

# Diagnóstico del sistema de alcantarillado pluvial del tramo de ruta nacional 228 en Cartago.



# Abstract

The next project is to pose a diagnostic storm sewer. Areas of study covered correspond to the topography, hydrology and hydraulics. It was necessary, the use of computer programs, information gathering field literature on the estimation of flow, hydraulic design and periodic maintenance plan.

The aim is to reduce flooding problems that occur around the path, through a diagnosis including some proposed stormwater points vent, which discharge flow saturating the current sewer system with a respective plan periodic maintenance. Bibliographic reference materials, computer software, field measurement tools was used and the scientific method was applied.

The result of this project, is a diagnosis of the sewer system with a configuration of points vent, to download the current pipeline system, which includes a new storm sewer design to reduce flooding in the rainy season and a maintenance plan newspaper.

It is concluded that the current storm sewer system in the area, has the right to meet the demands of flow conditions. As this proposal seeks to reduce flooding problems generated in the stretch.

Keywords: Diagnosis storm sewer, Storm Sewer, Hydraulic design, storm Vent, vent Proposal, hydrological analysis.

# Resumen

Este proyecto, consiste en plantear un diagnóstico de alcantarillado pluvial. Las áreas de estudio abarcadas, corresponden a la topografía, hidrología e hidráulica. Fue necesario, el uso de programas computacionales, levantamiento de información de campo, bibliografía relacionada con la estimación de caudal, diseño hidráulico y plan de mantenimiento periódico.

El objetivo, es reducir los problemas de inundación que se dan en los alrededores de la ruta, por medio de un diagnóstico que incluya algunas propuestas de puntos de desfogue pluvial, que descarguen el caudal que satura el sistema actual de alcantarillado con un respectivo plan de mantenimiento periódico. Se usó material bibliográfico como referencia, software computacional, herramientas de medición en campo y se aplicó el método científico.

El resultado del proyecto, es un diagnóstico del sistema de alcantarillado con una configuración de puntos de desfogue, que descargan el sistema de tuberías actual, que incluye un nuevo diseño de alcantarillado pluvial, para reducir inundaciones en épocas de lluvias y un plan de mantenimiento periódico.

Se concluye, que el sistema de alcantarillado pluvial actual de la zona, no tiene las condiciones adecuadas para satisfacer las demandas de caudal. Por lo que esta propuesta, busca disminuir los problemas de inundación que se generan en el tramo.

Palabras claves: Diagnóstico de alcantarillado pluvial, Alcantarillado Pluvial, Diseño hidráulico, Desfogue pluvial, Propuesta de desfogue, Análisis hidrológico.

# **Diagnóstico del sistema de alcantarillado pluvial del tramo de ruta nacional 228 en Cartago.**

JEAN POLL CARMONA JIMÉNEZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Marzo del 2014

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo .....	3
Introducción .....	5
Objetivos .....	8
Alcances y limitaciones .....	9
Marco conceptual .....	10
Metodología .....	19
Resultados.....	39
Análisis de los resultados .....	108
Conclusiones .....	115
Recomendaciones .....	117
Apéndices .....	118
Anexos .....	119
Referencias.....	120

# Prefacio

La ciudad de Cartago cuenta con un sistema obsoleto de alcantarillado pluvial que data de los años 1929 inicialmente. De ese año a la fecha actual, se han hecho mejoras en los elementos del sistema. Sin embargo, parte de la red inicial, aún se mantiene.

En 1965, se construyeron cerca de 13,5 km con el proyecto del plan maestro de alcantarillado, por el ingeniero Carlos Rivero Leiva. En 1980, el ingeniero Alfonso Rodríguez, colaboró con una actualización del plan maestro de alcantarillado con la cual se adicionaron algunos colectores como el de calle 11, interceptores del zanjón lava patas y algunos secundarios como el de calle 14, 7 y 10, con aproximadamente 6 km.

El crecimiento urbano, ha generado excesos de caudal en las tuberías. Dicho sistema, tiene más de 22 años de no recibir ningún tipo de mantenimiento. Este problema se ha visto reflejado en los últimos años, en constantes inundaciones en el centro del cantón y alrededores, esto porque algunas de las tuberías se encuentran obstruidas. Los datos históricos mencionados en los párrafos anteriores fueron proporcionados por el establecimiento de servicios públicos Empresas Municipales de Cartago.

La necesidad tomó fuerza en el Consejo Nacional de Vialidad (en adelante mencionado como CONAVI) y en la Municipalidad de Tejar, (entidad interesada en el proyecto), con el recurso de amparo que interpusieron algunos vecinos, quejándose de malos olores, desbordamiento de las calles, falta de mantenimiento, obstrucción de tuberías por basura, entre otras cosas. El planteamiento prioritario de la Municipalidad de Cartago para este proyecto de graduación, es analizar un tramo de carretera.

Además de investigarlo, se debe elaborar un diagnóstico de alcantarillado pluvial que incluya la propuesta uno o varias rutas de

desfogue adecuados a cuerpos receptores de aguas, el diseño de nuevas secciones transversales del sistema alcantarillado pluvial del tramo en estudio y un plan de mantenimiento periódico, esto porque el sistema de alcantarillado pluvial se encuentra limitado e insuficiente, situación que afecta a la población en épocas de lluvias.

El tramo propuesto corresponde a la ruta 228 que atraviesa los límites de Cartago-Tejar del Guarco, al ser ruta nacional; teóricamente es al CONAVI a quien le corresponde intervenir el tramo. Sin embargo, esta institución pública, actualmente no cuenta con cuerpos receptores adecuados para realizar cortes pluviales cercanos a la ruta nacional, ya que estos se encuentran en jurisdicción territorial de las Municipalidades de Cartago y Tejar del Guarco. De ahí se deriva la importancia del trabajo interinstitucional en la resolución de la problemática descrita.

De esta forma, ambas instituciones lo que buscan es mejorar de forma urgente la calidad de vida de los habitantes, evitar así las concurrentes inundaciones en el sector, y mejorar las condiciones de la comunidad en el ámbito social, con el mínimo impacto ambiental para la población.

Lo que se busca con el proyecto es diagnosticar las condiciones actuales del sistema de alcantarillado pluvial y proponer una intervención de emergencia y un plan de mantenimiento periódico en el tramo que comprende desde la esquina noroeste de la iglesia de los padres Salesianos, cruzando por los límites de los cantones de Cartago y Tejar del Guarco, finalizando en la intersección con el río Agua Caliente, todo sobre la ruta nacional 228, con 3,5 km de longitud. Con lo cual, se espera aprovechar el diagnóstico implementándolo en el tramo solicitado y que además sirva de guía a la Municipalidad de Cartago, a la hora de tomar decisiones en futuras intervenciones del alcantarillado pluvial en la ciudad de Cartago.

Finalmente, quiero agradecer al profesor Gustavo Rojas Moya, por su invaluable apoyo y consejería en el proceso de formulación del anteproyecto, al profesor tutor Jorge Calvo Gutiérrez, quien estuvo pendiente de todos los detalles técnicos, propios del desarrollo de este proyecto de graduación, a la profesora María Emilia Brenes Molina que siguió de cerca mis pasos a lo largo de mi carrera profesional, también a mis familiares y amigos, que fueron un motor indispensable en la conclusión de estudios para optar por el título de Licenciatura en Ingeniería en Construcción.

# Resumen ejecutivo

Este informe de graduación tiene como objetivo principal realizar un diagnóstico del alcantarillado pluvial en el tramo de carretera nacional 228 que une a Cartago centro con el cantón de Tejar del Guarco. Dicho diagnóstico incluye el diseño de nuevos sistemas de alcantarillado pluvial y cuatro propuestas de rutas de desfogue pluvial con variables de periodo de retorno y cantidad de puntos de desfogue, con las consideraciones hidrológicas y topográficas actuales de la zona.

La aplicación práctica del diagnóstico del alcantarillado pluvial, junto con la propuesta de rutas de desfogue y diseño de secciones transversales, es que la Municipalidad de Cartago decida implementarla y gestionarla, pues antes de intervenir un sistema de alcantarillado deben tener claro cuáles son las posibles causas que generan problemas, cuáles son los puntos críticos y que problemas se presentan.

Además en el caso del diseño rutas de desfogue, la institución tiene en su jurisprudencia territorial, los cuerpos receptores de agua, donde serán desfogados los caudales recolectados a lo largo del trayecto de tramo de carretera.

El informe se resume en el abordaje de cuatro subtemas esenciales para el desarrollo del diagnóstico de alcantarillado pluvial. Ubicación e identificación de puntos críticos donde se generan problemas de obstrucción, análisis de posibles causas de los problemas que presentan las zonas o puntos afectados con inundaciones, propuesta de rutas de desfogue y secciones transversales y finalmente el plan de mantenimiento periódico.

Para diagnosticar las condiciones del tramo seleccionado, es muy importante la ubicación e identificación de puntos o zonas donde se generan problemas de inundación, y en el actual informe se les conoce como puntos críticos. Los cuales debieron ser ubicados en el espacio y también se debió asignar una

descripción, pues es cierto modo es un registro el cual será base para intervenciones de emergencia futuras.

Muchas son las causas que pueden estar incurriendo en inundaciones y desbordamientos. Analizar las causas de un problema en específico es base en cualquier tipo de diagnóstico, pues no solo se debe intervenir los puntos críticos, sino que también conocer donde se originan los problemas e intervenir los males desde la raíz y en el presente informe se analizaron cada una de las posibles causas y sus consecuencias.

Es importante mencionar que un diagnóstico normalmente va acompañado de una cura o solución. Sin embargo, para cada causa o problema de inundación estudiado no debe plantearse una solución por separado, esto porque un alcantarillado pluvial es un sistema integrado donde una intervención debe abarcar todas las causas de inundación y sus respectivas consecuencias. Razón por la cual, esta investigación incorporó posibles propuestas de intervención que abarquen las causas y consecuencias planteadas.

Por las consideraciones estipuladas en el párrafo anterior se contempló en el actual informe de graduación posibles intervenciones que incluyeron propuestas de nuevas secciones transversales en elementos de alcantarillado, así como rutas y puntos de desfogue pluvial.

Desde el punto de vista económico, la Municipalidad de Cartago, depende de un presupuesto limitado, por lo cual se realizaron cuatro propuestas de desfogue. La diferencia entre una y la otra, se concentra en la cantidad de puntos de desfogue, en los periodos de retorno y en los diámetros de las secciones transversales del sistema de alcantarillado del tramo. Esto se hizo, para dejar a criterio municipal, la decisión de ejecutar cualquiera de

las opciones presentadas y considerar la opción más económica.

Por último, se consideró la realización de un plan de mantenimiento periódico de las intervenciones propuestas, para que este sea puesto en acción en conjunto con alguna de las propuestas y que la intervención tenga un vida útil y mayor.

En el proyecto de graduación se concluye que el sistema de alcantarillado pluvial actual del tramo en estudio es obsoleto y no cumple con la demanda de lluvia que se genera en la zona. La cantidad de puntos críticos y sus condiciones explicadas en secciones siguientes, así como la cantidad de puntos de desfogue y los diámetros propuestos de las secciones transversales del alcantarillado, sugieren que existe una inadecuada distribución de aguas, lo cual genera, que grandes cantidades de caudal, no tengan óptimas rutas de drenaje e inunden el tramo de carretera.

Se recomienda a la Municipalidad de Cartago, implementar alguna de las propuestas de desfogue presentadas en este estudio, así como ampliar los conocimientos realizados en función de generar una mayor precisión, en la información que será utilizada en diseños futuros.

# Introducción

El cantón central de Cartago, tiene un sistema de alcantarillado pluvial limitado e insuficiente, esto porque parte de sus componentes actuales fueron diseñados hace más de 80 años y en este momento no cumplen con los requerimientos de diseño que exigen el crecimiento urbano, las condiciones climatológicas y las topográficas. Situación que se ve reflejada en las épocas de lluvia, con desbordamientos de las calles y malos olores, provenientes de las alcantarillas. La Municipalidad de Cartago tiene proyectos para combatir dicha problemática en sectores críticos, como es el caso de la ruta nacional 228, que une Cartago con la zona de Tejar del Guarco.

El problema radica, en que no se cuenta con diseños actualizados de los sistemas de alcantarillado. Las tuberías y alcantarillas existentes, no dan abasto a las cantidades de aguas pluviales que caen en la zona. De ahí nace la importancia de desarrollar un proyecto que contemple las condiciones actuales de caudal y topografía. Es importante diseñar un sistema que cumpla con las solicitudes actuales de diseño, para mitigar el problema de desbordamientos con una propuesta de desfogue de aguas y alcantarillado pluvial, que podrá ser ejecutado y servirá de base para la toma de futuras decisiones municipales en la ejecución de proyectos de alcantarillado pluvial.

El siguiente trabajo consiste en la elaboración de diagnóstico del sistema que esté basado en el estudio de las condiciones actuales del sistema, causas y sus respectivas consecuencias reflejados en las zonas críticas, También una propuesta de intervención de alcantarillado pluvial, compuesto por elementos como: secciones transversales de tuberías, pozos de registro, tragantes y cabezales de salida, los cuales trasiegan el caudal estimado de la zona. Además es de interés, proponer opciones de rutas y puntos de desfogue a cuerpos receptores de agua, para generar una mejor distribución de caudal en las diferentes tuberías.

El área de estudio en que se desarrolló el proyecto, fueron la hidráulica, hidrología y la topografía.

La hidráulica fue abarcada en el diseño de rutas de desfogue y de los elementos del sistema de alcantarillado pluvial, como: secciones transversales de tuberías, alcantarillas, pozos pluviales, tragantes y cabezales de salida, en el comportamiento y respuesta física de las cargas de agua.

La hidrología se contempló, en el análisis de intensidad-duración-periodo de las precipitaciones, con lo cual se logró estimar el caudal de diseño con el método racional. Es importante destacar, que el programa de licenciatura de Ingeniería en Construcción, actualmente no cuenta con el curso de hidrología, razón por la cual, representó un reto profundizar en el análisis y búsqueda de información hidrológica.

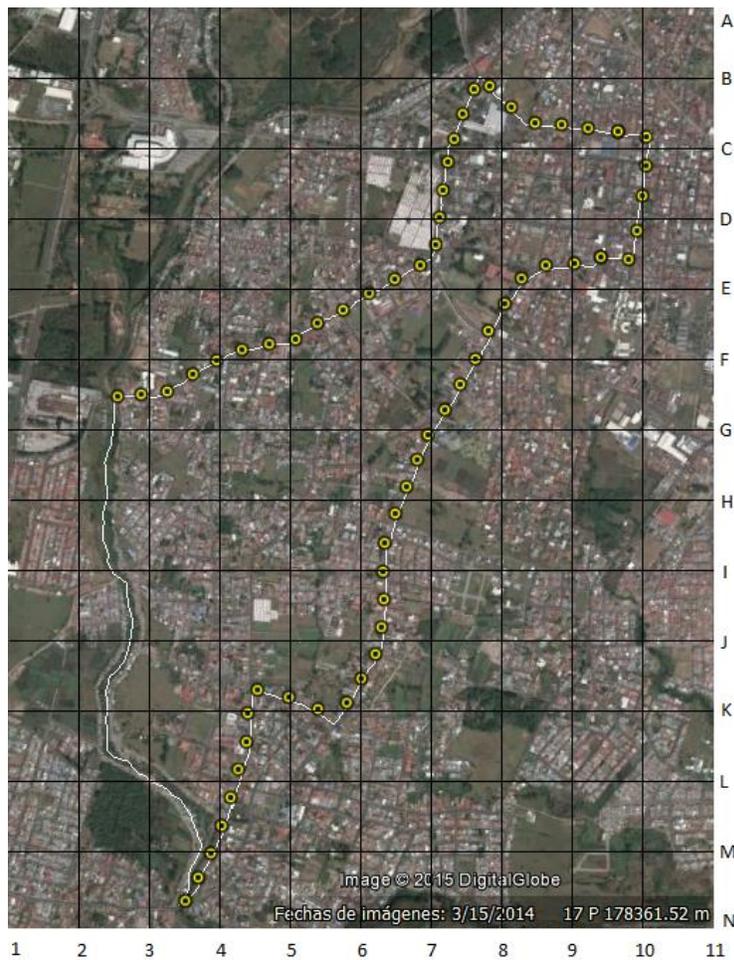
La inspección de campo fue indispensable para definir la cuenca hidrográfica, también para ubicar e identificar los puntos críticos del tramo, que al final sería clave en el análisis de causas y consecuencias. La topografía fue clave para realizar propuestas de desfogue y diseño de alcantarillado pluvial, pues es la rama del conocimiento que permite definir el trazado en planta y perfil del tramo de carretera, que a su vez será la base para proponer los puntos de desfogue y sistema de alcantarillado pluvial.

El objetivo principal de este proyecto, es minimizar la problemática de desbordamientos de carretera, que se dan en el tramo de ruta nacional 228, con la elaboración de un diagnóstico del alcantarillado pluvial que incluyen propuestas de desfogue pluvial con sus respectivos diseños de alcantarillado pluvia y un plan de mantenimiento periódico del tramo analizado. Dichas acciones se realizaron en un tramo que comprende, desde la esquina noroeste de la iglesia de los padres Salesianos, cruzando por los límites de los

cantones de Cartago y Tejar del Guarco, finalizando en la intersección con el río Agua Caliente, todo sobre la ruta nacional 228, con 3,5 km de longitud.

Paralelo a este objetivo se espera que además de ser ejecutado, el trabajo sirva de referencia para próximas intervenciones que realice la Municipalidad de Cartago en la ciudad y que sea base para futuros trabajos de investigación, relacionados con mejoras en sistemas de alcantarillado pluvial.

En el desarrollo de esta investigación, se resumió en forma clara, la información y variables más importantes consideradas en la obtención del producto final en la sección de resultados. En la sección de metodología, quedó plasmada la explicación de cada uno de los pasos y procedimientos en el desarrollo de los objetivos anteriormente planteados.



**Figura 1.** Imagen raster con ejes de coordenadas geográficas trazados. Tomada de Google Earth.

A continuación una tabla con las coordenadas representadas en la Figura 1 con sus respectivas ubicaciones tanto en coordenadas UTM como en geográficas.

Ordenadas	Coordenadas UTM			Coordenadas Geográficas	
	Zona	Este	Norte	Latitud °	Longitud °
1	17P	176683	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 56' 50,8" O
2	17P	176944	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 56' 42,2" O
3	17P	177204	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 56' 33,7" O
4	17P	177470	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 56' 25,0" O
5	17P	177737	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 56' 16,2" O
6	17P	177996	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 56' 07,7" O
7	17P	178260	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 55' 59,1" O
8	17P	178526	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 55' 50,3" O
9	17P	178796	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 55' 41,5" O
10	17P	179059	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 55' 32,9" O
11	17P	179332	1089190	09° 50' 25,5" N	83° 55' 23,9" O
<b>Abscisas</b>					
A	17P	176690	1092651	09° 52' 18,0" N	83° 56' 51,5" O
B	17P	176690	1092120	09° 52' 00,8" N	83° 56' 51,5" O
C	17P	176690	1091857	09° 51' 52,2" N	83° 56' 51,5" O
D	17P	176690	1091594	09° 51' 43,7" N	83° 56' 51,5" O
E	17P	176690	1091324	09° 51' 34,9" N	83° 56' 51,5" O
F	17P	176690	1091061	09° 51' 26,3" N	83° 56' 51,5" O
G	17P	176690	1090798	09° 51' 17,8" N	83° 56' 51,5" O
H	17P	176690	1090534	09° 51' 09,2" N	83° 56' 51,5" O
I	17P	176690	1090390	09° 51' 04,5" N	83° 56' 51,5" O
J	17P	176690	1090268	09° 51' 00,5" N	83° 56' 51,5" O
K	17P	176690	1090005	09° 50' 52,0" N	83° 56' 51,5" O
L	17P	176690	1089745	09° 50' 43,5" N	83° 56' 51,5" O
M	17P	176690	1089482	09° 50' 35,0" N	83° 56' 51,5" O
N	17P	176690	1089194	09° 50' 25,6" N	83° 56' 51,5" O

Tabla 1. Coordenadas UTM y Geográficas de los ejes de la Figura 1. Tomada de Microsoft Excel.

# Objetivos

## General

- 1) Realizar un diagnóstico del sistema de alcantarillado pluvial en el tramo de ruta nacional 228.

## Específicos

- 1) Identificar los puntos críticos en el tramo propuesto, del sistema de alcantarillado pluvial donde se generan problemas de obstrucción.
- 2) Identificar las posibles causas de inundaciones del sistema de alcantarillado pluvial en el tramo propuesto.
- 3) Proponer una intervención en el sistema de alcantarillado pluvial, que reduzca los problemas de inundación en el tramo en estudio.
- 4) Proponer un plan de mantenimiento periódico del sistema de alcantarillado pluvial analizado.

# Alcances y limitaciones

## Alcances

- Se contemplará un diagnóstico del sistema de alcantarillado pluvial, en un tramo de ruta nacional 228.
- La propuesta de intervención considerará solo el caudal de agua de lluvia que tributa al tramo propuesto.
- El plan de mantenimiento periódico, evitará que se genere obstrucción en el sistema de alcantarillado pluvial analizado.
- El plan de mantenimiento periódico estará ligado a las nuevas propuestas de intervención del sistema de alcantarillado.

## Limitaciones

- No se cuenta con información sobre la capacidad de agua en las quebradas que forman parte del área tributaria al tramo analizado.
- Algunas quebradas recorren propiedad privada, por lo que esas zonas no estarán disponibles para inspección.
- El caudal estimado contemplará únicamente el aporte de agua por precipitaciones.
- No existe un levantamiento topográfico en la zona, por lo que deberá utilizarse datos extraídos de Sistemas de Información Geográfica y hojas cartográficas.

# Marco conceptual

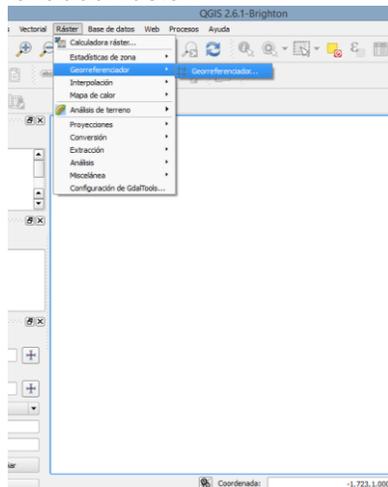
**Quantum Gis (QGIS):** Según la página web oficial del QGIS. El mismo es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto o lo que se conoce como software libre. Siendo uno de los 8 proyectos de la fundación OSGeo. Funciona con C++, permitiendo la integración de plugins tanto de C++ como de Python.

Entre sus principales características destacan que:

- Tiene soporte para la extensión espacial PostgreSQL, PostGIS.
- Manejo de archivos vectoriales Shapefile, ArcInfo coverages, Mapinfo, GRASS GIS, etc.
- Soporte para un importante número de tipos de archivos raster (GRASS GIS, GeoTIFF, TIFF, JPG, etc.)

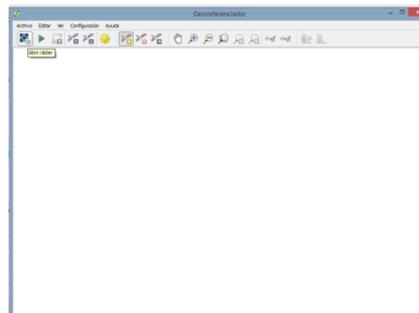
Siendo la última en la que radicó el uso del software para el presente proyecto. Y que se muestra a continuación.

Primer paso seleccionar el georreferenciador raster.



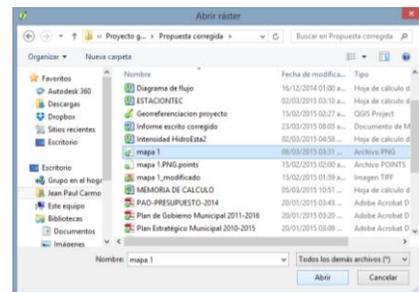
**Figura 1.** Comando "Georreferenciador". Tomado de QGIS.

Seguidamente se abre la ventana de georreferenciador marcando el ícono de añadir raster



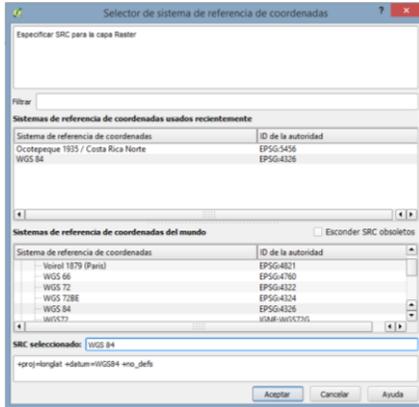
**Figura 2.** Comando "Añadir raster". Tomado de QGIS.

En la ventana de abrir raster, se selecciona la imagen raster que se quiere georreferenciar, para este proyecto la imagen se extrajo de Google Earth y se le dibujaron un sistema de ejes de coordenadas con el software Paint.



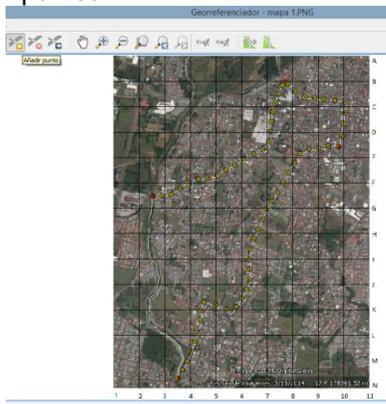
**Figura 3.** Selección de raster a insertar. Tomado de QGIS.

Luego se selecciona el sistema de coordenadas WGS 84



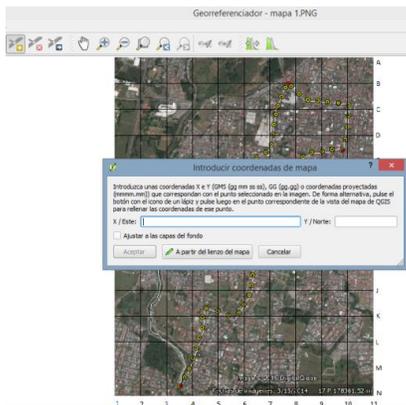
**Figura 4.** Selección del sistema de referencia. Tomado de QGIS.

Con la imagen insertada en QGIS se añaden 4 puntos



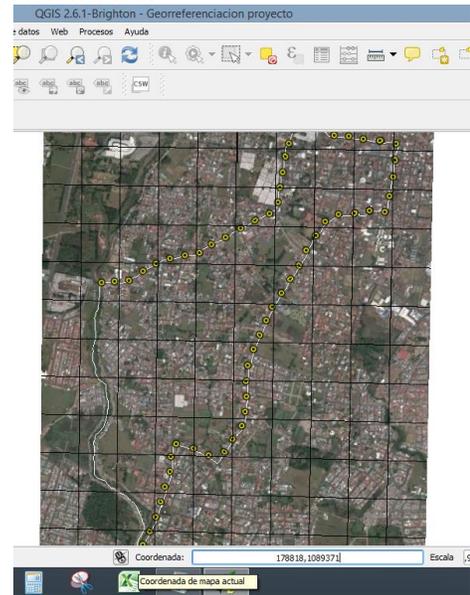
**Figura 5.** Comando "Añadir punto". Tomado de QGIS.

A cada punto se le insertan las coordenadas de Google Earth en UTM correspondientes al mismo punto.



**Figura 6.** Interfaz para ingresar datos de ubicación de puntos. Tomado de QGIS.

Finalmente se tiene una imagen raster georeferenciada.



**Figura 7.** Presentación de coordenadas en la ranura inferior del software. Tomado de QGIS.

**Google Earth:** Es un programa informático que visualiza imágenes de satélite, mapas, relieve, edificios en 3D, lejanas galaxias del espacio y las profundidades marinas. Dentro de sus funciones principales descritas en su sitio oficial de internet [https://www.google.es/intl/es\\_es/earth/explore/products/desktop.html](https://www.google.es/intl/es_es/earth/explore/products/desktop.html), se puede destacar que:

- Crea capas personalizadas de Google Maps o Google Earth con datos privados.
- Crea un mapa a partir de imágenes y fragmentos de carretera personalizados en función de tus datos.
- Restringe el acceso a distintas capas de lugares de interés para proteger los datos confidenciales.

En cuanto a precisión, se puede decir que el programa informático Google Earth tiene una precisión de 2 metros en altura y 3 metros en las dos coordenadas del plano.

El uso de la herramienta inicia con la ubicación de la zona en estudio, para eso se usa el buscador de Google Earth.

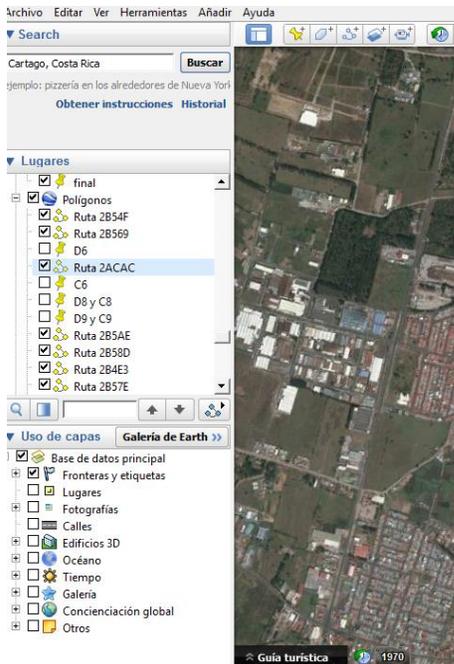


Figura 8. Comando "Buscar". Tomado de Google Earth.

Se localiza el archivo de trabajo con sus elementos señalados.

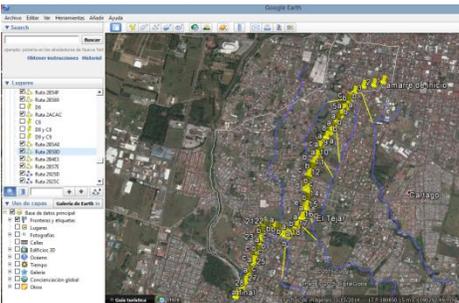


Figura 9. Presentación de los objetos creados en el software. Tomado de Google Earth.

La ubicación o selección de los elementos consistieron en este caso en puntos, polígonos y rutas. Dichos elementos se encuentran en la barra superior a la imagen del archivo.

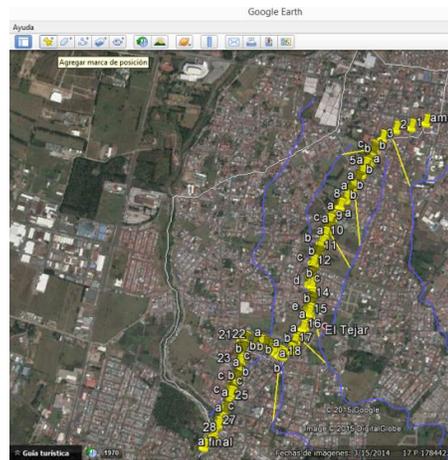


Figura 10. Comando "Añadir marca de posición". Tomado de Google Earth.

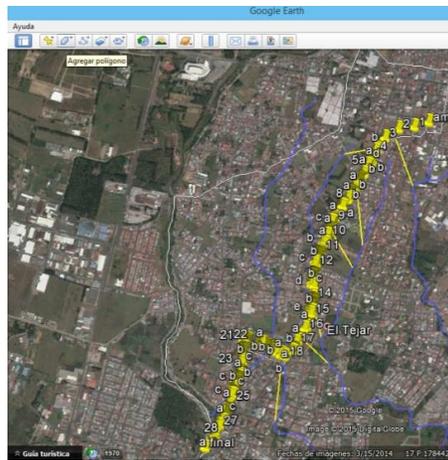


Figura 11. Comando "Añadir polígono". Tomado de Google Earth.

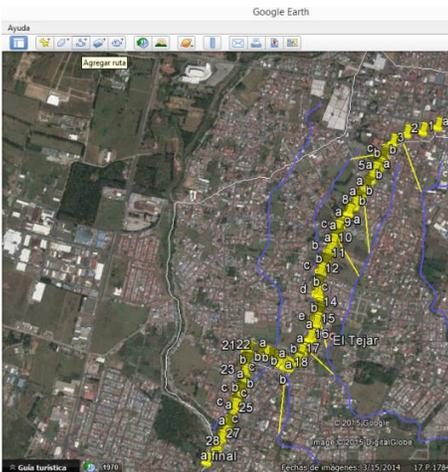
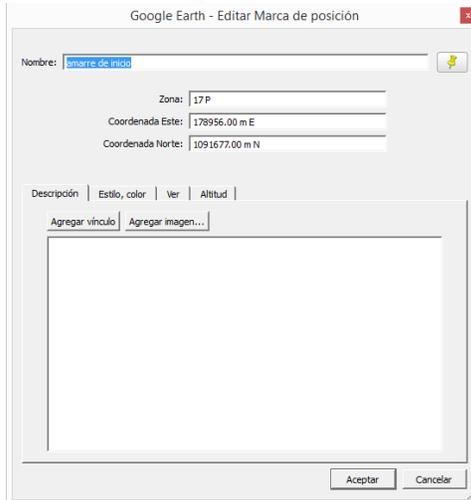


Figura 12. Comando "Añadir ruta". Tomado de Google Earth.

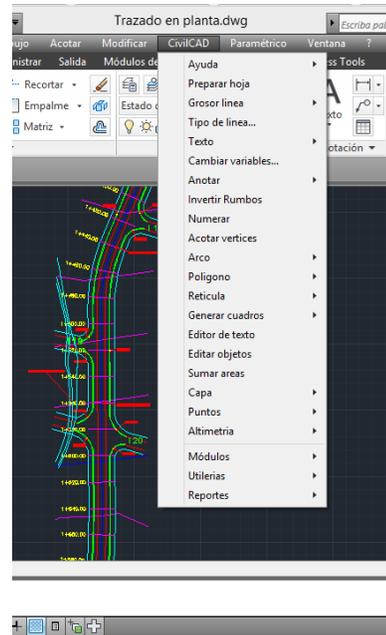
Seleccionando cada elemento y marcando clic derecho en los mismos, se marca la opción de propiedades donde se puede observar las características más importantes de los elementos marcados.



**Figura 13.** Interfaz de edición de objetos. Tomado de Google Earth.

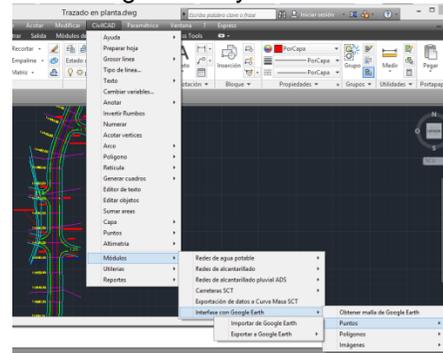
**CivilCAD:** De la información procesada del sitio web <http://www.civilcad.org/> se extrae que CivilCAD es un software diseñado para crear funciones que automatizan y simplifican funciones dentro de AutoCAD. El mismo se integra en la barra de menú de AutoCAD y entre las características más importantes, se rescatan que se puede obtener rápidamente perfiles, secciones, curvas de nivel, cálculo de volúmenes en plataformas y vialidades, cuadros de construcción, subdivisión de polígonos, entre otras más de 100 rutinas útiles. Para este proyecto los comandos utilizados se presentan a continuación.

Se selecciona el botón de CivilCAD en la barra de menú y de ahí se desprenden todos los comandos del software añadido.



**Figura 14.** Software agregado de CivilCAD. Tomado de CivilCAD.

El comando de módulos sirve para importar y exportar puntos y polígonos de CivilCAD a Google Earth y viceversa.



**Figura 15.** Comando "Módulos". Tomado de CivilCAD.

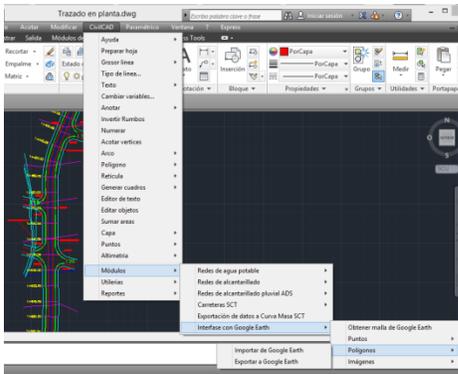


Figura 16. Comando de interfaz con Google Earth "Polígonos". Tomado de CivilCAD.

Se da aceptar a la ventana de "importar puntos" que se abre.

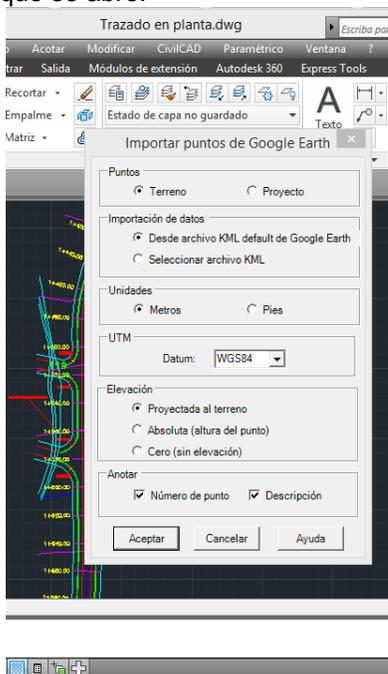


Figura 17. Comando de interfaz con Google Earth "Importar puntos de Google Earth". Tomado de CivilCAD.

Para importar elementos de Google Earth, estos deben seleccionarse entre los elementos KML añadidos a Google Earth.

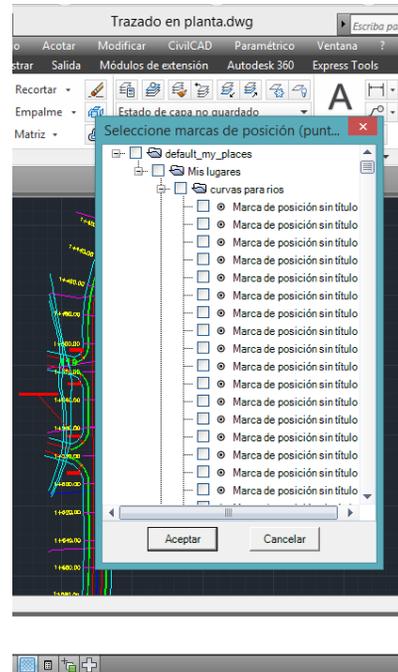


Figura 18. Selección de objetos. Tomado de CivilCAD.

Para exportar elementos se debe seleccionar la zona UTM 17 y WGS84.

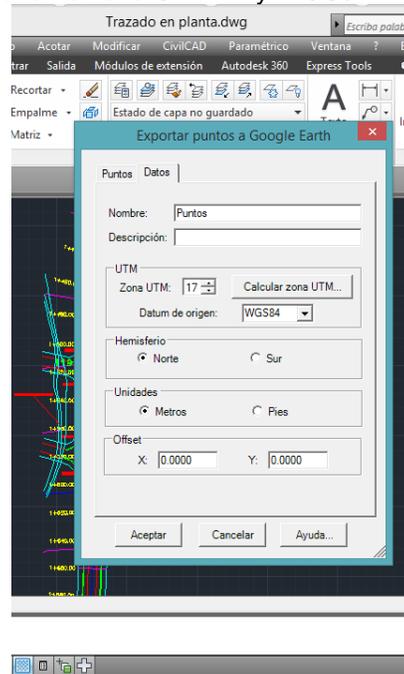


Figura 19. Comando de interfaz con Google Earth "Exportar de Google Earth". Tomado de CivilCAD.

