

**UNIVERSIDAD CENTRAL  
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**DISEÑO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN PLUVIAL  
PARALELA A LA CALLE CANTONAL C-06027, GUÁCIMO,  
LIMÓN.**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTOR: GIANCARLO SOLANO FALLAS**

**TUTOR: CLAUDIO ZUÑIGA SERRANO**

**SEDE CENTRAL**

**MARZO, 2024**

## Contenido

Dedicatoria y agradecimiento .....	IX
Resumen .....	X
Capítulo I: Problema .....	11
Planteamiento del Problema .....	11
Objetivos .....	13
Objetivo General .....	13
Objetivos específicos .....	13
Justificación .....	13
Antecedentes .....	14
Proyecciones .....	20
Capítulo II: Marco teórico .....	21
La hidrología y su objetivo .....	22
Ciclo hidrológico .....	22
Etapas del ciclo hidrológico .....	23
Evaporación .....	23
Condensación .....	23
Precipitación .....	24
Esguerrimiento superficial .....	25
Infiltración y percolación .....	25
Las cuencas y las áreas tributarias .....	26
Delimitación .....	26
Componentes .....	26
Red de drenaje .....	26
Interconexión .....	27
Tamaño y forma .....	27
Función ambiental .....	27
Importancia social y económica .....	27
Gestión y conservación .....	28
Sistema de información geográfica (SIG) .....	28
Datos espaciales .....	29
Bases de datos .....	29
Métodos del QGIS en cuencas: .....	30

Herramienta de delimitación de cuencas ( <i>Watershed Delineation</i> ) .....	30
Cálculo de hidrogramas .....	31
Herramientas de análisis de red.....	31
Cálculo de parámetros hidrológicos.....	31
Modelo geométrico .....	31
Topografía.....	32
Red de drenaje.....	32
Área de drenaje .....	32
Longitud de los cursos de agua .....	32
Forma de la cuenca .....	33
Método Gumbel.....	33
Forma.....	33
Parámetros .....	33
Aplicaciones .....	34
Simplicidad.....	36
Amplia aplicación .....	36
Amplio respaldo.....	36
Supuestos restrictivos .....	36
No considera cambios en el clima.....	37
No adecuado para eventos extremadamente raros .....	37
Limitaciones en la extrapolación.....	37
Curvas IDF (CIDF) .....	37
Construcción de las Curvas IDF .....	38
El Método Racional .....	38
Caudal de escorrentía .....	39
Características de la cuenca .....	39
Intensidad de la tormenta.....	39
Fórmula Racional .....	39
El caudal y su diseño .....	40
Recopilación de datos .....	40
Análisis de precipitación .....	41
Selección del método de diseño .....	41
Aplicación del método de diseño .....	41

Diseño de infraestructuras.....	41
Ecuación de Manning:.....	41
Velocidad del Flujo (V) .....	42
Área Mojada (A).....	42
Perímetro Mojado (P) .....	42
Coeficiente de Rugosidad (n) .....	42
Pendiente del Canal (S) .....	42
Radio Hidráulico (Rh) .....	43
Storm Water Management Model:.....	43
Capítulo III: Marco metodológico .....	44
Enfoque de la investigación .....	44
Método de la investigación.....	45
Fuentes de información .....	46
Población .....	46
Muestra .....	47
Fuentes primarias. ....	47
Fuentes secundarias. ....	48
Variables o Unidades de Análisis.....	48
Cuenca .....	49
Precipitación .....	49
La infiltración .....	49
Caudal .....	50
Topografía.....	50
Instrumentos .....	51
Encuesta.....	51
Proceso para la recolección y análisis de datos .....	51
Confiabilidad, validez y objetividad.....	52
Definición operacional. ....	53
Capítulo IV: Análisis de resultados .....	53
Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales.....	54
Entrevista aplicada a los Habitantes del cantón de Guácimo.....	75
Análisis y resultados de diseño del canal .....	83
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	95

Bibliografía.....	100
-------------------	-----

### **Tablas**

Tabla 1 Tamaño del área tributaria .....	54
Tabla 2 Precipitación máxima diaria en el área tributaria de la cuenca.....	56
Tabla 3 Información de la topografía.....	58
Tabla 4 Área urbana que impermeabiliza la cuenca .....	61
Tabla 5 Estudio hidrológico para conocer las afectaciones del área tributaria.....	62
Tabla 6 Infraestructura existente de evacuar las aguas .....	64
Tabla 7 Campo hidrológico/hidráulico del área tributaria de la cuenca .....	66
Tabla 8 Periodo de retorno.....	68
Tabla 9 Periodo de retorno por utilizar en el diseño de un canal.....	70
Tabla 10 Conocimiento de cuales estaciones del IMN.....	71
Tabla 11 Estación del Instituto Meteorológico Nacional .....	73
Tabla 12 Emergencias que se hayan presentado históricamente .....	74
Tabla 13 Intervención de la Municipalidad para la solución de desbordamiento.....	75
Tabla 14 Areas con alcantarillas desbordadas .....	76
Tabla 15 Periodos de lluvia con calles inundadas .....	77
Tabla 16 Construcciones afectadas por inundaciones .....	78
Tabla 17 Problemas de aguas estancadas durante eventos de lluvia intensa .....	78
Tabla 18 Severidad de los problemas de aguas estancadas .....	79
Tabla 19 Temas de la salud pública.....	80
Tabla 20 Riesgos del agua estancada.....	81
Tabla 21 Aporte de la comunidad a las autoridades locales .....	81
Tabla 22 Area de cada microcuenca con aporte al canal .....	85
Tabla 23 Tiempo de concentración para la microcuenca.....	86
Tabla 24 Precipitación máxima anual para la estación 73147-Guápiles .....	87
Tabla 25 Intensidad de lluvia por duración y periodo de retorno (T).....	88

Tabla 26 Caudal de diseño para cada microcuenca en m <sup>3</sup> /s .....	89
Tabla 27 Dimensionamiento del canal.....	91
Tabla 28 Comparación de altura nominal.....	93
Tabla C1 Area de cuencas.....	119
Tabla E1 Precipitación máxima diaria para cada año.....	123
Tabla E2 Precipitación máxima por periodo de retorno .....	125
Tabla E3 Precipitación máxima por periodo de retorno para 24 horas.....	126
Tabla E4 Intensidad de lluvia por hora para cada periodo de retorno .....	127
Tabla E5 Correlación para periodo de retorno de 2 años.....	128
Tabla E6 Correlación para periodo de retorno de 5 años.....	129
Tabla E7 Correlación para periodo de retorno de 10 años.....	130
Tabla E8 Correlación para periodo de retorno de 25 años.....	131
Tabla E9 Correlación para periodo de retorno de 50 años.....	132
Tabla E10 Correlación para periodo de retorno de 100 años.....	133
Tabla E11 Correlación para periodo de retorno de 500 años.....	134
Tabla E12 Regresión potencial .....	135
Tabla E13 Intensidad de lluvia para cada segmento de análisis .....	136
Tabla E14 Coeficiente de escorrentia .....	137
Tabla F1 Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica por la lluvia media anual (mm).....	138

### Figuras

Figura 1 Modelo de Elevación Digital MED.....	83
Figura 2 Delimitación de microcuencas mediante la herramienta QGIS .....	84
Figura 3 Curvas IDF .....	88
Figura 4 Perfil de la modelación.....	95
Figura C1 Herramienta natural neighbour .....	113
Figura C2 Herramienta r.fill.dir .....	114

Figura C3 Herramienta r.watershed.....	114
Figura C4 Modelo de dirección de flujo.....	115
Figura C5 Modelo de dirección del drenaje.....	115
Figura C6 Herramienta r.water.outlet .....	116
Figura C7 Cuencas.....	116
Figura C8 Herramienta poligonizar .....	117
Figura C9 Herramienta unir capas vectoriales.....	117
Figura C10 Herramienta calculadora de campos.....	118
Figura C11 Area de cuencas .....	119
Figura E1 Ubicación del proyecto: centro urbano del cantón de Guácimo, Limón .....	122
Figura E2 Intensidad de lluvia para cada segmento del análisis.....	136
Figura F1 Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica .....	140
Figura H1 Perfil de tubería tramo PP8 a PP7-1 .....	142
Figura H2 Perfil de tubería tramo PP7-1 a PP7 .....	143
Figura H3 Perfil de tubería tramo PP7 a PP6 .....	144
Figura H4 Perfil de tubería tramo PP6 a PP5-1 .....	145
Figura H5 Perfil de tubería tramo PP5-1 a PP5-2 .....	146
Figura H6 Perfil de tubería tramo PP5-2 a PP5-3 .....	147
Figura H7 Perfil de tubería tramo PP5-3 a PP4-1 y PP4-1 a PP4-2 .....	148
Figura H8 Perfil de tubería tramo PP4-2 a PP4-3 .....	149
Figura H9 Perfil de tubería tramo PP4-3 a PP4-4 .....	150
Figura H10 Perfil de tubería tramo PP4-4 a PP4-5 .....	151
Figura H11 Perfil de tubería tramo PP4-5 a PP4 .....	152
Figura H12 Perfil de tubería tramo PP4 a PP3 .....	153
Figura H13 Perfil de tubería tramo PP3-1 a PP3-2 .....	154
Figura H14 Perfil de tubería tramo PP3-2 a PP3 y PP3 a PP2-1 .....	155
Figura H15 Perfil de tubería tramo PP2-1 a PP2-2 .....	156
Figura H16 Perfil de tubería tramo PP2-2 a PP2 .....	157

Figura H17 Perfil de tubería tramo PP2 a PP1-1 .....	158
Figura H18 Perfil de tubería tramo PP1-1 a PP1-3 .....	159
Figura H19 Perfil de tubería tramo PP1-3 a PP1´ .....	160
Figura H20 Perfil de tubería tramo PP1´ a PPDesf .....	161
Figura I1 Plantas de tubería tramo PP8 a PP5-2 .....	162
Figura I2 Plantas de tubería tramo PP5-2 a PP4-3 .....	163
Figura I3 Plantas de tubería tramo PP4-3 a PP4-6 .....	164
Figura I4 Plantas de tubería tramo PP4-6 a PP3 .....	165
Figura I5 Plantas de tubería tramo PP3 a PP2 .....	166
Figura I6 Plantas de tubería tramo PP2 a PP1-3 .....	167
Figura I7 Plantas de tubería tramo PP1-3 a PPDesf .....	168

### Apéndices

Apéndice A Instrumentos aplicados a funcionarios municipales .....	101
Apéndice B Instrimento aplicado a la población de Guácimo.....	104
Apéndice C Identificación de cuencas.....	106
Apéndice D Caudal de diseño.....	114
Apéndice E Estudio hidrológico y diseño hidrológico .....	115
Apéndice F Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica.....	131
Apéndice G Dimensionamiento del canal .....	134
Apéndice H Perfil de la tubería del canal .....	135
Apéndice I Planta de la tubería .....	155

### **Dedicatoria y agradecimiento**

A Dios, fuente de guía, conocimiento en mi vida y travesía académica, dedico con la más alta gratitud este proyecto. Su presencia ha iluminado cada fase, brindándome fortaleza y discernimiento.

A mi esposa, Alicia, quien ha sido mi apoyo constante en este camino académico. Su motivación, aliento, paciencia y respaldo incondicional han sido el motor detrás de mis logros. Compartir este camino ha enriquecido mi experiencia, proporcionándome la energía necesaria para superar desafíos.

A mis queridos hijos, Maoly, Luis Felipe y Mía, fuente constante de inspiración. Su paciencia y comprensión durante este proceso académico reflejan su amor incondicional. Cada logro alcanzado es también un triunfo compartido; agradezco por esperar con paciencia mientras trabajaba por este sueño.

A mis padres, guías de valores como respeto, honestidad, responsabilidad y perseverancia. Sus enseñanzas han sido mi brújula moral, orientándome hacia la excelencia y el cumplimiento de metas. Su legado perdura en cada logro alcanzado y en la ética que caracteriza este trabajo.

Este proyecto no solo es resultado del esfuerzo individual, sino también a mis profesores por su tiempo y apoyo, así como los conocimientos que me transmitieron en el camino de mi formación profesional.

A todos aquellos mencionados y a quienes, de alguna forma, han sido parte de este trayecto, les expreso mi sincero agradecimiento. Sin su presencia y apoyo, este logro no sería alcanzable.

