52			10.00	194.70	303.92

Actualmente el Área Tributaria de Drenaje del terreno para el desarrollo de la Policía Penitenciaria, aporta ante una avenida máxima un caudal de **194.51 litros/segundo**. Mientras que para la condición postproyecto lo haría con un caudal de **303.92 litros/segundo**. El incremento en la escorrentía pluvial por la construcción

del Edificio de la Policía Penitenciaria en este terreno es de 109.41 litros/segundo, lo cual representa un aumento del 56.25% respecto a la condición de preproyecto.

5.5.2. Caudal máximo diseño en el área tributaria de drenaje para el desarrollo de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado

Con base en la **Ecuación 4**, sustituyendo los valores de escorrentía, área tributaria de drenaje e intensidad de lluvia mencionados en la memoria de cálculo se obtiene un **caudal máximo de diseño** para la condición de preproyecto y postproyecto del Área tributaria de drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado (**Ver tablas 10 y 11**).

Tablas 10 y 11. Caudal de escorrentía para la condición preproyecto y postproyecto Área tributaria de drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado.

Caudal avenida máxima T=25 años para la situación preproyecto del Área tributaria de drenaje para el desarrollo de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado.					
Total	Coefficiente ponderado de la escorrentía:	Período de retorno	Tiempo de concentración	Intensidad de la lluvia	Caudal real
AT	C	tn	tc _i	I	q
m ²		años	minutos	mm / h	l/s
Ecuación de Intensidad para:			Estación Aeropuerto Juan Santamaría		
	0.45	25			
75,759.85			10.00	194.70	1,843.81

Caudal avenida máxima T=25 años para la situación postproyecto del Área tributaria de drenaje para el desarrollo de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado.					
Total	Coefficiente ponderado de la escorrentía:	Período de retorno	Tiempo de concentración	Intensidad de la lluvia	Caudal real
AT	C	tn	tc _i	I	q
m ²		años	minutos	mm / h	l/s
Ecuación de Intensidad para:			Estación Aeropuerto Juan Santamaría		
	0.59	25			
75,759.85			10.00	194.70	2,417.43

Actualmente el Área Tributaria de Drenaje del terreno para el desarrollo de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, aporta ante una avenida máxima un caudal de **1843.81 litros/segundo**. Mientras que para la condición postproyecto lo haría con un caudal de **2417.43 litros/segundo**. El incremento en la escorrentía pluvial por la construcción de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en este terreno es de 573.63 litros/segundo, lo cual representa un aumento del 31.11% respecto a la condición de preproyecto.

5.6. Valoración de capacidad hidráulica de la infraestructura pluvial existente y entorno hidrológico

5.6.1. Infraestructura pluvial existente para el desfogue pluvial del Edificio Policía Penitenciaria.

Cuenta con un canal en tierra de sección rectangular, el cual varía su sección en su trayecto hasta llegar al punto final de desfogue el cual es un entubado de 1.10 metros de diámetro que conduce las aguas de escorrentía pluvial hasta el cauce del río Virilla.

- ✓ El inicio del canal rectangular tiene un ancho de solera de 2 metros y una altura de 0.90 m con una pendiente promedio del 0.2% (**ver fotografía 14**).

Fotografía 14: Sección inicio del canal



Figura 8: Análisis hidráulico sección inicio canal

Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular

Lugar: CAI Jorge Arturo Montero C Proyecto: Edificio Policía Peniten
Tramo: Inicio de Canal Revestimiento: Tierra y vegetac Calculadora

Datos:

Caudal (Q):	0.30	m ³ /s
Ancho de solera (b):	2	m
Talud (Z):	0	
Rugosidad (n):	0.030	
Pendiente (S):	0.002	m/m

Resultados:

Tirante normal (y):	0.2781	m	Perímetro (p):	2.5563	m
Área hidráulica (A):	0.5563	m ²	Radio hidráulico (R):	0.2176	m
Espejo de agua (T):	2.0000	m	Velocidad (v):	0.5393	m/s
Número de Froude (F):	0.3265		Energía específica (E):	0.2930	m-Kg/Kg

Tipo de flujo: Subcrítico

Ejecutar Limpiar Pantalla Imprimir Menu Principal

Ejecuta las operaciones

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

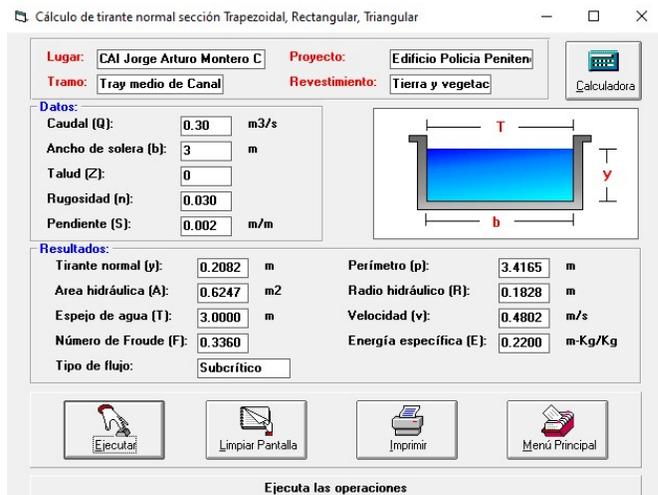
El análisis de capacidad hidráulica del canal en el inicio de su trayecto a través del programa HCANALES (**ver figura 8**) demuestra que el canal cumple con capacidad hidráulica suficiente para recibir el aumento de la escorrentía por la construcción de esta edificación ya que el tirante alcanza 0.27 metros de una altura total de 0.90 metros del canal en este sector. No obstante, se recomienda que el mismo sea revestido de concreto para evitar el efecto erosivo que podría causar la velocidad de la escorrentía pluvial al ser un canal en tierra.

- ✓ En mitad del trayecto el canal incrementa sus dimensiones a 3 metros de ancho de solera y 1.10 metros de altura, con una pendiente promedio del 0.2% (**ver fotografía 15**).