Para verificar características de los elementos se seleccionan y se marcan con clic derecho. Como en el caso de polígonos

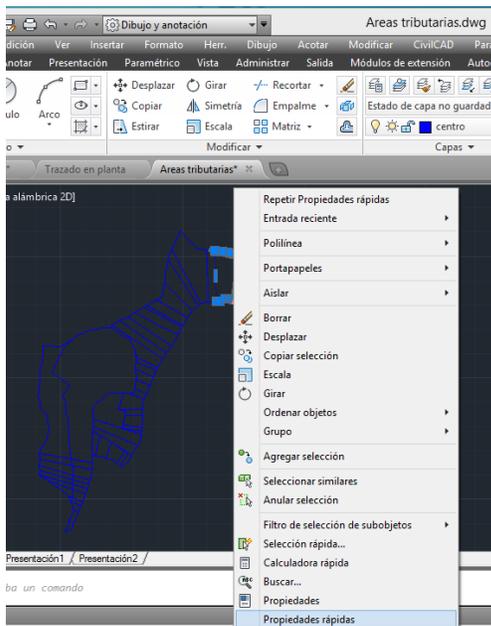


Figura 20. Selección de objetos en CivilCAD. Tomado de CivilCAD.

Al seleccionar la opción de propiedades se pueden ver las características deseadas.

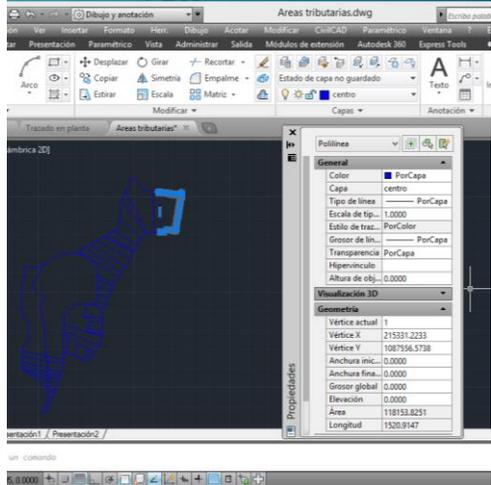


Figura 21. Propiedades de los objetos. Tomado de CivilCAD.

**HidroEsta2:** En la descripción del software presente en el tec digital, específicamente en el sitio de internet <http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/te>

c\_marcha/article/view/211/209 se resume que es una herramienta o software computacional diseñado para realizar cálculos hidrológicos, es una aplicación que permite facilitar y simplificar los cálculos laboriosos que son parte de los estudios hidrológicos.

El mismo permite el cálculo de los parámetros estadísticos, cálculos de regresión lineal, no lineal, simple y múltiple, así como regresión polinomial, evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones, calcular a partir de la curva de variación estacional o la curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia, realizar el análisis de una tormenta y calcular intensidades máximas, a partir de datos de pluviogramas, los cálculos de aforos realizados con correntómetros o molinetes, el cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos y estadísticos, cálculos de la evapotranspiración y cálculo del balance hídrico.

En la interfaz inicial del software se selecciona "Precipitación" de la barra de menú superior.



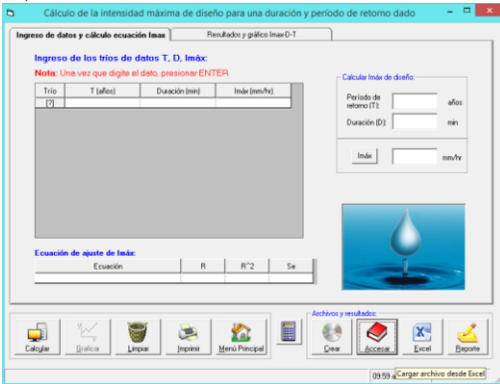
Figura 22. Herramienta "Precipitación". Tomado de HidroEsta2.

Luego se selecciona "Cálculo de intensidad máxima".



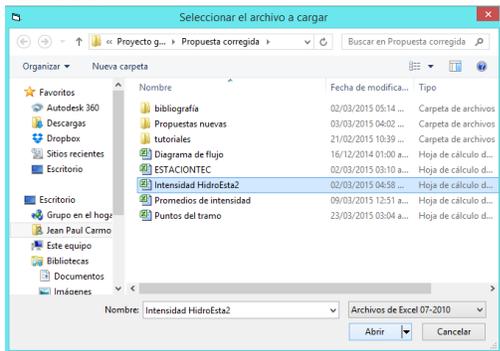
**Figura 23.** Comando "Cálculo intensidad máxima". Tomado de HidroEsta2.

Siguiente paso cargar el archivo de Excel, en el botón inferior derecho.



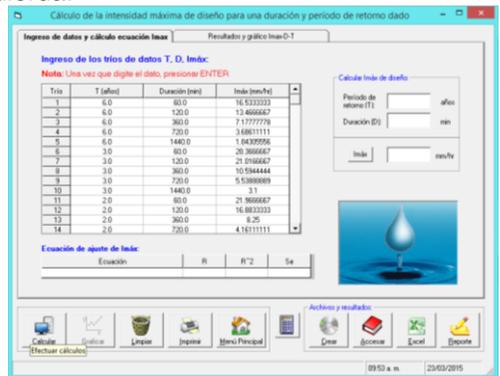
**Figura 24.** Botón de selección de archivo de Excel. Tomado de HidroEsta2.

Seleccionar el archivo con los datos procesados.



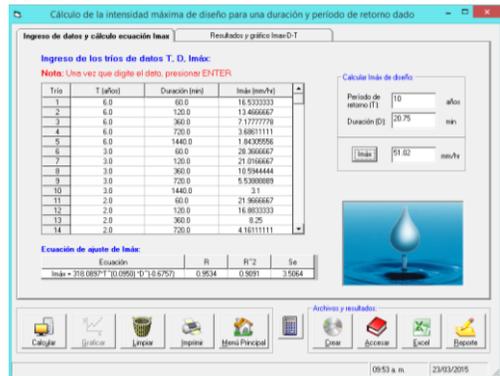
**Figura 25.** Selección de archivo de Excel. Tomado de HidroEsta2.

Seguido se efectúa calcular en el ícono de "Calcular" ubicado en la parte inferior izquierda.



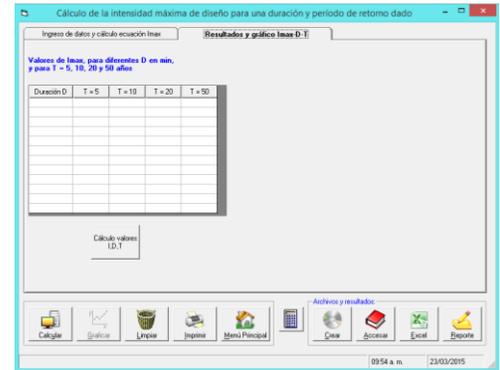
**Figura 26.** Datos enumerados. Tomado de HidroEsta2.

Después es posible insertar los datos de duración y periodo de retorno para obtener la intensidad máxima.



**Figura 27.** Cálculo de intensidad máxima. Tomado de HidroEsta2.

Para obtener los valores que darán forma a la gráfica se calculan los valores de I-D-T ejecutando el botón inferior al cuadro de datos.



**Figura 28.** Interfaz de resultados y gráficos en limpio. Tomado de HidroEsta2.

Con los valores calculados por el software, se procede a graficarlos con el botón inferior izquierdo.



**Figura 29.** Interfaz de resultados y gráficos con la información. Tomado de HidroEsta2.

Para obtener como resultado la gráfica de intensidad-duración-periodo.

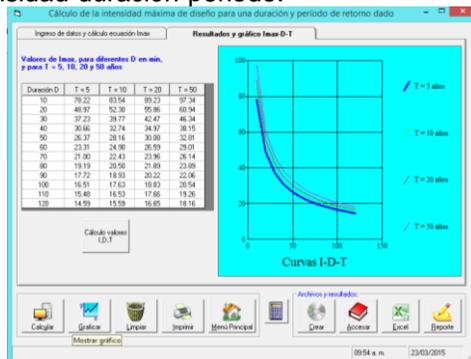


Figura 30. Curvas de I-D-P graficadas. Tomado de HidroEsta2.

En el presente informe se hizo uso de la herramienta introduciendo datos de pluviogramas.

Conversión de coordenadas: En el sitio web <http://www.asturnatura.com/sinflac/calculadora-conversiones-coordenadas.php>, se podrá realizar conversiones entre coordenadas geográficas, UTM y MGRS a coordenadas geográficas.

Se escribe los valores de las coordenadas y automáticamente obtendrá los restantes valores de otras coordenadas y visualizará su ubicación en un Google Maps.

Podrá también explorar la zona o incluso georreferenciar en SINFLAC los datos de la población de cualquier especie que haya observado en la zona. La siguiente imagen ilustra la aplicación de la herramienta.

La página web tiene la siguiente interfaz donde se seleccionan las coordenadas que se van a ingresar y con el botón de “Convertir y mostrar mapa” se obtienen las coordenadas convertidas

Coordenadas de origen

UTM (30T 1234 12345)

Coordenadas UTM

Zona y letra (ej. 30T): 17 P

Easting: 176683

Northing: 1089190

Convertir y mostrar mapa

Coordenada	Valor
UTM	17 P 176683 1089190
MGRS	17FJL76688919
G M S s	09 50 25.5 N, 83 56 50.8 O
G M m	09 50.425 N, 83 56.846 O
G g	9.840410553203512, -83.94743308725315

Figura 31. Interfaz de página web de conversión de sistemas de coordenadas. Tomada de sitio web: <http://www.asturnatura.com/sinflac/calculadora-conversiones-coordenadas.php>.

Como valor agregado al resultado se presenta un mapa de Google maps con la ubicación del punto convertido.

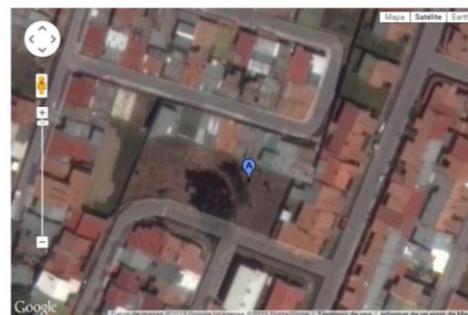


Figura 32. Mapa con punto A de referencia. Tomada de sitio web: <http://www.asturnatura.com/sinflac/calculadora-conversiones-coordenadas.php>.

Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Una de las casas que comercializan aparatos electrónicos como GPS, como lo es AMAZON, publican en su sitio web <http://www.amazon.es/b?ie=UTF8&node=664661031> que un GPS es un objeto que permite a una persona determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros (si se utiliza GPS diferencial), aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. El sistema fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El sistema GPS está constituido por 24 satélites y utiliza la trilateración para determinar en todo el globo la

posición con una precisión de más o menos metros.

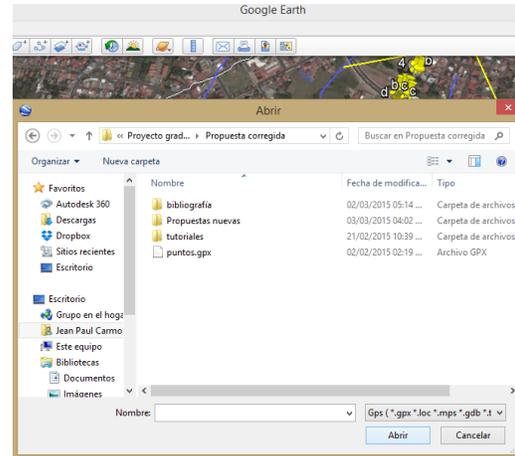
El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra, a 20 200 km de altura, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra.

Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos.

Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante el método de trilateración inversa, la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los satélites.

Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenada real del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites. Cuenta con una precisión de va de 2.5 a 3 metros.

Para el presente proyecto la información en GPS es introducida al Computador, donde fue invocada desde Google Earth como un archivo gpx como se verá a continuación.



**Figura 33.** Información de GPS invocada desde Google Earth. Tomada de Google Earth.

Pluviógrafo: Según Máximo Villón Béjar en su libro de Hidrología 2004. Es el aparato que mide la cantidad de agua caída y el tiempo en que ésta ha caído. Lo más importante de una precipitación no es sólo la cantidad de agua recogida sino el tiempo durante el cual ha caído.

Así, el pluviógrafo sirve para realizar una grabación automática de la precipitación. Este fue el instrumento utilizado en las estaciones meteorológicas para generar la información brindada.

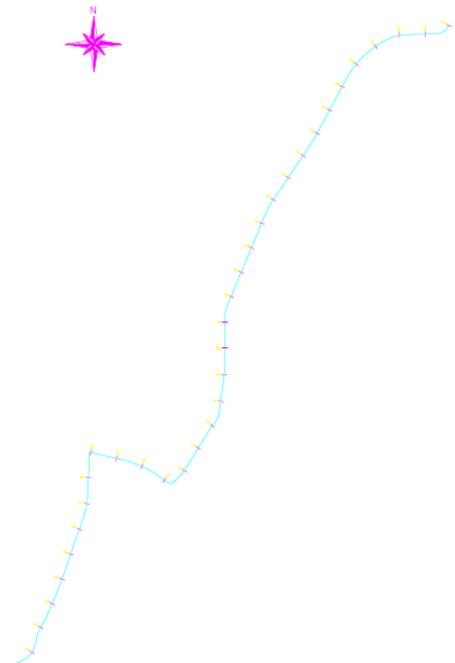
# Metodología

## Georreferenciación

Para este estudio se utilizaron dos sistemas de referencia para ubicación de puntos, los cuales tienen una utilidad diferente en el proceso de ejecución de este análisis.

El primero corresponde a la numeración de estaciones topográficas a cada 20 metros, el cual involucra el amarre de un punto de inicio 0+000.00 en GPS en coordenadas UTM, que posteriormente se convertirán en coordenadas geográficas con ayuda de la interfaz de conversión del sitio web: <http://www.asturnatura.com/sinflac/calculadora-conversiones-coordenadas.php>. Dicho sistema fue muy útil en el proceso de diseño específicamente en la ubicación de las secciones de las nuevas propuestas en el «software» de dibujo técnico CivilCAD, así como en la ubicación de los muestreos realizados a cada 20 m, para los cuales solo se precisa conocer en que longitud del trayecto se encuentra el elemento.

El segundo sistema de localización corresponde a un sistema de coordenadas geográficas, el cual proporcionan la ubicación de un punto específico en dos ejes. El mismo fue útil en la ubicación de los puntos donde es necesaria una intervención de mantenimiento y rehabilitación, en las secciones nuevas propuestas que requerirán la construcción de nuevos elementos que debido al grado de precisión que necesita, requiere de coordenadas geográficas y también se usó en la construcción de la imagen georreferenciada presentada anteriormente.



**Figura 1.1.** Trazado en planta del tramo de ruta nacional con sus estaciones marcadas a cada 20 metros. Tomado de CivilCAD.

Continuando con el proceso de cumplimiento de los objetivos trazados, en primera instancia se trazó un sistema de coordenadas sobre la imagen raster, con lo cual se utilizó el software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) Quantum Gis (QGis), específicamente la aplicación que contiene el mismo donde se puede georreferenciar una imagen o mapa raster con el amarre de 4 o más puntos de la zona.

Para lograrlo fue necesario ubicar el tramo en estudio en el software de Google Earth y esto se hizo con un GPS. Seguidamente se fijan o amarran 4 puntos en Google Earth. Luego se copió la imagen limpia sin capas ni objetos del tramo estudiado, la cual fue invocada desde QGis, donde se remarcan los 4 puntos fijados en la imagen invocada, el «software» QGis tiene el comando que permite fijar ubicaciones en los puntos remarcados, por lo que se insertan las coordenadas de los puntos fijados de Google Earth en UTM a la imagen de QGis.

Luego se obtiene como resultado una imagen georreferenciada donde se puede leer las coordenadas en cualquier punto de la imagen. Con dicho resultado se pudo trazar un sistema de coordenadas geográficas en la imagen que servirá de referencia para que el lector de esta investigación ubique algún punto descrito en la sección de resultados en la imagen.

Seguidamente se conoció la zona del tramo con visitas al campo, se hizo el recorrido con el objetivo de observar los elementos del sistema de alcantarillado. Para este proyecto se procedió a identificar puntos de tuberías, caños, pozos, tragantes y alcantarillas, así como determinar su condición física actual. Para establecer una clasificación de los elementos respecto a su condición física, es de mayor interés determinar tres condiciones ligadas directamente con la capacidad del sistema de trasegar caudal (mal estado, obstruido e insuficiente), pues finalmente el diagnóstico efectuado está íntimamente relacionado con la capacidad del sistema de alcantarillado de trasegar agua.

Las primeras dos condiciones (mal estado y obstruido) fueron determinadas visiblemente en el momento de la inspección. La tercera estaba implícita, pues la condición de “insuficiente” se determina si las secciones actuales no cumplen o son insuficientes para trasegar el volumen de agua calculado en la relación del caudal de agua con la sección transversal de los elementos. Por lo cual, fue necesario establecer el caudal de diseño que fue parte del objetivo dos y el cual define si algún punto específico no tiene la sección transversal suficiente y así poder asignarle la condición de insuficiente a los elementos respectivos.

En una de las visitas a campo se registró por medio de GPS cada uno de los elementos con su respectiva condición física, ubicación en

coordenadas UTM y con ayuda de la página web mencionada anteriormente, se convirtió a coordenadas geográficas.

A continuación se presenta las características establecidas en el tramo para cada una de las tres clasificaciones de condición física. Si alguno de los puntos presentó alguna característica ligada a una de las tres condiciones, se consideró un elemento con ese estado física.

A. Mal estado:

- Concreto desgastado.
- Concreto corroído.
- Estructura de elementos quebrados.
- Ausencia de tapas en pozos y tragantes.

B. Obstruido:

- Basura en interior de elementos (pozos, caños y tuberías).
- Agua estancada en fosa cuerpo de los elementos (pozos, caños y tuberías).
- Rampas de acceso transversales al curso de agua.
- Tuberías transversales al curso de agua.
- Sedimentos en pozos y tragantes.

C. Insuficiente:

- Reducción del diámetro de tuberías en dirección al flujo.
- Diámetro inferior al necesario.
- Falta de cordón y caño.
- Mala ubicación de elementos de alcantarillado.

La información registrada en el GPS se insertó en el documento de Google Earth, con lo cual se pudo obtener la ubicación específica de cada punto en coordenadas geográficas, altura de los puntos. Es importante señalar que las coordenadas geográficas definidas para cada punto, se utilizó con el propósito de ubicar en el espacio el punto específico que presenta el problema y poder intervenirlo en un futuro.

# Información del quehacer de la Municipalidad de Cartago.

Se procedió a recolectar información en las municipalidades de Cartago y Tejar y en los siguientes párrafos se resumen los datos más importantes que fueron considerados en el análisis de causas y consecuencias del problema de inundaciones que se da en el tramo seleccionado.

El plan que maneja la Municipalidad de Cartago para el periodo 2010 al 2015 consiste en trabajar en la solución de los problemas de inundación que ocasionan las aguas de lluvias. Según el documento publicado en su sitio web oficial: <http://www.muni-carta.go.cr/>, la solución deberá incluir la recolección, transporte y disposición final de las masas de agua recolectadas. Se mencionan tres acciones que se aplicarán para cumplir con las metas.

1. Realizar estudios hidrológicos e hidráulicos para el sistema de alcantarillado pluvial.
2. Diseñar un plan de atención en caso de ocurrencia de eventos o emergencias.
3. Construir el interceptor de aguas de lluvias en El Carmen, para controlar los flujos de escorrentía del distrito hacia la zona centro de la ciudad.

El plan detalla que el sistema de recolección de desechos sólidos se hace de forma diaria y que los instrumentos incluyen escobones, carretillas y palas, los cuales son útiles para servir a más de 59 287 metros lineales. El servicio de recolección se da los cinco días de la semana en el distrito central de Cartago y es beneficiada gran parte del tramo analizado. Los días lunes, miércoles, viernes se realiza por las avenidas y martes y jueves por las calles. En este servicio se emplean cincuenta personas, quienes disponen de catorce vehículos recolectores y un «Pick up» para el jefe de

operaciones. Finalmente los desechos son depositados en el relleno sanitario que se ubica dos km al sur del parque botánico Lankaster, carretera a Paraíso.

La otra parte del tramo que corresponde a la Municipalidad de Tejar del Guarco quienes en su página web <http://www.muniguarco.com/index/procedimientos.php> indican que al igual que la Municipalidad de Cartago, los servicios de recolección son diarios y abarcan el distrito central de Tejar, involucrando parte del tramo en estudio

El cantón central de Cartago cuenta con 64 km de los cuales, solo aproximadamente del 20%, se tienen registros de que están en buen estado, del restante porcentaje tiene condición de regular a mal estado. En el apartado anterior se establecieron los puntos del tramo donde hay obstrucción, insuficiencia y mal estado.

## Inspecciones a zonas afectadas del tramo seleccionado

Como parte de la investigación, fue necesario acompañar al personal municipal, a la ingeniera María de los Ángeles González Gutiérrez y el capataz Francisco Collado en sus labores de inspección, para tener claro cómo se tratan las inspecciones municipales, como abordan las quejas y qué soluciones plantean para las diferentes problemáticas.

Los vecinos del cantón llevan sus quejas por escrito al plantel municipal, donde son recibidas y puestas en lista de espera hasta que el personal encargado (en este caso ingeniera y capataz) haga la visita o inspección correspondiente. En las inspecciones se observaron las condiciones de la zona afectada, las cuales fueron anotadas en un registro de inspecciones que maneja la ingeniera, para luego ser analizadas y programar las intervenciones de mantenimiento respectivas.

Un dato interesante es que muchas de las inspecciones llegaron con un tiempo de retraso considerable, donde en algunas ocasiones los vecinos habían tomado la intervención en sus manos. Algunos casos eran

denuncias contra otros vecinos que botaban basura en el sistema de alcantarillas y la mayoría de las quejas estaban relacionadas con estancamiento de aguas en elementos de alcantarillado, malos olores de cloacas e inundaciones en periodos de lluvias.

La municipalidad utiliza sus recursos en el tratamiento y mejoramiento de zonas con elementos de alcantarillado pluvial en mal estado, siempre y cuando se encuentra en su jurisdicción, es decir que el sector a tratar pertenezca a propiedad pública. Se hace mención a lo anterior, porque en algunos de los lugares visitados, tenían problemas de desbordamientos de aguas pluviales, pero la solución implicaba intervenir en propiedad privada, en tales casos la queja era rechazada y se le recomendaba al dueño de dicha casa de habitación que interviniera su propiedad con sus propios recursos.

Como parte del trabajo de campo, se realizaron visitas a los puntos del tramo de carretera, donde algunas quebradas intersecaban la carretera, o pasaban cerca. Lo que se buscaba, era determinar el estado en el que se encontraban, pues es posible que eso influyera en las inundaciones que aquejaban la zona. Cabe rescatar que dichos puntos están identificados en la tabla 1.1 de la sección de resultados. Se pudieron registrar ciertas condiciones en la inspección, que se citan a continuación:

- Obstrucción con desechos sólidos.
- Secciones continuas, donde el área transversal aguas arriba, es mayor que en secciones aguas abajo.
- Quebradas atraviesan propiedades, donde son entubadas por parte de los vecinos, esto sin un control de capacidad de la alcantarilla.
- Aguas negras, grises y jabonosas provenientes de los hogares de muchos vecinos, son desechadas en las quebradas.



**Figura 1.2.** Sección de entrada de tubería de quebrada con ubicación latitud 09°51'10.8'' y longitud 83°56'04.9''. Imagen propia.



**Figura 1.3.** Sección de salida de tubería de quebrada con ubicación latitud 09°51'10.8'' y longitud 83°56'04.9''. Imagen propia.



**Figura 1.4.** Tuberías transversales interrumpen curso de agua en sección de caño. Imagen propia.



**Figura 1.6.** Tragante ubicado a mayor altura del nivel de caño. Imagen propia.



**Figura 1.5.** Ausencia de cordón y caño provoca empozamientos de agua. Imagen propia.



**Figura 1.7.** Sección de alcantarilla en estado de deterioro. Imagen propia.

## Tasa de variación de las secciones

## transversales a lo largo del tramo.

Como parte del diagnóstico es necesario estimar el comportamiento que tiene en la actualidad las secciones transversales. Aunque en el primer objetivo se estableció la condición para los puntos que presentan mayores problemas de trasiego de caudal, no se determina como varía en dimensiones transversales los diámetros de los elementos por donde pasan los volúmenes de agua a lo largo del tramo de carretera.

En las visitas al campo se aprovechó para definir esa variable. En los recorridos se verificó que los diámetros de las secciones transversales se mantenían constantes en tramos con longitudes variables en su mayoría por arriba de los 130 m, y se encontró una longitud mínima aproximada de 30 metros donde el diámetro se mantenía constante.

Por lo cual se decidió tomar mediciones de diámetros a cada 20 m para registrar la variabilidad del diámetro de los elementos a lo largo tramo de carretera. Los puntos de muestreo no cuentan con una ubicación en coordenadas geográficas, sino que cuentan con una ubicación determinada por estaciones topográficas, esto porque no son puntos donde se deban construir elementos de alcantarillado, por lo que la ubicación espacial por medio de estación topográfica es un dato suficiente para cumplir con el objetivo del presente diagnóstico. Lo que implica, que es posible encontrar en campo cada punto donde se realizó la toma de mediciones siguiendo la longitud del trayecto del tramo estudiado.

## Descripción del procesamiento de la información suministrada por el

## Instituto Meteorológico Nacional.

Es importante mencionar que para el cálculo del caudal, se hizo uso del método racional. Para lo cual se necesitó de información del Instituto Meteorológico Nacional. Se debe recalcar que dichos datos no forman parte del contenido del presente informe, pues se firmó un contrato con esta institución, donde no se permite adjuntar los datos suministrados, sin embargo si se nos permitió adjuntar los resultados para procesar dicha información. Los datos fueron extraídos de la estación del Tecnológico de Costa Rica y lo que se solicitó fue la cantidad de precipitación diaria, con sus respectivas duraciones horarias en los últimos cinco años.

En este caso, la información se obtuvo del Instituto Meteorológico Nacional, quienes tienen en las estaciones pluviómetros e instrumentos que miden la cantidad de agua en milímetros que cae en una hora. Se les solicitó los registros por horas de los últimos cinco años. Se conoce, en cuáles horas de cada día llovió y en cuáles no, información necesaria para realizar un estudio de las tormentas máximas que se dan en cada año. El dato se procesó para calcular las intensidades máximas en función de diferentes duraciones para cada uno de los periodos de retorno.

Lo primero que se realizó fue extraer por cada año las tormentas máximas, para este caso se seleccionaron las tres más altas, para luego realizar el análisis de tormentas para cada una y establecer alturas de lluvias en milímetros para duraciones de 1, 2, 6, 12 y 24 horas.

El criterio de selección tomó como referencia dos parámetros, el primero ligado a los días en que cayeron mayores alturas de agua y el segundo relacionado con las duraciones que tenían las precipitaciones. Es decir a mayores alturas de agua diarias y mayores duraciones de tormentas, estas calificaban para estar entre los tres datos anuales, los cuales fueron tabulados y representados en la sección de resultados.

A continuación se presenta un ejemplo del procesamiento de uno de los días de mayor

precipitación. El proceso que se realizó a cada tormenta máxima seleccionada.

Ejemplo: Para el día 28 de julio del 2012 se registró la siguiente información.

Fecha	Hora	Precipitación mm
28/07/2012	01:00	10,2
28/07/2012	02:00	12,3
28/07/2012	03:00	15,7
28/07/2012	04:00	7,1
28/07/2012	05:00	1,2
28/07/2012	06:00	0,1
28/07/2012	07:00	0,0
28/07/2012	08:00	0,3
28/07/2012	09:00	0,1
28/07/2012	10:00	1,9
28/07/2012	11:00	2,7
28/07/2012	12:00	4,6
28/07/2012	13:00	5,0
28/07/2012	14:00	5,6
28/07/2012	15:00	6,3
28/07/2012	16:00	10,1
28/07/2012	17:00	1,2
28/07/2012	18:00	1,4
28/07/2012	19:00	4,4
28/07/2012	20:00	6,0
28/07/2012	21:00	6,2
28/07/2012	22:00	10,3
28/07/2012	23:00	5,0
28/07/2012	24:00:00	1,6

**Tabla 2.1.** Alturas de precipitación horaria para el día 28 de julio de 2012. Tomado de Microsoft Excel.

Para ese día se tomaron las máximas alturas para duraciones de 1, 2, 6, 12 y 24 horas.

En las siguientes imágenes se puede apreciar la selección de alturas máximas marcadas en un cuadro color negro para las diferentes duraciones mencionadas.

Fecha	Hora	Precipitación mm
28/07/2012	01:00	10,2
28/07/2012	02:00	12,3
28/07/2012	03:00	15,7
28/07/2012	04:00	7,1
28/07/2012	05:00	1,2
28/07/2012	06:00	0,1
28/07/2012	07:00	0,0
28/07/2012	08:00	0,3
28/07/2012	09:00	0,1
28/07/2012	10:00	1,9
28/07/2012	11:00	2,7
28/07/2012	12:00	4,6
28/07/2012	13:00	5,0
28/07/2012	14:00	5,6
28/07/2012	15:00	6,3
28/07/2012	16:00	10,1
28/07/2012	17:00	1,2
28/07/2012	18:00	1,4
28/07/2012	19:00	4,4
28/07/2012	20:00	6,0
28/07/2012	21:00	6,2
28/07/2012	22:00	10,3
28/07/2012	23:00	5,0
28/07/2012	24:00:00	1,6

**Figura 2.1.** Máxima altura para una duración de 1 hora. Tomado de Microsoft Excel.

Fecha	Hora	Precipitación mm
28/07/2012	01:00	10,2
28/07/2012	02:00	12,3
28/07/2012	03:00	15,7
28/07/2012	04:00	7,1
28/07/2012	05:00	1,2
28/07/2012	06:00	0,1
28/07/2012	07:00	0,0
28/07/2012	08:00	0,3
28/07/2012	09:00	0,1
28/07/2012	10:00	1,9
28/07/2012	11:00	2,7
28/07/2012	12:00	4,6
28/07/2012	13:00	5,0
28/07/2012	14:00	5,6
28/07/2012	15:00	6,3
28/07/2012	16:00	10,1
28/07/2012	17:00	1,2
28/07/2012	18:00	1,4
28/07/2012	19:00	4,4
28/07/2012	20:00	6,0
28/07/2012	21:00	6,2
28/07/2012	22:00	10,3
28/07/2012	23:00	5,0
28/07/2012	24:00:00	1,6

Figura 2.2. Máxima altura para una duración de 2 horas. Tomado de Microsoft Excel.

Fecha	Hora	Precipitación mm
28/07/2012	01:00	10,2
28/07/2012	02:00	12,3
28/07/2012	03:00	15,7
28/07/2012	04:00	7,1
28/07/2012	05:00	1,2
28/07/2012	06:00	0,1
28/07/2012	07:00	0,0
28/07/2012	08:00	0,3
28/07/2012	09:00	0,1
28/07/2012	10:00	1,9
28/07/2012	11:00	2,7
28/07/2012	12:00	4,6
28/07/2012	13:00	5,0
28/07/2012	14:00	5,6
28/07/2012	15:00	6,3
28/07/2012	16:00	10,1
28/07/2012	17:00	1,2
28/07/2012	18:00	1,4
28/07/2012	19:00	4,4
28/07/2012	20:00	6,0
28/07/2012	21:00	6,2
28/07/2012	22:00	10,3
28/07/2012	23:00	5,0
28/07/2012	24:00:00	1,6

Figura 2.3. Máxima altura para una duración de 6 horas. Tomado de Microsoft Excel.

Fecha	Hora	Precipitación mm
28/07/2012	01:00	10,2
28/07/2012	02:00	12,3
28/07/2012	03:00	15,7
28/07/2012	04:00	7,1
28/07/2012	05:00	1,2
28/07/2012	06:00	0,1
28/07/2012	07:00	0,0
28/07/2012	08:00	0,3
28/07/2012	09:00	0,1
28/07/2012	10:00	1,9
28/07/2012	11:00	2,7
28/07/2012	12:00	4,6
28/07/2012	13:00	5,0
28/07/2012	14:00	5,6
28/07/2012	15:00	6,3
28/07/2012	16:00	10,1
28/07/2012	17:00	1,2
28/07/2012	18:00	1,4
28/07/2012	19:00	4,4
28/07/2012	20:00	6,0
28/07/2012	21:00	6,2
28/07/2012	22:00	10,3
28/07/2012	23:00	5,0
28/07/2012	24:00:00	1,6

Figura 2.4. Máxima altura para una duración de 12 horas. Tomado de Microsoft Excel.

Fecha	Hora	Precipitación mm
28/07/2012	01:00	10,2
28/07/2012	02:00	12,3
28/07/2012	03:00	15,7
28/07/2012	04:00	7,1
28/07/2012	05:00	1,2
28/07/2012	06:00	0,1
28/07/2012	07:00	0,0
28/07/2012	08:00	0,3
28/07/2012	09:00	0,1
28/07/2012	10:00	1,9
28/07/2012	11:00	2,7
28/07/2012	12:00	4,6
28/07/2012	13:00	5,0
28/07/2012	14:00	5,6
28/07/2012	15:00	6,3
28/07/2012	16:00	10,1
28/07/2012	17:00	1,2
28/07/2012	18:00	1,4
28/07/2012	19:00	4,4
28/07/2012	20:00	6,0
28/07/2012	21:00	6,2
28/07/2012	22:00	10,3
28/07/2012	23:00	5,0
28/07/2012	24:00:00	1,6

Figura 2.5. Máxima altura para una duración de 24 horas. Tomado de Microsoft Excel.

Las alturas enmarcadas en el cuadro azul se sumaron y se resumieron en el siguiente cuadro.

Duración (hr)	1	2	6	12	24
Altura (mm)	15,7	28,0	46,6	66,1	119,3

Tabla 2.2. Alturas de precipitación máximas para diferentes duraciones. Tomado de Microsoft Excel.

El mismo procedimiento se realizó para las demás tormentas, teniendo en total tres tormentas por cada año. Con los que finalmente se realizó un promedio ponderado con los tres

valores anuales para obtener alturas máximas anuales para cada duración.

Con dicha información es posible obtener las intensidades para cada duración dividiendo la altura de precipitación por cada duración asociada. Como se presenta en la siguiente fórmula.

$$I = \frac{P}{T} \quad (2 - 1)$$

Donde:

I = Intensidad máxima de lluvia en mm/hr.

P = Altura de precipitación en mm.

T = Duración de la tormenta en hr.

Los periodos de retorno asociados a cada intensidad y duración, se determinan con la fórmula de Weibull que relaciona la cantidad de años analizados con una variable denominada número de orden y la constante de cantidad de periodos estudiados. Finalmente se obtienen intensidades de lluvia asociadas a un periodo de retorno y duración específica, las cuales serán utilizadas en el siguiente paso. A continuación la fórmula de Weibull.

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (2 - 2)$$

Donde:

T = Periodo de retorno correspondiente.

m = Número de orden.

n = Número total de observaciones, en este caso número de años.

En la tabla 2.7 de la sección de resultados que se presenta más adelante, se resumen los resultados descritos por el procedimiento anterior y los cuales fueron introducidos en el «software» HidroEsta2, el cual está diseñado para generar las curvas de intensidad-duración-frecuencia con las cuales se pueden obtener visualmente los valores de intensidad de lluvia más probable para determinada duración, pero el mismo software tiene la opción de ingresar la duración y un periodo de retorno específico y brindar el resultado digital sin necesidad de precisarlo en las gráficas.

## Curvas de intensidad-duración-periodo

Con ayuda del «software» computacional HidroEsta2, (desarrollado por la escuela de Ingeniería Agrícola del Tecnológico de Costa Rica), se generaron las curvas de intensidad-duración-frecuencia. Al «software» se le ingresaron los datos de intensidad de lluvia, duración de lluvia y periodo, con lo cual genera las curvas para diferentes periodos de retorno.

Como se mencionó anteriormente, el «software» HidroEsta2 está diseñado para ingresarle datos en tres columnas. Las columnas contendrían datos de periodo de retorno, duración de precipitación e intensidad máxima en el orden descrito. Con la información descrita anteriormente se diseña una tabla, la cual contiene en la primera columna la información correspondiente al periodo de retorno, en la segunda una duración que está asociada a la tercera columna que comprenderá la intensidad de lluvia para cada duración y periodo de retorno. Finalmente, se obtienen las tres columnas necesarias, para habilitar la ejecución del «software» HidroEsta2.

Los datos representados en la tabla 2.7, fueron introducidos en el «software» HidroEsta2, en la forma y orden mencionada en el párrafo anterior y en la que se muestra en la figura 2.6. Luego, el mismo programa realiza la iteración para dar como resultado, los datos que se aprecian en la figura 2.7, los cuales son graficados y representados en esa misma imagen. El gráfico ilustrado en esa figura, representa los comportamientos de las intensidades máximas de precipitación en función de diferentes duraciones de lluvia para distintos periodos de retorno.

El usuario del «software» tiene la opción de leer gráficamente la intensidad de lluvia correspondiente a cada duración y periodo de retorno o insertar los datos necesarios como duración y periodo de retorno y que el mismo programa indique con una precisión de dos decimales la intensidad de lluvia asociada. En la figura 2.8 se ilustra la interface que se utiliza para realizar el último proceso.

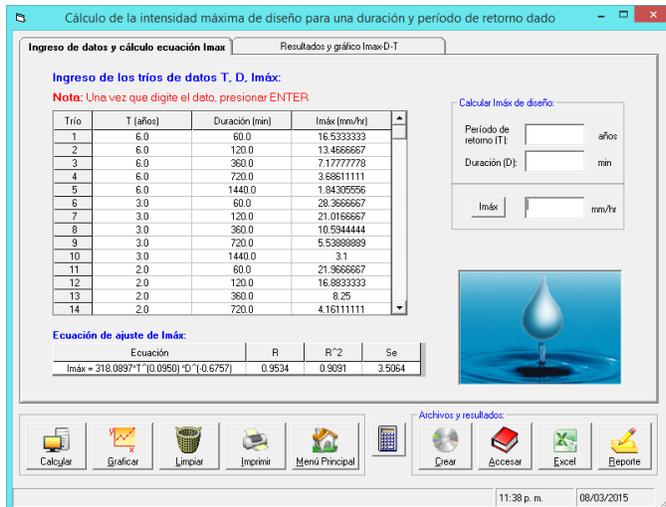


Figura 2.6. Intensidad máxima del tramo analizado. Tomada de HidroEstá2.

En la siguiente imagen aparece la información insertada en el software, pero procesada con las curvas graficadas

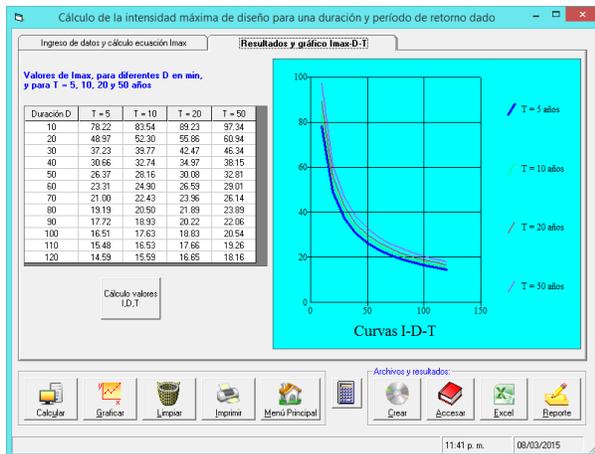


Figura 2.7. Curvas de intensidad-duración-periodo del tramo analizado. Tomada del HidroEstá2.