## Resumen

El presente proyecto de investigación plantea, en su capítulo primero, como objetivo general, diseñar la línea de conducción pluvial en el distrito primero del Cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle cantonal C-06027, con un periodo de retorno de 50 años. En el capítulo segundo, se sintetiza la literatura referente a hidrología, objetivos y etapas, áreas tributarias de las cuencas, sistemas de información geográfica (SIG), generación de curvas IDF, método racional, ecuación de Manning y Storm Water Management Model (SWMM). El tercer capítulo abarca detalles del diseño, enfoque y metodologías utilizadas para el análisis y recolección de la información, utilizando un enfoque cuantitativo, aplicando instrumentos a funcionarios de la Municipalidad de Guácimo y población del cantón. En el cuarto capítulo, se exponen los principales hallazgos de la investigación determinando el área tributaria de la cuenca en 3,4 km<sup>2</sup> y la segregación de 8 microcuencas; así mismo, se utilizaron registros históricos de precipitación del IMN, lo que permitió desarrollar el análisis estadístico mediante el modelo de Gumbel y posteriormente crear las curvas IDF. Mediante kirpich-Ramser se calcularon los diferentes tiempos de concentración (Tc) para cada microcuenca, requeridos para el cálculo del caudal diseñado con el método racional. Seguidamente se procedió a modelar la geometría del canal, mediante Manning. En el último capítulo se resumen los hallazgos y logros del estudio relacionándolos con los objetivos específicos, entre ellos las dimensiones del canal con una longitud total de 2800m, altura entre 1m y 1,5m y base entre 2,5m y 4,5m.

***Palabras clave:*** Hidrología, Hidráulica, SIG, SWMM, Alcantarilla de cuadro, Dimensionamiento de alcantarilla, Guácimo.

## Capítulo I: Problema

### Planteamiento del Problema

El crecimiento acelerado en el cuadrante urbano del Distrito Primero del Cantón de Guácimo, Limón, ha intensificado el impacto de las lluvias, lo que provoca inundaciones recurrentes. El crecimiento no planificado de la construcción y la falta de canales pluviales adecuados contribuyen a la saturación de canales existentes, desbordamientos y pérdidas económicas.

A medida que la población y el desarrollo comercial aumentan sin una planificación adecuada, el riesgo de inundaciones futuras se agudiza. La poca información topográfica relevante por parte de la municipalidad, obstaculiza la implementación de soluciones efectivas, esto se debe a la carencia de un plan regulador que guíe el desarrollo ordenado, tal como lo manifiesta la Defensoría de los Habitantes (2023), “Debido a su trascendencia, los planes reguladores son considerados elementos fundamentales para el desarrollo económico, social y ambiental equilibrado en las diferentes zonas”. (p.1)

Esta problemática no solo amenaza la seguridad y bienestar de los habitantes, sino que también impone un freno al crecimiento económico del cantón. Las inundaciones recurrentes no solo causan pérdidas materiales, sino que también generan riesgos para la salud pública, tal como lo manifiesta Ávila (2009):

La mayor frecuencia de sequías e inundaciones, ocasionan migración de vectores propios de enfermedades infecciosas, como el dengue y la malaria, y afectan también la migración de otros vectores como las garrapatas, con lo que se incrementa la incidencia de enfermedades como la ehrliquiosis y el patrón migratorio de las aves, con la aparición de enfermedades como la encefalitis del "West Nile". (p.1)

En este contexto, surge la necesidad de diseñar una línea de conducción pluvial primaria con un periodo de retorno de 50 años, para mitigar los efectos adversos de las lluvias intensas y garantizar un desarrollo sostenible.

Las lluvias intensas, exacerbadas por la topografía del Cantón de Guácimo, resultan en un aumento significativo de áreas impermeabilizadas debido al acelerado crecimiento urbano. Este fenómeno, combinado con la ausencia de una planificación hidráulica, desencadena la saturación de canales y desbordamientos, lo que afecta negativamente a locales comerciales, residencias y la salud pública.

La falta de un plan regulador agrava aún más el problema, anticipando futuras inundaciones con un impacto más severo. En este escenario, la presente investigación cobra vital importancia al proponer un diseño eficaz de una línea de conducción pluvial primaria con un periodo de retorno de 50 años. Esta iniciativa no solo busca aliviar la presión hidrológica actual sino también garantizar la seguridad, bienestar y desarrollo sostenible del cuadrante urbano del Distrito Primero de Guácimo.

Con el objetivo de solucionar esta problemática de manera integral, la investigación se enfocará en el uso de dos tecnologías avanzadas, QGIS para delimitar el área tributaria de la cuenca y evaluar la funcionalidad del diseño del canal propuesto mediante el software SWMM.

La importancia de esta investigación se fundamenta en lograr mitigar los impactos negativos que han traído las inundaciones para los habitantes del cuadrante urbano del Distrito Primero de Guácimo, para garantizar la prosperidad sostenible del cantón.

Por lo anterior es que surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo diseñar la línea de conducción pluvial en el distrito primero del Cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle cantonal C-06027, con un periodo de retorno de 50 años?

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Diseñar la línea de conducción pluvial en el distrito primero del Cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle cantonal C-06027, con un periodo de retorno de 50 años.

### ***Objetivos específicos***

1. Identificar el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del Cantón de Guácimo; mediante el software QGIS.
2. Elaborar un estudio hidrológico utilizando el método racional, para calcular el caudal de diseño que requiere el canal.
3. Modelar la geometría del canal, mediante la ecuación de Manning para que cumpla con la demanda hidrológica de la cuenca.
4. Analizar la funcionalidad del diseño de conducción pluvial propuesto mediante el *software* SWMM, para el bienestar de la población del cantón de Guácimo.

## **Justificación**

El presente trabajo reviste una importancia debido a la vulnerabilidad del Cantón de Guácimo a inundaciones, agravada por su topografía única y las intensas lluvias invernales. Con el constante crecimiento habitacional y comercial, se ha generado un aumento significativo en el área impermeabilizada, contribuyendo al exceso de agua en las cuencas locales, según menciona Hernández (2017):

El número de eventos ha crecido a una velocidad vertiginosa, particularmente en áreas urbanas, impactando de manera negativa el funcionamiento normal de los sectores social,

de servicio, económico y financiero, entre otros, dejando en mayor vulnerabilidad a la población con menos recursos. (p. 6)

La utilidad práctica de este trabajo radica en proporcionar a la Municipalidad de Guácimo una guía precisa y efectiva para abordar las complejidades hidrológicas arraigadas en la región durante muchos años. Al centrarse en la implementación de tecnologías avanzadas como QGIS, y modelos hidráulicos especializados; se espera que esta investigación ofrezca una ruta clara para gestionar y prevenir inundaciones, **lo que beneficiará** tanto a las familias como al sector comercial.

La relevancia social se destaca al facilitar el crecimiento ordenado, reducir pérdidas económicas y mitigar riesgos para la salud asociados a inundaciones, abordar las limitaciones existentes, especialmente la falta de información topográfica relevante por parte de la municipalidad. **La** investigación busca superar obstáculos para brindar soluciones efectivas y sostenibles.

No solo aborda un problema crítico en términos de inundaciones, sino que también se erige como un faro de orientación para el desarrollo futuro del cantón. Su impacto trasciende la esfera técnica al abogar por la prosperidad económica y la seguridad de las comunidades, resaltando la imperiosa necesidad de intervenir y gestionar de manera integral el sistema hidrológico en el **cuadrante urbano** de Guácimo.

### **Antecedentes**

La presente sección mostrará una revisión bibliográfica cuyo propósito principal es demostrar que se ha realizado una investigación exhaustiva de todo lo pertinente al tema, así como mostrar los resultados alcanzados en investigaciones anteriores. Se seleccionará y discriminará lo útil de lo no atinente tanto en el contexto mundial como en el nacional.

Como primer referente se tiene un trabajo de tesis desarrollado en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua cuyo tema principal se basó en el diseño del sistema de drenaje pluvial para el casco urbano del municipio de La Concepción-Masaya.

El trabajo de investigación tuvo como finalidad resolver la problemática de las constantes inundaciones que se producían por la falta de un buen sistema de drenaje pluvial que evacuara las aguas hacia una zona segura de descarga. Otro problema que se detectó es que, debido a la topografía del terreno, las pendientes de los tramos de las calles son muy pronunciadas lo que llevaba a que las aguas alcanzaran grandes velocidades, que en algunos casos sobrepasaban la altura máxima de la calle-cauce.

El objetivo principal del trabajo fue diseñar un sistema de drenaje pluvial para el casco urbano del municipio de La Concepción-Masaya. El trabajo de investigación siguió una metodología desarrollada en tres pasos: Metodología y caracterización de la cuenca en estudio, curvas intensidad duración frecuencia (IDF) y criterios adoptados para el diseño hidráulico del sistema.

Entre las principales conclusiones del trabajo se encontraron que el costo sobrepasa los \$500.000 (quinientos mil dólares americanos), y que el “financiamiento para la construcción de esta obra social, traerá beneficios a los diferentes sectores de la población. El proyecto mejorará la calidad de vida de los pobladores, disminuirá la proliferación de las enfermedades, generando un mayor desarrollo en la comunidad”. (García, Montoya y Rodríguez, 2013, p. 115)

Otro trabajo que se tomó como referencia fue el de la Universidad Señor de Sipán, cuyo tema de investigación fue el diseño de un drenaje pluvial urbano de la zona urbana del distrito de Santa Cruz, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca, en el año 2017.

Este tema fue planteado debido a que, en el país de Perú, las inundaciones acontecidas cuando se presenta el fenómeno El Niño son muy intensas por lo que es necesario que, por lo menos, las provincias donde ocurren estos desastres naturales, tengan a su disposición una red de drenaje pluvial eficiente y adecuado. Por ello es preciso señalar algunos puntos relacionados con el drenaje pluvial.

La investigación se desarrolló con el objetivo principal de diseñar la red de drenaje pluvial urbano convencional en la provincia de Santa Cruz en Perú. La metodología empleada para desarrollar el trabajo de investigación fue cuantitativa del tipo cuasi - experimental con una muestra tomada de la población urbana del distrito de Santa Cruz, en un área aproximada de 40 hectáreas, destinada en su mayoría a la construcción de viviendas unifamiliares y parques.

En la Universidad de los Andes se realizó un trabajo de investigación sobre la modelación y diseño de un sistema de alcantarillado pluvial en el municipio de Uribia, La Guajira. La necesidad nace de la carencia de la prestación de servicios de drenaje y tratamiento de aguas residuales como lo son los sistemas de alcantarillado que son muy limitados en el departamento de La Guajira, especialmente en el municipio de Uribia.

En la última década, Uribia sufrió 3 inundaciones en gran parte del municipio, estos problemas de inundación se presentan cada 3 a 5 años, debido a que no cuenta con una estructura o tuberías que permitan el desagüe o evacuación del agua.

Este trabajo de investigación buscó proponer una alternativa para el problema que aquejaba el municipio, para esto se realizó un diseño de una red alcantarillado utilizando las herramientas tecnológicas ArcGIS y SewerGEMS. El sistema de alcantarillado pluvial que se diseñó tiene como principal función disminuir las inundaciones, con esto la afectación económica, salud, población y comercio del municipio de Uribia.

Esta investigación nace **con** el objetivo principal de desarrollar un diseño de sistema de alcantarillado pluvial en el municipio de Uribia La Guajira, con el **propósito** de evacuar las aguas de lluvias y disminuir la probabilidad de inundación. Este trabajo de investigación utilizó una metodología desarrollada por medio de un **diagrama** de flujo del proyecto, **localización** de la red de alcantarillado pluvial, **caudal** de entrada y **modelación** hidráulica del sistema de alcantarillado pluvial, según Joya (2021) menciona:

Como recomendación para el uso del programa SewerGEMS y ArcGIS, recalcando que es recomendable utilizar un sistema de coordenadas que vaya acorde con la ubicación del país y la zona, para que este ubique de manera correcta y simplificada cada uno de los pozos y tuberías a lo largo de la red de alcantarillado que se desarrolla. (p. 59)

La primera referencia como antecedente nacional para esta tesis de graduación se realizó en la Universidad de Costa Rica en el marco de investigación sobre el diagnóstico de las alcantarillas en el primer tramo de la ruta nacional No.1, autopista General Cañas, y el análisis hidráulico para los puntos críticos.