Fotografía 15: Sección del trayecto medio del canal



Figura 9: Análisis hidráulico sección trayecto medio del canal



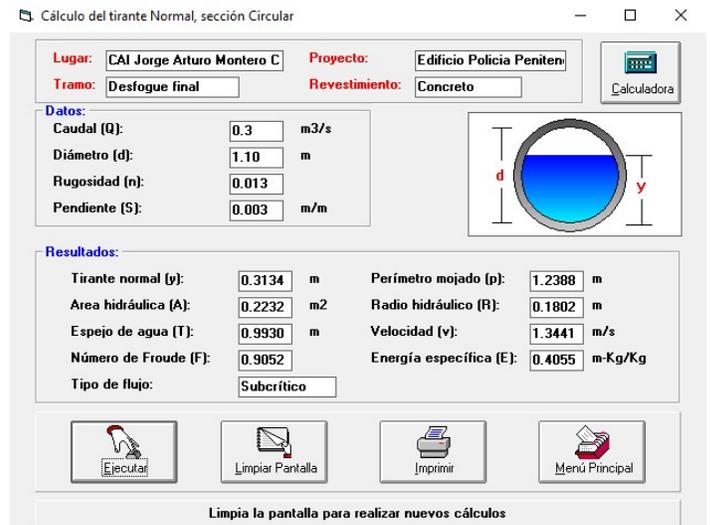
El análisis de capacidad hidráulica del canal en el inicio de su trayecto a través del programa HCANALES (**ver figura 9**) demuestra que el canal cumple con capacidad hidráulica suficiente para recibir el aumento de la escorrentía por la construcción de esta edificación, ya que el tirante de agua llega a 0.20 m de 1.10 m altura del canal. No obstante, se recomienda que el mismo sea revestido de concreto para evitar el efecto erosivo que podría causar la velocidad de la escorrentía pluvial al ser un canal en tierra.

- ✓ El punto de desfogue final es una alcantarilla de 1.10 metros de diámetro.

Fotografía 15: Punto desfogue pluvial alcantarillado de 1.10 m de diámetro



Figura 10: Análisis hidráulico punto final de desfogue pluvial-Alcantarilla

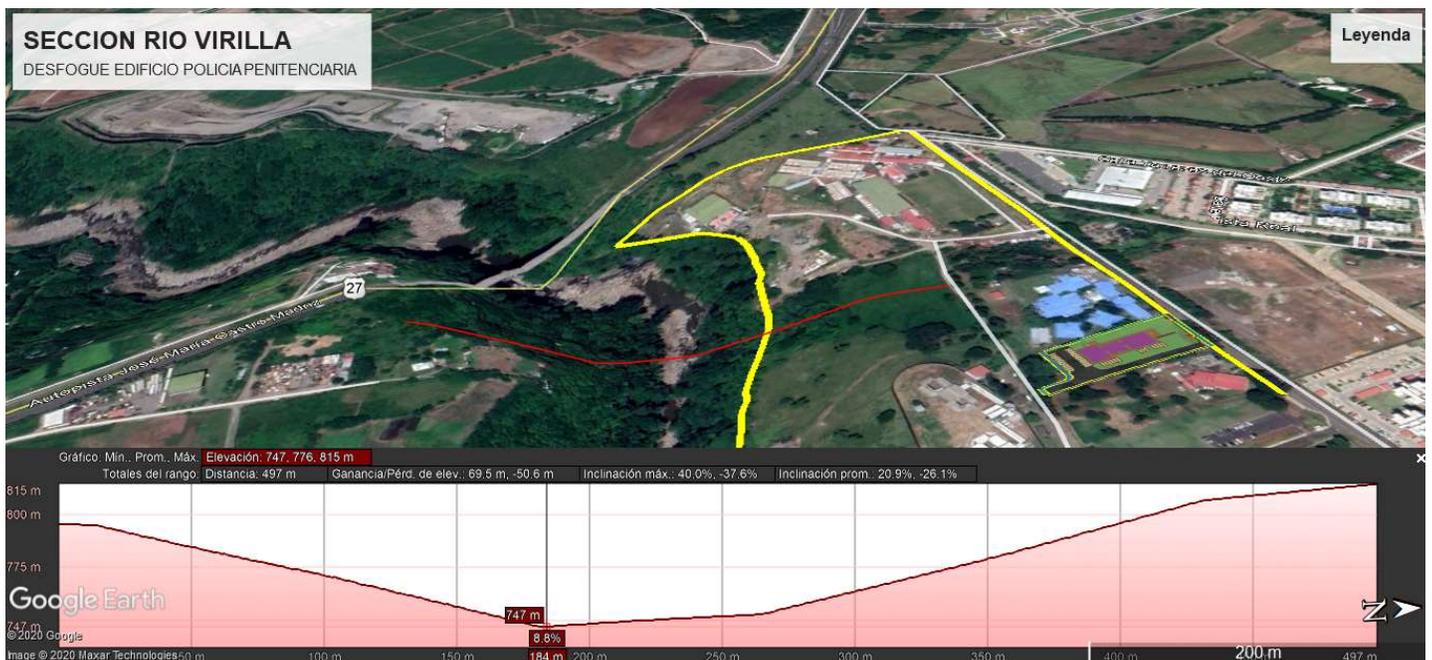


El análisis de capacidad hidráulica del entubado tomado como punto de desfogue realizado a través del programa HCANALES (**ver figura 10**) demuestra que el entubado cumple con capacidad hidráulica suficiente para recibir el aumento de la escorrentía por la construcción de esta edificación, ya que el tirante de agua llega a 0.31 m de 1.10 m del diámetro, lo cual significa una ocupación del 28%, siendo el máximo permitido un 85% del diámetro de la alcantarilla. No obstante, se considera que al revestir los canales de concreto se evita el arrastre de sedimentos hasta este punto de desfogue. Se recomienda darle el mantenimiento adecuado a este sitio, limpiando de objetos, ramas, basura y otros la boca de la alcantarilla, ya que con esto se logrará mantener la capacidad hidráulica del entubado hasta llegar al cauce del río Virilla.

5.6.2. Valoración capacidad hidráulica río Virilla-Sector Edificio Policía Penitenciaria

La capacidad hidráulica del cauce del río Virilla en el punto desfogue pluvial de la infraestructura pluvial existe (entunado) es amplia y se considera no sufrirá un impacto significativo respecto al aporte extra que recibirá por la construcción del Edificio de la policía penitenciaria. Como se puede ver en la **figura 11**, tomada de Google Earth, la sección principal del cauce tiene un ancho de 150 metros y una profundidad de 68 metros.