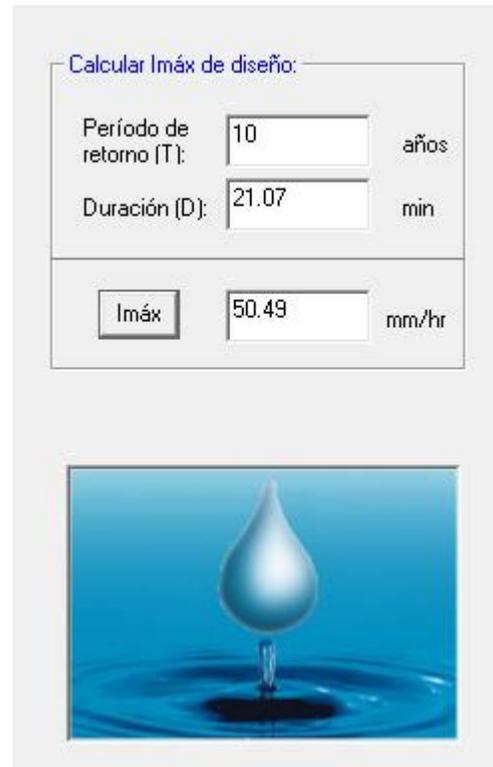


Figura 2.8. Resultado digital extraído de HidroEstá2.

En la figura anterior se muestra la interface del software HidroEstá2, donde se corren los resultados de intensidad de lluvia para cada duración y periodo de retorno. Para este proyecto se establecieron cuatro intensidades de lluvias correspondientes a cuatro propuestas de desfogue pluvial.

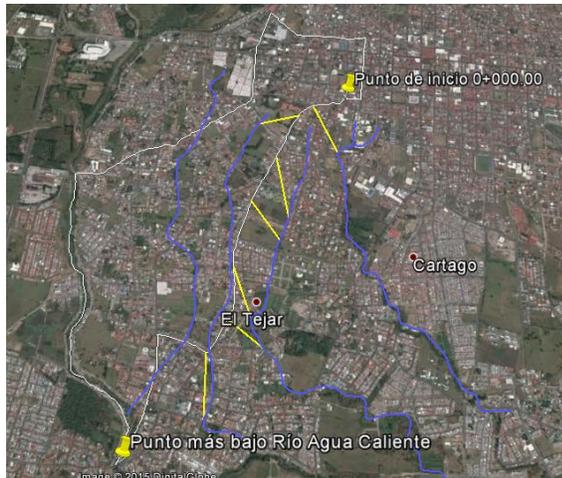
## Cuenca hidrográfica

Para este caso en particular, lo que se hizo fue trazar un recorrido con GPS, el recorrido se realizó considerando el parte aguas que forman los puntos de mayor nivel topográfico, como parte del proyecto no se realizó un levantamiento topográfico detallado con estación total, sino que se tomó como referencia unas curvas que se solicitó al Instituto Geográfico Nacional y las que se generan con ayuda de los «softwares» de CivilCAD y Google Earth, con esta información se obtuvo una idea de la ubicación de los linderos del área tributaria del tramo analizado.

Además se consideró el curso que siguen las aguas en periodos de lluvias, esto con la dirección de flujo que marcan las entradas y salidas de las tuberías de los pozos y tragantes.

Para visualizar mejor el fenómeno, se recorrió los linderos de lo que se sospechaba era el área tributaria en instantes de lluvias y establecer los cursos de aguas que finalmente fueron identificados como los límites de la cuenca hidrográfica.

En la siguiente imagen se presenta la cuenca hidrográfica final que se estimó para este análisis, se demarca con una línea de color blanco y también están representados el punto más bajo donde desfoga el agua al río Agua Caliente y el punto de inicio en la estación 0+000.00.



**Figura 2.9.** Cuenca hidrográfica del tramo de ruta nacional 228. Tomada de Google Earth.

## Cálculo del caudal

Para la estimación del caudal de diseño se utilizó el método racional, pues como se verá a más adelante en la sección de resultados, el área de la cuenca hidrográfica da luz verde para hacer uso del método, el cual establece la relación que se presentará en los siguientes textos. Es importante recalcar que para el caudal estimado se consideró únicamente el caudal de lluvia que cae en la zona. En las inspecciones se pudo observar que muchas de las casas conectaban tubos donde evacuaban aguas grises y estas terminaban en el sistema de alcantarillado pluvial.

Esa situación no es correcta, pues el sistema de alcantarillado pluvial se diseña para evacuar aguas de lluvia y afecta directamente el caudal acumulado que debe trasegar la red de alcantarillado, sin embargo en este proyecto no se consideró dicho caudal.

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{CIA}{360} \quad (2-3)$$

Donde:

Q: Caudal de diseño teórico m<sup>3</sup>/s.

C: Coeficiente de escorrentía promedio.

A: Área tributaria m<sup>2</sup>.

I: Intensidad de lluvia mm/h.

360: Factor de conversión.

La estimación del caudal se realizó para cada una de las secciones diseñadas que incluyen tuberías de pozos, tragantes, desfuegos, cabezales de salidas y cordón y caño. En cada pozo y tragante se definió un área tributaria específica con la cual se estimó un caudal para cada sección de tubería. Las tuberías de desfogue y cabezales de salida se diseñaron con el acumulado de caudal que converge de los pozos y tragantes anteriores. Finalmente el cordón y caño se diseñó con el caudal superficial estimado de acera y media calzada.

## Parámetros de estimación del caudal de diseño

Con ayuda del programa de dibujo CivilCAD para cada elemento se trazó un área tributaria. Con ayuda de Google Earth se definieron polígonos que representan los límites de las superficies vegetación, techadas, asfaltas y de concreto hidráulico, que fueron insertados en CivilCAD. El «software» CivilCAD tiene un comando que permite obtener áreas de polígonos irregulares, con lo cual se determinaron las áreas que corresponden a los diferentes tipos de superficies.

Cada tipo de superficie tiene un coeficiente de escorrentía específico y que se encuentra en la tabla 2.3, al tener una cuenca

con variedad de superficies se vuelve necesario estimar un promedio de todos los coeficientes de escorrentía. Con la fórmula 2-4 que relaciona las diversas superficies con sus coeficientes y el área total, se puede calcular el coeficiente de escorrentía promedio.

$$C_{total} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2 - 4)$$

Donde:

$C_{total}$  = Coeficiente de escorrentía ponderado.

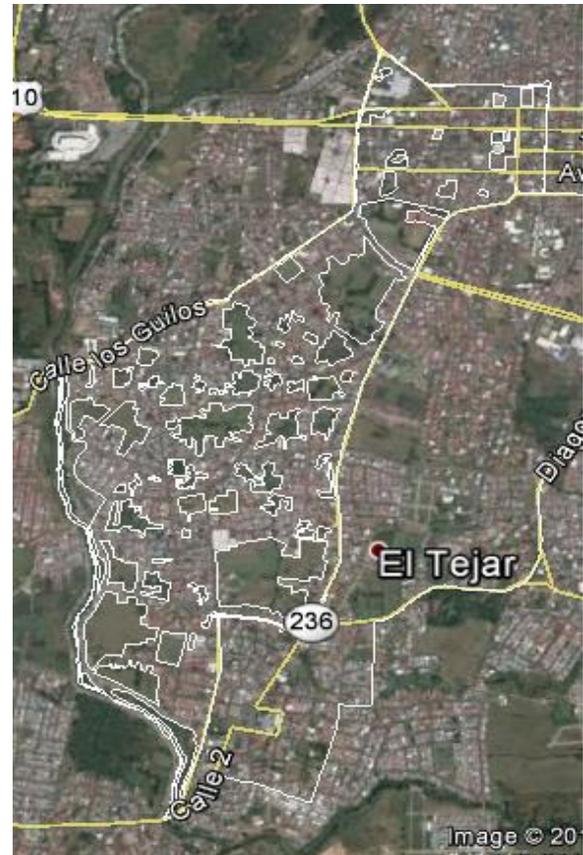
n = Número total de superficies diferentes.

$C_i$  = Coeficientes específicos.

$A_i$  = Área específica.

Tipo de área drenada	Coeficiente C
<i>Áreas comerciales</i>	
Céntricas	0,7 – 0,95
Vecindarios	0,5 – 0,7
<i>Áreas residenciales</i>	
Familiares Simples	0,30 – 0,50
Multifamiliares separadas	0,40 – 0,60
Multifamiliares concentrados	0,60 – 0,75
Semi-urbanos	0,25 – 0,40
Casas de habitación	0,50 – 0,70
<i>Áreas industriales</i>	
Densas	0,60 – 0,90
Espaciadas	0,50 – 0,80
Parques, cementerios	0,10 – 0,25
Campos de juego	0,10 – 0,35
Patios de ferrocarril	0,20 – 0,40
Zonas Urbanas	0,10 – 0,30
<i>Calles</i>	
Asfaltadas	0,70 – 0,95
De concreto hidráulico	0,80 – 0,95
Adoquinadas	0,70 – 0,85
Estacionamientos	0,75 – 0,85
Techados	0,75 – 0,95

**Tabla 2.3.** Valores del coeficiente de escorrentía para zonas urbanas. Tomada de Hidrología. Máximo Villón, (2004).



**Figura 2.10.** Polígonos de superficies de vegetación. Tomada de Google Earth.

Cada tragante, tendrá un área tributaria diferente e independiente, por lo que cada uno, se relacionará con un coeficiente de escorrentía promedio que dependerá de la configuración de superficies del área tributaria correspondiente. Se debe recordar, que para el caso de este proyecto, el cálculo del caudal se hizo para cada uno de los tragantes propuestos en forma independiente, considerando una intensidad de lluvia constante para todos los tragantes, con factores como áreas tributarias variables en cada uno.

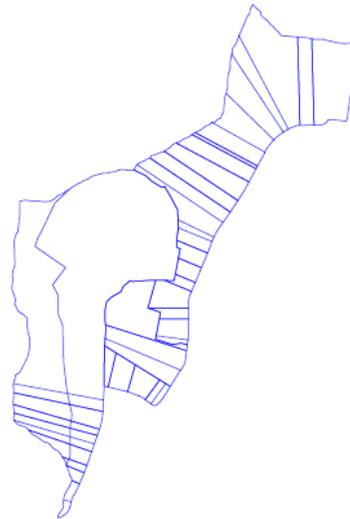
El periodo de retorno se selecciona a criterio del diseñador. En este caso, en el departamento de gestión vías del CONAVI solicitaron que el periodo de diseño fuera de diez años. Por motivo de realizar una comparación con este periodo de retorno, se decidió diseñar con otro periodo de retorno mayor, en este caso se planeó con periodos de retorno de 10 y de 25 años.

Para la intensidad de lluvia se usaron los resultados que arroja el «software»

HidroEsta2. No obstante fue necesario determinar para cada caso una duración probable, por lo cual se procedió a estimar el tiempo de concentración, pues una consideración importante, es que según el texto de Hidrología de Máximo Villón (2004), la capacidad de infiltración del suelo disminuye durante la precipitación, lo que quiere decir que con intensidades de lluvia relativamente bajas, se pueden producir escurrimiento considerablemente alto. Por lo que se ha observado que en las descargas donde se producen los caudales máximos, el tiempo que tardan en concentrarse (tiempo de concentración), es similar a la duración de la tormenta. Por lo que se consideró de forma conservadora, la duración de la tormenta igual a la del tiempo de concentración.

El tiempo de concentración está conformado por dos componentes: el tiempo que tarda el agua en llegar al primer tragante y el tiempo recorrido en las tuberías entre pozos. El cálculo del tiempo de concentración se hará bajo la suposición de que el agua transcurre a tubería llena. El cálculo del tiempo de concentración está ligado a la configuración de tuberías del sistema de alcantarillado. En este caso, el tiempo de concentración se estimó, basado en las nuevas propuestas de tuberías de alcantarillado pluvial y no en la existente, lo que quiere decir que para cada configuración diferente de tuberías hay un tiempo de concentración.

Para el tramo de ruta nacional 228, se utilizó la fórmula de Kirpich, para el cálculo de la primera componente del tiempo de concentración. Para las propuestas de diseño del sistema de tuberías que se presentará más adelante, se calculó el tiempo de concentración. Este cálculo se hizo independiente para cada uno de los tragantes. En la siguiente imagen se representa la división de la cuenca principal, en pequeñas áreas que tributan a cada uno de los tragantes y cada área está ligada a su correspondiente longitud de tramo, el que es directamente proporcional a la segunda componente del tiempo de concentración.



**Figura 2.11.** Subdivisión de áreas tributarias para los diferentes tragantes. Tomado de Civil CAD.

Los tragantes se encuentran a una distancia promedio de 120 m uno del otro, por lo que esa es la longitud que se utilizó en las fórmulas de las componentes del tiempo de concentración, también de acuerdo con el perfil generado, se usó una diferencia de elevación de 2.6 m promedio, lo cual se mantiene constante a lo largo del recorrido y la velocidad del agua en cada una de las tuberías, esta será explicada en la sección de diseño del sistema de alcantarillado.

Es importante mencionar que si la primera componente da como resultado un número menor a 10 min, entonces se debe usar como mínimo esa cantidad. A continuación la fórmula de Kirpich para la primera componente, seguida de la fórmula para la segunda componente del tiempo de concentración.

$$T_1 = 0.0195 \times \frac{L^3}{H}^{0.385} \quad (2 - 5)$$

Donde:

L: Longitud de tubería m

H: Diferencia de elevación del tramo m.

$$T_2 = \frac{L}{60 \times V} \quad (2 - 6)$$

Donde:

L: Longitud de tubería m

V: Velocidad de agua a tubo lleno m/s

Para obtener la componente dos de las demás tuberías siguientes, es necesario realizar el mismo procedimiento con las velocidades en las diferentes secciones.

Finalmente el tiempo de concentración total, será la sumatoria de la componente 1 del primer tragante y la componente 2 de cada una de las tuberías siguientes.

$$T_c = \sum_{n=0}^{\infty} T_1 + T_{2,n} \quad (2-7)$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración total min.

## Trazado en planta

Para realizar un diseño de alcantarillado pluvial se hizo uso del «software» de dibujo CivilCAD, donde se dibujó un trazado en planta, ese trazado fue posible con un recorrido con GPS a lo largo de todo el tramo. Con el recorrido del GPS se dibujó un trazado que corresponde a una línea lateral, la cual fue donde se hizo el trayecto, específicamente en la acera de la derecha en dirección al flujo de caudal. Lo que restaba del dibujo correspondiente a la otra acera, lindero del asfalto y aceras, se completó con información de un levantamiento incompleto realizado por el ingeniero topógrafo Iván Carpio en el año 2010 que comprende los primeros 500 m aproximadamente del tramo analizado, donde se pudo extraer el ancho de calle, aceras. Datos con los cuales se dibujó el trazado de planta del tramo de carretera.

Las intersecciones fueron graficadas por medio de polígonos en el «software» Google Earth, los cuales fueron extraídos al CivilCAD. Al trazado se le agregó la ubicación de las quebradas que atraviesan el tramo que están registradas en la tabla 1.1 de la sección de resultados y que son fundamentales a la hora diseñar. Finalizado el trazado de planta del tramo se procedió dibujar las estaciones que comprenderían dicho tramo, tomando el punto de

inicio y dándole coordenadas UTM que fueron convertidas a coordenadas geográficas. Con el trazado organizado por estaciones topográficas se procedió a la ubicación de elementos como pozos y tragantes, en principio la colocación de estos elementos fue antojadiza y basada en la ubicación actual de elementos de alcantarillado, sin embargo conforme se avanzaba en el diseño y verificación de capacidades de secciones, se fueron perfilando en definitiva la ubicación final de los elementos descritos

El ingeniero Iván Carpio de la Municipalidad de Cartago proporcionó un archivo de AutoCAD que contenía los trayectos de todas las quebradas y ríos que comprendían la ciudad de Cartago, lo que se conoce popularmente como una capa de ríos y quebradas. Dicha capa fue utilizada para unirlos al trazado en planta y generar un nuevo archivo que contenía el trazado en planta y las intersecciones con las quebradas de la zona. De dicho documento, los trayectos de quebradas que corrían cerca del tramo de carretera fueron extrapolados de CivilCAD a Google Earth, y en ese último se trazaron rutas de desfogue pluvial.

Para el trazo de las rutas de desfogue se consideró en la medida de lo posible evitar que estas pasaran por zona urbanizada, sino que más bien se buscó por todos los medios que las mismas siguieran un recorrido en la mayoría de su longitud por zona de vegetación para reducir costos de construcción y hacer que resultara más fácil la instalación de tuberías y demás secciones.



**Figura 3.1.** Vista en planta de las rutas de desfogues a los cuerpos de agua más cercanos. Tomada de Google Earth.

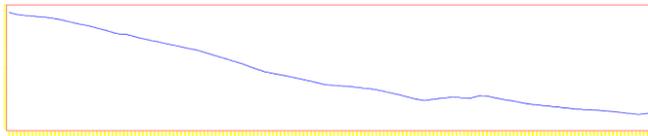
# Perfil del tramo

La topografía también cumple con una función importante, pues para el diseño y propuesta de puntos de desfogue, es indispensable conocer las condiciones de pendientes, trazo en planta, recorrido de las quebradas, entre otros. Con ayuda de programas como Google Earth y CivilCAD, se generaron las curvas de nivel, extrapolando la información que se maneja de Google Earth al CivilCAD, curvas con las cuales se generaron el perfil, sistema de tuberías y demás elementos del alcantarillado pluvial.

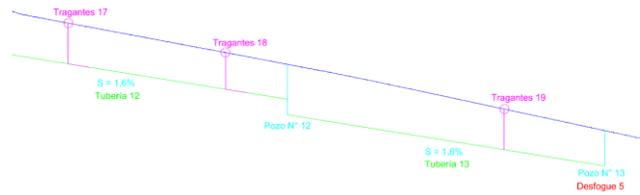
El proceso para generar las curvas de nivel consistió primero en marcar todo el área de la cuenca hidrográfica con muchos puntos, la cantidad de puntos estuvo en función de la precisión en que resultarían las curvas de nivel, cuando estuvieron marcados todos los puntos se procedió a extrapolarlos a CivilCAD, cuando se tenían los puntos en CivilCAD se ejecutó un comando que se llama triangulación que consiste en formar triángulos con los puntos marcados y finalmente se trazan las curvas de nivel con una equidistancia seleccionada.

Cuando se tienen las curvas de nivel trazadas, lo que queda es agregar el trazado en planta sobre las mismas y ordenarle al CivilCAD que genere el perfil del trazo sobre las curvas de nivel, el mismo procedimiento se realizó para generar los perfiles de las rutas de desfogue.

Los perfiles generados fueron muy indispensables para dibujar el recorrido de las tuberías y las ubicaciones de las secciones como pozos, tragantes, puntos de desfogue, cabezales de salida, pendientes de las tuberías. Pues conociendo las alturas en cada punto del tramo es posible generar un perfil un recorrido compuesto por tuberías con dimensiones y pendientes que cumplan con requisitos de diseño, mismas que estarán unidas a elementos de alcantarillado mencionados en este párrafo.



**Figura 3.2.** Perfil del tramo de carretera. Tomado de CivilCAD.



**Figura 3.3.** Perfil de ubicación de algunos elementos representados. Tomado de CivilCAD.

## Ubicación de elementos de alcantarillado pluvial

Antes de ubicar elementos de alcantarillado pluvial se deben considerar requerimientos mínimos. En esta sección se presentan las especificaciones técnicas, consideradas para la realización de las propuestas de diseño de alcantarillado pluvial, que son extraídas del reglamento de diseño y construcción de condominios.

- Proporción del tirante hidráulico respecto a la totalidad del diámetro en las tuberías, no es mayor a 0.85.
- Velocidad máxima en tubería no sobrepasa los 5 m/s.
- Fuerza tractiva en ninguna de las tuberías es menor a 0.1 kg/m<sup>2</sup>.
- Las tuberías en dirección al flujo no disminuye, en la mayoría de los casos aumenta y en otras se mantiene constante.
- Ninguna de las tuberías a nivel de corona se encuentra a profundidades mayores a 3.6 m.
- Los pozos de registro están a distancias menores a 120 m y en cada cambio de pendiente y dirección se colocó uno.
- El diámetro mínimo de las tuberías que unen los pozos de registro es de 400 mm y

el uno los tragantes con los pozos es de 300 mm.

- Todas las esquinas tienen mínimo dos tragantes, y la distancias máxima es menor a 120 m.
- La profundidad mínima de los tragantes es de 0.9 m.

Para las condiciones anteriores se debe cumplir que:

- $Q_{\text{diseño}} < Q_{\text{tubería}}$
- $V_{\text{máxima}} > V_{\text{tubería}}$
- $F_{\text{tractiva mínima}} < F_{\text{tractiva diseño}}$

La ubicación de los elementos de pozos, tragantes, puntos de desfogue y cabezales de salida se hizo con ayuda del trazado en planta. En principio fue un poco arbitraria y antojadiza, poco a poco la ubicación fue encontrando un sentido lógico, pues conforme se colocaban cada uno de los elementos se buscaba cumplir con las consideraciones técnicas de diseño que se mencionan en el párrafo anterior. Luego de la ubicación en planta se prosiguió al ubicar los elementos en perfil considerando la variante de altura, para lo cual también se tomó en cuenta las estipulaciones antes mencionadas y conformando lo que serían las pendientes de las tuberías que a su vez daría forma a sus respectivas longitudes y alturas de las tuberías.

Un factor determinante en la ubicación de elementos fue la altura de pozos y tragantes, pues también se debe considerar algunos requerimientos citados anteriormente, por lo que fue una variante por considerar. Luego de haber colocado los elementos de alcantarillado en planta y darle las alturas correspondientes al perfil, algunos de los elementos debieron sufrir una modificación final en su ubicación tanto en perfil como en planta, pues al momento de considerar el caudal de diseño y establecer diámetros de tuberías, velocidad máxima de tubería, fuerza tractiva y número de Froude se debió ajustar dichas ubicaciones para cumplieran no solo con las consideraciones de diseño sino con la capacidad de trasegar un determinado caudal.

Por lo que se puede decir que la localización de los elementos de diseño consideró su capacidad de trasiego de caudal y requerimientos mínimos establecidos.

## Diseño Hidráulico de secciones

Como parte de los objetivos del proyecto, se procedió a proponer secciones de los elementos de alcantarillado pluvial, lo cual implica un nuevo diseño que contemple las condiciones actuales más cercanas a la realidad del sistema de alcantarillado. De los apartados anteriores, se extrae el caudal de diseño, el perfil del tramo, trazado en planta del tramo de carretera, intersección del tramo de carretera con las quebradas y la información de campo que fue muy importante para cumplir con lo cometido.

El diseño de tuberías implica darle valor numérico a las especificaciones técnicas siguientes. En primera instancia, se debe seleccionar el tipo de sección transversal a utilizar, para determinar relaciones geométricas importantes en los cálculos posteriores. Para lo cual se usó la tabla representada en la figura 3.4.

Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapecoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
 Parabólica	$2/3 T y$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2 y}{3T + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

**Figura 3.4.** Tablas de secciones geométricas variables. Tomada de Manual práctico de diseño de canales. Máximo Villón. (2004).

Para el caso de la propuesta de este informe, las tuberías son de forma circular, por lo cual, parámetros como espejo de agua, radio hidráulica y área hidráulica fueron calculados con las fórmulas establecidas en la tabla.

Un factor que no se debe dejar de lado, es el coeficiente de rugosidad de Manning, el cual varía en función del tipo de material. Para el caso esta investigación, se trabajó con material de concreto, por lo que el coeficiente es 0.013 y se extrajo de la tabla expresada en la figura 3.5.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
<b>A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos</b>			
<b>A-1. Metal</b>			
<b>a. Latón, liso</b>	0.009	<b>0.010</b>	0.013
<b>b. Acero</b>			
1. Estructurado y soldado	0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
<b>c. Hierro fundido</b>			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
<b>d. Hierro forjado</b>			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
<b>e. Metal corrugado</b>			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	<b>0.024</b>	0.030
<b>A-2. No metal</b>			
<b>a. Lucita</b>	0.008	0.009	0.010
<b>b. Vidrio</b>	0.009	<b>0.010</b>	0.013
<b>c. Cemento</b>			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
<b>d. Concreto</b>			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	<b>0.013</b>	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	<b>0.014</b>	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.020
<b>e. Madera</b>			

Figura 3.5. Tabla de coeficientes de rugosidad de Manning. Tomada de Diseño de canales y alcantarillas. Araya, A. (2012).

Se hace referencia al caudal que podrá trasegar cierto elemento del sistema de alcantarillado. Se calculó utilizando la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (3-1)$$

Donde:

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s.

n = Coeficiente de rugosidad.

A = Área hidráulica en m<sup>2</sup>.

R = Radio hidráulico en m.

S = Pendiente de la tubería obtenida en m/m.

Como se mencionó, el caudal resultante, equivaldrá a la capacidad de la tubería, quien deberá compararse con el caudal estimado en el análisis hidrológico, para saber si la sección tendrá la capacidad de trasegar el caudal demandado.

La fuerza tractiva o esfuerzo cortante medio, es un parámetro de importancia, pues establece el punto límite, sobre el que se puede generar deterioro acelerado en las paredes de las tuberías y bajo el cual se pueden obtener

velocidades mínimas que provoquen sedimentación.

$$\tau = \gamma RS \quad (3-2)$$

Donde:

$\gamma$  = Peso específico del fluido en kg/m<sup>3</sup>.

R = Radio hidráulico en m.

S = pendiente de la tubería estimado en m/m.

La velocidad se estimó con el despeje de la ecuación 3-1 de Manning anteriormente expresada y cuyo resultado es la fórmula siguiente:

$$v = \frac{R^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (3-3)$$

Donde:

V = Velocidad media del fluido en m/s.

n = Coeficiente de rugosidad adimensional.

R = Radio hidráulico en m.

S = pendiente de la tubería estimada en m/m.

Las velocidades en los canales varían en un rango cuyos límites son la velocidad mínima que no produzca depósitos de materiales sólidos en suspensión y la máxima que no produzca erosión en las paredes y en el fondo de la tubería. Se utilizó la velocidad que da como resultado la fuerza tractiva de 0.1 kg/m<sup>2</sup> como mínima, pues este valor de fuerza tractiva es el menor valor que se genera en una tubería. Como velocidad máxima se tomó la que la reglamentación técnica para diseño y construcción de condominios y fraccionamientos establece, que es 5 m/s.

Para el cálculo de la longitud de la tubería entre pozos y tragantes.

$$L = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 - (y_1 - y_0)^2} \quad (3-4)$$

Donde:

L = Longitud de tubería en m.

$x_1 - x_0$  = diferencia de longitud horizontal entre pozos o tragantes en m

$y_1 - y_0$  = diferencia de elevación de secciones de pozos o tragantes en m.

El porcentaje se calculó con la ecuación de pendiente.

$$S = \left( \frac{y_1 - y_0}{L} \right) \times 100 \quad (3 - 5)$$

Donde:

S = Pendiente en %.

$y_1 - y_0$  = diferencia de elevación de secciones de pozos o tragantes en m.

L = Longitud de tubería en m.

Es importante establecer, si se está en presencia de tipos de flujo conocidos como: crítico, subcrítico y supercrítico. Esa condición la define el número de Froude, el cual es función de la velocidad del flujo y este a su vez varía conforme a la fuerza tractiva en el canal.

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \frac{A}{T}}} \quad (3 - 6)$$

Donde:

F = Número de Froude.

V = velocidad media del agua en m/s.

G = aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>.

A = área hidráulica en m<sup>2</sup>.

T = espejo de agua en m.

## Propuesta de rutas de desfogue

Para el presente proyecto se consideró realizar el diseño de elementos de alcantarillado para dos periodos de retorno, en este caso 10 y 25 años. Se decidió utilizar 10 años como periodo de retorno por consideración del CONAVI y 25 años se hizo con el fin de hacer una comparación de los resultados del diseño con ambos periodos de retorno. Para cada periodo de retorno se procedió a proponer dos configuraciones de rutas de desfogue de aguas pluviales. La diferencia entre una configuración y la otra radica en que la primera alternativa para cada periodo de retorno considera mayor cantidad de puntos de desfogue y en la segunda se reduce ese número, esto con el objetivo de que la Municipalidad tuviera dos opciones de configuración de rutas de desfogue

pluvial y pudiera seleccionar entre una y la otra en función de sus necesidades.

A lo largo del sistema de alcantarillado se va acumulando caudal, conforme aumenta la distancia del tramo. Por lo cual, es necesario evacuar aguas pluviales en ciertos puntos, para evitar que los caudales aumenten considerablemente, y mantenerse en diámetros de tuberías más pequeños posibles. Para definir los puntos en que se debía desfogue se tomó en cuenta los caudales que recibía cada pozo, cuando se tenían pozos con caudales relativamente grandes, se procedía a colocar puntos de desfogue. En el apartado de resultados, específicamente en las tablas 3.1.8, 3.2.8, 3.3.8 y 3.4.8, se enmarcan los caudales donde se colocó puntos de desfogue.

Muy importante mencionar que si se quiere utilizar alguna quebrada para desfogue volúmenes de agua, se debe tener conocimiento del caudal de agua que normalmente trasiega la quebrada, además de estimar un volumen de agua para temporadas de crecida por invierno y en función de esos datos decidir si es apropiado evacuar tuberías de agua. Sin embargo, en este informe no se considera estimar dichos caudales, por lo que los puntos de desfogue se ubicaron partiendo del supuesto que las quebradas tienen la capacidad de asumir y recibir los caudales que les son entregados.

El problema no se resolvió con asignar puntos de desfogue y puntos de cabezales de salida, pues la tubería que conectaba el punto de desfogue con la quebrada a la cual se pretendía desfogue, debía tener una pendiente que cumpliera con los patrones de diseño establecidos en la sección de diseño hidráulico.

Se concluyó con la propuesta y las tuberías de desfogue terminaron siendo continuas, a excepción la tubería de desfogue dos de las segundas propuestas que consideran menos propuestas, donde fue necesaria la colocación de un pozo de registro para quebrar gradiente y disipar energía, por lo que la ruta de desfogue dos se divide en tramo uno y tramo dos.

Para proponer puntos de desfogue se procuró ser cuidadoso en que el trazo de las rutas de desfogue para que tuvieran la mayor parte de las longitudes en zonas de vegetación, esto con el fin de facilitar el zanjeo y la instalación y evitar al máximo las expropiaciones de terreno. Por lo cual, se calculó el porcentaje

de longitudes en que las propuestas de rutas de desfogue se encuentran en zonas de vegetación.

Finalmente en el momento de escoger los trazos, el porcentaje de longitud que pasa por vegetación fue muy importante e influyente. La longitud de vegetación se calcula como:

$$L_{vegetación} = \left( \frac{L_{tub. veg.}}{L_{Total tub.}} \right) \times 100 \quad (3 - 12)$$

Donde:

$L_{vegetación}$  = Porcentaje de tubería de desfogue en zona de vegetación en %.

$L_{tub. veg.}$  = Longitud de tubería de desfogue en zona de vegetación en m.

$L_{total tub.}$  = Longitud total de tubería de desfogue.

## Selección de periodo de diseño

Para la escogencia de periodos de diseño del alcantarillado pluvial, se tomaron en cuenta una serie de aspectos que se describen en la sección de análisis de resultados. Los mismos fueron considerados para realizar una selección de forma conservadora de periodos de diseño presentados en la sección de resultados.

## Ubicación de puntos de acceso al sistema de alcantarillado pluvial

Es importante considerar puntos estratégicos donde realizar obras de mantenimiento o rehabilitación. Se seleccionaron los ocho primeros puntos de desfogue de la primera propuesta en dirección del flujo en forma oficial. Las dimensiones de estos elementos fueron considerados en la elaboración de los detalles en planos.

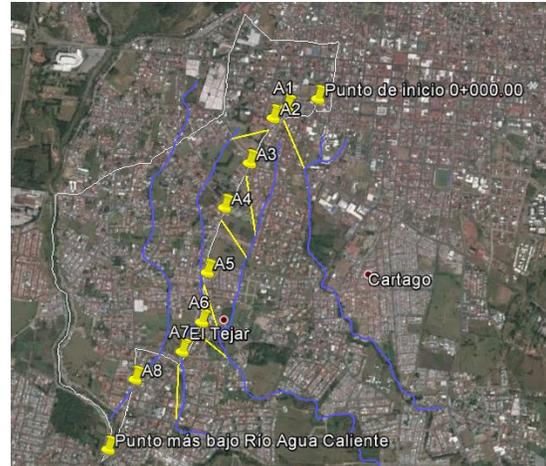


Figura 3.1. Puntos de acceso al sistema de alcantarillado. Tomada de Google Earth.

## Plan de mantenimiento periódico

El plan de mantenimiento periódico establece periodos y actividades de mantenimiento y rehabilitación, así como periodo de aplicación y ejecución.

Luego de haber realizado las propuestas de rutas de desfogue pluvial, se procedió con la elaboración de un plan de mantenimiento periódico que involucrara todas aquellas medidas que aumentara la vida útil del sistema de alcantarillado. Para ellos es necesario tener claro algunos aspectos teóricos como el tipo de mantenimiento, equipos que se van a utilizar, periodo de aplicación de actividades de mantenimiento.

La clasificación de los tipos de mantenimiento consistió de dos, mantenimiento preventivo o predictivo y el mantenimiento correctivo. En el primero se incluyeron todas las actividades necesarias para evitar que se presente algún tipo de problema en el sistema de alcantarillado. El segundo involucra todas las actividades necesarias para corregir algún problema que se revele en el sistema de alcantarillado pluvial.

Dentro de los equipos que se utilizarán para las labores de mantenimiento se deben mencionar los siguientes:

- Bombas sumergibles para evacuar las aguas de los pozos atascadas y de las zanjas inundadas.
- Cable flexible de aleación de cobre, aproximadamente de 12 mm, en longitudes variables que se utilizará para “empujar” los materiales que normalmente producen las obstrucciones hacia abajo.
- Varillas de acero de 12 mm, aproximadamente 60 cm de largo, con uniones en los extremos, que enrosca una con otra para formar un cable largo. Puede ser de madera de 18 mm de diámetro con extremos de bronce hembra-macho para atornillarse una a la otra.
- Picos, palas y herramientas para levantar las tapas y reparar las tuberías.
- Cuerdas, linternas, escaleras de aluminio tipo telescópico o plegadizo.
- Indumentaria que incluya cascos, guantes largos, botas de hule tipo muslera y capas contra la lluvia.
- Equipo de seguridad que incluya detector de gases y mascarillas de seguridad.

Para este caso, la asignación de frecuencias o periodos de aplicación de cada una de las actividades se realizó basada en planes de mantenimiento para otros sistemas de alcantarillado pluvial. Pues, en la fase investigativa, se pudo observar que la mayoría de los planes investigados en términos generales, contaban con periodos de aplicación de labores de mantenimiento similares.

Finalmente, con la información recolectada se procedió a realizar un plan de mantenimiento que fuera aplicable a las cuatro propuestas de rutas de desfogue pluvial, considerando las condiciones propias del sistema de alcantarillado pluvial.

## Resultados

# Tabla con puntos críticos y sus respectivas ubicaciones

A continuación se presenta un cuadro resumen con la clasificación de los puntos críticos identificados con su condición asociada y sus respectivas ubicaciones en el espacio en coordenadas geográficas.

Punto	Elemento	Condición A	Condición B	Condición C	Latitud Norte(°)	Longitud Oeste(°)	Elevación (m)
<b>1</b>	<b>Inicio</b>				09°51'46,8"	83°55'37,2"	1448,82
<b>2</b>	Tragante	Mal estado	-	Insuficiente	09°51'45,7"	83°55'44,0"	1447,62
<b>3</b>	Tragante	Mal estado	-	Insuficiente	09°51'45,0"	83°55'46,2"	1445,22
<b>4</b>	Caño	Mal estado	-	Insuficiente	09°51'32,0"	83°55'54,1"	1433,44
<b>5</b>	Caño	-	Obstruido	Insuficiente	09°51'31,7"	83°55'54,5"	1433,20
<b>6</b>	Caño	-	Obstruido	Insuficiente	09°51'23,8"	83°55'59,2"	1427,43
<b>7</b>	Caño	-	Obstruido	Insuficiente	09°51'23,8"	83°55'59,5"	1427,43
<b>8</b>	Tubería	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°51'23,0"	83°55'59,5"	1426,23
<b>9</b>	Caño	Mal estado	Obstruido	-	09°51'19,8"	83°56'01,0"	1423,83
<b>10</b>	Caño	Mal estado	Obstruido	-	09°51'19,1"	83°56'01,3"	1423,83
<b>11</b>	Tubería	Mal estado	Obstruido	-	09°51'16,9"	83°56'02,4"	1422,63
<b>12</b>	Tubería	-	Obstruido	-	09°51'16,2"	83°56'02,8"	1423,11
<b>13</b>	Caño	-	Obstruido	-	09°51'15,1"	83°56'03,1"	1420,70
<b>14</b>	Tubería	-	Obstruido	-	09°51'14,8"	83°56'03,1"	1419,98
<b>15</b>	Alcantarilla	Mal estado	Obstruido	-	09°51'10,8"	83°56'04,9"	1417,82
<b>16</b>	Alc. Quebrada	Mal estado	Obstruido	-	09°51'10,1"	83°56'04,6"	1416,86
<b>17</b>	Alc. Quebrada	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°51'08,3"	83°56'04,6"	1416,14
<b>18</b>	Tragante	Mal estado	Obstruido	-	09°51'07,6"	83°56'04,6"	1418,30
<b>19</b>	Caño	Mal estado	Obstruido	-	09°51'05,8"	83°56'04,6"	1416,38
<b>20</b>	Caño	Mal estado	-	Insuficiente	09°51'04,0"	83°56'04,6"	1415,66
<b>21</b>	Alc. Quebrada	Mal estado	Obstruido	-	09°50'52,8"	83°56'15,4"	1406,28
<b>22</b>	Tragante	-	Obstruido	Insuficiente	09°50'53,2"	83°56'16,1"	1408,21
<b>23</b>	Tragante	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'51,4"	83°56'21,1"	1405,32
<b>24</b>	Caño	-	Obstruido	Insuficiente	09°50'49,9"	83°56'21,5"	1404,36
<b>25</b>	Caño	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'47,8"	83°56'21,5"	1403,16
<b>26</b>	Tragante	Mal estado	Obstruido	-	09°50'46,0"	83°56'22,2"	1403,16
<b>27</b>	Caño	Mal estado	-	-	09°50'43,1"	83°56'22,9"	1401,48
<b>28</b>	Tragante	Mal estado	Obstruido	-	09°50'41,6"	83°56'23,3"	1399,79
<b>29</b>	Tragante	Mal estado	-	-	09°50'41,3"	83°56'23,6"	1400,28
<b>30</b>	Tragante	-	Obstruido	-	09°50'39,1"	83°56'24,0"	1400,28

31	Tragante	-	Obstruido	-	09°50'38,8"	83°56'24,4"	1399,31
32	Tragante	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'29,8"	83°56'28,0"	1396,67
33	<b>Río</b>				09°50'28,3"	83°56'30,5"	1399,31
34	Caño	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'30,8"	83°56'26,9"	1395,71
35	Caño	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'32,3"	83°56'26,5"	1396,43
36	Caño	-	Obstruido	Insuficiente	09°50'34,1"	83°56'25,8"	1397,87
37	Caño	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'36,2"	83°56'24,7"	1396,91
38	Tragante	-	Obstruido	-	09°50'38,0"	83°56'24,0"	1398,11
39	Caño	Mal estado	Obstruido	-	09°50'38,8"	83°56'24,0"	1399,31
40	Caño	Mal estado	-	-	09°50'40,6"	83°56'23,3"	1399,07
41	Caño	Mal estado	-	-	09°50'42,7"	83°56'22,6"	1399,55
42	Alc. Quebrada	Mal estado	Obstruido	-	09°50'44,5"	83°56'22,2"	1400,28
43	Alc. Quebrada	Mal estado	Obstruido	-	09°50'45,6"	83°56'21,5"	1401,24
44	Tubería	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'47,4"	83°56'21,1"	1402,68
45	Tubería	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'51,7"	83°56'20,8"	1404,36
46	Caño		Obstruido	Insuficiente	09°50'53,9"	83°56'20,0"	1406,52
47	Caño	Mal estado	-	Insuficiente	09°50'53,5"	83°56'31,6"	1405,80
48	Caño		Obstruido	Insuficiente	09°50'53,2"	83°56'16,8"	1405,08
49	Caño	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'52,8"	83°56'16,1"	1405,08
50	Caño	Mal estado	-	Insuficiente	09°50'50,6"	83°56'11,4"	1405,32
51	Caño	-	Obstruido	Insuficiente	09°50'50,3"	83°56'11,4"	1405,32
52	Tubería	-	Obstruido	Insuficiente	09°50'52,1"	83°56'08,9"	1406,04
53	Tubería	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°50'58,2"	83°56'04,9"	1407,97
54	Tubería	-	Obstruido	Insuficiente	09°50'58,6"	83°56'04,9"	1406,76
55	Caño	-	Obstruido	Insuficiente	09°50'59,6"	83°56'04,6"	1407,24
56	Tragante	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°51'03,2"	83°56'04,2"	1406,04
57	Caño	Mal estado	-	-	09°51'06,1"	83°56'04,2"	1410,37
58	Caño	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°51'08,6"	83°56'04,2"	1410,37
59	Caño	Mal estado	Obstruido	-	09°51'10,1"	83°56'04,2"	1412,77
60	Caño	Mal estado	Obstruido	-	09°51'13,0"	83°56'03,5"	1416,38
61	Caño	-	Obstruido	-	09°51'14,4"	83°56'02,8"	1414,45
62	Caño	Mal estado	Obstruido	-	09°51'15,1"	83°56'02,8"	1415,42
63	Tubería	Mal estado	Obstruido	-	09°51'20,5"	83°56'00,2"	1417,82
64	Caño	Mal estado	Obstruido	-	09°51'22,3"	83°55'59,5"	1418,78
65	Tragante	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°51'23,4"	83°55'59,2"	1419,74
66	Tragante	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°51'24,5"	83°55'58,4"	1420,46
67	Tragante	-	Obstruido	Insuficiente	09°51'32,4"	83°55'53,4"	1425,51
68	Tragante	-	Obstruido	Insuficiente	09°51'34,6"	83°55'52,3"	1426,95
69	Tragante	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°51'39,6"	83°55'49,8"	1431,52
70	Tragante	Mal estado	-	Insuficiente	09°51'42,8"	83°55'47,6"	1432,00
71	Tragante	Mal estado	-	Insuficiente	09°51'43,9"	83°55'46,6"	1433,20
72	Tragante	Mal estado	-	Insuficiente	09°51'45,4"	83°55'45,1"	1434,88
73	Tragante	-	Obstruido	Insuficiente	09°51'45,4"	83°55'44,4"	1434,64

74	Alcantarilla	Mal estado	Obstruido	Insuficiente	09°51'45,7"	83°55'43,7"	1435,60
75	<b>Fin</b>				09°51'46,8"	83°55'36,5"	1437,29

Tabla 1.1. Condición y ubicación espacial de los puntos levantados en campo. Tomado de Microsoft Excel.