El manejo incorrecto de la escorrentía superficial fue la principal causa que afectó el correcto funcionamiento de las carreteras, esto provocando problemas de gran importancia y con frecuencia se subestima su importancia técnica y económica. La falta de atención a estos efectos se convierte en un obstáculo para el desarrollo sostenible, ya que conlleva impactos económicos y sociales.

El objetivo principal de esta tesis de graduación es crear una base de datos que cuente con todas las alcantarillas a lo largo de la autopista General Cañas, y para al menos un paso de agua crítico diseñarle una solución hidráulica.

El método que se utilizó y que contó con toda la información necesaria fue el método de NRCS (método de pérdidas del servicio de conservación de recursos naturales de los Estados Unidos por sus siglas en inglés), previo a lo cual, se consideraron el método racional y el método de la isócronas.

En la fase de análisis se descubre que, de ellos, solo uno es posible aplicar por las características físicas de las cuencas, el método NRCS; debido a que en el método racional se recomienda para áreas no mayores a 2 km y además, a que este método racional supone lluvias uniformes en el tiempo, lo cual es válido solo si se tienen periodos de lluvias muy cortos.

Respecto a la metodología de isócronas, no fue posible utilizarla porque presenta limitantes físicas, ya que este es derivado del método racional y tampoco funciona en áreas grandes; además, este método está relacionado con el tiempo de concentración, y su uso tiene como límite 30 minutos aproximadamente. Para estas cuencas los tiempos de concentración rondan los 60 minutos. Para Martínez (2015):

El modelaje hidrológico se realiza con datos de estaciones meteorológicas, que cuentan con registros de más de 20 años. A partir del ajuste de distribución, se logra aproximar las tormentas para distintos periodos de retorno (5, 10, 15, 20, 25, 50 y 100 años). Con las tormentas definidas y el uso de la metodología de la NRCS, se llega a estimar los caudales. (p. 88)

También se toman antecedentes importantes del trabajo de investigación realizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica sobre el diseño geométrico vial y secciones de drenaje para el mejoramiento del tramo de carretera de la Ruta Nacional N. 707, comprendido entre San Pablo de Turrubares y la ruta nacional N. 27.

El objetivo principal de esta tesis de graduación fue realizar el diseño geométrico y de drenajes menores de la ruta nacional No.707, con el uso de software de análisis para el diseño geométrico y así generar la documentación necesaria para el mejoramiento de la ruta, con el propósito de alcanzar este objetivo, se recopilaron todos los datos requeridos del área, incluyendo información topográfica, imágenes, análisis de suelos y detalles sobre los sistemas de drenaje existentes.

En lo que respecta a los sistemas de drenaje de menor escala, se procedió a calcular los flujos de agua para proponer las dimensiones apropiadas de las alcantarillas encargadas de gestionarlos. Para este cálculo, se aplicó el método racional. En cuanto al marco teórico de esta tesis de graduación específicamente en el área que nos atañe se realiza un mapeo de cuencas, hidrología e hidráulica. Como recomendaciones “Se diseñaron 20 alcantarillas de diámetro 80 cm, que es el mínimo permitido por el CR-2010 para labores de mantenimiento”. (Salas, 2018, p.61).

Otro trabajo de investigación relacionado con el diseño pluvial fue el de la tesis de grado de la Universidad Latina de Costa Rica, en donde se realizó una propuesta de diseño pluvial para el proyecto Nueva Esperanza, en La Cruz de Guanacaste.

En este trabajo primeramente se exhibieron las características tropicales y de microclimas de Costa Rica y se estableció que, durante la estación lluviosa, que abarca seis meses, en la zona se registró una considerable cantidad de precipitación diaria, con valores que alcanzaron hasta un máximo de 10 mm según datos proporcionados por el Instituto Meteorológico Nacional. Debido a la topografía extremadamente variada en un territorio relativamente reducido, la acumulación de agua durante esa época planteó desafíos ocasionales que afectaron a una porción de la población, con inundaciones por lluvias persistentes.

Una de las principales conclusiones fue la importancia y beneficio de abordar el diseño y optimización de una red pluvial con parámetros adecuados para la canalización de aguas y la atención de las necesidades de la población, por otro lado se determinó un fallo en la implementación del diseño propuesto o la inhabilitación y destrucción de esta red, ya que podría tener repercusiones negativas significativas en la población, la salud pública, la seguridad, la actividad económica y el entorno natural.

En cuanto a las recomendaciones “se recomienda realizar una correcta estrategia de supervisión técnica en la construcción del proyecto, para evitar cualquier error o mala práctica en la construcción y con ello garantizar que la propuesta cumpla con su periodo de diseño”. (Vargas, 2022, p.59).

### **Proyecciones**

Los alcances de este trabajo se dirigen específicamente a las comunidades dentro del cuadrante urbano del Distrito Primero de Guácimo, que concentra la mayor densidad poblacional.

Se pretende obtener una propuesta de diseño hidráulico de un canal que solucione la evacuación de caudales que causan daños a la comunidad de Guácimo. El trabajo tendrá por alcance el diseño general del canal, más no incluye lo referente a los estudios ambientales, tramitología municipal y entidades estatales para su puesta en marcha.

La realización de esta investigación se ve enfrentada a ciertas limitaciones en particular, tales como:

1. La falta de información topográfica relevante por parte de la municipalidad de Guácimo emerge como una limitación significativa. La carencia de estos datos esenciales puede impactar la precisión del diseño de la línea de conducción

pluvial primaria, ya que la topografía juega un papel crucial en la planificación hidráulica.

2. La ausencia de datos topográficos también puede afectar la identificación precisa del área de influencia de las cuencas fluviales, un aspecto clave que se aborda mediante el uso de tecnologías como QGIS.
3. La limitación de información geoespacial confiable puede introducir incertidumbre en el modelado hidrológico realizado con QGIS, lo que, a su vez, podría comprometer la exactitud de los cálculos de caudales convergentes.

A pesar de estas limitaciones, se buscarán alternativas y estrategias para superar este obstáculo, como la posible colaboración con entidades externas o la exploración de métodos alternativos de recopilación de datos topográficos. La transparencia sobre estas limitaciones es esencial para contextualizar los resultados de la investigación, garantizar la validez y aplicabilidad de las recomendaciones propuestas.

## **Capítulo II: Marco teórico**

La hidrológia permite analizar los aspectos relacionados con el agua en la tierra, como es su distribución, movimiento y comportamiento en cuencas hidrográficas y son fundamentales para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la planificación de infraestructuras relacionadas con el agua. “La hidrogeología es la ciencia natural que estudia el agua, su origen y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente incluyendo los seres vivos” (Béjar, 2004, p. 21).

De manera similar se entiende que “la palabra hidrología etimológicamente proviene de las raíces griegas “hydor” que significa agua y “logos” estudio. Por tanto, simplemente podemos decir que la hidrología es la ciencia que estudia el agua.” (Gámez, 2010, p. 8); es decir, que

mediante esta ciencia se puede adquirir conocimientos relacionados al recurso del agua con que cuenta la tierra.

### **La hidrología y su objetivo**

La hidrología es de mucha importancia, ya que permite gestionar con mayor precisión los recursos hídricos con los que cuenta la tierra, mismos que pueden afectar significativamente a las sociedades humanas y al medio ambiente “la hidrología proporciona al ingeniero o hidrólogo los métodos para resolver los problemas prácticos que se presentan en el diseño, y en la planeación de la operación de estructuras hidráulicas” (Béjar, 2004, p. 21).

De tal modo que, los estudios hidrológicos definen objetivos significativos para el desarrollo de estos procesos y poder alcanzar de forma exitosa cada una de sus etapas, “La hidrología tiene como objetivo fundamental la estimación del evento de diseño, cuando se proyecta la construcción de una obra hidráulica” (Gámez, 2010, p. 8). Así mismo, estos estudios permiten determinar los diseños adecuados, para brindar una solución correcta.

### **Ciclo hidrológico**

El agua es un recurso que se encuentra presente en la tierra y muestra movimientos, cambios que van modificando diferentes procesos, por lo que es de gran importancia el uso racional del mismo. El ciclo del agua describe el movimiento continuo y cíclico del agua en la Tierra entre la atmósfera, la superficie terrestre y los cuerpos de agua. Es un proceso fundamental para mantener el equilibrio y la distribución del agua en el planeta. Gámez (2010) menciona:

El agua es uno de los elementos más importantes para la vida y para el desarrollo de los organismos. También todos los procesos geomorfológicos y edafológicos, que son las relaciones físicas que ocurren en la corteza terrestre y que dan lugar a la formación del

suelo a partir de la roca, dependen de este elemento, los ciclos atmosféricos y la dinámica del “tiempo atmosférico” se manifiestan por medio del agua. (p. 14)

El agua presenta algunas cualidades específicas que ayudan a comprender el comportamiento y formación del ciclo del agua. “El agua se presenta en tres estados físicos: sólido (en forma de hielo), líquido y gaseoso (en forma de vapor)” (Gámez, 2010, p. 14). Estos tres estados son los que permiten que se den los cambios en el agua, así como también la formación de su ciclo, la cual se define como “la interminable circulación que siguen las partículas de agua en cualquiera de sus tres estados físicos, cuya circulación se efectúa en forma natural, sufriendo transformaciones físicas” (Gámez, 2010, p. 15).

## **Etapas del ciclo hidrológico**

### **Evaporación**

El ciclo comienza con la evaporación del agua desde la superficie de los océanos, lagos, ríos y suelos expuestos, así como desde las plantas a través de la transpiración. La energía solar calienta el agua, convirtiéndola en vapor de agua gaseoso que se eleva hacia la atmósfera. Gámez (2010) menciona que “Es un fenómeno por el cual el agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cercana a ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El valor aumenta con la intensidad de la radiación y la temperatura del aire.” (p. 15)

### **Condensación**

El vapor de agua se eleva en la atmósfera y, al ascender, se enfría, formando nubes. Durante este proceso de enfriamiento, el vapor de agua se condensa en gotas de agua líquida “El vapor de agua que se forma con la evaporación, sube y se transporta a la atmósfera en forma de nube hasta que se condensa” (Gámez, 2010, p. 15).

## **Precipitación**

Cuando las gotas de agua en las nubes se vuelven lo suficientemente grandes, caen a la superficie terrestre en forma de precipitación, que puede ser en forma de lluvia, nieve, granizo o llovizna. Esta es una etapa crucial del ciclo, ya que recarga las reservas de agua en la tierra “Es un fenómeno que sucede como producto de la condensación del vapor de agua.” (Gámez, 2010, p. 15).

Para la meteorología la precipitación “es cualquier forma de agua que cae del cielo. Esto incluye lluvia, nieve, neblina y rocío” (Gámez, 2010, p. 56), por lo que esta etapa es de mucha importancia para el ciclo del agua y es vital tomarle en cuenta para proyección de proyectos urbanísticos o de desarrollo social. Gámez (2010) menciona:

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico y es responsable por depositar agua fresca en el planeta. La precipitación es generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) se forman, que caen a la Tierra por gravedad. Es posible inseminar nubes para inducir la precipitación rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, generando las gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación. (p. 56)

Dicho de otro modo, las precipitaciones desempeñan un papel importantísimo. En obras de ingeniería, los estudios pluviales previos y la forma correcta en la que se garantice el drenado del agua, son vitales para las nuevas construcciones viales, férreas o urbanísticas. Gámez (2010) menciona:

El conocimiento de las precipitaciones pluviales extremas y el consecuente dimensionamiento adecuado de los órganos extravasores de las represas garantizarán su

seguridad y la seguridad de las poblaciones y demás estructuras que se sitúan aguas abajo de la misma. El conocimiento de las lluvias intensas, de corta duración, es muy importante para dimensionar el drenaje urbano, y así evitar inundaciones en los centros poblados. (p.56)

Las precipitaciones y sus características deben conocerse ya que las mismas forman parte de la información a tomar en cuenta. Es necesario tener una proyección de la intensidad del agua, la duración, sus periodos y dimensionar el drenaje urbano correctamente, para así, desarrollar de forma adecuada y ordenada los proyectos de infraestructura social, evitando catástrofes o complicaciones en la población. Gámez (2010) sugiere:

Las precipitaciones pluviales extremas; es decir, con periodos de retorno de 500, 1.000 y hasta 10.000 años, o la precipitación máxima probable, son determinadas para cada sitio en particular, con procedimientos estadísticos y con base en observaciones de larga duración. (p.59)

### ***Escurrimiento superficial***

Una parte del agua de la precipitación fluye sobre la superficie del suelo hacia arroyos, ríos y cuerpos de agua, formando el escurrimiento superficial. “Es el flujo de agua sobre la superficie del terreno sin un cauce definido, que corre en todas direcciones” (Gámez, 2010, p. 15)

### ***Infiltración y percolación***

Otra parte del agua de la precipitación se infiltra en el suelo, llenando los espacios porosos entre las partículas de suelo. Esta agua infiltrada puede moverse más profundamente en el suelo a través de un proceso llamado percolación. Parte de esta agua se convierte en agua subterránea almacenada en acuíferos.