Figura 11: Sección del cauce del río Virilla en sitio de desfogue de la infraestructura existente del Sector Oeste del CAI Jorge Arturo Montero Castro.



5.6.3. Infraestructura pluvial existente para el desfogue pluvial los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado.

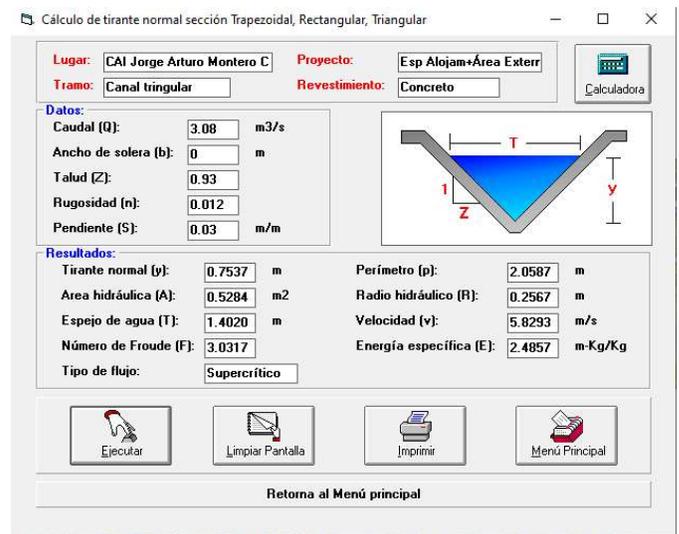
Esta área cuenta al sur con un canal en concreto de sección triangular (Canal A), cuyas dimensiones regulares son de 1.30 m de ancho en la parte superior y una altura de 0.7 metros, el cual recibiría la totalidad de las aguas de escorrentía pluvial de las obras por desarrollar respecto a los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado. Posteriormente el agua de escorrentía continua por un tramo sin canal por la ronda y desfoga finalmente en un punto bajo de concreto con cabezal donde se reúnen varios flujos de escorrentía para de ahí continuar por un entubado de Rib-Loc de 2 metros de diámetro.

- ✓ Canal triangular A, revestido de concreto con 1.30 m de ancho en la parte superior y una altura de 0.7 metros y una pendiente promedio del 3% **(ver fotografía 16 y figura 12)**.
- ✓ Dicho canal recibe actualmente la escorrentía pluvial de un área estimada en 20689m² la cual cuenta con edificaciones e infraestructura vial en operación ubicadas en la colindancia oeste del AP por desarrollar, por lo que es importante considerar el aporte de la escorrentía pluvial generada por esta área más el aporte del desarrollo de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado **(ver fotografía 17 y figura 13)**.
- ✓ El caudal estimado cuando entre en operación los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado que llegaría al canal triangular A es de **3.08 m³/s** (A=96448.85, C=0.59, I=194.70 mm/hr, Tn=25 años, Tc=10 min).

Fotografía 16: Sección Canal Triangular A



Figura 12: Análisis hidráulico Canal Triangular A



Fotografía 17: Aportes existentes de escorrentía pluvial al canal triangular A colindante con el AP

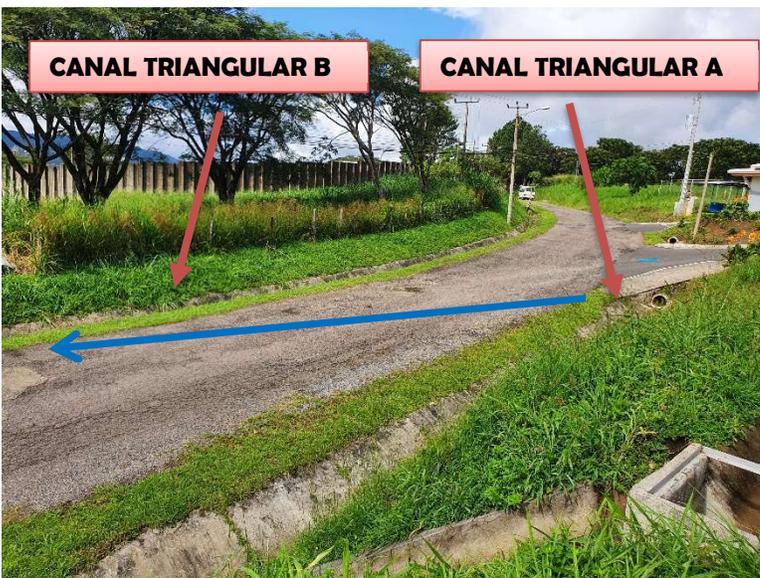


Figura 13: Área anexa que tributa hoy día al canal triangular



El análisis de capacidad hidráulica del canal a través del programa HCANALES (**ver figura 12**) demuestra que el canal triangular ubicado al sur y colindante con el terreno donde se desarrollarán los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado (Canal A), no cuenta con la capacidad hidráulica para recibir el aumento de la escorrentía por la construcción de las nuevas obras, ya que el tirante de agua alcanza un nivel de 0.7537 metros y

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

la altura del canal es de 0.7 metros. No obstante, la solución es bastante sencilla ya que el Centro Penal cuenta con infraestructura existente en ambos márgenes de la calle de acceso. Por ende, se recomienda realizar una conexión entre ambos canales (Canal A y Canal B) y trasladarle un porcentaje del volumen de escorrentía la canal triangular B (**ver fotografía 17**) que esta paralelo y al sur de la calle de acceso, ya que por topografía este canal recibe menos escorrentía pluvial por ser menos el área tributaria asignada a este. Esto ayudaría a disminuir el tirante de agua del canal A colindante con el AP y evitar su colapso ante un evento crítico.

Importante además realizar la construcción del tramo de canal triangular que se encuentra pendiente para poder desfogar de forma óptima hasta el cabezal y entubado de 2 m de diámetro (**ver fotografías 18 y 19**).

Fotografía 18: Canal triangular incompleto-Falta completar infraestructura hasta punto de desfogue



Fotografía 19: Punto de desfogue de varios flujos de escorrentía pluvial.