## Cuadro con causas analizadas y sus respectivas implicaciones en el sistema de alcantarillado pluvial

A continuación, las tablas que contienen la información resumida y procesada de las tres tormentas máximas del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, seguida de las tablas correspondientes a los promedios de las intensidades de lluvias relacionadas con las alturas máximas por tormenta.

Año	Duración (hrs)				
	1	2	6	12	24
2009	14,8	22,0	57,2	60,1	60,1
2009	18,9	28,2	29,7	29,7	29,7
2009	15,9	30,6	42,3	42,9	42,9
2010	25,0	39,1	61,6	67,7	67,7
2010	31,1	38,0	48,8	49,1	49,1
2010	29,0	49,0	80,3	82,6	106,4
2011	24,9	41,8	54,1	54,1	54,1
2011	18,6	33,5	50,1	50,7	50,7
2011	22,4	26,0	44,3	45,0	45,0
2012	20,8	37,6	38,7	39,1	39,1
2012	16,3	25,5	28,9	30,7	32,8
2012	15,7	28,0	46,6	66,1	109,1
2013	10,6	16,5	25,7	25,7	25,7
2013	16,6	31,8	57,2	57,6	57,6
2013	8,4	15,0	37,8	45,1	46,9

Tabla 2.1. Alturas de precipitación máximas anuales en mm para cada duración. Tomado de Microsoft Excel.

Las siguientes cinco tablas corresponden a los promedios de las intensidades de lluvias relacionadas con las alturas máximas por tormenta por cada año.

Año	Duración (hrs)				
	1	2	6	12	24
2009	14,800	11,000	9,533	5,008	2,504
2009	18,900	14,100	4,950	2,475	1,238
2009	15,900	15,300	7,050	3,575	1,788
<b>Promedio</b>	<b>16,533</b>	<b>13,467</b>	<b>7,178</b>	<b>3,686</b>	<b>1,843</b>

Tabla 2.2. Promedio de intensidades máximas anuales en mm/hr para cada duración. Tomado de Microsoft Excel.

Año	Duración (hrs)				
	1	2	6	12	24
2010	25,000	19,550	10,267	5,642	2,821
2010	31,100	19,000	8,133	4,092	2,046
2010	29,000	24,500	13,383	6,883	4,433
<b>Promedio</b>	<b>28,367</b>	<b>21,017</b>	<b>10,594</b>	<b>5,539</b>	<b>3,100</b>

Tabla 2.3. Promedio de intensidades máximas anuales en mm/hr para cada duración. Tomado de Microsoft Excel.

Año	Duración (hrs)				
	1	2	6	12	24
2011	24,900	20,900	9,017	4,508	2,254
2011	18,600	16,750	8,350	4,225	2,113
2011	22,400	13,000	7,383	3,750	1,875
<b>Promedio</b>	<b>21,967</b>	<b>16,883</b>	<b>8,250</b>	<b>4,161</b>	<b>2,081</b>

Tabla 2.4. Promedio de intensidades máximas anuales en mm/hr para cada duración. Tomado de Microsoft Excel.

Año	Duración (hrs)				
	1	2	6	12	24
2012	20,800	18,800	6,450	3,258	1,629
2012	16,300	12,750	4,817	2,558	1,367
2012	15,700	14,000	7,767	5,508	4,546
<b>Promedio</b>	<b>17,600</b>	<b>15,183</b>	<b>6,344</b>	<b>3,775</b>	<b>2,514</b>

Tabla 2.5. Promedio de intensidades máximas anuales en mm/hr para cada duración. Tomado de Microsoft Excel.

Año	Duración (hrs)				
	1	2	6	12	24
2013	10,600	8,250	4,283	2,142	1,071
2013	16,600	15,900	9,533	4,800	2,400
2013	8,400	7,500	6,300	3,758	1,954
<b>Promedio</b>	<b>11,867</b>	<b>10,550</b>	<b>6,706</b>	<b>3,567</b>	<b>1,808</b>

Tabla 2.6. Promedio de intensidades máximas anuales en mm/hr para cada duración. Tomado de Microsoft Excel.

Los resultados de procesar la información del Instituto Meteorológico Nacional, para el caso del tramo de ruta nacional 228 de la estación del Tecnológico de Costa Rica, para los años 2009-2013 se presentan en la siguiente tabla.

Periodo	Duración (min)	Intensidad (mm/hr)
6	60	16,533
6	120	13,467
6	360	7,178
6	720	3,686
6	1440	1,843
3	60	28,367

3	120	21,017
3	360	10,594
3	720	5,539
3	1440	3,100
2	60	21,967
2	120	16,883
2	360	8,250
2	720	4,161
2	1440	2,081
1,5	60	17,600
1,5	120	15,183
1,5	360	6,344
1,5	720	3,775
1,5	1440	2,514
1,2	60	11,867
1,2	120	10,550
1,2	360	6,706
1,2	720	3,567
1,2	1440	1,808

**Tabla 2.7.** Cuadro resumen de intensidad de lluvia y sus respectivas duraciones y periodos de retorno. Tomado de Microsoft Excel.

En el software HidroEsta2 se estimó la intensidad para los periodos de retorno de 10 y 25 años para las duraciones correspondientes a cada propuesta de rutas de desfogue y la síntesis de los datos obtenidos, se resume en la tabla 2.8.

Parámetro	T = 10 años		T = 25 años	
	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
<b>Tiempo (min)</b>	21,07	20,75	20,86	20,48
<b>Intensidad (mm/hr)</b>	52,49	51,02	55,46	56,15

**Tabla 2.8.** Cuadro resumen de duración e intensidad de lluvia para cada propuesta de desfogue pluvial. Tomado de Microsoft Excel.

El área tributaria total de la cuenca hidrográfica fue de 2.22 km<sup>2</sup>, sin embargo el cálculo del caudal del diseño se realizó para cada uno de los elementos, considerando las diferentes áreas tributarias de cada sección en que se subdividía la totalidad de la cuenca. A continuación un cuadro resumen con los caudales obtenidos para cada propuesta de ruta de desfogue pluvial correspondiente a los periodos de retorno de 10 y 25 años.

Tubería	Área m <sup>2</sup>	Caudal m <sup>3</sup> /s			
		T = 10 años		T = 25 años	
		Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
<b>1</b>	118153,80	1,295	1,308	1,413	1,427
<b>2</b>	45105,10	1,847	1,865	2,015	2,034
<b>3</b>	182277,95	1,999	3,883	2,181	4,236
<b>4</b>	109785,89	0,828	0,836	0,903	0,912
<b>5</b>	47734,38	1,217	1,228	1,325	1,337

<b>6</b>	42133,14	1,553	1,568	1,691	1,707
<b>7</b>	54669,80	0,397	1,969	0,433	2,145
<b>8</b>	47152,94	0,873	2,449	0,952	2,669
<b>9</b>	93323,25	1,817	3,402	1,982	3,709
<b>10</b>	24079,83	0,232	0,234	0,253	0,255
<b>11</b>	16496,18	0,394	0,398	0,430	0,434
<b>12</b>	21658,22	0,661	0,668	0,721	0,728
<b>13</b>	33885,46	1,050	1,060	1,146	1,157
<b>14</b>	11914,34	0,149	1,211	0,163	1,321
<b>15</b>	27283,95	1,222	2,294	1,333	2,503
<b>16</b>	51063,29	0,499	0,504	0,544	0,550
<b>17</b>	37554,23	0,777	0,785	0,848	0,856
<b>18</b>	34205,20	0,841	0,849	0,917	0,926
<b>19</b>	23817,63	1,234	1,246	1,133	1,144
<b>20</b>	11460,58	0,882	0,890	0,962	0,971
<b>21</b>	225838,45	0,882	2,001	1,297	2,183
<b>22</b>	225838,45	1,189	1,200	1,297	1,310
<b>23</b>	67837,40	1,714	1,730	1,869	1,887
<b>24</b>	48681,76	2,239	2,260	2,442	2,466
<b>25</b>	66904,25	0,324	0,326	0,345	0,348
<b>26</b>	23562,21	0,737	0,744	0,796	0,803
<b>27</b>	11821,22	0,841	0,848	0,909	0,917
<b>28</b>	6163,78	0,914	0,922	0,989	0,997
<b>29</b>	6163,78	0,914	0,922	0,989	0,997

**Tabla 2.9.** Cuadro resumen con las tuberías con sus respectivas áreas tributarias y caudales. Tomado de Microsoft Excel.

Seguidamente un cuadro comparativo con las medidas obtenidas en campo a cada 20 metros en el tramo y los diámetros propuestos en los diseños de rutas de desfogue pluvial contemplados en el apartado siguiente. Cabe destacar que el sucesivo cuadro es base para definir la condición de insuficiente en la sección anterior de los puntos levantados topográficamente y clasificados en la tabla 1.1.

Estación (m)	Elemento	Diámetros (cm)					Condición Propuesta 1	Condición Propuesta 2	Condición Propuesta 3	Condición Propuesta 4
		Real	T = 10 años		T = 25 años					
			Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4				
0+000,00	Caño	50	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+020,00	Caño	50	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+040,00	Tragante	50	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+060,00	Caño	50	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+080,00	Caño	50	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+100,00	Caño	50	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+120,00	Caño	50	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+140,00	Caño	50	85	85	90	90	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+160,00	Caño	50	85	85	90	90	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+180,00	Caño	50	85	85	90	90	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+200,00	Tragante	50	85	85	90	90	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+220,00	Caño	50	85	85	90	90	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+240,00	Caño	50	85	85	90	90	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+260,00	Caño	50	85	85	90	90	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+280,00	Caño	50	90	120	90	120	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+300,00	Caño	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+320,00	Caño	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+340,00	Caño	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+360,00	Tubería	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+380,00	Caño	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+400,00	Caño	45	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente

0+420,00	Caño	45	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+440,00	Caño	45	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+460,00	Caño	45	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+480,00	Caño	45	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+500,00	Caño	45	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+520,00	Caño	45	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+540,00	Caño	45	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+560,00	Caño	45	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+580,00	Caño	45	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+600,00	Caño	45	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+620,00	Tubería	45	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+640,00	Caño	45	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+660,00	Caño	45	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+680,00	Caño	45	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+700,00	Caño	45	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+720,00	Caño	45	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+740,00	Caño	45	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+760,00	Caño	45	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+780,00	Caño	60	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+800,00	Caño	60	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+820,00	Caño	60	50	100	50	90	Cumple	Insuficiente	Cumple	Insuficiente
0+840,00	Caño	60	50	100	50	90	Cumple	Insuficiente	Cumple	Insuficiente
0+860,00	Caño	60	65	95	50	100	Insuficiente	Insuficiente	Cumple	Insuficiente
0+880,00	Tubería	60	65	95	70	100	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+900,00	Tubería	60	65	95	70	100	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+920,00	Tubería	60	65	95	70	100	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
0+940,00	Tubería	80	65	95	70	100	Cumple	Insuficiente	Cumple	Insuficiente

0+960,00	Tubería	80	65	95	70	100	Cumple	Insuficiente	Cumple	Insuficiente
0+980,00	Caño	60	85	115	90	120	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+000,00	Caño	60	85	115	90	120	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+020,00	Caño	60	85	115	90	120	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+040,00	Caño	60	85	115	90	120	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+060,00	Caño	60	85	115	90	120	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+080,00	Caño	60	85	115	90	120	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+100,00	Caño	60	85	115	90	120	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+120,00	Caño	50	40	40	40	45	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+140,00	Caño	50	40	40	40	45	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+160,00	Caño	50	40	40	40	45	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+180,00	Caño	50	40	40	40	45	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+200,00	Caño	50	40	40	40	45	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+220,00	Tubería	50	50	50	50	50	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+240,00	Caño	50	50	50	50	50	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+260,00	Caño	50	50	50	50	50	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+280,00	Caño	50	50	50	50	50	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+300,00	Caño	50	50	50	50	50	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+320,00	Caño	60	50	50	50	50	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+340,00	Caño	60	60	60	60	60	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+360,00	Caño	60	60	60	60	60	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+380,00	Caño	60	60	60	60	60	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+400,00	Caño	60	60	60	60	60	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+420,00	Caño	60	60	60	60	60	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+440,00	Caño	60	60	60	60	60	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+460,00	Caño	60	80	70	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+480,00	Caño	60	80	70	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente

1+500,00	Tubería	80	80	70	75	75	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+520,00	Tubería	80	80	70	75	75	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+540,00	Tubería	80	80	70	75	75	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+560,00	Alcantarilla	70	80	70	75	75	Insuficiente	Cumple	Insuficiente	Insuficiente
1+580,00	Tubería	70	80	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+600,00	Alc. Quebrada	135	40	75	40	75	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+620,00	Tubería	70	40	75	40	75	Cumple	Insuficiente	Cumple	Insuficiente
1+640,00	Alc. Quebrada	80	40	75	40	75	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
1+660,00	Caño	60	40	75	40	75	Cumple	Insuficiente	Cumple	Insuficiente
1+680,00	Caño	60	40	75	40	75	Cumple	Insuficiente	Cumple	Insuficiente
1+700,00	Caño	60	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+720,00	Tragante	60	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+740,00	Caño	60	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+760,00	Caño	60	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+780,00	Caño	50	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+800,00	Caño	50	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+820,00	Caño	50	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+840,00	Caño	50	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+860,00	Caño	50	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+880,00	Caño	50	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+900,00	Caño	50	75	95	75	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+920,00	Caño	50	55	55	55	55	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+940,00	Caño	50	55	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+960,00	Caño	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
1+980,00	Caño	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+000,00	Caño	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+020,00	Caño	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente

2+040,00	Caño	50	65	65	65	65	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+060,00	Caño	50	65	65	65	70	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+080,00	Caño	50	65	65	65	70	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+100,00	Caño	50	65	65	65	70	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+120,00	Caño	50	65	65	65	70	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+140,00	Caño	50	65	65	65	70	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+160,00	Caño	50	65	65	65	70	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+180,00	Tragante	60	85	85	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+200,00	Caño	60	85	85	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+220,00	Caño	60	85	85	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+240,00	Caño	60	85	85	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+260,00	Caño	60	85	85	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+280,00	Caño	60	85	85	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+300,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+320,00	Alc. Quebrada	95	75	75	80	80	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
2+340,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+360,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+380,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+400,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+420,00	Caño	60	70	70	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+440,00	Tragante	60	70	70	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+460,00	Caño	60	70	70	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+480,00	Caño	60	70	70	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+500,00	Caño	60	70	70	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+520,00	Caño	60	80	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+540,00	Tubería	80	80	80	85	85	Cumple	Cumple	Insuficiente	Insuficiente
2+560,00	Tubería	70	90	80	85	85	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente

2+580,00	Tubería	70	90	90	95	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+600,00	Tubería	70	90	90	95	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+620,00	Tubería	70	90	90	95	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+640,00	Caño	60	90	90	95	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+660,00	Caño	60	90	90	95	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+680,00	Caño	60	90	90	95	95	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+700,00	Caño	60	100	100	105	105	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+720,00	Caño	60	100	100	105	105	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+740,00	Caño	60	100	100	105	105	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+760,00	Caño	60	100	100	105	105	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+780,00	Tragante	70	100	100	105	105	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+800,00	Tubería	70	100	100	105	105	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+820,00	Alc. Quebrada	215	100	100	105	105	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
2+840,00	Tubería	70	100	100	105	105	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
2+860,00	Tubería	70	55	55	55	55	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
2+880,00	Tubería	70	55	55	55	55	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
2+900,00	Tubería	70	55	55	55	55	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
2+920,00	Tragante	70	55	55	55	55	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
2+940,00	Tubería	70	70	70	75	75	Cumple	Cumple	Insuficiente	Insuficiente
2+960,00	Tubería	70	70	70	75	75	Cumple	Cumple	Insuficiente	Insuficiente
2+980,00	Tubería	70	70	70	75	75	Cumple	Cumple	Insuficiente	Insuficiente
3+000,00	Tubería	70	70	70	75	75	Cumple	Cumple	Insuficiente	Insuficiente
3+020,00	Tubería	70	70	70	75	75	Cumple	Cumple	Insuficiente	Insuficiente
3+040,00	Caño	60	70	70	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+060,00	Caño	60	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+080,00	Caño	60	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+100,00	Caño	60	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente

3+120,00	Tragante	60	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+140,00	Caño	60	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+160,00	Caño	60	75	75	75	75	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+180,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+200,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+220,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+240,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+260,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+280,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+300,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+320,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+340,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+360,00	Tragante	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+380,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+400,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+420,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+340,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+360,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+480,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente
3+500,00	Caño	60	75	75	80	80	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente	Insuficiente

Tabla 2.10. Cuadro comparativo de las secciones actuales y las futuras propuestas. Tomado de Microsoft Excel.

Los resultados anteriores son muy importantes para el análisis de causas y sus respectivas consecuencias, pues primero se deben conocer las condiciones de campo como diámetros, condición de elementos de alcantarillado y parámetros de importancia como el caudal.

A continuación un cuadro donde se analizaron las posibles causas y sus respectivas consecuencias en el sistema de alcantarillado, donde se puede apreciar que la mayoría de las causas convergen al desbordamiento de los elementos de alcantarillado.

<b>Causas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Consecuencias</b>
Aumento del caudal de diseño	El crecimiento urbano ha aumentado las áreas comprendidas de concreto hidráulico de parques, aceras y parqueos, también la construcción de nuevas viviendas aumentan el área techada, resultando esto en una disminución del área verde y de terrenos. Lo anterior provoca un aumento en el coeficiente de escorrentía promedio.	Desbordamiento de secciones
Falta de control del destino de los desechos sólidos	Aunque la información extraída de las páginas web de las municipalidades de Cartago y Tejar indiquen que el manejo de los desechos es relativamente bueno, lo cierto es que en el tramo se logró identificar una gran cantidad de elementos obstruidos con basura y sedimentos. Lo cual refleja una ausencia de mantenimiento en los elementos de alcantarillado pluvial.	Presas de agua en elementos
Escasa planificación municipal	En el Plan Estratégico Municipal 2010-2015 la municipalidad de Cartago establece es necesario la generación de estudios hidráulicos e hidrológicos y el diseño de un interceptor de aguas llovidas en El Carmen para controlar los flujos de escorrentía, un plan de atención en caso de emergencias o eventos imprevistos. Sin embargo al día de hoy el plan está por terminar y ninguno de las ideas propuestas se han puesto en marcha.	Ejecución tardía de proyectos
Secciones insuficientes	Estimando el caudal para cada elemento de alcantarillado pluvial, se determinó que muchas de las secciones actuales no cumplen con ese caudal de diseño.	Presas de agua y desbordamientos de agua
Secciones en mal estado	La falta de mantenimiento también se ve reflejado en el estado de los elementos de alcantarillado, pues muchos tiene as de 20 años de no recibir ningún tipo de reparación o limpieza	Desbordamiento de elementos de alcantarillado
Reducción de secciones transversales en dirección al flujo	Los datos extraídos de campo reflejan que en algunos tramos los diámetros de tuberías se reducen aguas abajo, generando el famoso efecto "embudo" que se refleja en presas de agua.	Efecto "embudo" o presas de agua en secciones
Ausencia de elementos de alcantarillado	En longitudes considerables del tramo se notó la ausencia de cordón y caño, dichas zonas tampoco estaban revestidas de concreto ni asfalto, lo que puede ocasionar empozamientos de agua y el deterioro de elementos de alcantarillado cercanos.	Empozamientos de agua y deterioro de elementos de alcantarillado cercanos
Atención tardía de la queja	En varias de las inspecciones con el cuerpo de trabajo municipal, se llegó tarde al lugar de la queja y ya algunos vecinos habían tomado la solución por sus manos. En otros casos no se había hecho nada, pero de igual forma la queja se había atendido tarde.	Persistencia del problema

Elementos que atraviesan las secciones transversales	En partes del tramo en elemento como el cordón y caño, habían unas tuberías de agua potable que atravesaban el cordón y caño, impidiendo el paso del flujo de agua, aunque el agua si podía fluir, la reducción podría generar que elementos grandes como ramas o sólidos de basura se atascaran generando presas en los caños	Presas de agua en secciones de cordón y caño
Falta de estudios hidráulicos e hidrológicos	Hasta el día de hoy no existen estudios hidráulicos e hidrológicos detallados que describan el verdadero comportamiento de la escorrentía de las aguas en la zona de estudio. Lo que imposibilita una mejor estimación de secciones transversales.	Falta de información para futuros diseños e intervenciones

**Tabla 2.11.** Análisis de causas y consecuencias de los problemas de inundación en el tramo de ruta nacional 228. Tomado de Microsoft Excel.

## Diseño de alcantarillado pluvial

Como se mencionó en la sección anterior, se propusieron dos rutas de desfogue para los dos periodos de retorno establecidos y se tuvo como resultado dos rutas para cada periodo de retorno.

A continuación se presentan los cuadros que resumen los resultados obtenidos, que abarcan la ubicación en planta y perfil de los elementos de alcantarillado (tuberías, tragantes y pozos de registro). Así también los diámetros de las secciones transversales, de cordón y caño, tragantes y pozos de registro.

### Propuesta de ruta de desfogue pluvial 1. Periodo de 10 años.

N° Intersección	Tragantes	Estación (m)	NS (m)	NI (m)	Profundidad (m)	Diámetro entrada (cm)	Latitud Norte °	Longitud Oeste °
I1	2	0+100,00				75		
	a	-	1429,40	1427,59	1,82		09°51'45,7"	83°55'39,8"
	b	-	1429,40	1427,59	1,82		09°51'46,1"	83°55'39,8"
I2	3	0+185,00				30		
	a	-	1428,60	1426,66	1,94		09°51'45,6"	83°55'42,6"
	b	-	1428,60	1426,66	1,94		09°51'46,1"	83°55'42,2"
	c	-	1428,60	1426,66	1,94		09°51'46,1"	83°55'42,7"
I3	4	0+260,00				80		
	a	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,4"	83°55'44,4"
	b	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,4"	83°55'44,4"
	c	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,8"	83°55'45,1"
	d	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,9"	83°55'45,4"
I4	4	0+295,00				50		
	a	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'44,3"	83°55'45,7"
	b	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'44,3"	83°55'46,4"
	c	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'45,7"	83°55'45,9"
	d	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'45,5"	83°55'46,0"
I5	3	0+368,00				50		
	a	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'42,9"	83°55'47,3"

	b	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'42,6"	83°55'47,6"
	c	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'43,0"	83°55'47,9"
<b>I6</b>	3	0+460,00				50		
	a	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,6"	83°55'49,1"
	b	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,2"	83°55'49,3"
	c	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,6"	83°55'49,6"
<b>I7</b>	4	0+555,00				45		
	a	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,0"	83°55'50,5"
	b	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'37,5"	83°55'50,4"
	c	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,2"	83°55'50,9"
	d	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,1"	83°55'51,4"
<b>I8</b>	4	0+575,00				30		
	a	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,9"	83°55'50,7"
	b	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,8"	83°55'51,2"
	c	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,8"	83°55'51,2"
	d	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,9"	83°55'51,6"
<b>I9</b>	3	0+665,00				45		
	a	-	1418,40	1416,37	2,03		00°59'09,9"	83°53'18,8"
	b	-	1418,40	1416,37	2,03		09°51'34,3"	83°55'52,4"
	c	-	1418,40	1416,37	2,03		09°51'34,7"	83°55'52,8"
<b>I10</b>	3	0+796,00				50		
	a	-	1415,50	1413,15	2,35		09°51'30,9"	83°55'54,4"
	b	-	1415,50	1413,15	2,35		09°51'30,5"	83°55'54,7"
	c	-	1415,50	1413,15	2,35		09°51'31,0"	83°55'54,9"
<b>I11</b>	3	0+880,00				50		
	a	-	1413,75	1411,81	1,94		09°51'28,5"	83°55'56,0"
	b	-	1413,75	1411,81	1,94		09°51'28,1"	83°55'56,2"
	c	-	1413,75	1411,81	1,94		09°51'28,7"	83°55'56,4"
<b>I12</b>	3	0+956,00				30		
	a	-	1412,20	1409,28	2,92		09°51'26,5"	83°55'57,5"
	b	-	1412,20	1409,28	2,92		09°51'26,9"	83°55'57,7"
	c	-	1412,20	1409,28	2,92		09°51'26,6"	83°55'58,0"
<b>I13</b>	2	1+060,00				50		
	a	-	1409,35	1407,39	1,96		09°51'23,6"	83°55'59,2"
	b	-	1409,35	1407,39	1,96		09°51'23,8"	83°55'59,6"
<b>I14</b>	3	1+089,00				30		
	a	-	1408,45	1406,08	2,37		09°51'22,7"	83°55'59,6"
	b	-	1408,45	1406,08	2,37		09°51'23,1"	83°55'60,0"
	c	-	1408,45	1406,08	2,37		09°51'22,7"	83°56'00,1"
<b>I15</b>	3	1+164,00				35		
	a	-	1406,25	1404,85	1,40		09°51'20,5"	83°56'00,5"
	b	-	1406,25	1404,85	1,40		09°51'20,8"	83°56'00,8"
	c	-	1406,25	1404,85	1,40		09°51'20,4"	83°56'01,0"

<b>I16</b>	2	1+260,00				35		
	a	-	1403,10	1401,18	1,92		09°51'17,6"	83°56'01,7"
	b	-	1403,10	1401,18	1,92		09°51'17,7"	83°56'02,1"
<b>I17</b>	4	1+356,00				35		
	a	-	1400,05	1398,86	1,19		09°51'14,8"	83°56'02,7"
	b	-	1400,05	1398,86	1,19		09°51'14,4"	83°56'02,9"
	c	-	1400,05	1398,86	1,19		09°51'14,9"	83°56'03,4"
	d	-	1400,05	1398,86	1,19		09°51'14,5"	83°56'03,5"
<b>I18</b>	3	1+416,00				30		
	a	-	1399,95	1398,97	0,98		09°51'13,0"	83°56'03,4"
	b	-	1399,95	1398,97	0,98		09°51'12,6"	83°56'03,6"
	c	-	1399,95	1398,97	0,98		09°51'13,0"	83°56'04,0"
<b>I19</b>	3	1+522,00				50		
	a	-	1396,80	1395,47	1,33		09°51'09,6"	83°56'04,2"
	b	-	1396,80	1395,47	1,33		09°51'10,0"	83°56'04,6"
	c	-	1396,80	1395,47	1,33		09°51'09,6"	83°56'04,7"
<b>I20</b>	4	1+582,00				35		
	a	-	1395,50	1393,62	1,88		09°51'07,7"	83°56'04,0"
	b	-	1395,50	1393,62	1,88		09°51'07,3"	83°56'04,0"
	c	-	1395,50	1393,62	1,88		09°51'08,0"	83°56'04,6"
	d	-	1395,50	1393,62	1,88		09°51'07,4"	83°56'04,6"
<b>I21</b>	4	1+706,00				40		
	a	-	1393,35	1391,56	1,79		09°51'03,6"	83°56'04,0"
	b	-	1393,35	1391,56	1,79		09°51'03,2"	83°56'04,1"
	c	-	1393,35	1391,56	1,79		09°51'03,7"	83°56'04,7"
	d	-	1393,35	1391,56	1,79		09°51'03,4"	83°56'04,8"
<b>I22</b>	3	1+744,00				30		
	a	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'02,3"	83°56'04,3"
	b	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'01,2"	83°56'04,5"
	c	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'02,7"	83°56'04,8"
	d	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'02,2"	83°56'04,9"
	e	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'01,2"	83°56'04,9"
<b>I23</b>	2	1+780,00				65		
	a	-	1392,85	1390,09	2,76		09°50'57,4"	83°56'05,6"
	b	-	1392,85	1390,09	2,76		09°50'57,7"	83°56'05,9"
<b>I24</b>	2	1+900,00				55		
	a	-	1391,55	1389,00	2,55		09°50'54,1"	83°56'07,7"
	b	-	1391,55	1389,00	2,55		09°50'54,4"	83°56'08,0"
<b>I25</b>	2	2+020,00				45		
	a	-	1389,00	1387,15	1,85		09°50'52,0"	83°56'08,8"
	b	-	1389,00	1387,15	1,85		09°50'51,7"	83°56'09,1"
	c	-	1389,00	1387,15	1,85		09°50'52,0"	83°56'09,4"
<b>I26</b>	2	2+105,00				30		

	a	-	1387,90	1386,24	1,66		09°50'50,6"	83°56'11,8"
	b	-	1387,90	1386,24	1,66		09°50'50,9"	83°56'11,6"
<b>I27</b>	2	2+200,00				30		
	a	-	1385,95	1383,21	2,74		09°50'51,2"	83°56'12,8"
	b	-	1385,95	1383,21	2,74		09°50'51,5"	83°56'13,1"
	c	-	1385,95	1383,21	2,74		09°50'51,7"	83°56'12,7"
<b>I28</b>	3	2+242,00				40		
	a	-	1386,55	1383,57	2,98		09°50'52,9"	83°56'16,3"
	b	-	1386,55	1383,57	2,98		09°50'53,8"	83°56'20,2"
<b>I29</b>	2	2+480,00				30		
	a	-	1387,05	1384,81	2,24		09°50'53,8"	83°56'20,2"
	b	-	1387,05	1384,81	2,24		09°50'54,2"	83°56'20,1"
<b>I30</b>	4	2+660,00				40		
	a	-	1386,10	1383,86	2,24		09°50'51,6"	83°56'20,7"
	b	-	1386,10	1383,86	2,24		09°50'51,2"	83°56'20,7"
	c	-	1386,10	1383,86	2,24		09°50'51,7"	83°56'21,4"
	d	-	1386,10	1383,86	2,24		09°50'51,3"	83°56'21,4"
<b>I31</b>	3	2+756,00				40		
	a	-	1384,90	1383,13	1,77		09°50'49,3"	83°56'20,9"
	b	-	1384,90	1383,13	1,77		09°50'48,9"	83°56'20,9"
	c	-	1384,90	1383,13	1,77		09°50'49,1"	83°56'21,3"
<b>I32</b>	4	2+828,00				55		
	a	-	1383,45	1381,97	1,48		09°50'45,7"	83°56'21,5"
	b	-	1383,45	1381,97	1,48		09°50'45,3"	83°56'21,6"
	c	-	1383,45	1381,97	1,48		09°50'46,4"	83°56'21,9"
	d	-	1383,45	1381,97	1,48		09°50'45,9"	83°56'22,0"
<b>I33</b>	3	2+860,00				40		
	a	-	1382,70	1381,04	1,66		09°50'44,4"	83°56'22,0"
	b	-	1382,70	1381,04	1,66		09°50'44,8"	83°56'22,5"
	c	-	1382,70	1381,04	1,66		09°50'44,4"	83°56'22,6"
<b>I34</b>	4	2+913,00				30		
	a	-	1382,35	1380,86	1,49		09°50'42,9"	83°56'22,4"
	b	-	1382,35	1380,86	1,49		09°50'42,5"	83°56'22,5"
	c	-	1382,35	1380,86	1,49		09°50'43,2"	83°56'23,0"
	d	-	1382,35	1380,86	1,49		09°50'42,7"	83°56'23,1"
<b>I35</b>	3	3+000,00				35		
	a	-	1381,80	1380,02	1,78		09°50'41,2"	83°56'23,1"
	b	-	1381,80	1380,02	1,78		09°50'41,6"	83°56'23,5"
	c	-	1381,80	1380,02	1,78		09°50'41,1"	83°56'23,6"
<b>I36</b>	2	3+048,00				40		
	a	-	1381,00	1379,31	1,69		09°50'38,5"	83°56'24,0"
	b	-	1381,00	1379,31	1,69		09°50'38,6"	83°56'24,4"
<b>I37</b>	3	3+120,00				30		

	a	-	1380,80	1378,74	2,06		09°50'37,2"	83°56'24,4"
	b	-	1380,80	1378,74	2,06		09°50'36,8"	83°56'24,5"
	c	-	1380,80	1378,74	2,06		09°50'37,2"	83°56'24,9"
138	2	3+240,00				30		
	a	-	1380,30	1378,23	2,07		09°50'34,8"	83°56'25,5"
	b	-	1380,30	1378,23	2,07		09°50'35,0"	83°56'25,8"
139	2	3+240,00				30		
	a	-	1379,05	1377,06	1,99		09°50'31,3"	83°56'27,1"
	b	-	1379,05	1377,06	1,99		09°50'31,4"	83°56'27,5"

Tabla 3.1.1. Información de los tragantes propuestos. Tomado de Microsoft Excel.

N° Pozo	Estación (m)	N.S (m)	N.I (m)	Profundidad (m)	Diámetro entrada (cm)		Diámetro salida (cm)	Latitud Norte°	Longitud Oeste°
1	0+120,00	1429,20	1427,15	2,05	75		85	09°51'45,8"	83°55'40,4"
2	0+240,00	1427,90	1425,11	2,79	85		100	09°51'45,2"	83°55'44,2"
3	0+360,00	1425,25	1422,90	2,35	90		115	09°51'43,0"	83°55'47,5"
4	0+480,00	1422,50	1419,83	2,67	65		75	09°51'39,9"	83°55'49,7"
5	0+600,00	1419,85	1417,13	2,72	75		80	09°51'36,4"	83°55'51,5"
6	0+720,00	1417,20	1415,10	2,10	80		90	09°51'33,0"	83°55'53,4"
7	0+840,00	1414,60	1411,94	2,67	50		65	09°51'29,7"	83°55'55,5"
8	0+960,00	1412,10	1408,24	3,87	65		85	09°51'26,5"	83°55'57,7"
9	1+080,00	1408,25	1406,10	2,15	85		95	09°51'23,1"	83°55'59,6"
10	1+200,00	1405,15	1401,54	3,61	40		50	09°51'19,4"	83°56'01,1"
11	1+320,00	1401,00	1398,79	2,21	50		60	09°51'15,8"	83°56'02,5"
12	1+440,00	1398,50	1396,19	2,31	60		70	09°51'12,2"	83°56'04,0"
13	1+560,00	1395,00	1393,11	1,89	70		85	09°51'08,4"	83°56'04,3"
14	1+680,00	1393,60	1391,24	2,36	40		75	09°51'04,5"	83°56'04,2"
15	1+800,00	1392,65	1389,59	3,06	75		85	09°51'00,6"	83°56'04,7"
16	1+920,00	1391,20	1388,10	3,10	55		65	09°50'57,0"	83°56'06,1"
17	2+040,00	1388,60	1385,98	2,62	65		65	09°50'53,7"	83°56'08,1"
18	2+170,00	1385,75	1382,41	3,34	65	85	130	09°50'50,4"	83°56'10,8"
19	2+280,00	1387,00	1383,50	3,50	75		85	09°50'52,2"	83°56'13,9"
20	2+400,00	1386,75	1384,80	1,95	70		75	09°50'53,4"	83°56'17,6"
21	2+505,00	1387,80	1385,35	2,45	70	70	80	09°50'54,1"	83°56'20,9"
22	2+560,00	1386,70	1383,67	3,03	80		90	09°50'52,4"	83°56'21,0"
23	2+680,00	1384,50	1382,30	2,20	90		100	09°50'48,5"	83°56'21,1"
24	2+800,00	1383,00	1381,27	1,73			100	09°50'44,7"	83°56'22,1"
25	2+920,00	1381,75	1379,64	2,11	55		70	09°50'41,0"	83°56'23,3"
26	3+040,00	1380,80	1378,28	2,52	70		75	09°50'37,3"	83°56'24,6"
27	3+160,00	1379,90	1377,16	2,74	75		75	09°50'33,7"	83°56'26,1"
28	3+280,00	1378,25	1375,89	2,36	75		75	09°50'30,1"	83°56'27,5"

Tabla 3.1.2. Información de los pozos de registro propuestos. Tomado de Microsoft Excel.