## **Las cuencas y las áreas tributarias**

Una cuenca hidrográfica, también conocida como cuenca de drenaje o cuenca fluvial, es un área de tierra donde todas las aguas superficiales y subterráneas fluyen hacia un único punto de salida, como un río principal, lago, mar u océano. Estas áreas están delimitadas por divisiones topográficas llamadas divisores de aguas, que separan una cuenca de otra adyacente, “que hemos consultado se hace referencia a una diferencia de altura, dado en alguna extensión o superficie” (Adamo et al,1989, p.1) algunas características importantes:

### ***Delimitación***

Una cuenca hidrográfica se delimita naturalmente por las crestas de las montañas o cordilleras que forman los límites de la cuenca. Todas las aguas de lluvia que caen dentro de esta área fluyen hacia los mismos cuerpos de agua. “El espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Esta línea se traza normalmente mediante fotointerpretación de fotografía aéreas en las que se aprecia el relieve y por lo tanto las divisorias de aguas” (Ibáñez et al, 2011, p. 25).

### ***Componentes***

Las cuencas hidrográficas incluyen todos los elementos del ciclo hidrológico, como la precipitación, la escorrentía superficial, la infiltración, la evaporación y la transpiración de las plantas.

### ***Red de drenaje***

En el interior de una cuenca, se forma una red de drenaje compuesta por arroyos, ríos y afluentes que recogen y transportan el agua hacia el punto de salida de la cuenca. Ibáñez et al (2011) señalan:

La morfología de los canales fluviales naturales depende de la interacción entre el flujo y los materiales erosionables en el límite del canal. Por su parte, el flujo de agua está

sometido a dos fuerzas principales: la gravedad y la pendiente del canal, mientras que la fricción se opone al movimiento del agua. (p.35)

### ***Interconexión***

Las cuencas hidrográficas están interconectadas entre sí a través de la red de ríos y afluentes. Las aguas que fluyen de una cuenca pueden eventualmente alimentar otras cuencas aguas abajo.

### ***Tamaño y forma***

Las cuencas hidrográficas varían en tamaño y forma, desde pequeñas cuencas de drenaje de solo unos pocos kilómetros cuadrados hasta grandes cuencas de ríos que abarcan miles de kilómetros cuadrados. “El perfil longitudinal de un río es la línea obtenida al representar las diferentes alturas desde su nacimiento a su desembocadura” (Ibáñez et al, 2011, p.35)

### ***Función ambiental***

Las cuencas hidrográficas son importantes para el medio ambiente ya que proporcionan hábitats para la vida silvestre, regulan el ciclo del agua, controlan la erosión del suelo y contribuyen a la recarga de los acuíferos subterráneos.

### ***Importancia social y económica***

Las cuencas hidrográficas son vitales para la sociedad y la economía, ya que proporcionan agua para el consumo humano, la agricultura, la industria, la navegación y la recreación, además de la importancia social que esta representa según menciona Perales (2016):

Un espacio delimitado por los nacimientos de los cursos de agua y las zonas altas que los protegen y nutren, y se extiende hasta donde llegan las aguas «naturalmente» y hasta donde se conduce el agua por los hilos construidos por las sociedades. Se puede decir que es una zona que comprende la cuenca geográfica y sus zonas de influencia, determinadas

por los usuarios y usuarias del agua. Una cuenca social suele implicar un traslape de varias cuencas geográficas entrelazadas por el tejido social que construyen los múltiples usuarios. (p. 36)

### ***Gestión y conservación***

La gestión sostenible de las cuencas hidrográficas es fundamental para garantizar el suministro continuo de agua limpia y la protección de los ecosistemas acuáticos. “En términos generales, la conservación y manejo de los bosques y páramos, manteniendo su diversidad biológica, productividad, capacidad de regeneración y vitalidad; es todavía incipiente, a pesar de la riqueza biológica y forestal del país” (Camacho, 2008, p. 57). Esto incluye medidas de conservación del suelo, control de la contaminación, gestión de recursos hídricos y planificación del uso del suelo.

### **Sistema de información geográfica (SIG)**

Un Sistema de Información Geográfica (SIG), también conocido como *GIS* por sus siglas en inglés (*Geographic Information System*), es una tecnología que permite capturar, almacenar, manipular, analizar y visualizar datos espaciales; es decir, información que tiene una ubicación geográfica específica en la superficie de la Tierra. Un SIG combina datos geográficos (como mapas, imágenes satelitales, modelos digitales de elevación) con datos tabulares (como bases de datos, censos, información climática), para crear información nueva que ayuda en la toma de decisiones y en la comprensión de patrones y fenómenos en el espacio. Son “herramientas para la resolución de problemas territoriales y la información geográfica en su representación de manto digital” (Sendra, 1994, p. 208).

### ***Datos espaciales***

Estos dentro del Sistema de Información Geográfica (SIG), pueden ser representados en forma de puntos, líneas, polígonos o *raster* (grillas de celdas) y contienen información geográfica como coordenadas, límites de regiones, elevaciones. “En el ámbito de los SIG, puede decirse en líneas” (Olaya, 2009, p.3).

### ***Bases de datos***

Almacena información no gráfica asociada con los datos espaciales, como atributos de los elementos geográficos, metadatos, descripciones. “representada por las bases de datos espaciales y las bases de datos descriptivas” (Saavedra, 1992, p. 33)

Estos sistemas tecnológicos forman parte de herramientas importantes para conocer datos necesarios para el desarrollo de proyectos. “Los SIG se pueden considerar como una de esas tecnologías en donde el límite de aplicación depende de los equipos empleados, el recurso humano disponible, los propósitos que se persigan y su imaginación” (Saavedra, 1992, p. 39). Sus aplicaciones pueden ser según Saavedra (1992):

- Las matemáticas, para el diseño teórico de los modelos y el análisis espacial, Permite analizar relaciones espaciales entre diferentes elementos geográficos, como proximidad, conectividad, distribución.
- Geología, geomorfología modelada, y Simulación, utilizado para crear modelos digitales que simulan fenómenos geográficos, como el flujo de agua, la propagación de incendios forestales, definición de cuencas.
- La investigación operacional, en los procesos de optimización, en la toma de decisiones, análisis de probabilidades como también cartografía y visualización, Genera

mapas temáticos, cartografía digital y otros productos visuales para representar la información geográfica de manera efectiva.

- Planificación y gestión del territorio ayuda en la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo urbano, la conservación del medio ambiente, la gestión de recursos naturales.
- Servicios de emergencia y seguridad utilizado en la gestión de desastres, planificación de rutas de evacuación, análisis de riesgos. Los sensores remotos, que proporcionan una gran cantidad de fuentes de información, desde fotografías aéreas, imágenes de satélite, imágenes de radar. (p.39-40)

### **Métodos del QGIS en cuencas:**

En el software QGIS (Quantum GIS), una plataforma de código abierto ampliamente utilizada para el análisis y visualización de datos geospaciales, existen varios métodos y herramientas que pueden ser útiles para el análisis de cuencas hidrográficas. Para Del Pezo (2023):

Es una aplicación profesional de GIS (Sistemas de Información Geográfica), impulsado por voluntarios y de código abierto para que los usuarios puedan contribuir realizando reportes, correcciones de errores, así como emitir ideas o códigos para ayuden a crecer el sistema o construir nuevas funciones para el mismo, construido sobre Software Libre y de Código Abierto (p. 10)

### **Herramienta de delimitación de cuencas (*Watershed Delineation*)**

QGIS cuenta con *plugins* y herramientas que permiten delinear cuencas hidrográficas a partir de datos de elevación, como modelos digitales de elevación (DEM). “En informática, un complemento o plugin es una aplicación (o programa informático) que se relaciona con otra para

agregarle una función nueva y generalmente muy específica” (Microsoft, 2005 citado por Duarte y Sierra, 2022).

### ***Cálculo de hidrogramas***

Utilizando datos de precipitación y modelos de escorrentía, es posible calcular hidrogramas para diferentes puntos de salida en una cuenca. “Los modelos conceptuales hacen una representación de la cuenca basada en combinaciones de embalses y canales, lineales o no lineales” (Smith y Velásquez, 1995, p. 55).

### ***Herramientas de análisis de red***

QGIS ofrece herramientas para realizar análisis de redes hidrográficas, tales como calcular la longitud de los cursos de agua, identificar confluencias y bifurcaciones y determinar la densidad de la red hidrográfica en una cuenca. (Smith y Velásquez, 1995, p. 61).

### ***Cálculo de parámetros hidrológicos***

Utilizando algoritmos y *plugins* específicos, es posible calcular parámetros hidrológicos importantes como caudales máximos, tiempo de concentración, coeficientes de escorrentía, entre otros, para caracterizar el comportamiento hidrológico de la cuenca. (Smith y Velásquez, 1995, p. 61).

### **Modelo geométrico**

Un modelo geométrico, en el contexto de la hidrología y la ingeniería hidráulica, se refiere a una representación matemática y gráfica de las características físicas de una cuenca hidrográfica, como su forma, tamaño, pendiente, y distribución de la precipitación. En relación **con** la superficie, esta debe ser capaz de “obtener un modelo geométrico de las unidades hidrogeológicas presentes, siempre y cuando se cuente con una base de datos estratigráfica que permita inferir el comportamiento de los topes y la bases de éstas” (Lima et al., 2012, p. 58).

Este tipo de modelo se utiliza para entender y analizar el comportamiento hidrológico de una cuenca y para predecir cómo responderá ante diferentes condiciones de precipitación y uso del suelo. Según Lima et al. (2012), los componentes de un modelo geométrico de cuenca pueden ser:

### ***Topografía***

La topografía de la cuenca incluyendo su elevación y pendiente; es uno de los componentes más importantes de un modelo geométrico. Esto se representa típicamente mediante un modelo de elevación digital, el cual proporciona información detallada sobre la elevación del terreno en cada punto de la cuenca.

### ***Red de drenaje***

La red de drenaje de la cuenca, que consiste en ríos, arroyos y canales, es otro componente clave de un modelo geométrico. Se representa mediante líneas que conectan los puntos de salida de flujo de agua en la cuenca, y su distribución y densidad pueden tener un impacto significativo en el comportamiento hidrológico de la cuenca.

### ***Área de drenaje***

El área de drenaje de la cuenca; es decir, el área total que drena hacia un punto específico de salida, es un parámetro fundamental en el modelo geométrico. Este se calcula sumando las áreas de todas las celdas del DEM que contribuyen al punto de salida.

### ***Longitud de los cursos de agua***

La longitud de los cursos de agua principales en la cuenca también es un componente importante del modelo geométrico. Esta longitud puede influir en el tiempo de concentración del flujo de agua en la cuenca, así como en la velocidad y la dinámica del flujo.

### ***Forma de la cuenca***

La forma de la cuenca, medida por la relación entre el perímetro y el área de la cuenca, puede tener un impacto en la velocidad de respuesta y la magnitud de los eventos de escorrentía.

(p. 53-59)

### ***Método Gumbel***

El método de Gumbel, también conocido como la distribución de Gumbel o la distribución de valores extremos de tipo I, es una técnica utilizada en hidrología y otras disciplinas para modelar la distribución de valores extremos de una variable, como las crecidas de los ríos, las sequías, las temperaturas extremas, entre otros. Fue desarrollado por el estadístico británico Sir Robert Gumbel a principios del siglo XX.