- ✓ El punto de desfogue final es una alcantarilla Rib-Loc de 2 metros de diámetro.

El análisis de capacidad hidráulica realizado a través del programa HCANALES del entubado que recibe las aguas de escorrentía del terreno donde se desarrollarán los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado y otras áreas del Centro Penal, cuenta con una capacidad estimada de 38.08 m³/s, siendo el nuevo aporte de 2.4 m³/s, por lo que se considera apropiada para recibir el incremento generado por el nuevo proyecto (ver figura 14).

Figura 14: Capacidad hidráulica alcantarilla Rib-Loc-Desfogue final

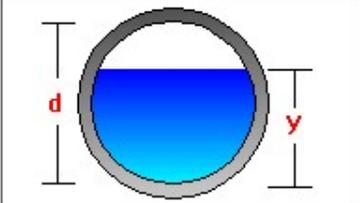
Calculadora

Cálculo del Caudal, sección Circular

Lugar: CAI Jorge Arturo Montero C **Proyecto:** Espacios Alojamiento
Tramo: Desfogue final **Revestimiento:** PVC

Datos:

Tirante (y) :	2	m
Diámetro (d) :	2	m
Rugosidad (n) :	0.009	
Pendiente (S) :	0.03	m/m



Resultados:

Caudal (Q) :	38.0874	m ³ /s	Velocidad (v) :	12.1236	m/s
Area hidráulica (A) :	3.1416	m ²	Perímetro mojado (p) :	6.2832	m
Radio hidráulico (R) :	0.5000	m	Espejo de agua (T) :	0.0000	m
Número de Froude (F) :	0.0691		Energía específica (E) :	9.4914	m-Kg/Kg
Tipo de flujo :	Subcrítico				

Ejecutar Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal

Ejecuta las operaciones

5.6.4. Valoración capacidad hidráulica río Virilla-Sector Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado.

La capacidad hidráulica del cauce del río Virilla en el punto desfogue pluvial del sector donde se ubicarán los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, es amplia y se considera no sufrirá un impacto significativo respecto al aporte extra que recibirá por la construcción de estas obras. Como se puede ver en la **figura 15**, tomada de Google Earth, la sección principal del cauce tiene un ancho de 150 metros y una profundidad de 46 metros.

Figura 15: Sección del cauce del río Virilla en sitio de desfogue de la infraestructura existente del Sector Sur-Oeste del CAI Jorge Arturo Montero Castro.



6. Análisis de zonas de riesgo potencial de inundación a través de la CNE.

Según información tomado de la página WEB de la Comisión Nacional de Emergencias, el Cantón de Alajuela posee una red fluvial bien definida, la misma cuenta con un grupo de ríos y quebradas que son el punto focal de las amenazas hidrometeorológicas del cantón, dicha red está compuesta principalmente por los ríos: Alajuela, Itiquis, Ciruelas, Segundo, Río Poas, Río Tambor, Río Burío y las Quebradas Cañas, y Fuente.

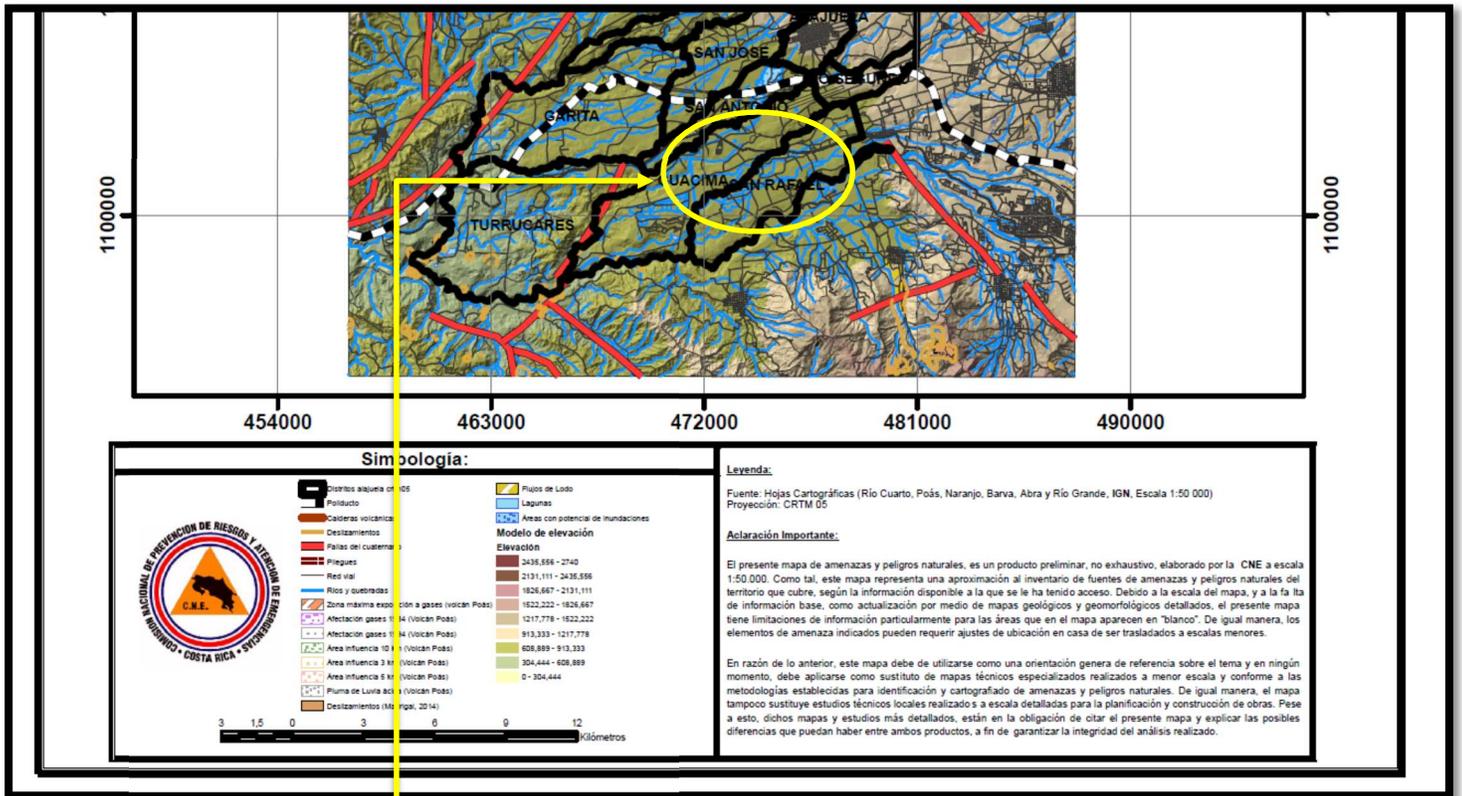
Estos ríos y quebradas, han disminuido su período de renuencia de inundaciones, lo anterior por causa de la ocupación de las planicies de inundación, y el desarrollo urbano que se ha dado en forma desordenada y sin planificación. Por otro lado, el lanzamiento de desechos sólidos a los cauces de los mismos, ha redundado en la reducción de la capacidad de la sección hidráulica, lo que provoca el desbordamiento de ríos y quebradas. **Las zonas o barrios más afectados, entre otros, por las inundaciones son: Hospital, Itiquis, Robles, Brasil, Cañas, San Antonio, Río Segundo, Bajo Sorda, Ojo de Agua, Rincón Venegas, San Pedro, Cacao, Espino, Quebrada, Potrerillos, San Antonio, Víquez, Alajuela, Cañas, San Rafael, Ojo de Agua, Infiernillo.**