<b>N° Punto</b>	<b>Estación Inicial (m)</b>	<b>Estación Final (m)</b>	<b>Latitud Norte°</b>	<b>Longitud Oeste°</b>
<b>D 1</b>	0+240,00	-	09°51'45,3"	83°55'44,3"
<b>D 2</b>	0+360,00	-	09°51'43,1"	83°55'47,5"
<b>D 3</b>	0+720,00	-	09°51'33,0"	83°55'53,4"
<b>D 4</b>	1+080,00	-	09°51'23,1"	83°55'59,7"
<b>D 5</b>	1+560,00	-	09°51'08,4"	83°56'04,3"
<b>D 6</b>	1+800,00	-	09°50'57,1"	83°56'06,1"
<b>D 7</b>	2+170,00	-	09°50'50,4"	83°56'11,0"
<b>D 8</b>	2+800,00	-	09°50'44,5"	83°56'22,2"
<b>D 9</b>	3+359,62	-	09°50'28,7"	83°56'22,0"
<b>Cabezal de salida 1</b>	-	0+378,27	09°51'33,8"	83°55'39,8"
<b>Cabezal de salida 2</b>	-	0+290,90	09°51'41,3"	83°55'56,9"
<b>Cabezal de salida 3</b>	-	0+264,11	09°51'19,1"	83°55'51,8"
<b>Cabezal de salida 4</b>	-	0+328,81	09°51'14,0"	83°55'54,0"
<b>Cabezal de salida 5</b>	-	0+351,77	09°50'57,4"	83°56'01,4"
<b>Cabezal de salida 6</b>	-	0+297,52	09°50'50,9"	83°55'59,2"
<b>Cabezal de salida 7</b>	-	0+419,17	09°50'36,9"	83°56'12,1"
<b>Cabezal de salida 8</b>	-	2+800,00	09°50'44,5"	83°56'22,2"
<b>Cabezal de salida 9</b>	-	3+359,62	09°50'28,7"	83°56'22,1"

**Tabla 3.1.3.** Información para los puntos de desfogue y sus respectivos cabezales de salida a los cuerpos de agua. Tomado de Microsoft Excel.

Intersección tragantes	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud tubería (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m³/s)	Caudal tubería (m³/s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m²)
I1	1427,59	1427,45	0+100,00	0+108,22	1,10	0,13	12,09	75	1,27	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
I2	1426,66	1426,53	0+185,00	0+193,22	1,10	0,13	12,09	30	0,53	2,00	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I3	1424,84	1424,71	0+260,00	0+268,22	1,10	0,13	12,09	80	1,55	1,61	5	3,79	0,68	1,50	3,89
I4	1424,52	1424,39	0+295,00	0+303,22	1,10	0,13	12,09	50	0,42	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I5	1422,71	1422,58	0+368,00	0+376,22	1,10	0,13	12,09	50	0,42	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I6	1421,09	1420,96	0+460,00	0+468,22	1,10	0,13	12,09	50	0,36	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I7	1418,80	1418,67	0+555,00	0+563,22	1,10	0,13	12,09	45	0,34	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I8	1419,19	1419,05	0+575,00	0+583,22	1,10	0,13	12,09	30	0,03	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I9	1416,37	1416,24	0+665,00	0+673,22	1,10	0,13	12,09	45	0,32	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I10	1413,15	1413,02	0+796,00	0+804,22	1,10	0,13	12,09	50	0,37	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I11	1411,81	1411,68	0+880,00	0+888,22	1,10	0,13	12,09	50	0,46	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I12	1409,28	1409,14	0+956,00	0+964,22	1,10	0,13	12,09	30	0,01	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I13	1407,39	1407,26	1+060,00	1+068,22	1,10	0,13	12,09	50	0,45	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I14	1406,08	1405,95	1+089,00	1+097,22	1,10	0,13	12,09	30	0,07	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I15	1404,85	1404,72	1+164,00	1+172,22	1,10	0,13	12,09	35	0,14	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I16	1401,18	1401,05	1+260,00	1+268,22	1,10	0,13	12,09	35	0,14	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I17	1398,86	1398,73	1+356,00	1+364,22	1,10	0,13	12,09	35	0,15	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I18	1398,97	1398,84	1+416,00	1+424,22	1,10	0,13	12,09	30	0,09	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I19	1395,47	1395,39	1+522,00	1+530,22	-1,00	0,08	8,20	50	0,36	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I20	1393,62	1393,54	1+582,00	1+590,22	-1,00	0,08	8,20	35	0,13	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I21	1391,56	1391,48	1+706,00	1+714,22	-1,00	0,08	8,20	40	0,19	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I22	1391,08	1391,00	1+744,00	1+752,22	1,00	0,08	8,20	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I23	1390,09	1390,01	1+780,00	1+788,22	1,00	0,08	8,20	65	0,78	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16

I24	1389,00	1388,92	1+900,00	1+908,22	1,00	0,08	8,20	55	0,47	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I25	1387,15	1387,06	2+020,00	2+028,22	1,00	0,08	8,20	45	0,25	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I26	1386,24	1386,16	3+105,00	3+113,22	1,00	0,08	8,20	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I27	1383,21	1383,13	2+200,00	2+208,22	1,00	0,08	8,20	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I28	1383,57	1383,49	2+242,00	2+250,22	1,00	0,08	8,20	40	0,19	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I29	1384,81	1384,73	2+360,00	2+368,22	1,00	0,08	8,20	30	0,01	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I30	1383,13	1383,05	2+587,00	2+595,22	1,00	0,08	8,20	40	0,24	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I31	1381,97	1381,89	2+660,00	2+668,22	1,00	0,08	8,20	40	0,24	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I32	1381,04	1380,96	2+756,00	2+764,22	1,00	0,08	8,20	55	0,50	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I33	1380,86	1380,80	2+828,00	2+836,22	0,75	0,06	8,27	40	0,21	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I34	1380,02	1379,95	2+860,00	2+868,22	0,75	0,06	8,27	30	0,09	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I35	1379,31	1379,24	2+913,00	2+921,22	0,75	0,06	8,27	35	0,16	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I36	1378,74	1378,68	3+000,00	3+008,22	0,75	0,06	8,27	40	0,22	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I37	1378,23	1378,17	3+048,00	3+056,22	0,75	0,06	8,27	30	0,04	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I38	1377,06	1377,00	3+120,00	3+128,22	0,75	0,06	8,27	30	0,04	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I39	1377,06	1377,00	3+240,00	3+248,22	0,75	0,06	8,27	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46

Tabla 3.1.4. Información para las tuberías que unen los tragantes con las tuberías de los pozos de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Tubería	NT (m)	NF (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)	Caudal tubería (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
1	1428,20	1428,02	0+108,00	0+108,11	1,60	0,18	11,39	75	1,30	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
2	1428,05	1426,11	0+120,00	0+121,22	1,60	1,94	121,55	85	1,85	1,89	5	3,95	0,72	1,52	4,13
3	1425,50	1424,01	0+268,00	0+268,93	1,60	1,49	92,97	90	2,00	2,20	5	4,10	0,77	1,53	4,38
4	1422,95	1421,28	0+277,00	0+278,04	1,60	1,67	104,31	65	0,83	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
5	1420,45	1418,51	0+480,00	0+481,22	1,60	1,94	121,55	75	1,22	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
6	1417,85	1415,91	0+600,00	0+601,22	1,60	1,94	121,55	80	1,55	1,61	5	3,79	0,68	1,50	3,89

7	1413,55	1412,92	0+801,00	0+801,40	1,60	0,63	39,60	50	0,40	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
8	1412,95	1411,01	0+840,00	0+841,22	1,60	1,94	121,55	65	0,87	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
9	1409,50	1407,62	0+960,00	0+961,18	1,60	1,88	117,53	85	1,82	1,89	5	3,95	0,72	1,52	4,13
10	1405,55	1403,89	1+100,00	1+101,04	1,60	1,66	103,81	40	0,23	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
11	1401,75	1399,81	1+200,00	1+201,22	1,60	1,94	121,55	50	0,39	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
12	1399,10	1397,16	1+320,00	1+321,22	1,60	1,94	121,55	60	0,66	0,75	5	3,13	0,51	1,43	2,92
13	1396,60	1394,66	1+440,00	1+441,22	1,60	1,94	121,55	70	1,05	1,13	5	3,47	0,60	1,47	3,40
14	1393,85	1392,34	1+587,00	1+587,94	1,60	1,51	94,40	40	0,15	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
15	1392,40	1390,46	1+680,00	1+681,22	1,60	1,94	121,55	75	1,22	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
16	1389,40	1389,21	1+908,00	1+908,12	1,60	0,19	11,93	55	0,50	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
17	1389,20	1387,26	1+920,00	1+921,22	1,60	1,94	121,55	65	0,78	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
18	1386,60	1384,49	2+040,00	2+041,32	1,60	2,11	131,68	65	0,84	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
19	1383,25	1382,15	2+170,00	2+171,10	-1,00	1,10	110,14	85	1,29	1,49	5	3,12	0,72	1,20	2,58
20	1384,30	1383,10	2+280,00	2+281,21	-1,00	1,21	120,50	75	1,04	1,07	5	2,87	0,64	1,18	2,28
21	1385,50	1384,45	2+400,00	2+401,05	-1,00	1,05	105,20	70	0,88	0,89	5	2,74	0,60	1,16	2,13
22	1386,55	1386,14	2+505,00	2+505,55	0,75	0,41	55,00	80	1,19	1,27	5	3,00	0,68	1,19	2,43
23	1384,50	1383,60	2+560,00	2+561,20	0,75	0,90	120,15	90	1,71	1,74	5	3,24	0,77	1,21	2,73
24	1383,30	1382,40	2+680,00	2+681,20	0,75	0,90	120,15	100	2,24	2,30	5	3,48	0,85	1,23	3,04
25	1381,35	1380,73	2+840,00	2+840,83	0,75	0,62	83,18	55	0,32	0,41	5	2,02	0,47	0,97	1,25
26	1380,30	1379,40	2+920,00	2+921,20	0,75	0,90	120,15	70	0,74	0,77	5	2,37	0,60	1,01	1,60
27	1378,80	1377,90	3+040,00	3+041,20	0,75	0,90	120,15	75	0,84	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71
28	1377,95	1377,05	3+160,00	3+161,20	0,75	0,90	120,15	75	0,91	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71
29	1377,05	1376,45	3+280,00	3+280,80	0,75	0,60	79,75	75	0,91	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71

**Tabla 3.1.5.** Información para las tuberías que unen los diferentes pozos de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Tubería	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)	Caudal tubería (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
D 1	1425,11	1418,95	0+000,00	0+378,27	1,63	6,16	378,32	100	1,85	2,05	5	4,17	0,85	1,88	4,51
D 2	1422,90	1420,74	0+000,00	0+290,90	0,74	2,16	290,91	115	2,00	2,01	5	3,10	0,98	1,30	2,37
D 3	1415,10	1409,83	0+000,00	0+264,11	2,00	5,27	264,22	90	1,55	1,71	5	4,31	0,77	2,05	4,98
D 4	1406,10	1400,50	0+000,00	0+328,81	1,70	5,60	328,86	95	1,82	1,82	5	4,12	0,81	1,91	4,48
D 5	1393,11	1389,24	0+000,00	0+351,77	1,10	3,87	351,81	85	1,05	1,09	5	3,08	0,72	1,51	2,59
D 6	1389,59	1385,34	0+000,00	0+297,52	1,43	4,25	297,55	85	1,22	1,24	5	3,51	0,72	1,72	3,36
D 7	1382,41	1380,18	0+000,00	0+419,17	0,53	2,24	419,18	130	2,13	2,36	5	2,84	1,11	1,13	1,92

**Tabla 3.1.6.** Información para las tuberías que unen los puntos de desfogue con los cabezales de salida. Tomado de Microsoft Excel.

Caño circular		
Sección	0,2	Y/D
Diámetro	50	cm
$\Theta$	2,061	rad
A	0,037	m <sup>2</sup>
S	0,021	
R	0,071	
n	0,013	
Q	0,071	m <sup>3</sup> /s
Qu	0,011	Cumple

Tabla 3.1.7. Diseño y sus respectivos parámetros para la sección de caño circular. Tomado de Microsoft Excel.

Caudales en (m <sup>3</sup> /s)							
Tragantes inicio	Pozo aforo	Lado	Q <sub>tragante</sub>	Q <sub>cordon y caño</sub>	Q <sub>total</sub>	Q <sub>acumulado pozo</sub>	
1	1	Derecho	1,272	0,0081	1,295	1,295	
		Izquierdo	0,007	0,0081			
2	2	Derecho	0,531	0,0069	0,552	1,847	Caudal desfogue 1
		Izquierdo	0,007	0,0069			
3	3	Derecho	1,550	0,0060	1,567	1,567	
		Izquierdo	0,005	0,0060			
4	3	Derecho	0,424	0,0028	0,432	1,999	Caudal desfogue 2
		Izquierdo	0,003	0,0028			
5	4	Derecho	0,433	0,0060	0,448	0,448	
		Izquierdo	0,004	0,0060			
6	4	Derecho	0,360	0,0073	0,380	0,828	
		Izquierdo	0,004	0,0073			
7	5	Derecho	0,335	0,0077	0,356	1,183	
		Izquierdo	0,005	0,0077			
8	5	Derecho	0,030	0,0016	0,033	1,217	
		Izquierdo	0,000	0,0016			
9	6	Derecho	0,317	0,0073	0,336	1,553	Caudal desfogue 3
		Izquierdo	0,005	0,0073			
10	7	Derecho	0,370	0,0106	0,397	0,397	
		Izquierdo	0,006	0,0106			
11	8	Derecho	0,457	0,0069	0,476	0,873	
		Izquierdo	0,005	0,0069			
12	9	Derecho	0,450	0,0061	0,467	1,340	
		Izquierdo	0,005	0,0061			
13	9	Derecho	0,454	0,0084	0,477	1,817	Caudal desfogue 4
		Izquierdo	0,007	0,0084			

14	10	Derecho	0,072	0,0023	0,079	0,079	
		Izquierdo	0,002	0,0023			
15	10	Derecho	0,136	0,0060	0,153	0,232	
		Izquierdo	0,004	0,0060			
16	11	Derecho	0,142	0,0077	0,163	0,394	
		Izquierdo	0,005	0,0077			
17	12	Derecho	0,146	0,0078	0,168	0,562	
		Izquierdo	0,007	0,0078			
18	12	Derecho	0,085	0,0048	0,099	0,661	
		Izquierdo	0,004	0,0048			
19	13	Derecho	0,365	0,0083	0,389	<b>1,050</b>	<b>Caudal desfogue 5</b>
		Izquierdo	0,007	0,0083			
20	14	Derecho	0,134	0,0052	0,149	0,149	
		Izquierdo	0,005	0,0052			
21	15	Derecho	0,192	0,0102	0,220	0,369	
		Izquierdo	0,008	0,0102			
22	15	Derecho	0,053	0,0026	0,060	0,430	
		Izquierdo	0,002	0,0026			
23	15	Derecho	0,784	0,0029	0,792	<b>1,222</b>	<b>Caudal desfogue 6</b>
		Izquierdo	0,002	0,0029			
24	16	Derecho	0,472	0,0097	0,499	0,499	
		Izquierdo	0,007	0,0097			
25	17	Derecho	0,253	0,0097	0,278	0,777	
		Izquierdo	0,005	0,0097			
26	18	Derecho	0,045	0,0068	0,064	0,841	
		Izquierdo	0,005	0,0068			
27	18	Derecho	0,053	0,0024	0,059	<b>2,134</b>	<b>Caudal desfogue 7</b>
		Izquierdo	0,002	0,0024			
28	18	Derecho	0,186	0,0034	0,195	1,234	
		Izquierdo	0,002	0,0034			
29	19	Derecho	0,133	0,0095	0,157	1,038	
		Izquierdo	0,004	0,0095			
30	20	Derecho	0,065	0,0097	0,089	0,882	
		Izquierdo	0,005	0,0097			
-	21		1,982		1,982	1,982	
-	22		0,000	0,0000	0,000	1,189	
31	23	Derecho	0,244	0,0081	0,266	1,455	
		Izquierdo	0,005	0,0081			
32	23	Derecho	0,244	0,0056	0,259	1,714	
		Izquierdo	0,003	0,0056			
33	24	Derecho	0,502	0,0082	0,525	<b>2,239</b>	<b>Caudal</b>

		Izquierdo	0,007	0,0082			<b>desfogue 8</b>
34	25	Derecho	0,213	0,0054	0,228	0,228	
		Izquierdo	0,004	0,0054			
35	25	Derecho	0,090	0,0027	0,096	0,324	
		Izquierdo	0,001	0,0027			
36	26	Derecho	0,162	0,0041	0,173	0,498	
		Izquierdo	0,003	0,0041			
37	26	Derecho	0,220	0,0070	0,240	0,737	
		Izquierdo	0,005	0,0070			
38	27	Derecho	0,039	0,0038	0,049	0,786	
		Izquierdo	0,002	0,0038			
39	27	Derecho	0,040	0,0059	0,054	0,841	
		Izquierdo	0,003	0,0059			
40	28	Derecho	0,048	0,0097	0,073	0,914	
		Izquierdo	0,006	0,0097			
	Río					<b>0,914</b>	<b>Caudal desfogue 9</b>

**Tabla 3.1.8.** Cuadro resumen de caudales recolectados por cada pozo de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Desfogue	L <sub>vegetación</sub> (m)	L <sub>total</sub> (m)	L <sub>vegetación</sub> (%)
1	106,9	378,3	28,25
2	237,0	290,9	81,48
3	67,1	264,2	25,40
4	326,3	328,9	99,22
5	43,5	351,8	12,37
6	187,3	297,6	62,95
7	144,4	419,2	34,46
<b>Total</b>	<b>1112,6</b>	<b>2330,8</b>	<b>47,73</b>

**Tabla 3.1.9.** Porcentaje de longitud de ruta de desfogue que pasa por zona con vegetación. Tomado de Microsoft Excel.

## Propuesta de ruta de desfogue pluvial 2. Periodo de 10 años.

N° Intersección	Tragantes	Estación (m)	NS (m)	NI (m)	Profundidad (m)	Diámetro entrada (cm)	Latitud Norte °	Longitud Oeste °
11	2	0+100,00				75		
	a	-	1429,40	1427,59	1,82		09°51'45,7"	83°55'39,8"
	b	-	1429,40	1427,59	1,82		09°51'46,1"	83°55'39,8"
12	3	0+185,00				30		
	a	-	1428,60	1426,66	1,94		09°51'45,6"	83°55'42,6"
	b	-	1428,60	1426,96	1,64		09°51'46,1"	83°55'42,2"
	c	-	1428,60	1426,96	1,64		09°51'46,1"	83°55'42,7"

<b>I3</b>	4	0+260,00				85		
	a	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,4"	83°55'44,4"
	b	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,4"	83°55'44,4"
	c	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,8"	83°55'45,1"
	d	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,9"	83°55'45,4"
<b>I4</b>	4	0+295,00				55		
	a	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'44,3"	83°55'45,7"
	b	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'44,3"	83°55'46,4"
	c	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'45,7"	83°55'45,9"
	d	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'45,5"	83°55'46,0"
<b>I5</b>	3	0+368,00				50		
	a	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'42,9"	83°55'47,3"
	b	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'42,6"	83°55'47,6"
	c	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'43,0"	83°55'47,9"
<b>I6</b>	3	0+460,00				50		
	a	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,6"	83°55'49,1"
	b	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,2"	83°55'49,3"
	c	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,6"	83°55'49,6"
<b>I7</b>	4	0+555,00				45		
	a	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,0"	83°55'50,5"
	b	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'37,5"	83°55'50,4"
	c	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,2"	83°55'50,9"
	d	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,1"	83°55'51,4"
<b>I8</b>	4	0+575,00				30		
	a	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,9"	83°55'50,7"
	b	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,8"	83°55'51,2"
	c	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,8"	83°55'51,2"
	d	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,9"	83°55'51,6"
<b>I9</b>	3	0+665,00				45		
	a	-	1418,40	1416,37	2,03		00°59'09,9"	83°53'18,8"
	b	-	1418,40	1416,37	2,03		09°51'34,3"	83°55'52,4"
	c	-	1418,4	1416,4	2,03		09°51'34,7"	83°55'52,8"
<b>I10</b>	3	0+796,00				50		
	a	-	1415,5	1413,1	2,35		09°51'30,9"	83°55'54,4"
	b	-	1415,5	1413,1	2,35		09°51'30,5"	83°55'54,7"
	c	-	1415,5	1413,1	2,35		09°51'31,0"	83°55'54,9"
<b>I11</b>	3	0+880,00				55		
	a	-	1413,8	1411,8	1,94		09°51'28,5"	83°55'56,0"
	b	-	1413,8	1411,8	1,94		09°51'28,1"	83°55'56,2"
	c	-	1413,8	1411,8	1,94		09°51'28,7"	83°55'56,4"
<b>I12</b>	3	0+956,00				30		
	a	-	1412,2	1409,3	2,92		09°51'26,5"	83°55'57,5"
	b	-	1412,2	1409,3	2,92		09°51'26,9"	83°55'57,7"

	c	-	1412,2	1409,3	2,92		09°51'26,6"	83°55'58,0"
I13	2	1+060,00				55		
	a	-	1409,4	1407,4	1,96		09°51'23,6"	83°55'59,2"
	b	-	1409,4	1407,4	1,96		09°51'23,8"	83°55'59,6"
I14	3	1+089,00				30		
	a	-	1408,5	1406,1	2,37		09°51'22,7"	83°55'59,6"
	b	-	1408,5	1406,1	2,37		09°51'23,1"	83°55'60,0"
	c	-	1408,5	1406,1	2,37		09°51'22,7"	83°56'00,1"
I15	3	1+164,00				35		
	a	-	1406,3	1404,9	1,40		09°51'20,5"	83°56'00,5"
	b	-	1406,3	1404,9	1,40		09°51'20,8"	83°56'00,8"
	c	-	1406,3	1404,9	1,40		09°51'20,4"	83°56'01,0"
I16	2	1+260,00				35		
	a	-	1403,1	1401,2	1,92		09°51'17,6"	83°56'01,7"
	b	-	1403,1	1401,2	1,92		09°51'17,7"	83°56'02,1"
I17	4	1+356,00				35		
	a	-	1400,1	1398,9	1,19		09°51'14,8"	83°56'02,7"
	b	-	1400,1	1398,9	1,19		09°51'14,4"	83°56'02,9"
	c	-	1400,1	1398,9	1,19		09°51'14,9"	83°56'03,4"
	d	-	1400,1	1398,9	1,19		09°51'14,5"	83°56'03,5"
I18	3	1+416,00				30		
	a	-	1400	1399	0,98		09°51'13,0"	83°56'03,4"
	b	-	1400	1399	0,98		09°51'12,6"	83°56'03,6"
	c	-	1400	1399	0,98		09°51'13,0"	83°56'04,0"
I19	3	1+522,00				50		
	a	-	1396,8	1395,5	1,33		09°51'09,6"	83°56'04,2"
	b	-	1396,8	1395,5	1,33		09°51'10,0"	83°56'04,6"
	c	-	1396,8	1395,5	1,33		09°51'09,6"	83°56'04,7"
I20	4	1+582,00				35		
	a	-	1395,5	1393,6	1,88		09°51'07,7"	83°56'04,0"
	b	-	1395,5	1393,6	1,88		09°51'07,3"	83°56'04,0"
	c	-	1395,5	1393,6	1,88		09°51'08,0"	83°56'04,6"
	d	-	1395,5	1393,6	1,88		09°51'07,4"	83°56'04,6"
I21	4	1+706,00				40		
	a	-	1393,4	1391,6	1,79		09°51'03,6"	83°56'04,0"
	b	-	1393,4	1391,6	1,79		09°51'03,2"	83°56'04,1"
	c	-	1393,4	1391,6	1,79		09°51'03,7"	83°56'04,7"
	d	-	1393,4	1391,6	1,79		09°51'03,4"	83°56'04,8"
I22	3	1+744,00				30		
	a	-	1393,2	1391,1	2,07		09°51'02,3"	83°56'04,3"
	b	-	1393,2	1391,1	2,07		09°51'01,2"	83°56'04,5"
	c	-	1393,2	1391,1	2,07		09°51'02,7"	83°56'04,8"
	d	-	1393,2	1391,1	2,07		09°51'02,2"	83°56'04,9"

	e	-	1393,2	1391,1	2,07		09°51'01,2"	83°56'04,9"
<b>I23</b>	2	1+780,00				65		
	a	-	1392,9	1390,1	2,76		09°50'57,4"	83°56'05,6"
	b	-	1392,9	1390,1	2,76		09°50'57,7"	83°56'05,9"
<b>I24</b>	2	1+900,00				55		
	a	-	1391,6	1389	2,55		09°50'54,1"	83°56'07,7"
	b	-	1391,6	1389	2,55		09°50'54,4"	83°56'08,0"
<b>I25</b>	2	2+020,00				45		
	a	-	1389	1387,1	1,85		09°50'52,0"	83°56'08,8"
	b	-	1389	1387,1	1,85		09°50'51,7"	83°56'09,1"
	c	-	1389	1387,1	1,85		09°50'52,0"	83°56'09,4"
<b>I26</b>	2	2+105,00				30		
	a	-	1387,9	1386,2	1,66		09°50'50,6"	83°56'11,8"
	b	-	1387,9	1386,2	1,66		09°50'50,9"	83°56'11,6"
<b>I27</b>	2	2+200,00				30		
	a	-	1386	1383,2	2,74		09°50'51,2"	83°56'12,8"
	b	-	1386	1383,2	2,74		09°50'51,5"	83°56'13,1"
	c	-	1386	1383,2	2,74		09°50'51,7"	83°56'12,7"
<b>I28</b>	3	2+242,00				40		
	a	-	1386,6	1383,6	2,98		09°50'52,9"	83°56'16,3"
	b	-	1386,6	1383,6	2,98		09°50'53,8"	83°56'20,2"
<b>I29</b>	2	2+480,00				30		
	a	-	1387,1	1384,8	2,24		09°50'53,8"	83°56'20,2"
	b	-	1387,1	1384,8	2,24		09°50'54,2"	83°56'20,1"
<b>I30</b>	4	2+660,00				40		
	a	-	1386,1	1383,9	2,24		09°50'51,6"	83°56'20,7"
	b	-	1386,1	1383,9	2,24		09°50'51,2"	83°56'20,7"
	c	-	1386,1	1383,9	2,24		09°50'51,7"	83°56'21,4"
	d	-	1386,1	1383,9	2,24		09°50'51,3"	83°56'21,4"
<b>I31</b>	3	2+756,00				40		
	a	-	1384,9	1383,1	1,77		09°50'49,3"	83°56'20,9"
	b	-	1384,9	1383,1	1,77		09°50'48,9"	83°56'20,9"
	c	-	1384,9	1383,1	1,77		09°50'49,1"	83°56'21,3"
<b>I32</b>	4	2+828,00				65		
	a	-	1383,5	1382	1,48		09°50'45,7"	83°56'21,5"
	b	-	1383,5	1382	1,48		09°50'45,3"	83°56'21,6"
	c	-	1383,5	1382	1,48		09°50'46,4"	83°56'21,9"
	d	-	1383,5	1382	1,48		09°50'45,9"	83°56'22,0"
<b>I33</b>	3	2+860,00				40		
	a	-	1382,7	1381	1,66		09°50'44,4"	83°56'22,0"
	b	-	1382,7	1381	1,66		09°50'44,8"	83°56'22,5"
	c	-	1382,7	1381	1,66		09°50'44,4"	83°56'22,6"
<b>I34</b>	4	2+913,00				30		

	a	-	1382,4	1380,9	1,49		09°50'42,9"	83°56'22,4"
	b	-	1382,4	1380,9	1,49		09°50'42,5"	83°56'22,5"
	c	-	1382,4	1380,9	1,49		09°50'43,2"	83°56'23,0"
	d	-	1382,4	1380,9	1,49		09°50'42,7"	83°56'23,1"
<b>135</b>	3	3+000,00				35		
	a	-	1381,8	1380	1,78		09°50'41,2"	83°56'23,1"
	b	-	1381,8	1380	1,78		09°50'41,6"	83°56'23,5"
	c	-	1381,8	1380	1,78		09°50'41,1"	83°56'23,6"
<b>136</b>	2	3+048,00				40		
	a	-	1381	1379,3	1,69		09°50'38,5"	83°56'24,0"
	b	-	1381	1379,3	1,69		09°50'38,6"	83°56'24,4"
<b>137</b>	3	3+120,00			0,00	30		
	a	-	1380,8	1378,7	2,06		09°50'37,2"	83°56'24,4"
	b	-	1380,8	1378,7	2,06		09°50'36,8"	83°56'24,5"
	c	-	1380,8	1378,7	2,06		09°50'37,2"	83°56'24,9"
<b>138</b>	2	3+240,00				30		
	a	-	1380,3	1378,2	2,07		09°50'34,8"	83°56'25,5"
	b	-	1380,3	1378,2	2,07		09°50'35,0"	83°56'25,8"
<b>139</b>	2	3+240,00				30		
	a	-	1379,1	1377,1	1,99		09°50'31,3"	83°56'27,1"
	b	-	1379,1	1377,1	1,99		09°50'31,4"	83°56'27,5"

Tabla 3.2.1. Información de los tragantes propuestos. Tomado de Microsoft Excel.

N° Pozo	Estación (m)	N.S (m)	N.I (m)	Profundidad (m)	Diámetro (cm)		Latitud Norte°	Longitud Oeste°
1	0+120,00	1429,20	1427,15	2,05	75	85	09°51'45,8"	83°55'40,4"
2	0+240,00	1427,90	1424,40	3,50	85	120	09°51'45,2"	83°55'44,2"
3	0+360,00	1425,25	1422,70	2,55	120	135	09°51'43,0"	83°55'47,5"
4	0+480,00	1422,50	1419,83	2,67	65	75	09°51'39,9"	83°55'49,7"
5	0+600,00	1419,85	1417,13	2,72	75	80	09°51'36,4"	83°55'51,5"
6	0+720,00	1417,20	1413,96	3,24	80	100	09°51'33,0"	83°55'53,4"
7	0+840,00	1414,60	1411,59	3,02	100	95	09°51'29,7"	83°55'55,5"
8	0+960,00	1412,10	1407,68	4,42	95	115	09°51'26,5"	83°55'57,7"
9	1+080,00	1408,25	1405,90	2,35	115	115	09°51'23,1"	83°55'59,6"
10	1+200,00	1405,15	1401,54	3,61	40	50	09°51'19,4"	83°56'01,1"
11	1+320,00	1401,00	1398,79	2,21	50	60	09°51'15,8"	83°56'02,5"
12	1+440,00	1398,50	1396,19	2,31	60	70	09°51'12,2"	83°56'04,0"
13	1+560,00	1395,00	1393,21	1,79	70	75	09°51'08,4"	83°56'04,3"
14	1+680,00	1393,60	1391,04	2,56	75	95	09°51'04,5"	83°56'04,2"
15	1+800,00	1392,65	1389,49	3,16	95	95	09°51'00,6"	83°56'04,7"
16	1+920,00	1391,20	1388,10	3,10	55	65	09°50'57,0"	83°56'06,1"
17	2+040,00	1388,60	1385,98	2,62	65	65	09°50'53,7"	83°56'08,1"
18	2+170,00	1385,75	1382,16	3,59	65	85	09°50'50,4"	83°56'10,8"
19	2+280,00	1387,00	1383,50	3,50	75	85	09°50'52,2"	83°56'13,9"

20	2+400,00	1386,75	1384,80	1,95	70	75	09°50'53,4"	83°56'17,6"
21	2+505,00	1387,80	1385,35	2,45	70	70   80	09°50'54,1"	83°56'20,9"
22	2+560,00	1386,70	1383,67	3,03	80	90	09°50'52,4"	83°56'21,0"
23	2+680,00	1384,50	1382,30	2,20	90	100	09°50'48,5"	83°56'21,1"
24	2+800,00	1383,00	1381,27	1,73		100	09°50'44,7"	83°56'22,1"
25	2+920,00	1381,75	1379,64	2,11	55	70	09°50'41,0"	83°56'23,3"
26	3+040,00	1380,80	1378,28	2,52	70	75	09°50'37,3"	83°56'24,6"
27	3+160,00	1379,90	1377,16	2,74	75	75	09°50'33,7"	83°56'26,1"
28	3+280,00	1378,25	1375,89	2,36	75	75	09°50'30,1"	83°56'27,5"

**Tabla 3.2.2.** Información de los pozos de registro propuestos. Tomado de Microsoft Excel.

Punto N°	Estación Inicial (m)	Estación Final (m)	Latitud Norte°	Longitud Oeste°
<b>D 1</b>	0+360,00	-	09°51'43,1"	83°55'47,5"
<b>D 2</b>	1+080,00	-	09°51'23,1"	83°55'59,7"
<b>D 3</b>	1+800,00	-	09°50'57,1"	83°56'06,1"
<b>D 4</b>	2+170,00	-	09°50'50,4"	83°56'11,0"
<b>D 5</b>	2+800,00	-	09°50'44,5"	83°56'22,2"
<b>D 6</b>	3+359,62	-	09°50'28,7"	83°56'22,0"
<b>Cabzal salida 1</b>	-	0+290,90	09°51'41,3"	83°55'56,9"
<b>Cabzal salida 2</b>	-	0+160,00	09°51'14,0"	83°55'54,0"
<b>Cabzal salida 3</b>	-	0+297,52	09°50'50,9"	83°55'59,2"
<b>Cabzal salida 4</b>	-	0+419,17	09°50'36,9"	83°56'12,1"
<b>Cabzal salida 5</b>	-	2+800,00	09°50'44,5"	83°56'22,2"
<b>Cabzal salida 6</b>	-	3+359,62	09°50'28,7"	83°56'22,1"

**Tabla 3.2.3.** Información para los puntos de desfogue y sus respectivos cabezales de salida a los cuerpos de agua. Tomado de Microsoft Excel.

Intersección tragantes	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud tubería (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m³/s)	Caudal tubería (m³/s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m²)
I1	1427,59	1427,45	0+100,00	0+108,22	1,10	0,13	12,09	75	1,28	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
I2	1426,66	1426,53	0+185,00	0+193,22	1,10	0,13	12,09	30	0,54	3,88	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I3	1424,84	1424,71	0+260,00	0+268,22	1,10	0,13	12,09	85	1,56	1,70	5	3,56	0,72	1,37	3,36
I4	1424,52	1424,39	0+295,00	0+303,22	1,10	0,13	12,09	55	0,43	0,53	5	2,66	0,47	1,27	2,17
I5	1422,71	1422,58	0+368,00	0+376,22	1,10	0,13	12,09	50	0,43	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I6	1421,09	1420,96	0+460,00	0+468,22	1,10	0,13	12,09	50	0,36	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I7	1418,80	1418,67	0+555,00	0+563,22	1,10	0,13	12,09	45	0,34	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I8	1419,19	1419,05	0+575,00	0+583,22	1,10	0,13	12,09	30	0,03	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I9	1416,37	1416,24	0+665,00	0+673,22	1,10	0,13	12,09	45	0,32	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I10	1413,15	1413,02	0+796,00	0+804,22	1,10	0,13	12,09	50	0,37	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I11	1411,81	1411,68	0+880,00	0+888,22	1,10	0,13	12,09	55	0,46	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I12	1409,28	1409,14	0+956,00	0+964,22	1,10	0,13	12,09	30	0,01	0,11	5	1,87	0,26	1,21	1,31
I13	1407,39	1407,26	1+060,00	1+068,22	1,10	0,13	12,09	55	0,46	0,55	5	2,76	0,47	1,32	2,34
I14	1406,08	1405,95	1+089,00	1+097,22	1,10	0,13	12,09	30	0,07	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I15	1404,85	1404,72	1+164,00	1+172,22	1,10	0,13	12,09	35	0,14	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I16	1401,18	1401,05	1+260,00	1+268,22	1,10	0,13	12,09	35	0,14	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I17	1398,86	1398,73	1+356,00	1+364,22	1,10	0,13	12,09	35	0,15	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I18	1398,97	1398,84	1+416,00	1+424,22	1,10	0,13	12,09	30	0,09	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I19	1395,47	1395,39	1+522,00	1+530,22	-1,00	0,08	8,20	50	0,37	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I20	1393,62	1393,54	1+582,00	1+590,22	-1,00	0,08	8,20	35	0,14	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I21	1391,56	1391,48	1+706,00	1+714,22	-1,00	0,08	8,20	40	0,19	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I22	1391,08	1391,00	1+744,00	1+752,22	1,00	0,08	8,20	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I23	1390,09	1390,01	1+780,00	1+788,22	1,00	0,08	8,20	65	0,79	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16

124	1389,00	1388,92	1+900,00	1+908,22	1,00	0,08	8,20	55	0,48	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
125	1387,15	1387,06	2+020,00	2+028,22	1,00	0,08	8,20	45	0,26	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
126	1386,24	1386,16	3+105,00	3+113,22	1,00	0,08	8,20	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
127	1383,21	1383,13	2+200,00	2+208,22	1,00	0,08	8,20	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
128	1383,57	1383,49	2+242,00	2+250,22	1,00	0,08	8,20	40	0,19	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
129	1384,81	1384,73	2+360,00	2+368,22	1,00	0,08	8,20	30	0,01	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
130	1383,13	1383,05	2+587,00	2+595,22	1,00	0,08	8,20	40	0,25	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
131	1381,97	1381,89	2+660,00	2+668,22	1,00	0,08	8,20	40	0,25	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
132	1381,04	1380,96	2+756,00	2+764,22	1,00	0,08	8,20	65	0,51	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
133	1380,86	1380,80	2+828,00	2+836,22	0,75	0,06	8,27	40	0,22	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
134	1380,02	1379,95	2+860,00	2+868,22	0,75	0,06	8,27	30	0,09	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
135	1379,31	1379,24	2+913,00	2+921,22	0,75	0,06	8,27	35	0,16	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
136	1378,74	1378,68	3+000,00	3+008,22	0,75	0,06	8,27	40	0,22	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
137	1378,23	1378,17	3+048,00	3+056,22	0,75	0,06	8,27	30	0,04	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
138	1377,06	1377,00	3+120,00	3+128,22	0,75	0,06	8,27	30	0,04	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
139	1377,06	1377,00	3+240,00	3+248,22	0,75	0,06	8,27	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46

**Tabla 3.2.4.** Información para las tuberías que unen los tragantes con las tuberías de los pozos de registro.

Tomado de Microsoft Excel.