La distribución de Gumbel se utiliza para estimar la probabilidad de eventos extremos; es decir, eventos que ocurren con una frecuencia muy baja pero que tienen un gran impacto. Es importante tomar en cuenta algunas características para este método, según Pinargote y Vera (2019) señalan:

### ***Forma***

La distribución de Gumbel tiene una forma de campana invertida, con una cola larga hacia la derecha. Esto significa que los valores extremos son más probables que con otras distribuciones de probabilidad.

### ***Parámetros***

La distribución de Gumbel está definida por dos parámetros: la ubicación ( $\mu$ ) y la escala ( $\alpha$ ). La ubicación determina el punto en el eje x donde la distribución comienza a aumentar, mientras que la escala controla la forma de la distribución.

### *Aplicaciones*

Este método se utiliza comúnmente en hidrología para estimar caudales máximos, niveles de inundación o precipitaciones extremas. También se puede aplicar en otras áreas, como la ingeniería, la meteorología y la climatología.

El método de Gumbel se basa en la teoría estadística de valores extremos y se utiliza para ajustar datos observados a la distribución de Gumbel mediante técnicas de ajuste de distribución, como el método de los momentos o el método de máxima verosimilitud. Una vez ajustada la distribución, se pueden hacer extrapolaciones para estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos que no han sido observados directamente en el período de estudio. (p. 9)

El uso de la ecuación gráfica para aplicar el método Gumbel se entiende de la siguiente manera: “Esta es una distribución de valores extremos, formulada por Gumbel (1941) y posteriormente Chow (1954) que es una distribución logarítmica normal, para lo cual, el valor extremo o valor máximo ( $P_{dmax}$ ) se obtiene mediante la ecuación de análisis de frecuencia:

$$Pd_{max} = \mu + \alpha \left( -\ln \left( -\ln \left( \frac{Probabilidad}{100\%} \right) \right) \right)$$

Con los parámetros de la distribución Gumbel se encuentra la precipitación diaria máxima ( $P_{dMAX}$ ), basado en la probabilidad por periodos de retorno, mediante la utilización de las siguientes ecuaciones:

$$Probabilidad = 100 * \left( 1 - \left( \frac{1}{T} \right) \right)$$

Donde: T= Es el periodo de retorno.

Para los parámetros de la ubicación de Gumbel:

$$\mu = \bar{X} - 0,45 * S$$

y la escala en la distribución de Gumbel:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

Donde la precipitación promedio se calcula con la siguiente ecuación :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

Donde la desviación estándar (S) =

$$S = \frac{\sum X_i - \bar{X}}{N}$$

Xi: Precipitación máxima diaria por año

N: Cantidad de datos (años)

Con las anteriores ecuaciones se logra encontrar la precipitación diaria máxima por periodo de retorno, la cual es necesaria para la ecuación de las curvas IDF.

Es común utilizar *software* estadístico para ajustar los datos observados a la distribución de Gumbel y calcular las probabilidades correspondientes utilizando esta ecuación. Para estimar la probabilidad de eventos extremos, se suelen utilizar datos observados y calcular los parámetros  $\mu$  y  $\alpha$  de la distribución.

Es difícil situar el origen de la teoría de valores extremos, pues existen muchas referencias que tocan el tema, desde el punto de vista teórico y práctico. Según Torres (2019), los desafíos y ventajas de la aplicación del método Gumbel podrían ser:

### ***Simplicidad***

Es relativamente fácil de entender y aplicar, lo que lo hace atractivo para su uso en análisis de eventos extremos.

Buena aproximación: Para datos que siguen una distribución de valores extremos de tipo I, el método de Gumbel proporciona una buena aproximación para la distribución de eventos extremos.

### ***Amplia aplicación***

Se puede aplicar a una variedad de datos, incluidos caudales máximos, niveles de inundación, precipitaciones extremas y otras variables hidrológicas y climáticas.

### ***Amplio respaldo***

Ha sido ampliamente utilizado y estudiado en la literatura científica, lo que proporciona una base sólida para su aplicación práctica.

Flexibilidad: Aunque fue desarrollado para modelar valores extremos, también se puede aplicar para analizar datos menos extremos con buenos resultados en algunos casos.

### ***Supuestos restrictivos***

El método de Gumbel asume que los datos siguen una distribución de valores extremos de tipo I, lo cual puede no ser válido en todos los casos. Si los datos no siguen esta distribución, los resultados del método pueden ser incorrectos.

Sensibilidad a los datos: El ajuste de los parámetros de la distribución de Gumbel puede ser sensible a los datos de entrada, lo que puede generar estimaciones imprecisas, especialmente en conjuntos de datos pequeños.

### ***No considera cambios en el clima***

El método de Gumbel asume que la distribución de eventos extremos es constante en el tiempo, lo que puede no ser válido en un contexto de cambio climático donde se esperan cambios en la frecuencia e intensidad de eventos extremos.

### ***No adecuado para eventos extremadamente raros***

Para eventos extremadamente raros o de baja probabilidad, el método de Gumbel puede no proporcionar estimaciones precisas debido a la falta de datos para ajustar la distribución.

### ***Limitaciones en la extrapolación***

El método de Gumbel puede tener limitaciones en la extrapolación más allá del rango de datos observados, lo que puede llevar a estimaciones poco confiables de eventos extremos o extremadamente raros. (p. 112-121)

### **Curvas IDF (CIDF)**

Las curvas IDF se generan a partir de datos históricos de lluvia recopilados en estaciones meteorológicas, que registran la intensidad de la lluvia en diferentes intervalos de tiempo (por ejemplo, 5 minutos, 10 minutos, 1 hora, etc.) durante un período de tiempo prolongado. “Las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF) son una herramienta fundamental para el diseño de estructuras hidráulicas basadas en modelación lluvia – escorrentía” (Pulgarín, 2008, p. 1)

Las curvas IDF suelen representarse gráficamente con la intensidad de la lluvia en el eje vertical (generalmente en mm/h o pulgadas/h) y la duración de la lluvia en el eje horizontal (generalmente en minutos u horas). Se generan curvas separadas para diferentes períodos de retorno, como 2 años, 5 años, 10 años, 25 años, 50 años, 100 años” Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la

intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno” (Pizarro et al., 2003, p. 2)

### **Construcción de las curvas IDF**

“Existen dos métodos; el primero, llamado de intensidad - período de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología” (Pizarro, 2003, p. 3). El segundo “método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas, cuya ecuación (2) es” (Pizarro, 2003, p. 3):

Ecuación de Aparicio:

$$i = \frac{kT^m}{D^n}$$

Donde: i: Intensidad de lluvia (mm)

T: Periodo de retorno; D: Duración de la lluvia; K, m y n: constantes de ajuste

Siguiendo la misma línea, es importante conocer que las curvas IDF son específicas para cada ubicación geográfica, ya que los patrones de lluvia varían considerablemente de un lugar a otro debido a factores como la topografía, la latitud, la altitud y la proximidad a cuerpos de agua; “debe entonces usarse la información pluviométrica para estimar crecidas de cierta frecuencia” (Pizarro, 2003, p. 4)

### **El método racional**

Es una técnica ampliamente utilizada en hidrología para estimar el caudal máximo de escorrentía superficial en una cuenca de drenaje, generalmente como parte del diseño de infraestructuras hidráulicas, como alcantarillas, puentes, sistemas de drenaje pluvial, entre otros.

Este método proporciona una manera rápida y sencilla de calcular el caudal de diseño en función de las características físicas de la cuenca y las condiciones climáticas. Se toman en cuenta los siguientes aspectos tal y como Temez, J. (1992) alude:

### ***Caudal de escorrentía***

El método racional se utiliza para estimar el caudal máximo de escorrentía superficial en una cuenca durante una tormenta intensa. Este caudal representa la cantidad de agua que fluye por una sección transversal de la cuenca en un momento dado y se expresa típicamente en unidades de volumen por unidad de tiempo (por ejemplo, metros cúbicos por segundo).

### ***Características de la cuenca***

El método considera diversas características de la cuenca, como su área, el coeficiente de escurrimiento (también conocido como coeficiente de escorrentía o coeficiente de escurrimiento directo), y la duración de la tormenta.

### ***Intensidad de la tormenta***

La estimación del caudal máximo de escorrentía depende de la intensidad de la tormenta, que se expresa en términos de la precipitación máxima probable para una duración específica, comúnmente expresada en milímetros por hora.

### ***Fórmula racional***

La fórmula básica del método racional se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

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

Donde:

$q$ : es el caudal máximo de escorrentía superficial (en unidades de volumen por unidad de tiempo, por ejemplo, metros cúbicos por segundo).

$C$  es el coeficiente de escurrimiento, que representa la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial.

$i$  es la intensidad media máxima para una duración igual al tiempo de concentración.

$A$  es el área de la cuenca (en unidades de superficie, por ejemplo, kilómetros cuadrados).

3600 es un factor de conversión para pasar de segundos a horas.

El **método racional** es una herramienta valiosa en el diseño hidráulico y la gestión de recursos hídricos, especialmente en situaciones donde se requiere una estimación rápida y aproximada del caudal máximo de escorrentía superficial. Sin embargo, es importante tener en cuenta sus limitaciones y considerar otros métodos más complejos cuando se requiere una mayor precisión o se presentan condiciones hidrológicas especiales. (p. 51-55)

### **El caudal y su diseño**

El diseño del caudal, en el contexto de la ingeniería hidrológica, se refiere al proceso en el cual se determina el caudal máximo esperado en un punto específico de una cuenca hidrográfica durante eventos de precipitación intensa. El diseño del caudal implica una serie de pasos y consideraciones importantes.

#### ***Recopilación de datos***

El primer paso en el diseño del caudal implica recopilar datos hidrológicos y meteorológicos relevantes, como registros de precipitación, caudales históricos, características de la cuenca (área, pendiente, uso del suelo, tipo de suelo, etc.), y datos climáticos.

### ***Análisis de precipitación***

Se realiza un análisis de precipitación para determinar la intensidad y la duración de las tormentas de diseño. Esto implica el uso de datos históricos de precipitación, análisis de registros pluviométricos y el uso de modelos de precipitación.

### ***Selección del método de diseño***

Existen varios métodos para estimar el caudal máximo de diseño, como el método racional, el método de SCS (servicio de conservación de suelos de EE. UU).

### ***Aplicación del método de diseño***

Una vez seleccionado el método de diseño adecuado, este se aplica para estimar el caudal máximo de diseño en el punto de interés. Esto implica el uso de fórmulas y procedimientos específicos para calcular el caudal máximo en función de la intensidad de la tormenta, las características de la cuenca y otros parámetros relevantes.

### ***Diseño de infraestructuras***

Con el caudal máximo de diseño determinado, se diseñan las infraestructuras hidráulicas necesarias para manejar el flujo de agua durante eventos extremos. Esto incluye el dimensionamiento de tuberías, la ubicación de alcantarillas, la planificación de canales de drenaje.

Es importante tener en cuenta que el diseño del caudal es una parte fundamental del proceso de diseño hidráulico, requiere un enfoque cuidadoso y sistemático para garantizar la seguridad y eficacia de las infraestructuras hidráulicas ante eventos extremos de precipitación.

### **Ecuación de Manning:**

La "fórmula de Manning" o "fórmula de rugosidad de Manning", nombrada en honor al ingeniero hidráulico Robert Manning, es una fórmula empírica ampliamente utilizada para

calcular la velocidad del flujo en canales, ríos y tuberías. Según Ávila (2019):

Es el resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que arroja para aplicaciones prácticas, la fórmula Manning se ha hecho la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto (p.18)

La ecuación de Manning es el resultado del proceso de un ajuste de curvas, y por tanto, es completamente empírica en su naturaleza. Debido a su simplicidad de forma y a los resultados satisfactorios que la ecuación brinda, Ávila (2019) hace referencia a los **parámetros** que se deben tomar en cuenta para dichos resultados:

#### ***Velocidad del flujo (V)***

Es la velocidad del agua en un canal o tubería, medida en unidades de longitud por unidad de tiempo (por ejemplo, metros por segundo).

#### ***Área mojada (A)***

Es el área de la sección transversal del flujo que está en contacto con el agua. En un canal abierto, esto sería el área entre el nivel del agua y el fondo del canal.

#### ***Perímetro mojado (P)***

Es la longitud de la línea que forma el contorno de la sección transversal del flujo y está en contacto con el agua.