El Centro Penal en toda su extensión colinda al sur con el río Virilla. Las AID por desarrollar se ubican entre 200 y 300 m de distancia del cauce. El río Virilla no se encuentra dentro de la lista de cauces causantes de inundación. El sitio Reforma tampoco se encuentra dentro de las zonas o barrios con riesgo de inundación (**ver figura 16**).

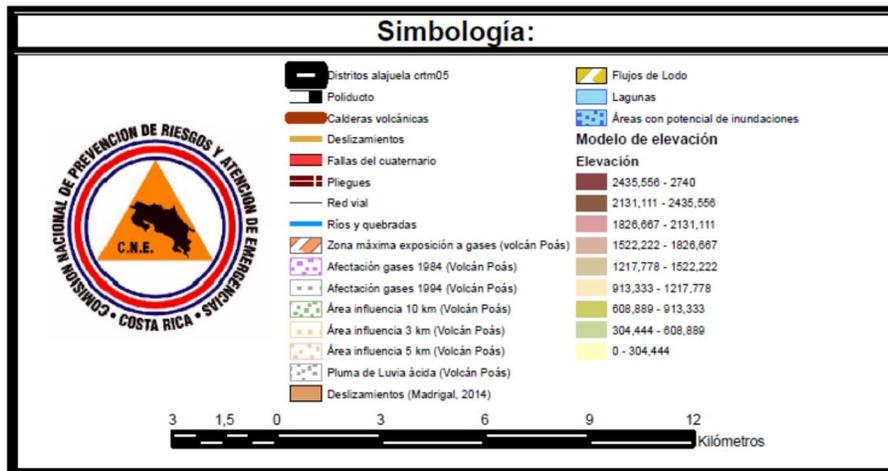
Existen aportes de escorrentía pluvial venideros de áreas externas, los cuales se encuentran controlados. A pesar de que el Área del Centro Penal colinda con la cuenca del río Virilla y por escorrentía natural las aguas buscan evacuar a los puntos bajos, no se observan gran cantidad de pasos de agua o depresiones que atraviesen el AP, ya que la misma se encuentra confinada por muros, mallas o parte

aguas naturales. Internamente existe infraestructura pluvial con capacidad adecuada para el manejo de la escorrentía. Se descarta la posibilidad de riesgo de inundación para ambas AID según el entorno valorado el día de la inspección y con respecto a lo evaluado en el presente informe.

Figura 16. Hoja de amenazas naturales del Cantón de Alajuela
 Fuente: CNE, s.f.



AP



7. Evaluación de resultados y conclusiones hidrológicas

7.1. Evaluación de resultados

7.1.1. Discusión y certificación sobre la viabilidad de la actividad, obra o proyecto desde el punto de vista hidrológico.

Es importante hacer notar que el área de proyecto ya es un área impactada con algunas superficies impermeables, con infraestructura pluvial existente y en actual operación pues es uno de los Centros Penales de mayor importancia en Costa Rica. Dentro de las AID se realizan actividades agropecuarias, agrícolas, de recreación y de vigilancia. Se ubican algunas cubiertas de techo las cuales corresponden a un corral, una pequeña bodega y una caseta de vigilancia.

Los terrenos o AID desfogon por escorrentía natural a dos sitios diferentes a través de infraestructura pluvial existente. El Área Tributaria de Drenaje del Edificio de la Policía Penitenciaria de 7492.52 m² con un aporte externo, ya contemplado dentro de este valor, desfoga la escorrentía pluvial a un canal que conecta con un entubado de 1.10 m de diámetro para posteriormente ser trasladado al cauce del río Virilla. Según análisis hidráulico tanto el canal, el entubado y la sección del río cuentan con la suficiente capacidad hidráulica para recibir el incremento de la escorrentía pluvial. No obstante, se realiza la recomendación de revestir de concreto el canal en tierra debido a que la velocidad del canal se considera erosiva por lo que se debe evitar con esa medida el arrastre de sedimentos aguas abajo. El caudal de escorrentía de preproyecto es de 194.51 l/s mientras el de postproyecto es de 303.92 l/s, para un incremento de 109.41 l/s, mismo que representa un 56.25% de más respecto al caudal de preproyecto. No obstante, debido a la capacidad de la infraestructura instalada y de la capacidad de la sección el río Virilla esto no representa un impacto significativo en los niveles de agua dicha infraestructura pluvial ni del cauce receptor.

En cuanto al Área Tributaria de Drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado para el cálculo de

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

caudal de escorrentía pluvial de pre y postproyecto es la misma AID correspondiente a **75 759.85 m²**, ya que no recibe aportes externos. Actualmente el Área Tributaria de Drenaje, aporta ante una avenida máxima un caudal de **1843.81 litros/segundo**. Mientras que para la condición postproyecto lo haría con un caudal de **2417.43 litros/segundo**. El incremento en la escorrentía pluvial por la construcción de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en este terreno es de 573.63 litros/segundo, lo cual representa un aumento del 31.11% respecto a la condición de preproyecto.