Tubería	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)	Caudal tubería (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
1	1428,20	1428,02	0+108,00	0+108,11	1,60	0,18	11,39	75	1,31	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
2	1428,05	1426,11	0+120,00	0+121,22	1,60	1,94	121,55	85	1,86	1,89	5	3,95	0,72	1,52	4,13
3	1425,55	1424,06	0+268,00	0+268,93	1,60	1,49	92,97	120	3,88	4,27	5	4,48	1,02	1,45	4,74
4	1422,95	1421,28	0+277,00	0+278,04	1,60	1,67	104,31	65	0,84	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
5	1420,45	1418,51	0+480,00	0+481,22	1,60	1,94	121,55	75	1,23	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
6	1417,85	1415,91	0+600,00	0+601,22	1,60	1,94	121,55	80	1,57	1,61	5	3,79	0,68	1,50	3,89

7	1414,90	1414,27	0+801,00	0+801,40	1,60	0,63	39,60	100	1,97	2,91	5	4,40	0,85	1,56	4,86
8	1412,95	1411,01	0+840,00	0+841,22	1,60	1,94	121,55	95	2,45	2,54	5	4,25	0,81	1,55	4,62
9	1409,25	1407,37	0+960,00	0+961,18	1,60	1,88	117,53	115	3,40	3,60	5	4,47	0,86	1,61	4,82
10	1405,55	1403,89	1+100,00	1+101,04	1,60	1,66	103,81	40	0,23	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
11	1401,75	1399,81	1+200,00	1+201,22	1,60	1,94	121,55	50	0,40	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
12	1399,10	1397,16	1+320,00	1+321,22	1,60	1,94	121,55	60	0,67	0,75	5	3,13	0,51	1,43	2,92
13	1396,60	1394,66	1+440,00	1+441,22	1,60	1,94	121,55	70	1,06	1,13	5	3,47	0,60	1,47	3,40
14	1394,30	1392,79	1+587,00	1+587,94	1,60	1,51	94,40	75	1,21	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
15	1392,40	1390,46	1+680,00	1+681,22	1,60	1,94	121,55	95	2,29	2,54	5	4,25	0,81	1,55	4,62
16	1389,40	1389,21	1+908,00	1+908,12	1,60	0,19	11,93	55	0,50	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
17	1389,20	1387,26	1+920,00	1+921,22	1,60	1,94	121,55	65	0,78	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
18	1386,60	1384,49	2+040,00	2+041,32	1,60	2,11	131,68	65	0,85	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
19	1383,25	1382,15	2+170,00	2+171,10	-1,00	1,10	110,14	85	1,31	1,49	5	3,12	0,72	1,20	2,58
20	1384,30	1383,10	2+280,00	2+281,21	-1,00	1,21	120,50	75	1,05	1,07	5	2,87	0,64	1,18	2,28
21	1385,50	1384,45	2+400,00	2+401,05	-1,00	1,05	105,20	70	0,89	0,89	5	2,74	0,60	1,16	2,13
22	1386,55	1386,14	2+505,00	2+505,55	0,75	0,41	55,00	80	1,20	1,27	5	3,00	0,68	1,19	2,43
23	1384,50	1383,60	2+560,00	2+561,20	0,75	0,90	120,15	90	1,73	1,74	5	3,24	0,77	1,21	2,73
24	1383,30	1382,40	2+680,00	2+681,20	0,75	0,90	120,15	100	2,26	2,30	5	3,48	0,85	1,23	3,04
25	1381,35	1380,73	2+840,00	2+840,83	0,75	0,62	83,18	55	0,33	0,41	5	2,02	0,47	0,97	1,25
26	1380,30	1379,40	2+920,00	2+921,20	0,75	0,90	120,15	70	0,74	0,77	5	2,37	0,60	1,01	1,60
27	1378,80	1377,90	3+040,00	3+041,20	0,75	0,90	120,15	75	0,85	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71
28	1377,95	1377,05	3+160,00	3+161,20	0,75	0,90	120,15	75	0,92	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71
29	1377,05	1376,45	3+280,00	3+280,80	0,75	0,60	79,75	75	0,92	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71

Tabla 3.2.5. Información para las tuberías que unen los diferentes pozos de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Tubería	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)	Caudal tubería (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
D 1	1422,70	1420,74	0+000,00	0+290,90	0,67	1,96	290,91	135	3,88	4,21	5	3,482	1,15	1,06	2,76
D 2 Tramo 1	1405,90	1403,98	0+000,00	0+160,00	1,20	1,92	160,01	115	3,40	3,66	5	4,179	0,98	1,38	4,19
D 2 Tramo 2	1402,35	1400,33	0+160,00	0+368,81	1,20	2,03	168,82	115	3,40	3,66	5	4,180	0,98	1,38	4,19
D 3	1389,49	1385,24	0+000,00	0+297,52	1,43	4,25	297,55	95	2,29	2,40	5	4,014	0,81	1,46	4,12
D 4	1382,16	1379,93	0+000,00	0+419,17	0,53	2,24	419,18	110	2,15	2,17	5	2,705	0,94	0,92	1,78

**Tabla 3.2.6.** Información para las tuberías que unen los puntos de desfogue con los cabezales de salida. Tomado de Microsoft Excel.

Caño circular		
Sección	0,2	Y/D
Diámetro	50	cm
$\Theta$	2,061	rad
A	0,037	m <sup>2</sup>
S	0,021	
R	0,071	
n	0,013	
Q	0,071	m <sup>3</sup> /s
Qu	0,011	Cumple

Tabla 3.2.7. Diseño y sus respectivos parámetros para la sección de caño circular. Tomado de Microsoft Excel.

Caudales en (m <sup>3</sup> /s)						
Tragantes inicio	Pozo aforo	Lado	Q <sub>tragante</sub>	Q <sub>cordon y caño</sub>	Q <sub>total</sub>	Q <sub>acumulado pozo</sub>
1	1	Derecho	1,284	0,0081	1,308	1,308
		Izquierdo	0,007	0,0081		
2	2	Derecho	0,536	0,0069	0,557	1,865
		Izquierdo	0,007	0,0069		
3	3	Derecho	1,564	0,0061	1,582	3,447
		Izquierdo	0,005	0,0061		
4	3	Derecho	0,428	0,0028	0,436	3,883
		Izquierdo	0,003	0,0028		
5	4	Derecho	0,437	0,0060	0,452	0,452
		Izquierdo	0,004	0,0060		
6	4	Derecho	0,364	0,0074	0,383	0,836
		Izquierdo	0,004	0,0074		
7	5	Derecho	0,338	0,0077	0,359	1,195
		Izquierdo	0,005	0,0077		
8	5	Derecho	0,030	0,0016	0,033	1,228
		Izquierdo	0,000	0,0016		
9	6	Derecho	0,320	0,0073	0,340	1,568
		Izquierdo	0,005	0,0073		
10	7	Derecho	0,374	0,0107	0,401	1,969
		Izquierdo	0,006	0,0107		
11	8	Derecho	0,461	0,0069	0,480	2,449
		Izquierdo	0,006	0,0069		
12	9	Derecho	0,454	0,0062	0,472	2,920
		Izquierdo	0,005	0,0062		
13	9	Derecho	0,458	0,0085	0,482	3,402
		Izquierdo	0,007	0,0085		

14	10	Derecho	0,073	0,0024	0,080	0,080	
		Izquierdo	0,002	0,0024			
15	10	Derecho	0,138	0,0061	0,154	0,234	
		Izquierdo	0,004	0,0061			
16	11	Derecho	0,143	0,0078	0,164	0,398	
		Izquierdo	0,006	0,0078			
17	12	Derecho	0,147	0,0079	0,170	0,568	
		Izquierdo	0,007	0,0079			
18	12	Derecho	0,086	0,0048	0,100	0,668	
		Izquierdo	0,004	0,0048			
19	13	Derecho	0,368	0,0084	0,393	1,060	
		Izquierdo	0,007	0,0084			
20	14	Derecho	0,135	0,0053	0,151	1,211	
		Izquierdo	0,005	0,0053			
21	15	Derecho	0,194	0,0103	0,222	1,433	
		Izquierdo	0,008	0,0103			
22	15	Derecho	0,054	0,0026	0,061	1,494	
		Izquierdo	0,002	0,0026			
23	15	Derecho	0,792	0,0029	0,800	<b>2,294</b>	<b>Caudal de desfogue 3</b>
		Izquierdo	0,002	0,0029			
24	16	Derecho	0,477	0,0098	0,504	0,504	
		Izquierdo	0,007	0,0098			
25	17	Derecho	0,256	0,0098	0,281	0,785	
		Izquierdo	0,005	0,0098			
26	18	Derecho	0,046	0,0069	0,064	0,849	
		Izquierdo	0,005	0,0069			
27	18	Derecho	0,053	0,0024	0,060	<b>2,154</b>	<b>Caudal de desfogue 4</b>
		Izquierdo	0,002	0,0024			
28	18	Derecho	0,188	0,0034	0,197	1,246	
		Izquierdo	0,002	0,0034			
29	19	Derecho	0,135	0,0096	0,158	1,048	
		Izquierdo	0,004	0,0096			
30	20	Derecho	0,066	0,0098	0,090	0,890	
		Izquierdo	0,005	0,0098			
-	21		2,001		2,001	2,001	
-	22		0,000	0,0000	0,000	1,200	
31	23	Derecho	0,247	0,0082	0,268	1,469	
		Izquierdo	0,005	0,0082			
32	23	Derecho	0,247	0,0057	0,262	1,730	
		Izquierdo	0,003	0,0057			
33	24	Derecho	0,507	0,0083	0,530	<b>2,260</b>	<b>Caudal de</b>

		Izquierdo	0,007	0,0083			<b>desfogue 5</b>
34	25	Derecho	0,215	0,0055	0,230	0,230	
		Izquierdo	0,004	0,0055			
35	25	Derecho	0,090	0,0027	0,096	0,326	
		Izquierdo	0,001	0,0027			
36	26	Derecho	0,164	0,0041	0,175	0,501	
		Izquierdo	0,003	0,0041			
37	26	Derecho	0,223	0,0071	0,242	0,744	
		Izquierdo	0,005	0,0071			
38	27	Derecho	0,040	0,0039	0,049	0,793	
		Izquierdo	0,002	0,0039			
39	27	Derecho	0,040	0,0059	0,055	0,848	
		Izquierdo	0,003	0,0059			
40	28	Derecho	0,048	0,0098	0,074	0,922	
		Izquierdo	0,006	0,0098			
	Río					<b>0,922</b>	<b>Caudal de desfogue 6</b>

**Tabla 3.2.8.** Cuadro resumen de caudales recolectados por cada pozo de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Desfogue	L <sub>vegetación</sub> (m)	L <sub>total</sub> (m)	L <sub>vegetación</sub> (%)
<b>1</b>	237,0	290,9	81,48
<b>2</b>	326,3	328,8	72,08
<b>3</b>	187,3	297,6	62,95
<b>4</b>	144,4	419,2	34,46
<b>Total</b>	895,1	1336,5	66,97

**Tabla 3.2.9.** Porcentaje de longitud de ruta de desfogue que pasa por zona con vegetación. Tomado de Microsoft Excel.

### Propuesta de ruta de desfogue pluvial 3. Periodo de 25 años.

N° Intersección	Tragantes	Estación (m)	NS (m)	NI (m)	Profundidad (m)	Diámetro entrada (cm)	Latitud Norte °	Longitud Oeste °
<b>I1</b>	2	0+100,00				80		
	a	-	1429,40	1427,59	1,82		09°51'45,7"	83°55'39,8"
	b	-	1429,40	1427,59	1,82		09°51'46,1"	83°55'39,8"
<b>I2</b>	3	0+185,00				30		
	a	-	1428,60	1426,66	1,94		09°51'45,6"	83°55'42,6"
	b	-	1428,60	1426,96	1,64		09°51'46,1"	83°55'42,2"
	c	-	1428,60	1426,96	1,64		09°51'46,1"	83°55'42,7"
<b>I3</b>	4	0+260,00				85		
	a	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,4"	83°55'44,4"
	b	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,4"	83°55'44,4"

	c	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,8"	83°55'45,1"
	d	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,9"	83°55'45,4"
<b>I4</b>	4	0+295,00				55		
	a	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'44,3"	83°55'45,7"
	b	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'44,3"	83°55'46,4"
	c	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'45,7"	83°55'45,9"
	d	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'45,5"	83°55'46,0"
<b>I5</b>	3	0+368,00				55		
	a	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'42,9"	83°55'47,3"
	b	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'42,6"	83°55'47,6"
	c	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'43,0"	83°55'47,9"
<b>I6</b>	3	0+460,00				50		
	a	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,6"	83°55'49,1"
	b	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,2"	83°55'49,3"
	c	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,6"	83°55'49,6"
<b>I7</b>	4	0+555,00				50		
	a	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,0"	83°55'50,5"
	b	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'37,5"	83°55'50,4"
	c	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,2"	83°55'50,9"
	d	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,1"	83°55'51,4"
<b>I8</b>	4	0+575,00				30		
	a	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,9"	83°55'50,7"
	b	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,8"	83°55'51,2"
	c	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,8"	83°55'51,2"
	d	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,9"	83°55'51,6"
<b>I9</b>	3	0+665,00				45		
	a	-	1418,40	1416,37	2,03		00°59'09,9"	83°53'18,8"
	b	-	1418,40	1416,37	2,03		09°51'34,3"	83°55'52,4"
	c	-	1418,40	1416,37	2,03		09°51'34,7"	83°55'52,8"
<b>I10</b>	3	0+796,00				50		
	a	-	1415,50	1413,15	2,35		09°51'30,9"	83°55'54,4"
	b	-	1415,50	1413,15	2,35		09°51'30,5"	83°55'54,7"
	c	-	1415,50	1413,15	2,35		09°51'31,0"	83°55'54,9"
<b>I11</b>	3	0+880,00				55		
	a	-	1413,75	1411,81	1,94		09°51'28,5"	83°55'56,0"
	b	-	1413,75	1411,81	1,94		09°51'28,1"	83°55'56,2"
	c	-	1413,75	1411,81	1,94		09°51'28,7"	83°55'56,4"
<b>I12</b>	3	0+956,00				30		
	a	-	1412,20	1409,28	2,92		09°51'26,5"	83°55'57,5"
	b	-	1412,20	1409,28	2,92		09°51'26,9"	83°55'57,7"
	c	-	1412,20	1409,28	2,92		09°51'26,6"	83°55'58,0"
<b>I13</b>	2	1+060,00				55		
	a	-	1409,35	1407,39	1,96		09°51'23,6"	83°55'59,2"

	b	-	1409,35	1407,39	1,96		09°51'23,8"	83°55'59,6"
<b>I14</b>	3	1+089,00				30		
	a	-	1408,45	1406,08	2,37		09°51'22,7"	83°55'59,6"
	b	-	1408,45	1406,08	2,37		09°51'23,1"	83°55'60,0"
	c	-	1408,45	1406,08	2,37		09°51'22,7"	83°56'00,1"
<b>I15</b>	3	1+164,00				35		
	a	-	1406,25	1404,85	1,40		09°51'20,5"	83°56'00,5"
	b	-	1406,25	1404,85	1,40		09°51'20,8"	83°56'00,8"
	c	-	1406,25	1404,85	1,40		09°51'20,4"	83°56'01,0"
<b>I16</b>	2	1+260,00				35		
	a	-	1403,10	1401,18	1,92		09°51'17,6"	83°56'01,7"
	b	-	1403,10	1401,18	1,92		09°51'17,7"	83°56'02,1"
<b>I17</b>	4	1+356,00				35		
	a	-	1400,05	1398,86	1,19		09°51'14,8"	83°56'02,7"
	b	-	1400,05	1398,86	1,19		09°51'14,4"	83°56'02,9"
	c	-	1400,05	1398,86	1,19		09°51'14,9"	83°56'03,4"
	d	-	1400,05	1398,86	1,19		09°51'14,5"	83°56'03,5"
<b>I18</b>	3	1+416,00				30		
	a	-	1399,95	1398,97	0,98		09°51'13,0"	83°56'03,4"
	b	-	1399,95	1398,97	0,98		09°51'12,6"	83°56'03,6"
	c	-	1399,95	1398,97	0,98		09°51'13,0"	83°56'04,0"
<b>I19</b>	3	1+522,00				50		
	a	-	1396,80	1395,47	1,33		09°51'09,6"	83°56'04,2"
	b	-	1396,80	1395,47	1,33		09°51'10,0"	83°56'04,6"
	c	-	1396,80	1395,47	1,33		09°51'09,6"	83°56'04,7"
<b>I20</b>	4	1+582,00				35		
	a	-	1395,50	1393,62	1,88		09°51'07,7"	83°56'04,0"
	b	-	1395,50	1393,62	1,88		09°51'07,3"	83°56'04,0"
	c	-	1395,50	1393,62	1,88		09°51'08,0"	83°56'04,6"
	d	-	1395,50	1393,62	1,88		09°51'07,4"	83°56'04,6"
<b>I21</b>	4	1+706,00				40		
	a	-	1393,35	1391,56	1,79		09°51'03,6"	83°56'04,0"
	b	-	1393,35	1391,56	1,79		09°51'03,2"	83°56'04,1"
	c	-	1393,35	1391,56	1,79		09°51'03,7"	83°56'04,7"
	d	-	1393,35	1391,56	1,79		09°51'03,4"	83°56'04,8"
<b>I22</b>	3	1+744,00				30		
	a	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'02,3"	83°56'04,3"
	b	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'01,2"	83°56'04,5"
	c	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'02,7"	83°56'04,8"
	d	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'02,2"	83°56'04,9"
	e	-	1393,15	1391,08	2,07		09°51'01,2"	83°56'04,9"
<b>I23</b>	2	1+780,00				65		
	a	-	1392,85	1390,09	2,76		09°50'57,4"	83°56'05,6"

	b	-	1392,85	1390,09	2,76		09°50'57,7"	83°56'05,9"
I24	2	1+900,00				55		
	a	-	1391,55	1389,00	2,55		09°50'54,1"	83°56'07,7"
	b	-	1391,55	1389,00	2,55		09°50'54,4"	83°56'08,0"
I25	2	2+020,00				45		
	a	-	1389,00	1387,15	1,85		09°50'52,0"	83°56'08,8"
	b	-	1389,00	1387,15	1,85		09°50'51,7"	83°56'09,1"
	c	-	1389,00	1387,15	1,85		09°50'52,0"	83°56'09,4"
I26	2	2+105,00				30		
	a	-	1387,90	1386,24	1,66		09°50'50,6"	83°56'11,8"
	b	-	1387,90	1386,24	1,66		09°50'50,9"	83°56'11,6"
I27	2	2+200,00				30		
	a	-	1385,95	1383,21	2,74		09°50'51,2"	83°56'12,8"
	b	-	1385,95	1383,21	2,74		09°50'51,5"	83°56'13,1"
	c	-	1385,95	1383,21	2,74		09°50'51,7"	83°56'12,7"
I28	3	2+242,00				40		
	a	-	1386,55	1383,57	2,98		09°50'52,9"	83°56'16,3"
	b	-	1386,55	1383,57	2,98		09°50'53,8"	83°56'20,2"
I29	2	2+480,00				30		
	a	-	1387,05	1384,81	2,24		09°50'53,8"	83°56'20,2"
	b	-	1387,05	1384,81	2,24		09°50'54,2"	83°56'20,1"
I30	4	2+660,00				45		
	a	-	1386,10	1383,86	2,24		09°50'51,6"	83°56'20,7"
	b	-	1386,10	1383,86	2,24		09°50'51,2"	83°56'20,7"
	c	-	1386,10	1383,86	2,24		09°50'51,7"	83°56'21,4"
	d	-	1386,10	1383,86	2,24		09°50'51,3"	83°56'21,4"
I31	3	2+756,00				45		
	a	-	1384,90	1383,13	1,77		09°50'49,3"	83°56'20,9"
	b	-	1384,90	1383,13	1,77		09°50'48,9"	83°56'20,9"
	c	-	1384,90	1383,13	1,77		09°50'49,1"	83°56'21,3"
I32	4	2+828,00				55		
	a	-	1383,45	1381,97	1,48		09°50'45,7"	83°56'21,5"
	b	-	1383,45	1381,97	1,48		09°50'45,3"	83°56'21,6"
	c	-	1383,45	1381,97	1,48		09°50'46,4"	83°56'21,9"
	d	-	1383,45	1381,97	1,48		09°50'45,9"	83°56'22,0"
I33	3	2+860,00				40		
	a	-	1382,70	1381,04	1,66		09°50'44,4"	83°56'22,0"
	b	-	1382,70	1381,04	1,66		09°50'44,8"	83°56'22,5"
	c	-	1382,70	1381,04	1,66		09°50'44,4"	83°56'22,6"
I34	4	2+913,00				30		
	a	-	1382,35	1380,86	1,49		09°50'42,9"	83°56'22,4"
	b	-	1382,35	1380,86	1,49		09°50'42,5"	83°56'22,5"
	c	-	1382,35	1380,86	1,49		09°50'43,2"	83°56'23,0"

	d	-	1382,35	1380,86	1,49		09°50'42,7"	83°56'23,1"
135	3	3+000,00				35		
	a	-	1381,80	1380,02	1,78		09°50'41,2"	83°56'23,1"
	b	-	1381,80	1380,02	1,78		09°50'41,6"	83°56'23,5"
	c	-	1381,80	1380,02	1,78		09°50'41,1"	83°56'23,6"
136	2	3+048,00				40		
	a	-	1381,00	1379,31	1,69		09°50'38,5"	83°56'24,0"
	b	-	1381,00	1379,31	1,69		09°50'38,6"	83°56'24,4"
137	3	3+120,00				30		
	a	-	1380,80	1378,74	2,06		09°50'37,2"	83°56'24,4"
	b	-	1380,80	1378,74	2,06		09°50'36,8"	83°56'24,5"
	c	-	1380,80	1378,74	2,06		09°50'37,2"	83°56'24,9"
138	2	3+240,00				30		
	a	-	1380,30	1378,23	2,07		09°50'34,8"	83°56'25,5"
	b	-	1380,30	1378,23	2,07		09°50'35,0"	83°56'25,8"
139	2	3+240,00				30		
	a	-	1379,05	1377,06	1,99		09°50'31,3"	83°56'27,1"
	b	-	1379,05	1377,06	1,99		09°50'31,4"	83°56'27,5"

Tabla 3.3.1. Información de los tragantes propuestos. Tomado de Microsoft Excel.

N° Pozo	Estación (m)	N.S (m)	N.I (m)	Profundidad (m)	Diámetro entrada (cm)		Diámetro salida (cm)	Latitud Norte°	Longitud Oeste°
1	0+120,00	1429,20	1427,10	2,10	80		90	09°51'45,8"	83°55'40,4"
2	0+240,00	1427,90	1425,11	2,79	90		100	09°51'45,2"	83°55'44,2"
3	0+360,00	1425,25	1422,85	2,40	90		120	09°51'43,0"	83°55'47,5"
4	0+480,00	1422,50	1419,83	2,67	65		75	09°51'39,9"	83°55'49,7"
5	0+600,00	1419,85	1417,08	2,77	75		85	09°51'36,4"	83°55'51,5"
6	0+720,00	1417,20	1415,10	2,10	85		90	09°51'33,0"	83°55'53,4"
7	0+840,00	1414,60	1411,89	2,72	50		70	09°51'29,7"	83°55'55,5"
8	0+960,00	1412,10	1408,19	3,92	70		90	09°51'26,5"	83°55'57,7"
9	1+080,00	1408,25	1406,05	2,20	90		100	09°51'23,1"	83°55'59,6"
10	1+200,00	1405,15	1401,54	3,61	40		50	09°51'19,4"	83°56'01,1"
11	1+320,00	1401,00	1398,79	2,21	50		60	09°51'15,8"	83°56'02,5"
12	1+440,00	1398,50	1396,14	2,36	60		75	09°51'12,2"	83°56'04,0"
13	1+560,00	1395,00	1393,06	1,94	75		90	09°51'08,4"	83°56'04,3"
14	1+680,00	1393,60	1391,24	2,36	40		75	09°51'04,5"	83°56'04,2"
15	1+800,00	1392,65	1389,54	3,11	75		90	09°51'00,6"	83°56'04,7"
16	1+920,00	1391,20	1388,10	3,10	55		65	09°50'57,0"	83°56'06,1"
17	2+040,00	1388,60	1385,98	2,62	65		65	09°50'53,7"	83°56'08,1"
18	2+170,00	1385,75	1382,41	3,34	65	85	130	09°50'50,4"	83°56'10,8"
19	2+280,00	1387,00	1383,50	3,50	80		85	09°50'52,2"	83°56'13,9"
20	2+400,00	1386,75	1384,75	2,00	75		80	09°50'53,4"	83°56'17,6"
21	2+505,00	1387,80	1385,30	2,50	75		75   85	09°50'54,1"	83°56'20,9"

22	2+560,00	1386,70	1383,62	3,08	85	95	09°50'52,4"	83°56'21,0"
23	2+680,00	1384,50	1382,25	2,25	95	105	09°50'48,5"	83°56'21,1"
24	2+800,00	1383,00	1381,22	1,78		105	09°50'44,7"	83°56'22,1"
25	2+920,00	1381,75	1379,59	2,16	55	75	09°50'41,0"	83°56'23,3"
26	3+040,00	1380,80	1378,28	2,52	75	75	09°50'37,3"	83°56'24,6"
27	3+160,00	1379,90	1377,16	2,74	75	75	09°50'33,7"	83°56'26,1"
28	3+280,00	1378,25	1375,84	2,41	80	80	09°50'30,1"	83°56'27,5"

Tabla 3.3.2. Información de los pozos de registro propuestos. Tomado de Microsoft Excel.

N° Punto	Estación Inicial (m)	Estación Final (m)	Latitud Norte°	Longitud Oeste°
D 1	0+240,00	-	09°51'45,3"	83°55'44,3"
D 2	0+360,00	-	09°51'43,1"	83°55'47,5"
D 3	0+720,00	-	09°51'33,0"	83°55'53,4"
D 4	1+080,00	-	09°51'23,1"	83°55'59,7"
D 5	1+560,00	-	09°51'08,4"	83°56'04,3"
D 6	1+800,00	-	09°50'57,1"	83°56'06,1"
D 7	2+170,00	-	09°50'50,4"	83°56'11,0"
D 8	2+800,00	-	09°50'44,5"	83°56'22,2"
D 9	3+359,62	-	09°50'28,7"	83°56'22,0"
Cabezal de salida 1	-	0+378,27	09°51'33,8"	83°55'39,8"
Cabezal de salida 2	-	0+290,90	09°51'41,3"	83°55'56,9"
Cabezal de salida 3	-	0+264,11	09°51'19,1"	83°55'51,8"
Cabezal de salida 4	-	0+328,81	09°51'14,0"	83°55'54,0"
Cabezal de salida 5	-	0+351,77	09°50'57,4"	83°56'01,4"
Cabezal de salida 6	-	0+297,52	09°50'50,9"	83°55'59,2"
Cabezal de salida 7	-	0+419,17	09°50'36,9"	83°56'12,1"
Cabezal de salida 8	-	2+800,00	09°50'44,5"	83°56'22,2"
Cabezal de salida 9	-	3+359,62	09°50'28,7"	83°56'22,1"

Tabla 3.3.3. Información para los puntos de desfogue y sus respectivos cabezales de salida a los cuerpos de agua. Tomado de Microsoft Excel.

Intersección tragantes	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud tubería (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m³/s)	Caudal tubería (m³/s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m²)
I1	1427,59	1427,45	0+100,00	0+108,22	1,10	0,13	12,09	80	1,39	1,61	5	3,79	0,68	1,50	3,89
I2	1426,66	1426,53	0+185,00	0+193,22	1,10	0,13	12,09	30	0,58	2,18	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I3	1424,84	1424,71	0+260,00	0+268,22	1,10	0,13	12,09	85	1,69	1,89	5	3,95	0,72	1,52	4,13
I4	1424,52	1424,39	0+295,00	0+303,22	1,10	0,13	12,09	55	0,46	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I5	1422,71	1422,58	0+368,00	0+376,22	1,10	0,13	12,09	55	0,46	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I6	1421,09	1420,96	0+460,00	0+468,22	1,10	0,13	12,09	50	0,39	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I7	1418,80	1418,67	0+555,00	0+563,22	1,10	0,13	12,09	50	0,37	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I8	1419,19	1419,05	0+575,00	0+583,22	1,10	0,13	12,09	30	0,03	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I9	1416,37	1416,24	0+665,00	0+673,22	1,10	0,13	12,09	45	0,35	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I10	1413,15	1413,02	0+796,00	0+804,22	1,10	0,13	12,09	50	0,40	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I11	1411,81	1411,68	0+880,00	0+888,22	1,10	0,13	12,09	55	0,50	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I12	1409,28	1409,14	0+956,00	0+964,22	1,10	0,13	12,09	30	0,01	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I13	1407,39	1407,26	1+060,00	1+068,22	1,10	0,13	12,09	55	0,49	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I14	1406,08	1405,95	1+089,00	1+097,22	1,10	0,13	12,09	30	0,08	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I15	1404,85	1404,72	1+164,00	1+172,22	1,10	0,13	12,09	35	0,15	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I16	1401,18	1401,05	1+260,00	1+268,22	1,10	0,13	12,09	35	0,15	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I17	1398,86	1398,73	1+356,00	1+364,22	1,10	0,13	12,09	35	0,16	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I18	1398,97	1398,84	1+416,00	1+424,22	1,10	0,13	12,09	30	0,09	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I19	1395,47	1395,39	1+522,00	1+530,22	-1,00	0,08	8,20	50	0,40	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I20	1393,62	1393,54	1+582,00	1+590,22	-1,00	0,08	8,20	35	0,15	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I21	1391,56	1391,48	1+706,00	1+714,22	-1,00	0,08	8,20	40	0,21	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I22	1391,08	1391,00	1+744,00	1+752,22	1,00	0,08	8,20	30	0,06	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I23	1390,09	1390,01	1+780,00	1+788,22	1,00	0,08	8,20	65	0,86	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16

I24	1389,00	1388,92	1+900,00	1+908,22	1,00	0,08	8,20	55	0,52	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I25	1387,15	1387,06	2+020,00	2+028,22	1,00	0,08	8,20	45	0,28	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I26	1386,24	1386,16	3+105,00	3+113,22	1,00	0,08	8,20	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I27	1383,21	1383,13	2+200,00	2+208,22	1,00	0,08	8,20	30	0,06	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I28	1383,57	1383,49	2+242,00	2+250,22	1,00	0,08	8,20	40	0,20	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I29	1384,81	1384,73	2+360,00	2+368,22	1,00	0,08	8,20	30	0,01	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I30	1383,13	1383,05	2+587,00	2+595,22	1,00	0,08	8,20	45	0,27	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I31	1381,97	1381,89	2+660,00	2+668,22	1,00	0,08	8,20	45	0,27	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I32	1381,04	1380,96	2+756,00	2+764,22	1,00	0,08	8,20	55	0,55	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I33	1380,86	1380,80	2+828,00	2+836,22	0,75	0,06	8,27	40	0,23	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I34	1380,02	1379,95	2+860,00	2+868,22	0,75	0,06	8,27	30	0,09	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I35	1379,31	1379,24	2+913,00	2+921,22	0,75	0,06	8,27	35	0,18	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I36	1378,74	1378,68	3+000,00	3+008,22	0,75	0,06	8,27	40	0,24	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I37	1378,23	1378,17	3+048,00	3+056,22	0,75	0,06	8,27	30	0,04	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I38	1377,06	1377,00	3+120,00	3+128,22	0,75	0,06	8,27	30	0,04	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I39	1377,06	1377,00	3+240,00	3+248,22	0,75	0,06	8,27	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46

Tabla 3.3.4. Información para las tuberías que unen los tragantes con las tuberías de los pozos de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Tubería	NT (m)	NF (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)	Caudal tubería (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
1	1428,20	1428,02	0+108,00	0+108,11	1,60	0,18	11,39	80	1,41	1,61	5	3,79	0,68	1,50	3,89
2	1428,05	1426,11	0+120,00	0+121,22	1,60	1,94	121,55	90	2,01	2,20	5	4,10	0,77	1,53	4,38
3	1425,50	1424,01	0+268,00	0+268,93	1,60	1,49	92,97	90	2,18	2,20	5	4,10	0,77	1,53	4,38
4	1422,95	1421,28	0+277,00	0+278,04	1,60	1,67	104,31	65	0,90	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
5	1420,45	1418,51	0+480,00	0+481,22	1,60	1,94	121,55	75	1,32	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
6	1417,85	1415,91	0+600,00	0+601,22	1,60	1,94	121,55	85	1,69	1,89	5	3,95	0,72	1,52	4,13
7	1413,55	1412,92	0+801,00	0+801,40	1,60	0,63	39,60	50	0,43	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43

8	1412,95	1411,01	0+840,00	0+841,22	1,60	1,94	121,55	70	0,95	1,13	5	3,47	0,60	1,47	3,40
9	1409,50	1407,62	0+960,00	0+961,18	1,60	1,88	117,53	90	1,98	2,20	5	4,10	0,77	1,53	4,38
10	1405,55	1403,89	1+100,00	1+101,04	1,60	1,66	103,81	40	0,25	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
11	1401,75	1399,81	1+200,00	1+201,22	1,60	1,94	121,55	50	0,43	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
12	1399,10	1397,16	1+320,00	1+321,22	1,60	1,94	121,55	60	0,72	0,75	5	3,13	0,51	1,43	2,92
13	1396,60	1394,66	1+440,00	1+441,22	1,60	1,94	121,55	75	1,15	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
14	1393,85	1392,34	1+587,00	1+587,94	1,60	1,51	94,40	40	0,16	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
15	1392,40	1390,46	1+680,00	1+681,22	1,60	1,94	121,55	75	1,33	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
16	1389,40	1389,21	1+908,00	1+908,12	1,60	0,19	11,93	55	0,54	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
17	1389,20	1387,26	1+920,00	1+921,22	1,60	1,94	121,55	65	0,85	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
18	1386,60	1384,49	2+040,00	2+041,32	1,60	2,11	131,68	65	0,92	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
19	1383,25	1382,15	2+170,00	2+171,10	-1,00	1,10	110,14	85	1,41	1,49	5	3,12	0,72	1,20	2,58
20	1384,30	1383,10	2+280,00	2+281,21	-1,00	1,21	120,50	80	1,13	1,27	5	3,00	0,68	1,19	2,43
21	1385,50	1384,45	2+400,00	2+401,05	-1,00	1,05	105,20	75	0,96	1,07	5	2,87	0,64	1,18	2,28
22	1386,55	1386,14	2+505,00	2+505,55	0,75	0,41	55,00	85	1,30	1,49	5	3,12	0,72	1,20	2,58
23	1384,50	1383,60	2+560,00	2+561,20	0,75	0,90	120,15	95	1,87	2,01	5	3,36	0,81	1,22	2,89
24	1383,30	1382,40	2+680,00	2+681,20	0,75	0,90	120,15	105	2,44	2,62	5	3,59	0,89	1,24	3,19
25	1381,35	1380,73	2+840,00	2+840,83	0,75	0,62	83,18	55	0,35	0,41	5	2,02	0,47	0,97	1,25
26	1380,30	1379,40	2+920,00	2+921,20	0,75	0,90	120,15	75	0,80	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71
27	1378,80	1377,90	3+040,00	3+041,20	0,75	0,90	120,15	75	0,91	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71
28	1377,95	1377,05	3+160,00	3+161,20	0,75	0,90	120,15	80	0,99	1,10	5	2,59	0,68	1,03	1,82
29	1377,05	1376,45	3+280,00	3+280,80	0,75	0,60	79,75	80	0,99	1,10	5	2,59	0,68	1,03	1,82

Tabla 3.3.5. Información para las tuberías que unen los diferentes pozos de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Tubería	Perfil	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)	Caudal tubería (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m <sup>2</sup> )
---------	--------	---------	---------	----------------------	--------------------	---------------	--------------------------	--------------	---------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------	-------------------------	-------------	---------------	--------------------------------------

<b>D 1</b>	<b>Desfogue 1</b>	1425,11	1418,95	0+000,00	0+378,27	1,63	6,16	378,32	100	2,01	2,05	5	4,17	0,85	1,88	4,51
<b>D 2</b>	<b>Desfogue 2</b>	1422,85	1420,69	0+000,00	0+290,90	0,74	2,16	290,91	120	2,18	2,25	5	3,19	1,02	1,31	2,47
<b>D 3</b>	<b>Desfogue 3</b>	1415,10	1409,83	0+000,00	0+264,11	2,00	5,27	264,22	90	1,69	1,71	5	4,31	0,77	2,05	4,98
<b>D 4</b>	<b>Desfogue 4</b>	1406,05	1400,45	0+000,00	0+328,81	1,70	5,60	328,86	100	1,98	2,09	5	4,27	0,85	1,93	4,72
<b>D 5</b>	<b>Desfogue 5</b>	1393,06	1389,19	0+000,00	0+351,77	1,10	3,87	351,81	90	1,15	1,27	5	3,20	0,77	1,52	2,74
<b>D 6</b>	<b>Desfogue 6</b>	1389,54	1385,29	0+000,00	0+297,52	1,43	4,25	297,55	90	1,33	1,45	5	3,64	0,77	1,73	3,56
<b>D 7</b>	<b>Desfogue 7</b>	1382,41	1380,18	0+000,00	0+419,17	0,53	2,24	419,18	130	2,33	2,36	5	2,84	1,11	1,13	1,92

**Tabla 3.3.6.** Información para las tuberías que unen los puntos de desfogue con los cabezales de salida. Tomado de Microsoft Excel.