#### ***Coefficiente de rugosidad (n)***

Es un parámetro que representa la rugosidad de las paredes del canal o tubería y el lecho del canal, así como la obstrucción del flujo por vegetación, sedimentos u otros objetos.

#### ***Pendiente del canal (S)***

Es la pendiente de la superficie del agua en relación con la dirección del flujo.

### **Radio hidráulico ( $R_h$ )**

Es la división del área entre el perímetro mojado. (p. 18)

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

La fórmula de Manning es una herramienta fundamental en la ingeniería hidráulica y se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, como el diseño de canales, cálculos de caudales en ríos y la gestión de recursos hídricos.” se ha hecho la más usada de todas las fórmulas de flujo uniforme para cálculos de escurrimiento en canal abierto” (Ávila, 2019, p.18)

### ***Storm Water Management Model:***

El *Storm Water Management Model (SWMM)* es un modelo de simulación computarizado utilizado para modelar el flujo hidrológico en sistemas de drenaje urbano. Su desarrollo comenzó en la década de 1960 bajo la supervisión del Servicio de Investigación Hidrológica de los Estados Unidos (USGS) en respuesta a la necesidad de gestionar eficazmente el agua de lluvia en áreas urbanas en crecimiento.

El *Storm Water Management Model (SWMM)* es una herramienta versátil que se utiliza en una amplia gama de aplicaciones relacionadas con la gestión del agua de lluvia y el drenaje urbano. “El software resuelve el proceso de transformación de lluvia en caudal de escorrentía en la superficie de las cuencas urbanas, y el tránsito del flujo a través de las redes de tuberías” (Anta y Naves 2019, p. 1).

Según Anta y Naves (2019), en definitiva, con *SWMM* se podrán realizar las siguientes tareas:

Diseñar y dimensionar los componentes de un sistema de drenaje para el control de inundaciones.

Diseñar distintos elementos de retención o infiltración para el control de inundaciones, control hidrológico o el control de la contaminación.

Diseñar estrategias para la minimización de los vertidos desde las redes de saneamiento unitarias, conocidos como desbordamientos de sistemas unitarios (DSU) en la legislación española o *combined sewer overflows* (CSO) en la literatura internacional.

Evaluar el impacto de las infiltraciones en los sistemas de drenaje unitario o separativos.

Diseñar y evaluar la eficacia de medidas para el control de la escorrentía, como la aplicación de técnicas SUDS. (p. 3)

### **Capítulo III: Marco metodológico**

El presente capítulo abarca los pormenores del diseño, el enfoque es por los resultados que se obtuvieron producto de la aplicación de los instrumentos y metodologías utilizadas para el análisis, recolección de la información. Esta investigación abarca un enfoque cualitativo, reflejado en un cuestionario aplicado a funcionarios **municipales** además de entrevista aplicada a habitantes del Cantón de Guácimo; también un enfoque cuantitativo ya que para este proyecto se requirió información sobre datos numéricos históricos de precipitación, topografía, área de la cuenca, curvas IDF y cálculo del caudal.

#### **Enfoque de la investigación**

En relación con el enfoque, esta investigación sigue un estilo mixto para poder obtener datos más exactos, esto implica que las preguntas realizadas son más específicas para obtener respuestas más numéricas y así se logra obtener datos para realizar el diseño de la línea de conducción pluvial en el distrito primero del Cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle

cantonal C-06027, con un periodo de retorno de 50 años. En relación **con** este enfoque, Hernández- Sampieri, R., Mendoza, C. (2018) define que “Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio” (p.612).

### **Método de la investigación**

La investigación se realiza en el Cantón de Guácimo y se desarrolla bajo un diseño no experimental. Para Hernández *et al.* (2014) este diseño “Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables”. (p.152).

**De acuerdo con** lo anterior, el diseño metodológico no experimental no requiere la manipulación por medio de cambios de las variables, lo que busca dicho diseño es que se muestren los resultados cuestionados en la investigación de una manera natural, mostrando el verdadero contexto de la situación, basándose en la información real y verídica dada por la población muestra con la que se va a trabajar.

En el caso de la presente investigación, requiere recopilación de información e indagación por medio de instrumentos, como lo es la encuesta que permite dar respuesta a la interrogante; por lo que no se requiere algún otro diseño de elaboración de instrumentos o pruebas de la población. Por lo mencionado anteriormente se trabaja con un enfoque descriptivo. Este tipo de enfoque, según Ortiz (2015), se refiere a que:

La investigación descriptiva tiene por objeto reflejar las características observables y generales con vistas a clasificarlas, establecer relaciones entre variables, etc. Su finalidad es exponer las características de los fenómenos. Tiene carácter diagnóstico cuando se propone establecer relaciones causales entre ellos. (p.35)

### **Fuentes de información**

A continuación, se procede a describir la población, muestra, fuentes primarias y fuentes secundarias, las cuales son vitales para la investigación; debido a que permiten la definición de los sujetos en estudio. Mata (2021) define a los sujetos de estudio como que “son aquellas personas o grupos de personas que forman parte de los colectivos cuyas características, opiniones, experiencias, condiciones de vida, entre otros rasgos y atributos cobran interés particular para investigaciones con enfoque cuantitativo o cualitativo.” Basado en lo anterior, este apartado permite que el investigador conozca los participantes en la investigación.

Las fuentes de información son todos los documentos impresos o eléctricos utilizados para sustentar una posición en una investigación. Según manifiesta Hernández, Fernández y Baptista (2014), “la finalidad de revisar la literatura es obtener y examinar las fuentes primarias o referencias relevantes para nuestro estudio de acuerdo con el planteamiento del problema.” (p.6). Esto quiere decir, que la fuente de información es trascendental para poder realizar el análisis de los instrumentos utilizados.

### ***Población***

El autor Hernández et al. (2018) describe población como “el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (p. 198). En este caso la población que se toma como referencia para el trabajo se puede decir que son el personal de la Municipalidad de Guácimo y la población del Cantón de Guácimo.

## ***Muestra***

La muestra, según Hernández et al. (2014) es “en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (p. 175). Por esta razón, la muestra será el ingeniero de la Municipalidad de Guácimo, con el fin de que la información tenga más respaldo y confiabilidad. También se trabajará con expertos en la materia, el alcalde y un funcionario municipal. En relación con la población del cantón, se tiene que se estudiaron a 25 ciudadanos, 12 hombres y 13 mujeres.

## **Fuentes primarias.**

Según Maranto *et al.* (2015) “Este tipo de fuentes contienen información original; es decir, son de primera mano, son el resultado de ideas, conceptos, teorías y resultados de investigaciones. Contienen información directa antes de ser interpretada, o evaluado por otra persona.” (párr. 2). Se puede decir, que las fuentes primarias son las que permiten al investigador conocer de forma directa la información. Su obtención se realiza mediante la aplicación de instrumentos que se elaboraron con anterioridad y que ayudan al procesamiento de la información.

Estas fuentes son los datos que se recopilan de los sujetos y las situaciones a las que se encuentran expuestos, son las encuestas o preguntas para efectos de esta investigación. Los sujetos de información corresponden a las 25 personas, de las que 13 son mujeres de la comunidad, 12 hombres de la comunidad, libros de texto con especialidad en hidráulica, ingeniero municipal, funcionario municipal y alcalde; además del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

### **Fuentes secundarias.**

Esta fuente, al igual que la primaria, tiene un papel importante, son las que ayudan para sustentar la investigación y así lograr cumplir con los objetivos, por lo que Maranto *et al.* (2015) indican que:

Este tipo de fuentes son las que ya han procesado información de una fuente primaria. El proceso de esta información se pudo dar por una interpretación, un análisis, así como la extracción y reorganización de la información de la fuente primaria. (párr. 3).

Con respecto a las fuentes secundarias se puede señalar que, estas permiten obtener información por la búsqueda y el acceso a la información que se encuentra en el medio, además que da al investigador un conocimiento amplio de la información necesaria para poder dar un sustento a la investigación. Entre las fuentes que se utilizaran para la recopilación se tienen libros, artículos, tesis, revistas, algunos impresos y otros digitales, que no sean mayor a 7 años.

Por tanto, las fuentes secundarias interpretan y analizan fuentes primarias. En el presente estudio, se utilizaron como fuentes secundarias documentos escritos como informes de trabajos finales de graduación, software QGIS, ecuación de Manning , método Gumbel, Storm Water Management Model, artículos de revistas especializadas, programas de estudios, políticas nacionales y documentos relacionados con el diseño de una línea de conducción pluvial en el distrito primero del Cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle cantonal C-06027, con un periodo de retorno de 50 años.

### **Variables o unidades de análisis**

Las variables son vitales en la investigación ya que reflejan las diferentes características o propiedades de los seres vivos, objetos o fenómenos que tienen la particularidad de cambiar y que pueden ser observadas, medidas, analizadas y controladas durante el proceso de

investigación. Según Hernández et, al. (2014). “Las variables adquieren valor para la investigación científica cuando llegan a relacionarse con otras variables, es decir, si forman parte de una hipótesis o una teoría”. (p.105)

Las variables del presente trabajo de investigación son las siguientes:

### ***Cuenca***

Una cuenca hidrográfica, también conocida como cuenca de drenaje o cuenca fluvial, es un área de tierra donde todas las aguas superficiales y subterráneas fluyen hacia un único punto de salida, como un río principal, lago, mar u océano. Estas áreas están delimitadas por las divisiones topográficas llamadas divisores de aguas, que separan una cuenca de drenaje de las cuencas adyacentes.

### ***Precipitación***

La precipitación se refiere a cualquier manifestación de agua, en estado sólido o líquido, que desciende desde la atmósfera hasta la superficie terrestre, ejemplos de esto son la lluvia, llovizna, granizo y nieve. Su origen nace en el proceso de elevación de una masa de agua en la atmósfera, esta provoca su enfriamiento y la condensación de parte de su humedad. Existen diversos dispositivos para medir la precipitación, como los son los Pluviómetros, Pluviógrafos, radares meteorológicos y Satélites meteorológicos. La unidad de medición de la precipitación suele ser el milímetro (mm).

### ***La infiltración***

Se describe generalmente como la penetración vertical del agua en el suelo, es un fenómeno de suma relevancia en la planificación y evaluación de sistemas de riego en terrenos agrícolas. Entre las principales técnicas empleadas para calcular la infiltración en el suelo se

incluyen: el uso del infiltrómetro de doble anillo, infiltrómetros de discos de tensión y simuladores de lluvia. (Delgadillo & Pérez, 2016, p. 1).

La infiltración se mide generalmente en términos de velocidad o tasa de infiltración, y la unidad de medida más comúnmente utilizada para ello es la velocidad de infiltración expresada en milímetros por hora (mm/h).

### ***Caudal***

Se describe como aquel flujo de agua que conserva la integridad funcional, composición y organización del ecosistema fluvial contenido en el curso de agua en su estado natural. Se identifican cuatro grupos principales de metodologías ampliamente reconocidas: la metodología hidrológica, la metodología de valoración hidráulica, la metodología de simulación de hábitat y la metodología holística. (Bello, & Pino, 2000, p. 4).

La unidad de medida del caudal depende del contexto y la cantidad de flujo que se esté midiendo. Las unidades comúnmente utilizadas para medir el caudal son litros por segundo (L/s) o/y metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

### ***Topografía***

Es entendida como el conjunto de técnicas empleadas para la medición y la recolección de datos físicos relacionados con la superficie terrestre y el entorno ambiental (Wolf & Ghilani, 2015, p. 1). En topografía, la unidad de medida más comúnmente utilizada para las distancias lineales es el metro (m). Además, para medidas de ángulos, la unidad más comúnmente utilizada es el grado (°), aunque a veces también se usan grados decimales o grados minutos segundos (DMS).

## **Instrumentos**

Para este apartado se aplicaron dos encuestas virtuales tanto a hombres como a mujeres, la segunda encuesta está dirigida al ingeniero de la Municipalidad de Guácimo, funcionario municipal y al alcalde, los cuales lo realizaron de forma virtual. El objetivo de las encuestas fue analizar el diseño de una línea de conducción pluvial en el distrito primero del Cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle cantonal c-06027, con un periodo de retorno de 50 años.