La infraestructura pluvial que recibe y recibirá la escorrentía pluvial posterior a la construcción de estas obras es un canal triangular de 1.30 m de ancho en la parte superior y una altura al centro de 0.70 m (Canal A), el cual traslada la escorrentía pluvial hasta un cabezal con una tubería en 2 metros de diámetro en donde precisamente confluyen varios flujos de agua de lluvia de diversas áreas que operan del CAI. Cabe recalcar que si el Canal A solo recibiera el caudal de postproyecto de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado tendría capacidad suficiente, sin embargo, al existir un área desarrollada y en operación, colindante al AP que desfoga la escorrentía pluvial desde hace varios años a dicho Canal A, el caudal que escurriría para la condición de postproyecto sería de **3.08 m³/s**, situación que pone en evidencia la falta de capacidad hidráulica de este ya que el tirante del agua sería de 0.75 m cuando la altura del canal es de 0.7 m. Por esa razón se recomienda el traslado de una parte de escorrentía del Canal A al Canal B, el cual presenta la misma sección y va paralelo a la calle, pero del otro lado de la misma. La medida planteada disminuye considerablemente el tirante de agua en el Canal A, el cual será el punto de desfogue pluvial de la edificación de espacios de alojamiento para privados de libertad.

En la condición preproyecto se obtuvo un coeficiente de escorrentía ponderado para El Área Tributaria de Drenaje del Edificio de la Policía Penitenciara de 0.48 y de 0.75 para la condición postproyecto, quiere decir que sufrió un incremento de 0.27. Mientras que para la condición preproyecto del Área Tributaria de Drenaje de

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado se obtuvo **0.45** y para la condición postproyecto se obtuvo **0.59**, aumentando en 0.14. Cabe señalar que lo anterior lo que refleja es que el desarrollo del proyecto no implica la impermeabilización de gran cantidad de área verde, sino que mucha de esta seguirá siendo grama natural.

El periodo de retorno se determinó para 25 años debido a que es un proyecto de interés del estado, que son edificaciones que deben tener una seguridad importante, que se encuentra dentro de las zonas con mayor intensidad de precipitación y porque el área de influencia directa es de 81 050.37 m². **El tiempo de concentración se definió en 10 minutos** ya que el cálculo por el método de Kirpich dio como resultados de 5.48 minutos para el Área tributaria de drenaje del Edificio Policía Penitenciaria y de 5.87 minutos para Área tributaria de drenaje de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado. Se obtuvo una **intensidad de la lluvia de diseño de 194.70 mm/hr**, a través de la ecuación de intensidad de lluvia Intensidad – duración - frecuencia para el Valle Central, propuesta por el Ing. Rafael Murillo Muñoz y el Ing. Rafael Oreamuno Vega en el VI Congreso Nacional de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental, tomando como base los datos de la Estación del Aeropuerto Juan Santamaría.

Según análisis de las zonas potenciales de inundación a través de los datos de la Comisión Nacional de Emergencias, El Centro Penal en toda su extensión colinda al sur con el río Virilla. Las AID por desarrollar se ubican entre 200 y 300 m de distancia del cauce. El río Virilla no se encuentra dentro de la lista de cauces causantes de inundación. El sitio Reforma tampoco se encuentra dentro de las zonas o barrios con riesgo de inundación. Existen aportes externos que actualmente se encuentran controlados. Internamente existe infraestructura pluvial con capacidad adecuada para el manejo de la escorrentía. Se descarta la posibilidad de riesgo de inundación para ambas AID según el entorno valorado el día de la inspección y con respecto a lo evaluado en el presente estudio.

De esta forma, basado en los resultados, propuestas de mejoras y análisis de capacidad del sistema pluvial en funcionamiento y valoración cauce del río Virilla, se concluye que el desarrollo del proyecto "Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria y Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro" no generaría un impacto significativo en el ambiente hidrológico de la zona, en los niveles de agua de la infraestructura existente, ni del cauce receptor. Por ende, desde el punto de vista hidrológico se considera viable la construcción y operación de ambas edificaciones.

7.1.2. Recomendación sobre las medidas mitigatorias que sea necesario implementar en el diseño cuando sean necesarias.

- ✓ En el área destinada para la construcción del Edificio Policía Penitenciaria se ubica un canal en tierra de sección rectangular, el cual varía su sección en su trayecto hasta llegar al punto final de desfogue el cual es un entubado de 1.10 metros de diámetro que conduce las aguas de escorrentía pluvial hasta el cauce del río Virilla. En el análisis de capacidad hidráulica se determinó que el mismo cumple con capacidad hidráulica suficiente para recibir el aumento de la escorrentía por la construcción del proyecto de interés. Sin embargo, se recomienda que el mismo sea revestido de concreto para evitar el efecto erosivo que provoca la velocidad de la escorrentía arrastrando sedimentos aguas abajo.
- ✓ Se recomienda darle mantenimiento periódico al alcantarillado que recibe y traslada hasta el río Virilla el caudal de escorrentía generado por la construcción del Edificio Policía Penitenciaria. La boca de la alcantarilla debe estar libre de objetos, ramas, basura y otros la boca de la alcantarilla, ya que con esto reduce su capacidad hidráulica.
- ✓ Para la construcción de los Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, se recomienda realizar una conexión entre el canal de sección triangular que recibirá la

escorrentía y el otro canal de la misma sección ubicado al otro lado de la calle, cual va paralelo a la calle asfalta. La recomendación se realiza debido a que se determinó mediante un análisis hidráulico que el canal colindante con este proyecto no cuenta con la capacidad hidráulica suficiente para recibir el incremento, sin embargo, sabiendo que la infraestructura pluvial existente fue instalada para utilizarla se considera prudente trasladar al otro canal una parte del volumen de escorrentía, ya que este segundo canal recibe menos escorrentía pluvial pues tiene menos área tributaria asignada para el desfogue de la escorrentía. Esta medida beneficiará significativamente la capacidad hidráulica del canal colindante con la AP.