Caño circular		
Sección	0,2	Y/D
Diámetro	50	cm
$\Theta$	2,061	rad
A	0,037	m <sup>2</sup>
S	0,021	
R	0,071	
n	0,013	
Q	0,071	m <sup>3</sup> /s
Qu	0,011	Cumple

**Tabla 3.3.7.** Diseño y sus respectivos parámetros para la sección de caño circular. Tomado de Microsoft Excel.

Caudales en (m <sup>3</sup> /s)							
Tragantes inicio	Pozo aforo	Lado	Q <sub>tragante</sub>	Q <sub>cordon y caño</sub>	Q <sub>total</sub>	Q <sub>acumulado pozo</sub>	
1	1	Derecho	1,388	0,0088	1,413	1,413	
		Izquierdo	0,008	0,0088			
2	2	Derecho	0,579	0,0075	0,602	2,015	Caudal desfogue 1
		Izquierdo	0,007	0,0075			
3	3	Derecho	1,690	0,0066	1,710	1,710	
		Izquierdo	0,006	0,0066			
4	3	Derecho	0,462	0,0031	0,471	2,181	Caudal desfogue 2
		Izquierdo	0,003	0,0031			
5	4	Derecho	0,472	0,0065	0,489	0,489	
		Izquierdo	0,004	0,0065			
6	4	Derecho	0,393	0,0080	0,414	0,903	
		Izquierdo	0,005	0,0080			
7	5	Derecho	0,365	0,0084	0,388	1,291	
		Izquierdo	0,006	0,0084			
8	5	Derecho	0,030	0,0018	0,034	1,325	
		Izquierdo	0,000	0,0018			
9	6	Derecho	0,346	0,0079	0,367	1,691	Caudal desfogue 3
		Izquierdo	0,005	0,0079			
10	7	Derecho	0,404	0,0115	0,433	0,433	
		Izquierdo	0,006	0,0115			
11	8	Derecho	0,498	0,0075	0,519	0,952	
		Izquierdo	0,006	0,0075			
12	9	Derecho	0,491	0,0067	0,510	1,462	
		Izquierdo	0,005	0,0067			
13	9	Derecho	0,495	0,0091	0,520	1,982	Caudal desfogue 4
		Izquierdo	0,007	0,0091			

14	10	Derecho	0,079	0,0026	0,086	0,086	
		Izquierdo	0,002	0,0026			
15	10	Derecho	0,149	0,0066	0,167	0,253	
		Izquierdo	0,005	0,0066			
16	11	Derecho	0,155	0,0084	0,177	0,430	
		Izquierdo	0,006	0,0084			
17	12	Derecho	0,159	0,0085	0,184	0,613	
		Izquierdo	0,007	0,0085			
18	12	Derecho	0,093	0,0052	0,108	0,721	
		Izquierdo	0,005	0,0052			
19	13	Derecho	0,398	0,0091	0,424	<b>1,146</b>	<b>Caudal desfogue 5</b>
		Izquierdo	0,008	0,0091			
20	14	Derecho	0,146	0,0057	0,163	0,163	
		Izquierdo	0,005	0,0057			
21	15	Derecho	0,210	0,0112	0,240	0,403	
		Izquierdo	0,008	0,0112			
22	15	Derecho	0,058	0,0028	0,066	0,469	
		Izquierdo	0,002	0,0028			
23	15	Derecho	0,856	0,0032	0,864	<b>1,333</b>	<b>Caudal desfogue 6</b>
		Izquierdo	0,002	0,0032			
24	16	Derecho	0,515	0,0106	0,544	0,544	
		Izquierdo	0,008	0,0106			
25	17	Derecho	0,276	0,0106	0,303	0,848	
		Izquierdo	0,006	0,0106			
26	18	Derecho	0,049	0,0074	0,069	0,917	
		Izquierdo	0,005	0,0074			
27	18	Derecho	0,058	0,0026	0,065	<b>2,328</b>	<b>Caudal desfogue 7</b>
		Izquierdo	0,002	0,0026			
28	18	Derecho	0,203	0,0037	0,213	1,346	
		Izquierdo	0,003	0,0037			
29	19	Derecho	0,145	0,0104	0,171	1,133	
		Izquierdo	0,005	0,0104			
30	20	Derecho	0,071	0,0106	0,097	0,962	
		Izquierdo	0,005	0,0106			
-	21		2,162		2,162	2,162	
-	22		0,000	0,0000	0,000	1,297	
31	23	Derecho	0,267	0,0089	0,290	1,587	
		Izquierdo	0,005	0,0089			
32	23	Derecho	0,267	0,0062	0,283	1,869	
		Izquierdo	0,004	0,0062			
33	24	Derecho	0,547	0,0089	0,573	<b>2,442</b>	<b>Caudal</b>

		Izquierdo	0,008	0,0089			<b>desfogue 8</b>
34	25	Derecho	0,233	0,0059	0,249	0,249	
		Izquierdo	0,004	0,0059			
35	25	Derecho	0,090	0,0029	0,097	0,345	
		Izquierdo	0,001	0,0029			
36	26	Derecho	0,177	0,0044	0,189	0,535	
		Izquierdo	0,003	0,0044			
37	26	Derecho	0,240	0,0077	0,262	0,796	
		Izquierdo	0,006	0,0077			
38	27	Derecho	0,043	0,0042	0,053	0,850	
		Izquierdo	0,002	0,0042			
39	27	Derecho	0,043	0,0064	0,059	0,909	
		Izquierdo	0,004	0,0064			
40	28	Derecho	0,052	0,0106	0,080	0,989	
		Izquierdo	0,007	0,0106			
	Río					<b>0,989</b>	<b>Caudal desfogue 9</b>

**Tabla 3.3.8.** Cuadro resumen de caudales recolectados por cada pozo de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Desfogue	Lvegetación (m)	Ltotal (m)	Lvegetación (%)
1	106,9	378,3	28,25
2	237,0	290,9	81,48
3	67,1	264,2	25,40
4	326,3	328,9	99,22
5	43,5	351,8	12,37
6	187,3	297,6	62,95
7	144,4	419,2	34,46
<b>Total</b>	<b>1112,6</b>	<b>2330,8</b>	<b>47,73</b>

**Tabla 3.3.9.** Porcentaje de longitud de ruta de desfogue que pasa por zona con vegetación. Tomado de Microsoft Excel.

### Propuesta de ruta de desfogue pluvial 4. Periodo de 25 años.

N° Intersección	Tragantes	Estación (m)	NS (m)	NI (m)	Profundidad (m)	Diámetro entrada (cm)	Latitud Norte °	Longitud Oeste °
11	2	0+100,00				80		
	a	-	1429,40	1427,59	1,82		09°51'45,7"	83°55'39,8"
	b	-	1429,40	1427,59	1,82		09°51'46,1"	83°55'39,8"
12	3	0+185,00				30		
	a	-	1428,60	1426,66	1,94		09°51'45,6"	83°55'42,6"
	b	-	1428,60	1426,96	1,64		09°51'46,1"	83°55'42,2"
	c	-	1428,60	1426,96	1,64		09°51'46,1"	83°55'42,7"

<b>I3</b>	4	0+260,00				90		
	a	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,4"	83°55'44,4"
	b	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,4"	83°55'44,4"
	c	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,8"	83°55'45,1"
	d	-	1427,55	1424,84	2,71		09°51'45,9"	83°55'45,4"
<b>I4</b>	4	0+295,00				55		
	a	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'44,3"	83°55'45,7"
	b	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'44,3"	83°55'46,4"
	c	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'45,7"	83°55'45,9"
	d	-	1426,70	1424,52	2,18		09°51'45,5"	83°55'46,0"
<b>I5</b>	3	0+368,00				55		
	a	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'42,9"	83°55'47,3"
	b	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'42,6"	83°55'47,6"
	c	-	1425,10	1422,71	2,39		09°51'43,0"	83°55'47,9"
<b>I6</b>	3	0+460,00				50		
	a	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,6"	83°55'49,1"
	b	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,2"	83°55'49,3"
	c	-	1423,00	1421,09	1,91		09°51'40,6"	83°55'49,6"
<b>I7</b>	4	0+555,00				50		
	a	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,0"	83°55'50,5"
	b	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'37,5"	83°55'50,4"
	c	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,2"	83°55'50,9"
	d	-	1420,40	1418,80	1,60		09°51'38,1"	83°55'51,4"
<b>I8</b>	4	0+575,00				30		
	a	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,9"	83°55'50,7"
	b	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,8"	83°55'51,2"
	c	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,8"	83°55'51,2"
	d	-	1420,00	1419,19	0,82		09°51'36,9"	83°55'51,6"
<b>I9</b>	3	0+665,00				50		
	a	-	1418,40	1416,37	2,03		00°59'09,9"	83°53'18,8"
	b	-	1418,40	1416,37	2,03		09°51'34,3"	83°55'52,4"
	c	-	1418,40	1416,37	2,03		09°51'34,7"	83°55'52,8"
<b>I10</b>	3	0+796,00				50		
	a	-	1415,5	1413,1	2,35		09°51'30,9"	83°55'54,4"
	b	-	1415,5	1413,1	2,35		09°51'30,5"	83°55'54,7"
	c	-	1415,5	1413,1	2,35		09°51'31,0"	83°55'54,9"
<b>I11</b>	3	0+880,00				55		
	a	-	1413,75	1411,8	1,94		09°51'28,5"	83°55'56,0"
	b	-	1413,75	1411,8	1,94		09°51'28,1"	83°55'56,2"
	c	-	1413,75	1411,8	1,94		09°51'28,7"	83°55'56,4"
<b>I12</b>	3	0+956,00				30		
	a	-	1412,2	1409,3	2,92		09°51'26,5"	83°55'57,5"
	b	-	1412,2	1409,3	2,92		09°51'26,9"	83°55'57,7"

	c	-	1412,2	1409,3	2,92		09°51'26,6"	83°55'58,0"
<b>I13</b>	2	1+060,00				55		
	a	-	1409,35	1407,4	1,96		09°51'23,6"	83°55'59,2"
	b	-	1409,35	1407,4	1,96		09°51'23,8"	83°55'59,6"
<b>I14</b>	3	1+089,00				30		
	a	-	1408,45	1406,1	2,37		09°51'22,7"	83°55'59,6"
	b	-	1408,45	1406,1	2,37		09°51'23,1"	83°55'60,0"
	c	-	1408,45	1406,1	2,37		09°51'22,7"	83°56'00,1"
<b>I15</b>	3	1+164,00				35		
	a	-	1406,25	1404,9	1,40		09°51'20,5"	83°56'00,5"
	b	-	1406,25	1404,9	1,40		09°51'20,8"	83°56'00,8"
	c	-	1406,25	1404,9	1,40		09°51'20,4"	83°56'01,0"
<b>I16</b>	2	1+260,00				35		
	a	-	1403,1	1401,2	1,92		09°51'17,6"	83°56'01,7"
	b	-	1403,1	1401,2	1,92		09°51'17,7"	83°56'02,1"
<b>I17</b>	4	1+356,00				35		
	a	-	1400,05	1398,9	1,19		09°51'14,8"	83°56'02,7"
	b	-	1400,05	1398,9	1,19		09°51'14,4"	83°56'02,9"
	c	-	1400,05	1398,9	1,19		09°51'14,9"	83°56'03,4"
	d	-	1400,05	1398,9	1,19		09°51'14,5"	83°56'03,5"
<b>I18</b>	3	1+416,00				30		
	a	-	1399,95	1399	0,98		09°51'13,0"	83°56'03,4"
	b	-	1399,95	1399	0,98		09°51'12,6"	83°56'03,6"
	c	-	1399,95	1399	0,98		09°51'13,0"	83°56'04,0"
<b>I19</b>	3	1+522,00				50		
	a	-	1396,8	1395,5	1,33		09°51'09,6"	83°56'04,2"
	b	-	1396,8	1395,5	1,33		09°51'10,0"	83°56'04,6"
	c	-	1396,8	1395,5	1,33		09°51'09,6"	83°56'04,7"
<b>I20</b>	4	1+582,00				35		
	a	-	1395,5	1393,6	1,88		09°51'07,7"	83°56'04,0"
	b	-	1395,5	1393,6	1,88		09°51'07,3"	83°56'04,0"
	c	-	1395,5	1393,6	1,88		09°51'08,0"	83°56'04,6"
	d	-	1395,5	1393,6	1,88		09°51'07,4"	83°56'04,6"
<b>I21</b>	4	1+706,00				40		
	a	-	1393,35	1391,6	1,79		09°51'03,6"	83°56'04,0"
	b	-	1393,35	1391,6	1,79		09°51'03,2"	83°56'04,1"
	c	-	1393,35	1391,6	1,79		09°51'03,7"	83°56'04,7"
	d	-	1393,35	1391,6	1,79		09°51'03,4"	83°56'04,8"
<b>I22</b>	3	1+744,00				30		
	a	-	1393,15	1391,1	2,07		09°51'02,3"	83°56'04,3"
	b	-	1393,15	1391,1	2,07		09°51'01,2"	83°56'04,5"
	c	-	1393,15	1391,1	2,07		09°51'02,7"	83°56'04,8"
	d	-	1393,15	1391,1	2,07		09°51'02,2"	83°56'04,9"

	e	-	1393,15	1391,1	2,07		09°51'01,2"	83°56'04,9"
<b>I23</b>	2	1+780,00				65		
	a	-	1392,85	1390,1	2,76		09°50'57,4"	83°56'05,6"
	b	-	1392,85	1390,1	2,76		09°50'57,7"	83°56'05,9"
<b>I24</b>	2	1+900,00				55		
	a	-	1391,55	1389	2,55		09°50'54,1"	83°56'07,7"
	b	-	1391,55	1389	2,55		09°50'54,4"	83°56'08,0"
<b>I25</b>	2	2+020,00				45		
	a	-	1389	1387,1	1,85		09°50'52,0"	83°56'08,8"
	b	-	1389	1387,1	1,85		09°50'51,7"	83°56'09,1"
	c	-	1389	1387,1	1,85		09°50'52,0"	83°56'09,4"
<b>I26</b>	2	2+105,00				30		
	a	-	1387,9	1386,2	1,66		09°50'50,6"	83°56'11,8"
	b	-	1387,9	1386,2	1,66		09°50'50,9"	83°56'11,6"
<b>I27</b>	2	2+200,00				30		
	a	-	1385,95	1383,2	2,74		09°50'51,2"	83°56'12,8"
	b	-	1385,95	1383,2	2,74		09°50'51,5"	83°56'13,1"
	c	-	1385,95	1383,2	2,74		09°50'51,7"	83°56'12,7"
<b>I28</b>	3	2+242,00				40		
	a	-	1386,55	1383,6	2,98		09°50'52,9"	83°56'16,3"
	b	-	1386,55	1383,6	2,98		09°50'53,8"	83°56'20,2"
<b>I29</b>	2	2+480,00				30		
	a	-	1387,05	1384,8	2,24		09°50'53,8"	83°56'20,2"
	b	-	1387,05	1384,8	2,24		09°50'54,2"	83°56'20,1"
<b>I30</b>	4	2+660,00				45		
	a	-	1386,1	1383,9	2,24		09°50'51,6"	83°56'20,7"
	b	-	1386,1	1383,9	2,24		09°50'51,2"	83°56'20,7"
	c	-	1386,1	1383,9	2,24		09°50'51,7"	83°56'21,4"
	d	-	1386,1	1383,9	2,24		09°50'51,3"	83°56'21,4"
<b>I31</b>	3	2+756,00				45		
	a	-	1384,9	1383,1	1,77		09°50'49,3"	83°56'20,9"
	b	-	1384,9	1383,1	1,77		09°50'48,9"	83°56'20,9"
	c	-	1384,9	1383,1	1,77		09°50'49,1"	83°56'21,3"
<b>I32</b>	4	2+828,00				55		
	a	-	1383,45	1382	1,48		09°50'45,7"	83°56'21,5"
	b	-	1383,45	1382	1,48		09°50'45,3"	83°56'21,6"
	c	-	1383,45	1382	1,48		09°50'46,4"	83°56'21,9"
	d		1383,45	1382	1,48		09°50'45,9"	83°56'22,0"
<b>I33</b>	3	2+860,00				40		
	a	-	1382,7	1381	1,66		09°50'44,4"	83°56'22,0"
	b	-	1382,7	1381	1,66		09°50'44,8"	83°56'22,5"
	c	-	1382,7	1381	1,66		09°50'44,4"	83°56'22,6"
<b>I34</b>	4	2+913,00				30		

	a	-	1382,35	1380,9	1,49		09°50'42,9"	83°56'22,4"
	b	-	1382,35	1380,9	1,49		09°50'42,5"	83°56'22,5"
	c	-	1382,35	1380,9	1,49		09°50'43,2"	83°56'23,0"
	d	-	1382,35	1380,9	1,49		09°50'42,7"	83°56'23,1"
<b>I35</b>	3	3+000,00				40		
	a	-	1381,8	1380	1,78		09°50'41,2"	83°56'23,1"
	b	-	1381,8	1380	1,78		09°50'41,6"	83°56'23,5"
	c	-	1381,8	1380	1,78		09°50'41,1"	83°56'23,6"
<b>I36</b>	2	3+048,00				40		
	a	-	1381	1379,3	1,69		09°50'38,5"	83°56'24,0"
	b	-	1381	1379,3	1,69		09°50'38,6"	83°56'24,4"
<b>I37</b>	3	3+120,00				30		
	a	-	1380,8	1378,7	2,06		09°50'37,2"	83°56'24,4"
	b	-	1380,8	1378,7	2,06		09°50'36,8"	83°56'24,5"
	c	-	1380,8	1378,7	2,06		09°50'37,2"	83°56'24,9"
<b>I38</b>	2	3+240,00				30		
	a	-	1380,3	1378,2	2,07		09°50'34,8"	83°56'25,5"
	b	-	1380,3	1378,2	2,07		09°50'35,0"	83°56'25,8"
<b>I39</b>	2	3+240,00				30		
	a	-	1379,05	1377,1	1,99		09°50'31,3"	83°56'27,1"
	b	-	1379,05	1377,1	1,99		09°50'31,4"	83°56'27,5"

Tabla 3.4.1. Información de los tragantes propuestos. Tomado de Microsoft Excel.

N° Pozo	Estación (m)	N.S (m)	N.I (m)	Profundidad (m)	Diámetro entrada (cm)		Diámetro salida (cm)	Latitud Norte°	Longitud Oeste°
1	0+120,00	1429,20	1427,10	2,10	80		90	09°51'45,8"	83°55'40,4"
2	0+240,00	1427,90	1424,40	3,50	90		120	09°51'45,2"	83°55'44,2"
3	0+360,00	1425,25	1422,65	2,60	120		140	09°51'43,0"	83°55'47,5"
4	0+480,00	1422,50	1419,83	2,67	65		75	09°51'39,9"	83°55'49,7"
5	0+600,00	1419,85	1417,08	2,77	75		85	09°51'36,4"	83°55'51,5"
6	0+720,00	1417,20	1414,06	3,14	85		90	09°51'33,0"	83°55'53,4"
7	0+840,00	1414,60	1411,59	3,02	90		100	09°51'29,7"	83°55'55,5"
8	0+960,00	1412,10	1407,63	4,47	100		120	09°51'26,5"	83°55'57,7"
9	1+080,00	1408,25	1405,85	2,40	120		120	09°51'23,1"	83°55'59,6"
10	1+200,00	1405,15	1401,54	3,61	45		50	09°51'19,4"	83°56'01,1"
11	1+320,00	1401,00	1398,79	2,21	50		60	09°51'15,8"	83°56'02,5"
12	1+440,00	1398,50	1396,14	2,36	60		75	09°51'12,2"	83°56'04,0"
13	1+560,00	1395,00	1393,21	1,79	75		75	09°51'08,4"	83°56'04,3"
14	1+680,00	1393,60	1391,04	2,56	75		95	09°51'04,5"	83°56'04,2"
15	1+800,00	1392,65	1389,44	3,21	95		100	09°51'00,6"	83°56'04,7"
16	1+920,00	1391,20	1388,10	3,10	55		65	09°50'57,0"	83°56'06,1"
17	2+040,00	1388,60	1385,93	2,67	65		70	09°50'53,7"	83°56'08,1"
18	2+170,00	1385,75	1382,11	3,64	70	85	115	09°50'50,4"	83°56'10,8"
19	2+280,00	1387,00	1383,50	3,50	80		85	09°50'52,2"	83°56'13,9"

20	2+400,00	1386,75	1384,75	2,00	75	80	09°50'53,4"	83°56'17,6"
21	2+505,00	1387,80	1385,30	2,50	75	75   85	09°50'54,1"	83°56'20,9"
22	2+560,00	1386,70	1383,62	3,08	85	95	09°50'52,4"	83°56'21,0"
23	2+680,00	1384,50	1382,25	2,25	95	105	09°50'48,5"	83°56'21,1"
24	2+800,00	1383,00	1381,22	1,78		105	09°50'44,7"	83°56'22,1"
25	2+920,00	1381,75	1379,59	2,16	55	75	09°50'41,0"	83°56'23,3"
26	3+040,00	1380,80	1378,28	2,52	75	75	09°50'37,3"	83°56'24,6"
27	3+160,00	1379,90	1377,16	2,74	75	75	09°50'33,7"	83°56'26,1"
28	3+280,00	1378,25	1375,84	2,41	80	80	09°50'30,1"	83°56'27,5"

**Tabla 3.4.2.** Información de los pozos de registro propuestos. Tomado de Microsoft Excel.

Punto N°	Estación Inicial (m)	Estación Final (m)	Latitud Norte°	Longitud Oeste°
<b>D 1</b>	0+360,00	-	09°51'43,1"	83°55'47,5"
<b>D 2</b>	1+080,00	-	09°51'23,1"	83°55'59,7"
<b>D 3</b>	1+800,00	-	09°50'57,1"	83°56'06,1"
<b>D 4</b>	2+170,00	-	09°50'50,4"	83°56'11,0"
<b>D 5</b>	2+800,00	-	09°50'44,5"	83°56'22,2"
<b>D 6</b>	3+359,62	-	09°50'28,7"	83°56'22,0"
<b>Cabzal salida 1</b>	-	0+290,90	09°51'41,3"	83°55'56,9"
<b>Cabzal salida 2</b>	-	0+160,00	09°51'14,0"	83°55'54,0"
<b>Cabzal salida 3</b>	-	0+297,52	09°50'50,9"	83°55'59,2"
<b>Cabzal salida 4</b>	-	0+419,17	09°50'36,9"	83°56'12,1"
<b>Cabzal salida 5</b>	-	2+800,00	09°50'44,5"	83°56'22,2"
<b>Cabzal salida 6</b>	-	3+359,62	09°50'28,7"	83°56'22,1"

**Tabla 3.4.3.** Información para los puntos de desfogue y sus respectivos cabezales de salida a los cuerpos de agua. Tomado de Microsoft Excel.

Intersección tragantes	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud tubería (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m³/s)	Caudal tubería (m³/s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m²)
I1	1427,59	1427,45	0+100,00	0+108,22	1,10	0,13	12,09	80	1,40	1,61	5	3,79	0,68	1,50	3,89
I2	1426,66	1426,53	0+185,00	0+193,22	1,10	0,13	12,09	30	0,59	4,24	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I3	1424,84	1424,71	0+260,00	0+268,22	1,10	0,13	12,09	90	1,71	1,98	5	3,70	0,77	1,38	3,55
I4	1424,52	1424,39	0+295,00	0+303,22	1,10	0,13	12,09	55	0,47	0,53	5	2,66	0,47	1,27	2,17
I5	1422,71	1422,58	0+368,00	0+376,22	1,10	0,13	12,09	55	0,47	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I6	1421,09	1420,96	0+460,00	0+468,22	1,10	0,13	12,09	50	0,40	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I7	1418,80	1418,67	0+555,00	0+563,22	1,10	0,13	12,09	50	0,37	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I8	1419,19	1419,05	0+575,00	0+583,22	1,10	0,13	12,09	30	0,03	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I9	1416,37	1416,24	0+665,00	0+673,22	1,10	0,13	12,09	50	0,35	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I10	1413,15	1413,02	0+796,00	0+804,22	1,10	0,13	12,09	50	0,41	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I11	1411,81	1411,68	0+880,00	0+888,22	1,10	0,13	12,09	55	0,50	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I12	1409,28	1409,14	0+956,00	0+964,22	1,10	0,13	12,09	30	0,01	0,11	5	1,87	0,26	1,21	1,31
I13	1407,39	1407,26	1+060,00	1+068,22	1,10	0,13	12,09	55	0,50	0,55	5	2,76	0,47	1,32	2,34
I14	1406,08	1405,95	1+089,00	1+097,22	1,10	0,13	12,09	30	0,08	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I15	1404,85	1404,72	1+164,00	1+172,22	1,10	0,13	12,09	35	0,15	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I16	1401,18	1401,05	1+260,00	1+268,22	1,10	0,13	12,09	35	0,16	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I17	1398,86	1398,73	1+356,00	1+364,22	1,10	0,13	12,09	35	0,16	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I18	1398,97	1398,84	1+416,00	1+424,22	1,10	0,13	12,09	30	0,09	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I19	1395,47	1395,39	1+522,00	1+530,22	-1,00	0,08	8,20	50	0,40	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
I20	1393,62	1393,54	1+582,00	1+590,22	-1,00	0,08	8,20	35	0,15	0,18	5	2,18	0,30	1,31	1,70
I21	1391,56	1391,48	1+706,00	1+714,22	-1,00	0,08	8,20	40	0,21	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I22	1391,08	1391,00	1+744,00	1+752,22	1,00	0,08	8,20	30	0,06	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I23	1390,09	1390,01	1+780,00	1+788,22	1,00	0,08	8,20	65	0,86	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16

I24	1389,00	1388,92	1+900,00	1+908,22	1,00	0,08	8,20	55	0,52	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I25	1387,15	1387,06	2+020,00	2+028,22	1,00	0,08	8,20	45	0,28	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I26	1386,24	1386,16	3+105,00	3+113,22	1,00	0,08	8,20	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I27	1383,21	1383,13	2+200,00	2+208,22	1,00	0,08	8,20	30	0,06	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I28	1383,57	1383,49	2+242,00	2+250,22	1,00	0,08	8,20	40	0,21	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I29	1384,81	1384,73	2+360,00	2+368,22	1,00	0,08	8,20	30	0,01	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I30	1383,13	1383,05	2+587,00	2+595,22	1,00	0,08	8,20	45	0,27	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I31	1381,97	1381,89	2+660,00	2+668,22	1,00	0,08	8,20	45	0,27	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
I32	1381,04	1380,96	2+756,00	2+764,22	1,00	0,08	8,20	55	0,55	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
I33	1380,86	1380,80	2+828,00	2+836,22	0,75	0,06	8,27	40	0,23	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I34	1380,02	1379,95	2+860,00	2+868,22	0,75	0,06	8,27	30	0,09	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I35	1379,31	1379,24	2+913,00	2+921,22	0,75	0,06	8,27	40	0,18	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I36	1378,74	1378,68	3+000,00	3+008,22	0,75	0,06	8,27	40	0,24	0,25	5	2,39	0,34	1,34	1,94
I37	1378,23	1378,17	3+048,00	3+056,22	0,75	0,06	8,27	30	0,04	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I38	1377,06	1377,00	3+120,00	3+128,22	0,75	0,06	8,27	30	0,04	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46
I39	1377,06	1377,00	3+240,00	3+248,22	0,75	0,06	8,27	30	0,05	0,12	5	1,97	0,26	1,28	1,46

Tabla 3.4.4. Información para las tuberías que unen los tragantes con las tuberías de los pozos de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Tubería	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m³/s)	Caudal tubería (m³/s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m²)
1	1428,20	1428,02	0+108,00	0+108,11	1,60	0,18	11,39	80	1,43	1,61	5	3,79	0,68	1,50	3,89
2	1428,05	1426,11	0+120,00	0+121,22	1,60	1,94	121,55	90	2,03	2,20	5	4,10	0,77	1,53	4,38
3	1425,55	1424,06	0+268,00	0+268,93	1,60	1,49	92,97	120	4,24	4,27	5	4,48	1,02	1,45	4,74
4	1422,95	1421,28	0+277,00	0+278,04	1,60	1,67	104,31	65	0,91	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
5	1420,45	1418,51	0+480,00	0+481,22	1,60	1,94	121,55	75	1,34	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
6	1417,85	1415,91	0+600,00	0+601,22	1,60	1,94	121,55	85	1,71	1,89	5	3,95	0,72	1,52	4,13
7	1414,90	1414,27	0+801,00	0+801,40	1,60	0,63	39,60	90	2,14	2,20	5	4,10	0,77	1,53	4,38

8	1412,95	1411,01	0+840,00	0+841,22	1,60	1,94	121,55	100	2,67	2,91	5	4,40	0,85	1,56	4,86
9	1409,25	1407,37	0+960,00	0+961,18	1,60	1,88	117,53	120	3,71	4,03	5	4,60	0,90	1,62	5,03
10	1405,55	1403,89	1+100,00	1+101,04	1,60	1,66	103,81	45	0,26	0,35	5	2,58	0,38	1,37	2,19
11	1401,75	1399,81	1+200,00	1+201,22	1,60	1,94	121,55	50	0,43	0,46	5	2,77	0,43	1,39	2,43
12	1399,10	1397,16	1+320,00	1+321,22	1,60	1,94	121,55	60	0,73	0,75	5	3,13	0,51	1,43	2,92
13	1396,60	1394,66	1+440,00	1+441,22	1,60	1,94	121,55	75	1,16	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
14	1394,30	1392,79	1+587,00	1+587,94	1,60	1,51	94,40	75	1,32	1,35	5	3,63	0,64	1,49	3,65
15	1392,40	1390,46	1+680,00	1+681,22	1,60	1,94	121,55	95	2,50	2,54	5	4,25	0,81	1,55	4,62
16	1389,40	1389,21	1+908,00	1+908,12	1,60	0,19	11,93	55	0,55	0,59	5	2,95	0,47	1,41	2,67
17	1389,20	1387,26	1+920,00	1+921,22	1,60	1,94	121,55	65	0,86	0,92	5	3,30	0,55	1,45	3,16
18	1386,60	1384,49	2+040,00	2+041,32	1,60	2,11	131,68	70	0,93	1,13	5	3,47	0,60	1,47	3,40
19	1383,25	1382,15	2+170,00	2+171,10	-1,00	1,10	110,14	85	1,42	1,49	5	3,12	0,72	1,20	2,58
20	1384,30	1383,10	2+280,00	2+281,21	-1,00	1,21	120,50	80	1,14	1,27	5	3,00	0,68	1,19	2,43
21	1385,50	1384,45	2+400,00	2+401,05	-1,00	1,05	105,20	75	0,97	1,07	5	2,87	0,64	1,18	2,28
22	1386,55	1386,14	2+505,00	2+505,55	0,75	0,41	55,00	85	1,31	1,49	5	3,12	0,72	1,20	2,58
23	1384,50	1383,60	2+560,00	2+561,20	0,75	0,90	120,15	95	1,89	2,01	5	3,36	0,81	1,22	2,89
24	1383,30	1382,40	2+680,00	2+681,20	0,75	0,90	120,15	105	2,47	2,62	5	3,59	0,89	1,24	3,19
25	1381,35	1380,73	2+840,00	2+840,83	0,75	0,62	83,18	55	0,35	0,41	5	2,02	0,47	0,97	1,25
26	1380,30	1379,40	2+920,00	2+921,20	0,75	0,90	120,15	75	0,80	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71
27	1378,80	1377,90	3+040,00	3+041,20	0,75	0,90	120,15	75	0,92	0,93	5	2,49	0,64	1,02	1,71
28	1377,95	1377,05	3+160,00	3+161,20	0,75	0,90	120,15	80	1,00	1,10	5	2,59	0,68	1,03	1,82
29	1377,05	1376,45	3+280,00	3+280,80	0,75	0,60	79,75	80	1,00	1,10	5	2,59	0,68	1,03	1,82

Tabla 3.4.5. Información para las tuberías que unen los diferentes pozos de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Tubería	N.S (m)	N.I (m)	Estación inicial (m)	Estación final (m)	Pendiente (%)	Diferencia elevación (m)	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Caudal diseño (m³/s)	Caudal tubería (m³/s)	Velocidad máxima (m/s)	Velocidad tubería (m/s)	Tirante (m)	Número Froude	Fuerza tractiva (kg/m²)
---------	---------	---------	----------------------	--------------------	---------------	--------------------------	--------------	---------------	----------------------	-----------------------	------------------------	-------------------------	-------------	---------------	-------------------------

<b>D 1</b>	1422,65	1420,69	0+000,00	0+290,90	0,67	1,96	290,91	140	4,24	4,63	5	3,568	1,19	1,07	2,86
<b>D 2 Tramo 1</b>	1405,85	1403,93	0+000,00	0+160,00	1,20	1,92	160,01	120	3,71	4,10	5	4,299	1,02	1,39	4,37
<b>D 2 Tramo 2</b>	1402,35	1400,33	0+160,00	0+368,81	1,20	2,03	168,82	120	3,71	4,10	5	4,300	1,02	1,39	4,37
<b>D 3</b>	1389,44	1385,19	0+000,00	0+297,52	1,43	4,25	297,55	100	2,50	2,75	5	4,153	0,85	1,47	4,34
<b>D 4</b>	1382,11	1379,88	0+000,00	0+419,17	0,53	2,24	419,18	115	2,35	2,44	5	2,786	0,98	0,92	1,86

**Tabla 3.4.6.** Información para las tuberías que unen los puntos de desfogue con los cabezales de salida. Tomado de Microsoft Excel.

Caño circular		
Sección	0,2	Y/D
Diámetro	50	cm
$\Theta$	2,061	rad
A	0,037	m <sup>2</sup>
S	0,021	
R	0,071	
n	0,013	
Q	0,071	m <sup>3</sup> /s
Qu	0,011	Cumple

Tabla 3.4.7. Diseño y sus respectivos parámetros para la sección de caño circular. Tomado de Microsoft Excel.

Caudales en (m <sup>3</sup> /s)						
Tragantes inicio	Pozo aforo	Lado	Q <sub>tragante</sub>	Q <sub>cordon y caño</sub>	Q <sub>total</sub>	Q <sub>acumulado pozo</sub>
1	1	Derecho	1,401	0,0089	1,427	1,427
		Izquierdo	0,008	0,0089		
2	2	Derecho	0,585	0,0075	0,607	2,034
		Izquierdo	0,007	0,0075		
3	3	Derecho	1,707	0,0067	1,726	3,760
		Izquierdo	0,006	0,0067		
4	3	Derecho	0,467	0,0031	0,476	4,236
		Izquierdo	0,003	0,0031		
5	4	Derecho	0,477	0,0066	0,494	0,494
		Izquierdo	0,004	0,0066		
6	4	Derecho	0,397	0,0081	0,418	0,912
		Izquierdo	0,005	0,0081		
7	5	Derecho	0,369	0,0084	0,392	1,303
		Izquierdo	0,006	0,0084		
8	5	Derecho	0,030	0,0018	0,034	1,337
		Izquierdo	0,000	0,0018		
9	6	Derecho	0,349	0,0080	0,370	1,707
		Izquierdo	0,005	0,0080		
10	7	Derecho	0,408	0,0116	0,437	2,145
		Izquierdo	0,006	0,0116		
11	8	Derecho	0,503	0,0075	0,524	2,669
		Izquierdo	0,006	0,0075		
12	9	Derecho	0,496	0,0068	0,514	3,183
		Izquierdo	0,005	0,0068		
13	9	Derecho	0,500	0,0092	0,525	3,709
		Izquierdo	0,007	0,0092		

14	10	Derecho	0,080	0,0026	0,087	0,087	
		Izquierdo	0,002	0,0026			
15	10	Derecho	0,150	0,0067	0,168	0,255	
		Izquierdo	0,005	0,0067			
16	11	Derecho	0,156	0,0085	0,179	0,434	
		Izquierdo	0,006	0,0085			
17	12	Derecho	0,160	0,0086	0,185	0,619	
		Izquierdo	0,008	0,0086			
18	12	Derecho	0,094	0,0053	0,109	0,728	
		Izquierdo	0,005	0,0053			
19	13	Derecho	0,402	0,0092	0,428	1,157	
		Izquierdo	0,008	0,0092			
20	14	Derecho	0,148	0,0058	0,164	1,321	
		Izquierdo	0,005	0,0058			
21	15	Derecho	0,212	0,0113	0,243	1,564	
		Izquierdo	0,008	0,0113			
22	15	Derecho	0,059	0,0028	0,066	1,630	
		Izquierdo	0,002	0,0028			
23	15	Derecho	0,864	0,0032	0,873	<b>2,503</b>	<b>Caudal de desfogue 3</b>
		Izquierdo	0,002	0,0032			
24	16	Derecho	0,520	0,0107	0,550	0,550	
		Izquierdo	0,008	0,0107			
25	17	Derecho	0,279	0,0107	0,306	0,856	
		Izquierdo	0,006	0,0107			
26	18	Derecho	0,050	0,0075	0,070	0,926	
		Izquierdo	0,005	0,0075			
27	18	Derecho	0,058	0,0026	0,065	<b>2,350</b>	<b>Caudal de desfogue 4</b>
		Izquierdo	0,002	0,0026			
28	18	Derecho	0,205	0,0037	0,215	1,359	
		Izquierdo	0,003	0,0037			
29	19	Derecho	0,147	0,0105	0,173	1,144	
		Izquierdo	0,005	0,0105			
30	20	Derecho	0,072	0,0107	0,098	0,971	
		Izquierdo	0,005	0,0107			
-	21		2,183		2,183	2,183	
-	22		0,000	0,0000	0,000	1,310	
31	23	Derecho	0,269	0,0090	0,293	1,602	
		Izquierdo	0,005	0,0090			
32	23	Derecho	0,269	0,0062	0,285	1,887	
		Izquierdo	0,004	0,0062			
33	24	Derecho	0,553	0,0090	0,578	<b>2,466</b>	<b>Caudal de</b>

		Izquierdo	0,008	0,0090			<b>desfogue 5</b>
34	25	Derecho	0,235	0,0060	0,251	0,251	
		Izquierdo	0,004	0,0060			
35	25	Derecho	0,090	0,0030	0,097	0,348	
		Izquierdo	0,001	0,0030			
36	26	Derecho	0,179	0,0045	0,191	0,539	
		Izquierdo	0,003	0,0045			
37	26	Derecho	0,243	0,0078	0,264	0,803	
		Izquierdo	0,006	0,0078			
38	27	Derecho	0,043	0,0042	0,054	0,857	
		Izquierdo	0,002	0,0042			
39	27	Derecho	0,044	0,0065	0,060	0,917	
		Izquierdo	0,004	0,0065			
40	28	Derecho	0,052	0,0107	0,080	0,997	
		Izquierdo	0,007	0,0107			
	Río					<b>0,997</b>	<b>Caudal de desfogue 6</b>

**Tabla 3.4.8.** Cuadro resumen de caudales recolectados por cada pozo de registro. Tomado de Microsoft Excel.

Desfogue	Lvegetación (m)	Ltotal (m)	Lvegetación (%)
1	237,0	290,9	81,48
2	326,3	328,8	72,08
3	187,3	297,6	62,95
4	144,4	419,2	34,46
<b>Total</b>	<b>895,1</b>	<b>1336,5</b>	<b>66,97</b>

**Tabla 3.3.9.** Porcentaje de longitud de ruta de desfogue que pasa por zona con vegetación. Tomado de Microsoft Excel.

## Plan de mantenimiento periódico

A continuación una tabla donde se resumen los periodos seleccionados a criterio del diseñador para cada una de las cuatro propuestas de desfogue.

Periodos de diseño en años para las diferentes propuestas			
T = 10 años		T = 25 años	
Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
15	10	25	20

**Tabla 4.1.** Periodos de diseño en años para las diferentes propuestas. Tomado de Microsoft Excel.

Es importante considerar puntos estratégicos donde realizar obras de mantenimiento o rehabilitación. Los puntos de acceso seleccionados corresponden a los primeros ocho puntos de desfogue en dirección al flujo de la primera propuesta de desfogue pluvial y se presentan a continuación con su respectiva ubicación.

Punto de acceso	Estación de ubicación (m)	Latitud Norte°	Longitud Oeste°
A. 1	0+240,00	09°51'45,3"	83°55'44,3"
A. 2	0+360,00	09°51'43,1"	83°55'47,5"
A. 3	0+720,00	09°51'33,0"	83°55'53,4"
A. 4	1+080,00	09°51'23,1"	83°55'59,7"
A. 5	1+560,00	09°51'08,4"	83°56'04,3"
A. 6	1+800,00	09°50'57,1"	83°56'06,1"
A. 7	2+170,00	09°50'50,4"	83°56'11,0"
A. 8	2+800,00	09°50'44,5"	83°56'22,2"

Tabla 4.2. Cuadro resumen de puntos de acceso. Tomado de Microsoft Excel.

Tipo de mantenimiento	Actividad	Descripción	Equipo	Frecuencia
<b>Mantenimiento predictivo</b>	Preparación del área de inspección	Cuando el área a preparar son pozos, tragantes o lugares cerrados, se debe esperar unos 15 minutos para que los gases venenosos producidos por las condiciones de encierro de dicho elemento, se disipen y se pueda continuar con las labores de preparación.	Picos, palas y herramientas para levantar las tapas, para reparar las tuberías.	Depende de frecuencia de inspección.
	Inspección de pozos	Implica levantar tapas y verificar buen estado de las paredes internas del elementos	Cuerdas, linternas, escaleras de aluminio tipo telescópico o plegadizo. Indumentaria que incluya cascos, guantes largos, botas de hule tipo muslera y capas contra la lluvia.	3 veces al año.
	Inspección tragantes	Implica levantar tapas y verificar buen estado de las paredes internas del elementos	Cuerdas, linternas, escaleras de aluminio tipo telescópico o plegadizo. Indumentaria que incluya cascos, guantes largos, botas de hule tipo muslera y capas contra la lluvia.	3 veces al año.
	Inspección cordón y caño	Observar que no se encuentre cargado de desechos sólidos	Cuerdas, linternas, escaleras de aluminio tipo telescópico o plegadizo. Indumentaria que incluya cascos, guantes largos, botas de hule tipo muslera y capas contra la lluvia.	3 veces al año.