### ***Encuesta.***

Se elaboraron dos instrumentos de encuestas, los cuales fueron aplicados a cada uno de los participantes en la muestra de la investigación. El objetivo que perseguía esta encuesta era identificar y analizar, de primera mano, el diseño de la línea de conducción pluvial en el distrito primero del cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle cantonal c-06027, con un periodo de retorno de 50 años. La encuesta es la herramienta que se utiliza para la recopilación de datos, ya que se permite de manera más eficaz y exacta conocer los datos que se facilitan por parte de los habitantes del Cantón de Guácimo; esta se estructura de manera cerrada, ya que al ser cuantitativa se deben obtener los datos de manera más precisa; la aplicación de los instrumentos se realiza de manera virtual. Según Hernández (2014), “Recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico” (p.198).

## **Proceso para la recolección y análisis de datos**

El análisis de los datos se realiza por etapas. Inicialmente, se toma la información obtenida de los instrumentos, la cual consiste en una encuesta dirigida a las personas de la comunidad, tanto a hombres como a mujeres, para contar con la información organizada y sistematizada. La descripción detallada de la experiencia del investigador es clave en este

análisis ya que tomaran de primera mano las reacciones y resultados inmediatos del diseño de la línea de conducción pluvial en el distrito primero del cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle cantonal c-06027, con un periodo de retorno de 50 años.

Según Hernández *et al.* (2014), “Una vez que los datos se han codificado, transferido a una matriz, guardado en un archivo y “limpiado” los errores, el investigador procede a analizarlos”. (p.272), o, lo que para investigación, se recopila la información por medio de la encuesta; los datos recolectados se clasifican según su contenido y variables e indicadores respectivos, para así comprender a profundidad el contexto investigativo.

El análisis de la información se presenta en el siguiente capítulo, organizado por categorías y subcategorías de análisis, realizando una síntesis de la información obtenida y combinando los resultados con los referentes teóricos que iniciaron la investigación.

### ***Confiabilidad, validez y objetividad.***

La confiabilidad que se le da al instrumento es de suma relevancia para que los resultados sean lo más exactos posible, por lo que se le debe aplicar a varios sujetos con el fin que el resultado sea válido; así mismo se puede decir que “La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que si la aplicación repetida al mismo individuo u objeto produce resultados iguales” (Hernández *et al.*, 2014, p.200). Para los requerimientos de la presente investigación, el cuestionario aplicado se presentó a revisión por las especialistas, procurando que cumpliera con lo necesario para el fin deseado.

Con respecto a la validez, se trata de buscar que los hallazgos sean aplicados a grupos similares, por lo que a manera general “se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir” (Hernández *et al.*, 2014, p. 200). Para efectos de la investigación en cuestión, la validez de los instrumentos estuvo supervisada por el tutor.

En relación **con** la objetividad, para Martens (2010) citado por Hernández *et al.* (2014) la objetividad “se refiere al grado en que éste es o no permeable a la influencia de los sesgos y tendencias del investigador o investigadores que lo administran, califican e interpretan” (p. 206). Es importante descartar que se trató con la indagación exhaustiva dar respuesta a aspectos relevantes como la implementación y utilización de estrategias, mostrando así la realidad sin intervención alguna. Con la finalidad de obtener la perspectiva de los sujetos de investigación se aplicó una encuesta a mujeres y hombres de la localidad del distrito de Guácimo.

### ***Definición operacional.***

La definición operacional de la variable se compone de tres elementos: las dimensiones o factores por observar, los indicadores o elementos que señalan cómo se van a valorar las dimensiones o rasgos de la variable y, para el caso de estudios con enfoque cuantitativo o mixto los índices, que son el resultado de la ponderación porcentual del valor de la dimensión. (Abarca *et al.*, 2013, p. 59).

Por lo tanto, para determinar si el ítem es válido o no se debe tener claro la medida de la variable, por lo que considerando lo siguiente si la mayoría de la población selecciona una respuesta con el 55% es un ítem operacional válido, en el caso de que se responda de forma positiva este será válido positivo; por el contrario, si se responde de forma negativa será válido negativo. Para finalizar, si no se cumple con el 55% se considera un ítem no válido.

## **Capítulo IV: Análisis de resultados**

En el presente capítulo se exponen los principales hallazgos encontrados en la aplicación de las encuestas a la muestra de investigación, aportando un soporte teórico que argumente cada respuesta obtenida, de tal manera que se presenta en este apartado por variables para una mejor sistematización de los datos, los cuales se presentan tabulados en tablas con frecuencias relativas

y absolutas, representándose gráficamente los resultados, lo que permite una mayor comprensión de la información suministrada. Los resultados permiten alcanzar consistencia interpretativa: ser congruentes entre si con el tipo de evidencia presentada y el nivel de intensidad o magnitud de los hallazgos obtenidos; de igual forma, deben ser consistentes con las teorías prevalecientes con mayor soporte empírico o los hallazgos de otros estudios (Hernández et al. 2014).

La información presentada en este capítulo es aportada por las encuestas de manera virtual a la población muestra de los expertos en el área, en este caso, el ingeniero de la Municipalidad de Guácimo con el tema “Diseño de la línea de conducción pluvial en el distrito primero del Cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle cantonal c-06027, con un periodo de retorno de 50 años.”

### **Cuestionario aplicado a funcionarios municipales**

**En relación con** determinar el área tributaria que afecta el manejo de las aguas de escorrentía en el cuadrante urbano, entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo, se aplicó el cuestionario de doce preguntas a funcionarios de la municipalidad, se obtuvieron los siguientes resultados:

#### **Tabla 1**

*Tamaño del área tributaria que afecta el manejo de las aguas de escorrentía en el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo.*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
1. ¿Tiene conocimiento el Departamento de Ingeniería de la Municipalidad de Guácimo	0	0%	3	100%

---

del tamaño del área tributaria  
que afecta el manejo de las  
aguas de esorrentía en el  
cuadrante urbano entre la calle  
cantonal C-06027 y la ruta 32  
del distrito primero del Cantón  
de Guácimo?

---

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Considerando los datos recopilados en la tabla 1, basados en la pregunta sobre el conocimiento del Departamento de Ingeniería de la Municipalidad de Guácimo, respecto al tamaño del área tributaria que afecta el manejo de las aguas de esorrentía en el cuadrante urbano, entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo, se obtiene que, los 3 participantes (100%) respondieron que el Departamento de Ingeniería de la Municipalidad de Guácimo no tiene conocimiento del tamaño del área tributaria que afecta el manejo de las aguas de esorrentía.

Por lo reflejado en la entrevista cerrada, se puede afirmar que la falta de conocimiento por parte **de los funcionarios** del Departamento de Ingeniería de la Municipalidad de Guácimo sobre el tamaño del área tributaria que afecta el manejo de las aguas de esorrentía en el cuadrante urbano, entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo, es un problema que podría tener diversas implicaciones. A continuación, se presentan algunas consideraciones y posibles análisis:

Primeramente, la ausencia de conocimiento sobre el área tributaria puede resultar en deficiencias en la planificación urbana. La identificación y comprensión del tamaño de esta área son esenciales para implementar medidas efectivas de manejo de aguas pluviales y prevenir posibles problemas de inundaciones o erosión.

Seguidamente, sin una comprensión adecuada del área tributaria, el Departamento de Ingeniería podría subestimar los riesgos asociados con las aguas de escorrentía. Esto podría resultar en la falta de infraestructuras de drenaje y gestión adecuada, lo que aumenta el riesgo de inundaciones y erosión en la zona urbana.

Finalmente, la gestión inadecuada de las aguas de escorrentía puede tener consecuencias ambientales, como la contaminación del agua y la degradación del suelo. La falta de conocimiento sobre el área tributaria puede contribuir a prácticas insostenibles que afectan el entorno natural.

En conclusión, la falta de conocimiento del tamaño del área tributaria representa un desafío significativo que puede tener repercusiones en la planificación urbana, la infraestructura existente y el bienestar ambiental. La acción inmediata y una evaluación detallada pueden ser necesarias para abordar esta carencia de información.

## **Tabla 2**

*Precipitación máxima diaria en el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del Cantón de Guácimo*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
2. ¿Cuenta la municipalidad con registros de la	0	0%	3	100%

---

precipitación máxima diaria en  
el área tributaria de la cuenca  
que afecta el cuadrante urbano  
entre la calle cantonal C-06027  
y la ruta 32 del distrito primero  
del Cantón de Guácimo?

---

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 2, en la pregunta que si la municipalidad cuenta con registros de la precipitación máxima diaria en el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo, se determina que el 100% de los participantes indicó que la municipalidad no cuenta con registros de la precipitación máxima diaria en el área tributaria de la cuenca.

**De acuerdo con** los datos recopilados, la ausencia de registros de la precipitación máxima diaria en el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo, es un aspecto crítico en el manejo de las aguas pluviales y tiene diversas implicaciones.

La falta de registros de precipitación máxima diaria dificulta la capacidad de la municipalidad para anticipar y gestionar eventos extremos de lluvia. Sin datos precisos, las decisiones relacionadas con el diseño de infraestructuras de drenaje y prevención de inundaciones pueden ser menos efectivas.

La falta de información sobre las precipitaciones máximas diarias impide una evaluación adecuada de los riesgos de inundación en el área en cuestión. Esta ausencia de datos podría resultar en infraestructuras de drenaje insuficientes para hacer frente a eventos de lluvia intensa.

La falta de registros destaca la necesidad de formación del personal en la recopilación de datos climáticos y la implementación de tecnologías modernas para el monitoreo. La inversión en estaciones meteorológicas y tecnologías de monitoreo puede mejorar la capacidad de la municipalidad para gestionar el riesgo climático.

En conclusión, la ausencia de registros de precipitación máxima diaria representa un desafío significativo en la gestión de aguas pluviales y la planificación urbana en el área descrita. Abordar esta carencia de datos se vuelve crucial para garantizar la resiliencia del entorno urbano ante eventos climáticos extremos.

### Tabla 3

*Información de la topografía (curvas de nivel, relieve, modelo de elevación digital o alguna similar) presente en la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del Cantón de Guácimo*

Ítem	Sí		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
3. ¿Cuenta con información de la topografía (Curvas de nivel, relieve, modelo de elevación digital o alguna similar) presente en la cuenca que afecta el cuadrante urbano	0	0%	3	100%

---

entre la calle cantonal C-06027

y la ruta 32 del distrito primero

del Cantón de Guácimo?

---

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 3, se muestra que las 3 personas entrevistadas (100%) indicaron que no se tiene información de la topografía (curvas de nivel, relieve, modelo de elevación digital o alguna similar) presente en la cuenca.

La falta de información sobre la topografía, que incluye elementos como curvas de nivel, relieve y modelos de elevación digital, en la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo, es un aspecto crítico que puede tener implicaciones significativas en la gestión del agua y la planificación urbana.

La topografía juega un papel crucial en el flujo de agua. La falta de información topográfica dificulta la capacidad de la municipalidad para comprender cómo se comportan las aguas de escorrentía en la cuenca. La falta de datos topográficos precisos puede resultar en estrategias ineficientes de manejo del agua.

La topografía influye directamente en la propensión a inundaciones. Sin conocer la topografía detallada, la municipalidad podría no ser capaz de identificar áreas de riesgo y tomar medidas preventivas o correctivas adecuadas.

La construcción de infraestructuras de drenaje y gestión del agua requiere una comprensión detallada de la topografía. La falta de información podría dar lugar a infraestructuras inadecuadas que no sean capaces de manejar eficazmente el flujo de agua.

En resumen, la falta de información sobre la topografía en la cuenca en cuestión puede limitar la capacidad de la municipalidad para abordar de manera efectiva los desafíos asociados con el manejo del agua y la planificación urbana. La adquisición de datos topográficos precisos y la integración de esta información en las estrategias de gestión del agua son pasos clave para mejorar la resiliencia urbana ante eventos climáticos extremos.

La topografía, que incluye curvas de nivel y modelos de elevación digital, es crucial para entender cómo fluye el agua en el área. La falta de esta información puede aumentar el riesgo de inundaciones, ya que la municipalidad no tiene una visión clara de las áreas bajas y cómo se comporta el agua durante eventos de lluvia intensa.

La ausencia de datos topográficos dificulta la planificación y diseño de sistemas de drenaje efectivos. La municipalidad podría enfrentar desafíos en la construcción de infraestructuras adecuadas para gestionar el flujo de agua, lo que podría resultar en problemas de inundación y erosión.