- ✓ El canal triangular de desfogue del área de proyecto para la construcción de Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado, debe ser completado hasta el punto final de desfogue pluvial, ya que existe un tramo de aproximadamente 15 m pendiente de construcción por lo que el agua actualmente escurre libremente entre la calle y la ronda hasta alcanzar el punto bajo el cual es un tragante y una alcantarilla de 2 m de diámetro. Es indispensable que la escorrentía generada por la construcción del proyecto sea correctamente canalizada y llevada de forma óptima hasta un cuerpo receptor.

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

8.1. Aplicabilidad de los resultados.

Basados en la topografía del área de proyecto y de los terrenos colindantes, se descarta la posibilidad de aportes de escorrentía hacia el AP para la construcción de Espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado. De forma contraria se determina el aporte de escorrentía pluvial de áreas externas al AP destinado para la construcción del Edificio de la Policía Penitenciaria, las cuales se encuentran canalizadas y controladas actualmente.

Los resultados obtenidos para el caudal de escorrentía se obtuvieron con base en la información meteorológica proporcionada por el IMN de la estación ubicada en Aeropuerto Juan Santamaría, ubicada a 4.7 Km del área de proyecto de interés; por lo que es de esperar que los resultados aquí presentados correspondan con el registro obtenido por la estación indicada, la cual contempla dentro de sí aquellos eventos atípicos observados en la zona.

La determinación de los porcentajes de cobertura del uso del suelo de la situación pre-proyecto se basó en la visita a campo, por lo que estos corresponden con la situación actual de los terrenos sobre los cuales se pretende construir el proyecto. En cuanto a los porcentajes y tipos de cobertura del post-proyecto, se obtuvieron con base en la lámina de diseño de sitio y tabla de áreas del proyecto presentadas por el Departamento de Infraestructura Penitenciaria del Patronato de Construcciones, Instalaciones y Adquisición de Bienes del Ministerio de Justicia y Paz.

Las áreas tributarias de drenaje que tributan o escurren a dos colectores diferentes, se determinaron con base en la observación en sitio, a través del levantamiento de curvas de nivel y mediante las láminas de diseño realizadas para el proyecto.

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

Los coeficientes de escorrentía utilizados se obtuvieron a partir del aporte presentado por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2017 en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones para distintas coberturas vegetales y pendientes de terreno.

En cuanto al tiempo de concentración y tiempo de retorno utilizados, estos fueron elegidos con base en las recomendaciones sugeridas en la normativa nacional para este tipo de proyectos, por lo que es de esperarse que los resultados obtenidos sean los adecuados para la construcción y análisis de estos sistemas.

8.2. Tareas pendientes para fases posteriores del proyecto.

Se deben de realizar las mejoras propuestas al sistema pluvial existente con el fin de lograr una infraestructura que reciba de forma eficiente el incremento de la escorrentía pluvial producto de la construcción del proyecto.

Se le debe de dar mantenimiento periódico al sistema pluvial interno y a los reservorios pluviales, ya que de este depende el correcto funcionamiento y la permanencia de la capacidad hidráulica.

8.3. Incertidumbres no resueltas

Los cálculos hidrológicos se basan en estimaciones obtenidas a partir del análisis estadístico de la información recolectada por diversos medios, mecánicos y automáticos, por lo que el grado de incertidumbre asociado con estos elementos se puede ver reflejado en los resultados aquí presentados.

Asimismo, los valores de coeficientes y otros similares utilizados en el desarrollo del análisis hidrológico del proyecto conllevan un grado de incertidumbre asociado debido a que los mismos son obtenidos a partir del estudio teórico y experimental en situaciones controladas, por lo que no se adaptan completamente a la situación presentada en el proyecto constructivo.

Los coeficientes de escorrentía varían con base en el tipo de superficie encontrada en sitio o propuesta para el proyecto, pues pueden verse afectados por factores como la capacidad de permeabilización del suelo y el tipo de vegetación encontrada, entre otros factores, por lo que el valor escogido representa un promedio que puede verse afectado por la desviación estándar asociada a la incertidumbre de los coeficientes teóricos y experimentales utilizados.

El presente estudio no analiza detalladamente la capacidad hidráulica de la infraestructura pluvial externa al Centro Penal debido a que se considera que la misma no tiene influencia directa sobre los resultados obtenidos. No se analiza con detalle la capacidad hidráulica del cauce del río Virilla colindante con el proyecto, debido a que es conocida la amplia capacidad hidráulica de esta cuenca y porque se determinó mediante la visita de inspección que internamente existe infraestructura pluvial con capacidad para recibir y conducir de buena manera la escorrentía pluvial generada por el nuevo desarrollo.

9. Conclusión general sobre la viabilidad hidrológica del terreno en virtud de la obra a desarrollar.

La construcción del proyecto “Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria y Construcción de espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro” se considera viable desde el punto de vista hidrológico, debido a lo siguiente:

1. La infraestructura pluvial instalada en el Complejo La Reforma mediante algunas mejoras menores, presentaría las condiciones adecuadas para recibir y conducir el incremento en la escorrentía pluvial producto del desarrollo del proyecto.
2. La cuenca del río Virilla es conocida por su amplia capacidad hidráulica, debido a las dimensiones de la sección transversal de cauce. Por ende, siendo este el destino final de las aguas de escorrentía generadas por el

área tributaria de drenaje del proyecto, se considera que el aumento de la lámina de agua en el cauce podría considerarse poco significativa.