Inspección tuberías	Observar que no se encuentren obstruidas con desechos sólidos o algún otro material como grasa	Cuerdas, linternas, escaleras de aluminio tipo telescópico o plegadizo. Indumentaria que incluya cascos, guantes largos, botas de hule tipo muslera y capas contra la lluvia.	3 veces al año.
Inspección de colectores	Observar que no se encuentren obstruidas con desechos sólidos o algún otro material como grasa	Cuerdas, linternas, escaleras de aluminio tipo telescópico o plegadizo. Indumentaria que incluya cascos, guantes largos, botas de hule tipo muslera y capas contra la lluvia.	3 veces al año.
Inspección de cabezales de salida	Verificar que se encuentren en buen estado físico.	Cuerdas, linternas, escaleras de aluminio tipo telescópico o plegadizo. Indumentaria que incluya cascos, guantes largos, botas de hule tipo muslera y capas contra la lluvia.	3 veces al año.
Preparación del área de limpieza	Contar con artículos de recolección de desechos y evitar que estos contaminen el medio ambiente. Cuando el área a preparar son pozos, tragantes o lugares cerrados, se debe esperar unos 15 minutos para que los gases venenosos producidos por las condiciones de encierro de dicho elemento, se disipen y se pueda continuar con las labores de preparación.	Picos, palas y herramientas para levantar las tapas, para reparar las tuberías.	Depende de frecuencia de inspección.
limpieza de caños	Recolección de desechos sólidos (basura, ramas, sedimentos, etc.) del cordón y caño	Artículos de limpieza, escobones, bolsas de basura, pala, carretillos.	5 veces a la semana.

	limpieza de pozos	Recolección de desechos sólidos (basura, ramas, sedimentos, etc.) de los pozos de registro.	Artículos de limpieza, escobones, bolsas de basura, pala, carretillos.	1 vez a la semana.
	limpieza de tragantes	Recolección de desechos sólidos (basura, ramas, sedimentos, etc.) de los tragantes	Artículos de limpieza, escobones, bolsas de basura, pala, carretillos.	1 vez a la semana.
	limpieza de colectores	Recolección de desechos sólidos (basura, ramas, sedimentos, etc.) de los colectores.	Artículos de limpieza, escobones, bolsas de basura, pala, carretillos.	1 vez a la semana.
	Disposición de desechos	Encontrar un lugar adecuado para los desechos, donde estos no contaminen el medio ambiente.	Artículos de limpieza, escobones, bolsas de basura, pala, carretillos.	1 vez a la semana.
<b>Mantenimiento correctivo</b>	Preparación del área de destaqueo	Cuando el área a preparar son pozos, tragantes o lugares cerrados, se debe esperar unos 15 minutos para que los gases venenosos producidos por las condiciones de encierro de dicho elemento, se disipen y se pueda continuar con las labores de preparación.	Picos, palas y herramientas para levantar las tapas, para reparar las tuberías.	Depende de frecuencia de estaqueo.
	Destaqueo de pozos	Remover de la sección transversal de la tubería cualquier desecho sólido o sustancia que impida el paso de agua en los pozos de registro.	Varillas de acero de 3/8 a 1/2 de diámetro y bombas sumergibles para evacuar las aguas de los elementos atascadas.	1 año
	Destaqueo de tragantes	Remover de la sección transversal de la tubería cualquier desecho sólido o sustancia que impida el paso de agua en los tragantes de aguas.	Varillas de acero de 3/8 a 1/2 de diámetro o cable flexible de aleación de cobre y bombas sumergibles para evacuar las aguas de los elementos atascadas.	2 años.

Destaqueo de tuberías	Remover de la sección transversal de la tubería cualquier desecho sólido o sustancia que impida el paso de agua en las tuberías.	Varillas de acero de 3/8 a 1/2 de diámetro o cable flexible de aleación de cobre y bombas sumergibles para evacuar las aguas de los elementos atascadas.	3 años.
Destaqueo de colectores	Remover de la sección transversal de la tubería cualquier desecho sólido o sustancia que impida el paso de agua en los colectores.	Varillas de acero de 3/8 a 1/2 de diámetro o cable flexible de aleación de cobre y bombas sumergibles para evacuar las aguas de los elementos atascadas.	6 meses.
Reconstrucción de elementos	Construcción nueva de un elemento del alcantarillado por rotura.	Equipo de seguridad y materiales para reconstrucción de elementos de concreto.	Cuando se detecten elementos destruidos.
Reposición de elementos	Cuando algún elemento es removido de su lugar por alguna razón como vandalismo, se debe reponer dicho elemento.	Picos, palas y herramientas para levantar las tapas, para reparar las tuberías.	Cuando haya una pérdida de algún elemento.
Rehabilitación de elementos	Reparación parcial o total de algún elemento del alcantarillado por deterioro.	Equipo de seguridad y materiales para rehabilitación de elementos de concreto.	Cuando se detecten elementos deteriorados.

Tabla 4.2. Plan de mantenimiento periódico. Tomado de Microsoft Excel.

# Análisis de los resultados

En un diagnóstico de alcantarillado, es muy importante identificar las zonas que presentan algún tipo de problema. Esto será vital si el diagnóstico es utilizado para realizar algún tipo de rehabilitación, mantenimiento o puede ser información útil en un futuro diseño

Para este proyecto se ubicaron los puntos donde se generan problemas de obstrucción, secciones en mal estado físico y puntos donde la sección no cumple con el requerimiento de caudal. Se debe recordar que esta última condición fue determinada con la estimación de un caudal de diseño estimado en otras secciones.

En el tramo se lograron identificar en total 74 puntos con condiciones críticas, algunos presentan las tres condiciones analizadas, algunos solo dos y otros pocos solo una de ellas.

Para cada una de las tres condiciones analizadas se obtuvieron los siguientes resultados en términos porcentuales.

Mal estado	Obstruido	Insuficiente
70.27%	81.08%	59.46%

Donde se puede observar que gran parte de los puntos identificados se encontraban condición obstruida, seguido de los puntos que se encontraban en mal estado y por último se tienen las secciones que son insuficientes para trasegar el caudal de diseño. No obstante, aunque la cantidad de puntos que presentan esta última condición es menor que en las primeras dos, no deja de ser un porcentaje considerable; es decir más de la mitad, lo que significa que 44 de los 74 puntos no tienen el diámetro suficiente para trasegar el caudal de diseño.

Las otras dos condiciones tienen un porcentaje alto, lo que implica que además de estar en presencia de secciones con diámetros menores a los recomendados, estos están obstruidos con basura, sedimentos, restos de maleza, tuberías perpendiculares a las secciones

y muchos también se encuentra en mal estado, deteriorados por el pasar de los años, concretos corroídos y con aceros expuestos, secciones quebradas e incompletas. De lo anterior se puede extraer que hay puntos que presentan las tres condiciones.

A continuación se muestran los resultados en términos porcentuales, donde se consideran cuáles puntos presentan las tres condiciones, cuales dos y cuál solo una.

Una condición	Dos condiciones	Tres condiciones
16.22%	59.46%	24.32%

Se puede afirmar que en gran cantidad de los puntos identificados, no solo se presenta una de las tres condiciones, sino que en muchos casos se tienen tres o dos condiciones para un mismo punto crítico

Lo anterior pone en evidencia una gran problemática en el sistema de alcantarillado analizado. Son evidentes que los elementos no son nuevos como se mencionó en apartados anteriores, no solo por el estado en que se encuentran gran parte de los elementos, sino porque el diseño ya no cumple con las solicitaciones actuales, el caudal de diseño es mayor que el caudal que un alto porcentaje del sistema puede trasegar y otro problema identificado es que no hay un excelente control de desechos en el sistema de alcantarillado pluvial.

Según la información recolectada y facilitada por los entes municipales, el control es el adecuado e indicado, sin embargo eso no se ve reflejado en las condiciones del sistema de alcantarillado. Los cinco días a la semana se recoge la basura, pero los pozos, tragantes y cordón y caño se encuentran con sedimentos, basura, ramas de árboles, maleza y siguen estando obstruidos. Razón por la cual se vuelve necesario que las autoridades municipales replanteen las rutinas de recolección de

desechos, que no se centralicen en recoger las bolsas de basura que los habitantes del distrito sacan de sus casas y comercios, sino que consideren además como tema de su atención, el dar limpieza a los elementos del alcantarillado pluvial.

No solo en el caso de la recolección, sino también en la rehabilitación y mantenimiento, es claro que muchas de los elementos del sistema no se encuentran en buen estado y no solo por el mal uso, sino por lo viejo que es el sistema, como se mencionó en otros apartados y que implica un deterioro inevitable; por esta razón el sistema requiere de inversión y mantenimiento.

Un punto con gran importancia y que no se ha tratado hasta el momento, es que las condiciones del caudal que deben manejar las quebradas son muy variables, pues en buena teoría, el agua que trasiegan dichas quebradas son ciertamente las aguas pluviales y se tiene que se les está descargando otros tipos de aguas residuales. Como se mencionó en secciones anteriores, no fue una variable que se tomara en cuenta en el proceso de diseño y planteamiento de propuestas de desfogue pluvial, pues no es parte de ninguno de los objetivos, pero no se debe dejar de lado, pues es un factor que afecta directamente el sistema de alcantarillado y la municipalidad e instituciones involucradas deben considerar.

El hecho de que algunas quebradas se encuentren en propiedades y no se cuente con información sobre el retiro que tienen dentro de la propiedad o del entubamiento que se la ha hecho, genera una incertidumbre en el momento de diseñar y realizar la propuesta de rutas de desfogue pluvial. Además, dependiendo de las condiciones en que se encuentran las quebradas dentro de las propiedades privadas, así se comportará el flujo de agua en el resto del alcantarillado pluvial.

Dentro de esas propiedades, la municipalidad no tiene un control del trasiego de dichas quebrada, estas son entubadas y muchas veces no se sabe si el diámetro de la tubería cumple con el caudal que la quebrada demanda, lo cual puede estar generando tapones en las quebradas. Esto realmente es un problema, pues como se observó en las secciones o apartados de diseño hidráulico y propuesta de puntos de desfogue, para generar o proponer puntos de desfogue, es importante contar con quebradas

para evacuar agua pluvial del sistema de alcantarillado.

Al igual que en la secciones de las quebradas, se observó que bastantes de las secciones se encuentran taponadas con basura. Muchas de ellas están al aire libre, lo que implica cierta factibilidad a ser limpiadas, por lo que el buen mantenimiento tiene gran peso en este caso. De nada sirve tener un adecuado sistema de alcantarillado pluvial, si a este no se le da el mantenimiento adecuado, esto puede ser una de las causas de las inundaciones que se le ocurren a la zona.

Muchas son las causas que generan el desbordamiento e inundaciones en el tramo estudiado en periodos de invierno y a continuación se mencionan cada una de ellas.

Como se mencionó en párrafos anteriores las condiciones actuales son una problemática que afectan directa e indirectamente los cursos de aguas en el sistema de tuberías, porque de alguna u otra forma impiden que el agua transcurra con normalidad por las secciones transversales y provocan que el agua se desborde y se refleje en calles inundadas, alcantarillas que rebozan aguas y demás.

La falta de mantenimiento y limpieza juegan un papel importante en el buen funcionamiento del sistema de alcantarillado. En este caso, se puso en evidencia que el sistema no se ha cuidado y no se ha tenido un buen control con los desechos, presentes en cada uno de los elementos del sistema.

También se pudo comprobar que en algunas zonas del tramo de carretera no existen elementos de cordón y caño, lo cual genera empozamientos de agua y qué más dañino para una obra de infraestructura que agua acumulada. Algunas esquinas no cuentan con la presencia de tragantes, lo que evidencia una causa de las inundaciones. Se debe tener claro, que las esquinas son susceptibles a las inundaciones por el encuentro de aguas de diferentes direcciones, aspecto que ya está estipulado en la Reglamentación Técnica para Diseño y Construcción de Condominios y Fraccionamientos del AyA (1997).

Muchos tragantes están ubicados en zonas donde el agua es difícil de acceder, lo ejemplifica una de las fotografías anexadas, donde se observa que la parte superior del tragante por donde debe ingresar el agua está por encima del nivel de calzada y acera, lo que

dificulta el escurrimiento de agua y como consecuencia se genera empozamientos.

Desde el punto de vista del diseño, se puede mencionar varios aspectos, por ejemplo muchas de las secciones no cumplen con el caudal de diseño, es decir sus secciones transversales son más pequeñas de lo que se recomienda.

Otro aspecto importante, es que en la inspección se aprovechó para medir diámetros de secciones transversales a cada 20 metros, para tener un registro de la variabilidad que tiene el sistema y se obtuvo que en algunos puntos las secciones transversales reducen su caudal en dirección al flujo, lo cual supone un problema grave, ya que es una condición no recomendada porque genera un efecto de embudo en el sistema y eso se ha observado en presas de agua que al no encontrar una salida terminan por desbordarse y provocar inundaciones.

A continuación se resume la ubicación de los puntos donde se da una disminución de la sección transversa en dirección al flujo de agua y el cambio de diámetro que se genera.

Transición de estación		Transición del diámetro (cm)	
0+380.00	0+400.00	50	45
0+960.00	0+980.00	80	60
1+100.00	1+120.00	60	50
1+540.00	1+560.00	80	70
1+640.00	1+660.00	80	60
1+760.00	1+780.00	60	50
2+620.00	2+640.00	70	60
3+020.00	3+040.00	70	60

Se observa que en 8 puntos del tramo ocurre el efecto embudo, sin dejar de lado que muchos de los puntos muestreados no cumplen con el caudal de diseño. A lo largo del tramo se muestrearon 176 puntos a cada 20 metros, para cada propuesta de desfogue donde se plantearon los diámetros de las nuevas secciones que en comparación con las actuales arrojan los siguientes datos. Por ejemplo las secciones actuales comparadas con las cuatro propuestas de desfogue pluvial respectivamente, describen que 41, 35, 36 y 28 puntos de 176 no cumplen con el requerimiento de diseño de caudal correspondiente. Los datos porcentuales se resumen a continuación.

Propuesta	Cumple condición			
	1	2	3	4
Porcentaje	23.30%	19.89%	20.45%	15.91%

En la tabla anterior se expresan en términos porcentuales los puntos en que las secciones actuales cumplían con los requerimientos mínimos de diseño para cada una de las propuestas. Como se puede observar para ninguna de las propuestas, las secciones actuales no llegan a un cuarto del total, lo que implica que estas en gran parte de su recorrido no tienen dimensiones transversales para el caudal de agua que recoge los elementos de alcantarillado.

Con respecto a las inspecciones realizadas por el personal de la municipalidad, se notó que en muchas ocasiones las quejas fueron atendidas de forma tardía y cuando se intervino el caso se presentó un agrandamiento del problema, pues las inundaciones provocaron que las secciones se deterioran. En algunas ocasiones los vecinos intervinieron el punto de emergencia y realizaron alguna labor que más bien perjudicó el sistema de alcantarillado pluvial o del medio ambiente, por ejemplo desviar acumulamientos de aguas negras a una quebrada.

El accionar municipal también juega un papel importante en la problemática de inundaciones, esto porque la planificación tardía o inadecuada en muchos casos provocan los problemas que se mencionan anteriormente. Por ejemplo la falta de control de los desechos sólidos por parte de la institución, la falta de estudios hidráulicos e hidrológicos dificulta la realización de diseños con precisiones adecuadas, pues no se cuentan con cálculos de caudal con grados de precisión y exactitud deseados y también la falta de mantenimiento y rehabilitación del sistema, ya que su descuido causa desbordamientos e inundaciones. Como podrán observar en la sección de anexos, en algunos puntos del tramo, en caños hay tuberías pertenecientes a los hogares y que son un obstáculo para recorrido del agua.

Otra causa identificada está relacionada con el crecimiento urbano que ha desencadenado o se ha reflejado en mayor cantidad de superficies de concreto, asfaltos, techos, parqueos y demás superficies con coeficientes de escorrentía mayores que obligan al agua a

escurrir de forma más rápida, resultando en mayores volúmenes de agua en poco tiempo.

Una causa que implica un análisis cuantitativo es la estimación del caudal de diseño. En primera instancia se observa que para tomar tormentas máximas para diferentes duraciones, se obtiene alturas de agua que se acrecienta conforme aumenta la duración. Al ser la intensidad de lluvia equivalente a cociente de precipitación en mm y duración, esto implica que en el caso de la intensidad a mayor intensidad menor duración. Comportamiento que se ve reflejado en las curvas de intensidad-duración-frecuencia y con lo cual se logra determinar una intensidad máxima promedio.

El análisis de tormenta se realizó para un día con 24 horas, donde se agrupó en duraciones de 1, 2, 6, 12 y 24 horas y en cada duración se estimaban intensidades de lluvia que disminuían su magnitud conforme aumentaban su duración. Los datos explicados anteriormente, junto con los periodos de retorno estimados en la sección de resultados dan como resultado las curvas de intensidad-duración-periodo, donde queda expresado gráficamente que a mayor periodo de retorno, mayores intensidades de lluvia y a menores duraciones, mayores intensidades de lluvia.

Desde el punto de vista de los datos del caudal, se comprobó que para cada uno de las propuestas de desfogue realizadas, se obtuvieron caudales diferentes. Por ejemplo, en el caso de los periodos de retorno, se obtuvo que los caudales estimados para un periodo de retorno de 25 años son mayores que para un periodo de retorno de diez años, esto porque los periodos de retorno mayores tienen comportamientos más crecientes en las curvas de intensidad-duración-periodo. Las propuestas de desfogue que incluyen más puntos de desfogue reducen los volúmenes de agua que cada elemento debe trasegar y las propuestas que incluyeron menos puntos de desfogue obligan a los elementos a circular mayores cantidades de agua, porque cada punto de desfogue le resta volumen de agua al sistema.

En los siguientes párrafos se hará mención a las propuestas de rutas de desfogue 1 y 3 como las primeras y las rutas de desfogue 2 y 4 como las segundas. Para las primeras propuestas correspondientes a los periodos de retorno de 10 y 25 años, se manejaron pendientes en las tuberías de 1.6% desde el pozo

de registro 1 hasta el 18, del pozo 19 al 28 se trabajó con pendientes 0.05%. Para las segundas propuestas correspondientes a los mismos periodos de retorno 10 y 25 años, se manejaron pendientes en las tuberías de 1.6% desde el pozo de registro 1 al 2, del 3 al 6 y del 7 al 18, en la sección del pozo 2 al 3, las pendientes fueron de 1.3%, para la sección del pozo 6 al 7, fue de 1.4% y del pozo 19 al 28 se trabajó con pendientes 0.05%.

Dichas pendientes están ligadas a las profundidades de pozos de registro y tragantes. Estas pendientes influyen en el comportamiento del fluido dentro de las tuberías, por lo que a la hora de diseñar, se deben cuidar las pendientes con las que se trabajó. Para este caso, las pendientes que se generaron en el tramo de carretera por parte de la información exportada de Google Earth a CivilCAD, orillaron a utilizar las pendientes mencionadas inicialmente en este párrafo, que a su vez, no complicaron el proceso de diseño, sino que calzaron adecuadamente en los cálculos realizados para proponer las secciones finales.

En las propuestas, se procuró en la medida de lo posible, respetar las disposiciones del reglamento de diseño y construcción de condominios y fraccionamientos, que establecen una altura mínima de 90 cm para tragantes, profundidad mínima de 1,2 m y máxima de 3.6 m a nivel de corona de tubería, que obliga a los pozos a manejarse en este rango de alturas. Para las primeras propuestas, se tiene que el rango de alturas de tragantes varía de 1 a 3 m y el rango de alturas para pozos de registro va de 1.9 a 3.6 m. Para las segundas propuestas, se mantienen los mismos rangos de alturas, pues la variación de pendientes radica básicamente en dos tramos de tubería, que a su vez no afectan el rango de profundidades antes descrito.

El «software» HidroEsta2, utilizado para generar las curvas de intensidad-duración-periodo del apartado de análisis hidrológico, fue desarrollado por la escuela de Ingeniería Agrícola, con la tutela del profesor e investigador Máximo Villón Béjar. Este está diseñado para generar estudios hidrológicos de precipitación, caudales máximos, evapotranspiración, curvas características, aforo, isoyetas y parámetros para análisis de tormentas.

Las intensidades de lluvia máxima obtenidas fueron comparadas con las resultantes de la aplicación de la ecuación de intensidad para

la ciudad de Cartago, teniendo como resultado un margen de error considerablemente alto y expresado en el siguiente cuadro para cada una de las cuatro intensidades obtenidas para cada propuesta de ruta de desfogue.

Parámetro	T = 10 años		T = 25 años	
	Prop. 1	Prop. 2	Prop. 3	Prop. 4
Tiempo (min)	21,07	20,75	20,86	20,48
Intensidad (mm/hr)	52,49	51,02	55,46	56,15
Int. Cartago (mm/hr)	110,66	111,38	127,33	128,33
% Error	110,83%	118,31%	129,59%	128,55%

Realizando un estudio de las condiciones de obtención de las intensidades máximas de lluvia se llega al siguiente análisis. El error obtenido en las cuatro propuestas de rutas de desfogue está relacionado con las condiciones para las que rigen cada una de las dos metodologías con las que se obtuvieron las intensidades.

Se puede citar el periodo en que se estableció la ecuación de intensidad para la ciudad de Cartago, que fue en el año 1992, es muy probable que las condiciones climáticas de ese año al actual hayan cambiado. Se puede atribuir parte del error, a que en los últimos años, los fenómenos climatológicos del fenómeno del «niño», sumado a los frentes fríos, provocan que la información de lluvias presente altos índices de variación y eso se vio reflejado en los resultados de intensidad de lluvia máxima.

El estudio realizado en 1992 consideró duraciones que iban de los 5 a los 720 min, a diferencia del estudio actual donde van de los 60 a los 1440 min. Además el registro antiguo consideró alrededor de 21 años y en el presente se consideró únicamente cinco años. Y no se puede dejar de mencionar que los señores Vahrson y Alfaro hicieron uso de la distribución de Gumbel para la obtención de la ecuación; en este caso no se procesó la información bajo esta distribución, sino que se utilizó un software HidroEsta2 para obtener las curvas de intensidad-duración-periodo.

Las condiciones mencionadas en el párrafo anterior, sumadas a los errores de medición y precisión ligado al equipo de medición de la estación meteorológica ubicada en el

Tecnológico de Costa Rica, así como a la manipulación de datos por parte del personal del Instituto Meteorológico Nacional, pudieron haber influido en el porcentaje de error obtenido que en los cuatro casos que sobrepasa el 100 %. Esto originado porque, según comentó la señorita Keily Calderón, del Instituto Meteorológico Nacional (encargada de suministrar la información), muchas veces el personal encargado de obtener los datos no estaban pendiente de la toma de información diaria, por ejemplo en los días feriados no laboraban. Por esta razón, en los datos suministrados, aparecían días donde la precipitación registraba 0 mm, con una indicación en la hoja de cálculo donde se revelaba que ese día, no hubo levantamiento de la información. Esto sería un factor más que atribuiría el porcentaje de error en la información suministrada.

Normalmente, en ingeniería se plantea el diseño para las solicitudes más críticas, en este caso, el caudal más grande. No obstante, en los últimos cinco años, la variación de lluvias en cada año es grande, respecto al año anterior; es decir las estaciones lluviosa y seca, están menos marcadas cada año, y las precipitaciones máximas, en la mayoría de los 5 años, superan en más de un 100% al de la precipitación máxima del año anterior. Esta puede ser una razón por la cual las curvas no muestran el comportamiento similar a las que describen las ecuaciones linealizadas con la distribución de Gumbel.

Otro factor importante por considerar, es la cercanía de las estaciones con el tramo en estudio, pues los datos con los que se generaron las curvas de intensidad de lluvia, corresponden con los medidos en la estación del Tecnológico de Costa Rica, que se encuentra a una distancia considerable de 3.36 km respecto al tramo analizado.

Las primeras propuestas de desfogue implica nueve puntos de desfogue, de los cuales, solo siete deben ser entubados hasta la quebrada de descarga, pues los otros dos corresponden a la intersección de una de las quebradas con la carretera y el punto más bajo de la cuenca (río Agua Caliente) respectivamente y los puntos de salida directa ambos cuerpos de agua corresponden al 8 y 9 en planos. Las segundas propuestas se compone de seis puntos de desfogue, al igual que la primera propuesta, dos de los seis corresponden a cabezales de salida directos a los cuerpos receptores de agua, por lo

que solo cuatro serán entubados hasta las quebradas de destino y los puntos de salida directa ambos cuerpos de agua corresponden al 5 y 6 en planos.

Para los puntos de desfuegos, se tendrá en cuenta, que los trazados de tuberías que se propondrían, debían evitar al máximo cualquier tipo de expropiación en viviendas de los vecinos de la comunidad cercana al tramo. Entonces basados en esa observación se realizaron las propuestas de desfogue, donde en la medida de lo posible, se trató de hacer pasar las tuberías por zonas de vegetación. Fue imposible que todas las tuberías cruzaran al 100% por zonas de vegetación, pero se logró en la primera propuesta hubiera un 48% y en la segunda propuesta un 67%. En el porcentaje de tubería que pasara por las propiedades, se puede solicitar a la municipalidad algún tipo de servidumbre, para evitar el proceso de expropiaciones. Sin embargo, esa decisión queda a criterio de la municipalidad.

En la primera propuesta, los caudales críticos en los pozos a desfogar, varían en un rango de 1.050 a 2.239 m<sup>3</sup>/s, para la segunda propuesta se mantienen de 2.154 a 3.883 m<sup>3</sup>/s, para la tercera propuesta, se conservan de 1.333 a 2.442 m<sup>3</sup>/s y para la cuarta y última, los rangos se mantienen de 2.350 a 4.236 m<sup>3</sup>/s. Como se ha mencionado en apartados anteriores, la diferencia entre las dos propuestas radica en que la primera contempla tres puntos de desfogue más.

A continuación un cuadro resumen con los caudales mínimos y máximos presentes en los puntos de desfogue.

Propuesta	Q min (m <sup>3</sup> /s)	Q máx (m <sup>3</sup> /s)
Propuesta 1	1.050	2.239
Propuesta 2	2.154	3.883
Propuesta 3	1.333	2.442
Propuesta 4	2.350	4.236

Entre los objetivos del proyecto, no se propone realizar un análisis económico, por esta razón no se efectuó un estudio de beneficio/costo, por lo cual, desde el punto de vista económico, no se puede concluir cuál de las dos opciones proporciona más factibilidad y viabilidad. Desde el punto de vista ingenieril, se puede afirmar que la primera opción, adopta una

mayor optimización de recursos. En primera instancia, porque el porcentaje de longitud de tuberías que generará expropiación está por debajo del 53%, son tramos rectos que no requieren de la instalación de pozos y tragantes, y liberan al sistema de alcantarillado de caudal casi la mitad con respecto a la segunda opción. Las condiciones anteriores hacen que las tuberías del alcantarillado tengan menores diámetros en todo su recorrido del tramo, trazos de tubería de desfogue rectos, mayor porcentaje de tubería de desfogue en zona de vegetación, que se traducirán finalmente en facilidad de instalación.

En la primera propuesta, las pendientes de las zonas por donde se propusieron las tuberías de desfuegos, fueron cómplices para que se formen tramos que no necesitarán pozos de registro. En la segunda propuesta uno de los puntos de desfogue en su tramo de tubería, necesitó un pozo de registro A, que disipará la energía provocada por la velocidad del caudal.

Desde el punto de vista ingenieril, se puede decir que las propuestas de puntos de desfogue, cumplieron con las expectativas de optimización de recursos, considerando los caudales que deben trasegar.

Para esta investigación se realizaron dos propuestas de rutas de desfogue por cada periodo de retorno (10 y 25), el peso del periodo de retorno en las propuestas de rutas de desfogue pluvial se centraliza en la cantidad de caudal de agua que recogerá el sistema de alcantarillado. Esto porque a mayor periodo de retorno mayores son las volúmenes de agua en el sistema. Para cada periodo de retorno se propuso dos configuraciones de rutas de desfogue, una presenta más puntos de desfogue, nueve en total, que el otro que tiene seis. A nivel de caudal la propuesta con mayor cantidad de rutas de desfogue favorece el sistema de alcantarillado, pues de alguna forma está reduciendo la carga de agua que debe absorber.

Lo que significa que la propuesta más crítica es la que presenta seis puntos de desfogue para un periodo de retorno de 25 años.

El periodo de retorno tiene una relación directa con el periodo de diseño de un sistema de alcantarillado pluvial, pues este establece el periodo en que se realizará la tormenta máxima en la zona de diseño.

Actualmente los periodos de diseño para alcantarillados pluviales se manejan en un rango

de 10 a 15 años. Dicho rango contempla diseño de alcantarillado pluvial sin rutas de desfogue a diferencia del caso de este proyecto. Por lo anterior se selecciona de forma conservadora periodos de diseño presentados en la siguiente tabla para cada propuesta de desfogue pluvial.

<b>Periodos de diseño en años para las diferentes propuestas</b>			
<b>T = 10 años</b>		<b>T = 25 años</b>	
<b>Propuesta 1</b>	<b>Propuesta 2</b>	<b>Propuesta 3</b>	<b>Propuesta 4</b>
15	10	25	20

Es importante considerar puntos estratégicos donde realizar obras de mantenimiento o rehabilitación. Se contempló que dichos puntos tuvieran una distancia promedio el uno del otro lo más parecida, esto para que contribuir con que dichos puntos estén lo mejor distribuidos posibles. Casualmente los ocho puntos de desfogue de la primera propuesta cumplen con estas características, por lo que se decidió utilizar los mismos como puntos de acceso al sistema. Es importante dejar claro que todos los pozos de registro tienen las dimensiones adecuadas para que una o dos personas ingresen con equipo para dar limpieza a las secciones transversales, sin embargo se seleccionaron 8 de los puntos para que sean utilizados de forma oficial para este fin.

Lo anterior es posible, siempre y cuando los pozos de registro que unen al sistema con los colectores de desfogue a los diferentes de agua, que en este caso funcionarán como puntos de acceso al sistema de alcantarillado, estén adecuados para las labores de limpieza y rehabilitación, lo que implica que tendrán dimensiones y espacios que permitan el ingreso de personal de mantenimiento, así como de equipo de limpieza. Las dimensiones de estos elementos fueron considerados en la elaboración de los detalles en planos.

Como se mencionó en secciones anteriores, el mantenimiento de un alcantarillado pluvial depende en gran medida del mantenimiento y rehabilitación que se le aplique. Esto incrementará el periodo de vida útil del sistema. El plan de mantenimiento elaborado considera actividades de inspección, limpieza, estaqueo, reconstrucción y rehabilitación.

# Conclusiones

Los puntos muestreados fueron 176, de los cuales un 70.27% se encuentra en mal estado, al igual que el 81.08% en condición insuficiente y el 59.46% está obstruido. De los cuales se puede concluir que un 16.22% presentan solo una condición, un 59.46% dos condiciones y un 24.32% las tres condiciones. De lo anterior se concluye que gran parte del tramo se encuentra en condiciones críticas descritas anteriormente

Las secciones transversales comparadas con las secciones mínimas correspondientes a las cuatro propuestas de rutas de desfogue pluvial arrojan resultados porcentuales donde un 23.30%, 19.89%, 20.45%, y 15.91% no cumplen con la sección mínima de diseño comparada con las propuestas 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Por lo que el sistema actual de alcantarillado, no satisface la demanda de caudal que se genera en el tramo de carretera.

En 8 puntos las secciones sufren una disminución del diámetro y provocan el efecto embudo y se enumeran a continuación.

Transición de estación		Transición del diámetro	
0+380.00	0+400.00	50	45
0+960.00	0+980.00	80	60
1+100.00	1+120.00	60	50
1+540.00	1+560.00	80	70
1+640.00	1+660.00	80	60
1+760.00	1+780.00	60	50
2+620.00	2+640.00	70	60
3+020.00	3+040.00	70	60

Las causas de inundación percibidas en el tramo de ruta nacional 228 son:

- Obstrucción de secciones de tuberías con desechos sólidos.
- Elementos de alcantarillado en mal estado y deterioro.

- Falta de mantenimiento del sistema de alcantarillado.
- Falta de elementos como tragantes en puntos necesarios.
- Diámetros de tuberías insuficientes para trasegar el caudal de diseño.
- Reducción de secciones transversales en dirección al flujo.

La intensidad de lluvia máxima para cada propuesta de ruta de desfogue fue de 52.49, 51.02, 55.46 y 56,15 mm/hr para las propuestas de desfogue 1, 2, 3, y 4 respectivamente y un área tributaria total de 2.22 km<sup>2</sup>. El cálculo del caudal se hizo independiente para cada tragante, por lo que los coeficientes de escorrentía varían en función del área tributaria que es diferente en cada tragante y su procedimiento de cálculo se encuentra en la hoja de cálculo anexada. Con lo cual se obtienen para cada tragante un caudal específico que se acumulará en los pozos siguientes.

Para las primeras propuestas (1 y 3), se manejaron pendientes en las tuberías de 1.6% desde el pozo de registro 1 hasta el 18, del pozo 19 al 28 se trabajó con pendientes 0.05%. Para las segundas propuestas (2 y 4), se manejaron pendientes en las tuberías de 1.6% desde el pozo de registro 1 al 2, del 3 al 6 y del 7 al 18, en la sección del pozo 2 al 3, la pendientes es de 1.3%, para la sección del pozo 6 al 7, es de 1.4% y del pozo 19 al 28, se trabajó con pendientes 0.05%.

En la investigación se respetaron las disposiciones del reglamento de diseño y construcción de condominios. Para la primeras propuestas (1 y 3), se tiene que el rango de alturas de tragantes varía de 1 a 3 m y el rango de alturas para pozos de registro va de 1.9 a 3.6 m. Para las segundas propuestas (2 y 4), se mantienen los mismos rangos de alturas, pues la variación de pendientes radica básicamente en

dos tramos de tubería, que a su vez no afectan el rango de profundidades antes descrito.

Las primeras propuestas de desfogue (1 y 3), corresponde a nueve puntos de desfogue, donde solo siete deben ser entubados hasta la quebrada de descarga, pues los otros dos corresponden a la intersección de una de las quebradas con la carretera y el punto más bajo de la cuenca (río Agua Caliente) respectivamente. Las segundas propuestas se componen de seis puntos de desfogue, al igual que la primera propuesta, dos de los seis corresponden a cabezales de salida directos a los cuerpos receptores de agua, por lo que solo cuatro serán entubados hasta las quebradas de destino. La longitud total de tubería en las rutas de desfogue 1 y 3 es de 2330 m. La longitud total de tubería en las propuestas 2 y 4 es de 1337 m.

Los periodos de diseño corresponden a 10 y 15 años para las propuestas 1 y 2 y de 20 y 25 para las propuestas 3 y 4. Los puntos de acceso a la red para labores de mantenimiento se conservan iguales a los primeros 8 puntos de desfogue en dirección al flujo.

# Recomendaciones

- Intervenir de forma urgente el sistema de alcantarillado actual, ya sea implementar alguna de las propuestas planteadas o continuar con el alcantarillado actual.
- Realizar mantenimiento periódico en los elementos del sistema de alcantarillado vigente o alguno nuevo a construir.
- En la intervención que la municipalidad haga al sistema de alcantarillado, ya sea implementar alguno de los propuestos o realizar modificaciones al existente. Se recomienda que considere cumplir con las estipulaciones del reglamento de construcción y diseño extendido por al AyA, pues como se vio anteriormente, el sistema existente no cumplía con algunas de las disposiciones.
- Controlar a nivel de comunidad, qué tipo de aguas son desfogadas en el sistema de alcantarillado.
- Verificar la condición de retiro y entubado de las quebradas que están en propiedad de los vecinos.
- Estimar la capacidad de las quebradas que son candidatas a ser utilizadas como puntos de desfogue.
- Realizar un levantamiento topográfico completo de los puntos a lo largo del tramo de carretera, para tener información más precisa de campo.
- Efectuar un análisis de beneficio/costo, y basar en dicho estudio, la decisión de implementar alguna de las propuestas presentadas en este informe o continuar y darle mantenimiento al sistema actual.

# Apéndices

Se adjunta en la sección de apéndices, los planos donde se representan las dimensiones finales de las propuestas de desfogue y alcantarillado, así como documentos que sirvieron en la realización de los diseños.

- I. Planos constructivos de la propuesta de desfogue del sistema de alcantarillado pluvial, para el tramo de ruta nacional 228.
- II. Planos de trazos en planta y perfiles topográficos, de las dos propuestas de desfogue y alcantarillado pluvial.
- III. Memoria de cálculo de Excel de los resultados obtenidos.
- IV. Capa de ríos de la zona de Tejar de Cartago, proporcionada por el Ingeniero Iván Carpio.
- V. Hoja 1:10000 con curvas de nivel a cada cinco metros de la zona cercana al tramo de ruta nacional 228, extendida por el Instituto Geográfico Nacional.

# Anexos

En las visitas realizadas al tramo de análisis, se tomaron fotografías, donde se evidencian las condiciones actuales del sistema. Se incluye además, el fragmento de la “Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos”, donde se indican las especificaciones técnicas que se utilizaron en la realización de las propuestas de desfogue y alcantarillado pluvial.

No es posible adjuntar la información brindada por el Instituto Meteorológico Nacional, pero se anexa el contrato firmado con dicha Institución.

- I. Fotografías de los elementos de alcantarillado pluvial.
- II. Fragmento de “Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos”.
- III. Contrato con el Instituto Meteorológico Nacional.

# Referencias

- Villón Béjar, M. (2009). **MANUAL PRÁCTICO DE DISEÑO DE CANALES**. Cartago, Costa Rica: Centro de desarrollo de material bibliográfico del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- González Masis, A. 1992. **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CONDUCCIÓN DE AGUA PARA RIEGO DEL RÍO TAPEZCO A LA FINCA DE LA ASOCIACIÓN TAPEZQUEÑA DE AGRICULTORES**. Informe final de proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Robert L. Mott. 1996. **MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA**. México: Editorial Pearson Educación.
- Villón Béjar, M. (2004). **HIDROLOGÍA**. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (1997). **REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CONDOMINIOS, URBANIZACIONES Y FRACCIONAMIENTOS**. San José, Costa Rica.
- Jiménez García, F. (2005). **MODELO DE DISEÑO DE SISTEMAS URBANOS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL**. Cartago: Informe de proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Vahrson y Alfaro. (1995). **INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA DE LLUVIAS PARA DIFERENTES ZONAS DEL PAÍS**. San José, Costa Rica.
- Villón Béjar, M. (2012). **HIDROESTA 2. CÁLCULOS HIDROLÓGICOS**. Cartago, Costa Rica: Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Krenz, A y Osterloh, H. (1975). **CURVAS DE TRANSICIÓN EN CARRETERAS (MANUAL DE CLOTOIDES)**. Traducción por Gonzalo Cubillo de Merlo. Madrid, España.
- Mott, R. (2006). **MECÁNICA DE FLUIDOS**. Naucalpan de Juárez, México: Editorial Pearson Educación.
- Vindas Ramírez, K y Barrantes, G. (2013). **GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PERFIL TOPOGRÁFICO**. Recuperado el 29 de noviembre del 2014 de: <http://www.mapoteca.geo.una.ac.cr/index.php/introcarto/127-guia-para-perfil-topografico.html>
- Araya, A. (2012). **DISEÑO DE CANALES Y ALCANTARILLAS**. Hidráulica CO-3501, Clase semestral. Cartago, Costa Rica.
- Araya, A. (2012). **TIPOS DE FLUJO**. Hidráulica CO-3501, Clase semestral. Cartago, Costa Rica.
- Araya, A. (2012). **ECUACIÓN GENERAL DE LA ENERGÍA**. Hidráulica CO-3501, Clase semestral. Cartago, Costa Rica.
- Araya, A. (2012). **FENÓMENOS LOCALES SALTO HIDRÁULICO**. Hidráulica CO-

3501, Clase semestral. Cartago, Costa Rica.

Araya, A. (2012). **MEDICIONES DE FLUJO.** Hidráulica CO-3501, Clase semestral. Cartago, Costa Rica.