3. El incremento en la esorrentía pluvial no representa un impacto significativo en los niveles de agua de la existente infraestructura pluvial ni del cauce receptor. Esto debido a la capacidad de la infraestructura instalada y de la sección el río Virilla.
4. El diseño propuesto para ambas edificaciones garantiza la permanencia de un porcentaje significativo de zonas verdes, el cual es del 25.65% para el área del Edificio Penitenciario y de 72.51% para el área de Espacios de alojamiento para los privados de libertad.
5. El aumento de la esorrentía pluvial no representa un impacto significativo en los niveles de agua dicha infraestructura pluvial ni del cauce receptor. Por ende, se puede indicar que el impacto generado por la esorrentía estará controlado.
6. Según análisis de las zonas potenciales de inundación a través de los datos de la CNE, las AID por desarrollar se ubican entre 200 y 300 m de distancia del cauce. El río Virilla no se encuentra dentro de la lista de cauces causantes de inundación. El sitio Reforma tampoco se encuentra dentro de las zonas o barrios con riesgo de inundación.
7. Existen aportes de esorrentía pluvial venideros de áreas externas, los cuales se encuentran controlados.
8. A pesar de que el Área del Centro Penal colinda con la cuenca del río Virilla y por esorrentía natural las aguas buscan evacuar a los puntos bajos, no se observan gran cantidad de pasos de agua o depresiones que atraviesen el AP, ya que la misma se encuentra confinada por muros, mallas o parte aguas naturales.
9. Internamente existe infraestructura pluvial con capacidad adecuada para el manejo de la esorrentía. Se descarta la posibilidad de riesgo de

Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

inundación para ambas AID según el entorno valorado el día de la inspección y con respecto a lo evaluado en el presente informe.

10. Desde el punto de vista hidrológico el área de proyecto por desarrollar presenta las condiciones adecuadas para la construcción y operación de las edificaciones de interés.

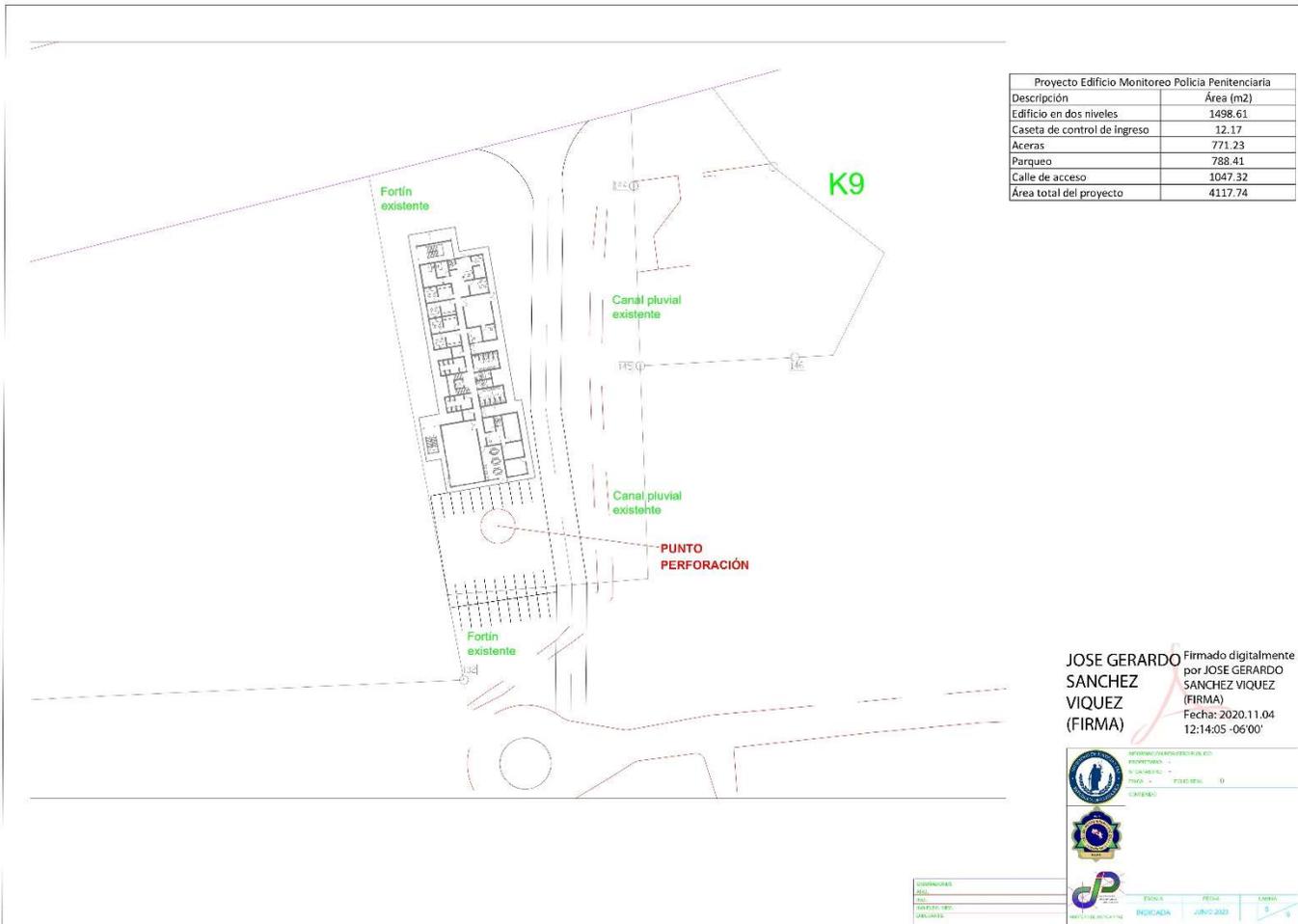
Ing. Ricardo López Rojas.
Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

10. Bibliografía

- Chow, Ven Te. (1986). Hidráulica de los canales abiertos. DF, México: Editorial Diana. México.
- Chow, Ven Te. (1994). Hidráulica de Canales Abiertos. Santafé de Bogotá, Colombia: Editorial McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- Comisión Nacional de Emergencias. (s.f.). Mapa de Amenazas Naturales Potenciales Cantón de Vázquez de Coronado.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2017). Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistema de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial. San José: Publicado en el periódico oficial La Gaceta del 22 de setiembre de 2017.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2007). Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas. San José.
- Villón Béjar, Máximo. (2008). Hidráulica de Canales. Segunda Edición. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Villón Béjar, Máximo. (2004). Hidrología. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Ing. Ricardo López Rojas.
 Mata de Plátano, Goicoechea, San José.
 Ofic. 2292-9945. Cel. 8892-9629 ing.rlopezrojas@gmail.com

11.2. Diseño de sitio con tabla de áreas Nuevo edificio de la Policía Penitenciaria CAI Jorge Arturo Montero Castro



11.3. Diseño de sitio con tabla de áreas espacios de alojamiento para la población privada de libertad por delitos por crimen organizado en el CAI Jorge Arturo Montero Castro