Los estudios hidrológicos dependen de datos topográficos para modelar con precisión el flujo de agua. La falta de esta información podría limitar la capacidad de la municipalidad para comprender y prever eventos hidrológicos, lo que resultaría en una gestión del agua menos efectiva.

La municipalidad debería considerar integrar datos topográficos en la planificación urbana y el manejo del agua de manera integral. Esto implica considerar el relieve al diseñar sistemas de drenaje y desarrollar estrategias de desarrollo urbano.

En resumen, la falta de información sobre la topografía en la cuenca afecta negativamente la capacidad de la municipalidad para abordar eficazmente los desafíos asociados con el manejo del agua y la planificación urbana. Obtener datos topográficos precisos y utilizarlos en la toma de

decisiones es fundamental para construir comunidades más resilientes y preparadas para enfrentar los cambios climáticos.

**Tabla 4**

*Área urbana que impermeabiliza la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del Cantón de Guácimo*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
4. ¿Tiene conocimiento del área urbana que impermeabiliza la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del Cantón de Guácimo?	0	0%	3	100%

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Según muestra la tabla anterior, los 3 entrevistados, es decir, el 100% de los participantes, indicaron que la Municipalidad de Guácimo no tiene conocimiento del área urbana que impermeabiliza la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo.

La falta de conocimiento sobre el área urbana que impermeabiliza la cuenca en el cuadrante entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo

es una variable crítica que puede tener consecuencias significativas en la gestión del agua y la planificación urbana. A continuación, se analizan las posibles implicaciones de esta variable:

La impermeabilización del área urbana, como calles, aceras y edificaciones, reduce la capacidad del suelo para absorber el agua de lluvia. Esto resulta en un aumento del escurrimiento superficial, lo que puede contribuir a la rápida acumulación de agua y aumentar el riesgo de inundaciones.

La falta de conocimiento sobre el grado de impermeabilización dificulta la planificación y gestión de aguas pluviales. La municipalidad puede enfrentar desafíos para diseñar sistemas de drenaje eficientes y sostenibles si no comprende completamente cómo las áreas urbanas afectan el ciclo del agua.

El escurrimiento superficial de áreas urbanas impermeabilizadas puede transportar contaminantes, como aceites, productos químicos y sedimentos, hacia los cuerpos de agua locales. La falta de información sobre esta impermeabilización puede afectar negativamente la calidad del agua en la cuenca.

En resumen, la falta de conocimiento sobre el área urbana que impermeabiliza la cuenca puede llevar a una gestión ineficiente del agua y aumentar los riesgos asociados con inundaciones y degradación de la calidad del agua

### **Tabla 5**

*Estudio hidrológico para conocer las afectaciones del área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del Cantón de Guácimo*

<b>Ítem</b>	<b>Si</b>		<b>No</b>	
	<b>Fa</b>	<b>Fr</b>	<b>Fa</b>	<b>Fr</b>

---

5. ¿Posee la Municipalidad de	0	0%	3	100%
-------------------------------	---	----	---	------

Guácimo un estudio

hidrológico para conocer las

afectaciones del área tributaria

de la cuenca que afecta el

cuadrante urbano entre la calle

cantonal C-06027 y la ruta 32

del distrito primero del Cantón

de Guácimo?

---

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Respecto a la pregunta, ¿Posee la Municipalidad de Guácimo un estudio hidrológico para conocer las afectaciones del área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?, los 3 entrevistados, es decir, un 100% de los participantes, indicaron que la Municipalidad de Guácimo no posee un estudio hidrológico para conocer las afectaciones del área tributaria de la cuenca.

La ausencia de un estudio hidrológico por parte de la Municipalidad de Guácimo para comprender las afectaciones del área tributaria de la cuenca que impacta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo tiene implicaciones significativas. Aquí se analizan algunas de las posibles consecuencias y consideraciones asociadas con esta situación:

La falta de un estudio hidrológico impide la evaluación precisa de los riesgos de inundaciones en el área mencionada. Sin comprender cómo fluye y se acumula el agua en la cuenca, la municipalidad puede no estar preparada para eventos extremos de lluvia.

La ausencia de datos hidrológicos dificulta la planificación urbana sostenible. La municipalidad podría enfrentar desafíos para diseñar y desarrollar infraestructuras resistentes al agua sin información detallada sobre los patrones de flujo y las áreas propensas a inundaciones.

Sin entender la hidrología local, la municipalidad puede tener dificultades para abordar la calidad del agua. Los eventos de escorrentía pueden transportar contaminantes hacia los cuerpos de agua, afectando la calidad del agua en la cuenca.

Considerar la sostenibilidad a largo plazo al abordar la gestión del agua y la planificación urbana. La inversión en estudios hidrológicos puede ser clave para la resiliencia de la comunidad frente a los desafíos hídricos.

En resumen, la ausencia de un estudio hidrológico representa un vacío crítico en la comprensión y gestión del agua en el área mencionada. Abordar esta carencia es esencial para garantizar la seguridad y sostenibilidad de la comunidad frente a eventos climáticos extremos y cambios en el entorno hidrológico.

### **Tabla 6**

*Infraestructura existente de evacuar las aguas durante el periodo de lluvia en el área tributaria que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr

---

6. ¿Es capaz la infraestructura existente de evacuar las aguas durante el periodo de lluvia en el área tributaria que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del Cantón de Guácimo?	0	0%	3	100%
---	---	----	---	------

---

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 6, en la pregunta ¿Es capaz la infraestructura existente de evacuar las aguas durante el periodo de lluvia en el área tributaria que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo, los 3 entrevistados, un 100% de los participantes, indicaron que la infraestructura existente no es capaz de evacuar las aguas durante el periodo de lluvia en el área tributaria que afecta el cuadrante urbano.

La percepción unánime de que la infraestructura existente no es capaz de evacuar las aguas durante el periodo de lluvia en el área tributaria que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo plantea una serie de desafíos y preocupaciones reveladoras. Aquí se analizan algunas implicaciones y consideraciones clave asociadas con esta respuesta unánime:

La falta de capacidad de evacuación de aguas durante el periodo de lluvia indica un alto riesgo de inundaciones en el área mencionada. Esto puede tener consecuencias negativas para la

seguridad de la comunidad y la integridad de las propiedades. Las inundaciones pueden dar lugar a problemas de salud pública, especialmente si el agua contaminada entra en contacto con áreas habitadas. Existe el riesgo de propagación de enfermedades transmitidas por el agua.

La respuesta unánime destaca la urgencia de mejorar la infraestructura de evacuación de aguas en el área mencionada. Se debe considerar una evaluación detallada de la infraestructura actual y la implementación de medidas correctivas.

En resumen, la evaluación unánime de que la infraestructura existente no puede evacuar adecuadamente las aguas durante el periodo de lluvia destaca una situación crítica que requiere atención inmediata y soluciones efectivas para garantizar la seguridad y el bienestar de la comunidad.

### **Tabla 7**

*Metodologías o herramientas tecnológicas e innovadoras para recopilar y analizar datos con respecto al campo hidrológico/hidráulico del área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo.*

<b>Ítem</b>	<b>Si</b>		<b>No</b>	
	<b>Fa</b>	<b>F</b>	<b>Fa</b>	<b>Fr</b>
7. ¿Aplica la Municipalidad de Guácimo metodologías o herramientas tecnológicas e innovadoras para recopilar y analizar datos con respecto al	0	0	3	100%

---

campo hidrológico/hidráulico  
del área tributaria de la cuenca  
que afecta el cuadrante urbano  
entre la calle cantonal C-06027  
y la ruta 32 del distrito primero  
del Cantón de Guácimo?

---

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 7, en la pregunta ¿Aplica la Municipalidad de Guácimo metodologías o herramientas tecnológicas e innovadoras para recopilar y analizar datos con respecto al campo hidrológico/hidráulico del área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?, de los cuales los 3 entrevistados un 100% de los participantes indicaron que la Municipalidad de Guácimo no aplica metodologías o herramientas tecnológicas e innovadoras para recopilar y analizar datos con respecto al campo hidrológico/hidráulico del área tributaria de la cuenca.

La ausencia de información sobre metodologías o herramientas tecnológicas e innovadoras para recopilar y analizar datos en el campo hidrológico/hidráulico del área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo, revela una brecha importante en el conocimiento y la aplicación de tecnologías avanzadas en este contexto específico. Aquí se analizan algunas consideraciones clave asociadas con esta respuesta:

La falta de mención de metodologías o herramientas tecnológicas sugiere la necesidad de introducir enfoques más avanzados y tecnológicos para la recopilación y análisis de datos en el campo hidrológico/hidráulico. La innovación puede mejorar la eficiencia y precisión de los estudios. Además, la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) puede ser fundamental para analizar la topografía, la red de drenaje y otros aspectos espaciales relevantes en la cuenca. Los SIG permiten una visualización y análisis integrados.

Es posible que haya una falta de conocimiento o capacitación en el uso de tecnologías avanzadas. Sería beneficioso proporcionar capacitación a profesionales y técnicos locales sobre cómo aplicar estas herramientas.

En resumen, la introducción de metodologías y herramientas tecnológicas innovadoras es esencial para fortalecer la recopilación y análisis de datos en el campo hidrológico/hidráulico en el área tributaria mencionada. Esto no solo mejorará la comprensión de los procesos hidrológicos, sino que también facilitará la toma de decisiones informada para el manejo sostenible del agua en la región.

### **Tabla 8**

*Tiene la Municipalidad establecido el periodo de retorno con que debe contar el diseño de un canal.*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
8. ¿Tiene la Municipalidad establecido el periodo de retorno con que debe de contar el diseño de un canal?	3	0%	0	100%

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 8, en la pregunta: ¿Tiene la Municipalidad establecido el periodo de retorno que debe de contar el diseño de un canal?, a lo que los 3 entrevistados, un 100% de los participantes, indicaron que la Municipalidad de Guácimo cuenta con un periodo establecido de 50 años del área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo.

La respuesta menciona un "periodo establecido del área tributaria de la cuenca". Este término sugiere que la Municipalidad ha definido un periodo de retorno específico. El periodo de retorno se refiere al tiempo promedio que se espera transcurra entre eventos extremos, como inundaciones, en un área determinada. La información se centra en un área geográfica precisa, describiendo el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo. Esta especificidad es crucial en el diseño de infraestructuras para manejar el agua, ya que las características geográficas pueden influir en la planificación y diseño de canales.

Si la municipalidad tiene un periodo de retorno establecido, esto sugiere una consideración cuidadosa de los eventos hidrológicos y la planificación de la infraestructura de canalización.

Este aspecto es esencial para reducir riesgos de inundaciones y garantizar la seguridad y la gestión adecuada del agua en la zona mencionada. En resumen, la respuesta indica que la Municipalidad de Guácimo ha establecido un periodo de retorno en el área tributaria mencionada. El hecho que conozcan el periodo de retorno no significa que lo apliquen.

**Tabla 9**

*Periodo de retorno por utilizar en el diseño de un canal.*

Ítem	50		100		Otro	
	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr
9. ¿Cuál es el periodo de retorno por utilizar en el diseño de un canal?	3	100%		0%		0%

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 9, en la pregunta ¿Cuál es el periodo de retorno por utilizar en el diseño de un canal?, **a lo que** los 3 entrevistados un 100% de los participantes indicaron el periodo de retorno por utilizar en el diseño de un canal será de 50 años en la cuenca.

La respuesta sugiere que la información proviene de un ingeniero de la Municipalidad. La presencia de profesionales especializados en la gestión hídrica y la infraestructura es crucial para garantizar un enfoque técnico y adecuado en el diseño de canales y la gestión de eventos hidrológicos.

Un periodo de retorno de 50 años es relativamente largo y sugiere que el diseño de la infraestructura está considerando eventos extremadamente raros. Esto podría indicar un enfoque conservador y robusto para garantizar la resiliencia de la infraestructura en condiciones climáticas adversas.

La elección de un periodo de retorno específico implica una evaluación de riesgos detallada. Un periodo de 50 años implica que la Municipalidad está tomando en cuenta eventos

muy poco frecuentes, pero potencialmente catastróficos al diseñar la infraestructura para el manejo de agua.

Lo anterior refleja que, aunque la Municipalidad conoce el periodo de retorno, esta no lo ha aplicado en la construcción de canales en el cantón y esto se evidencia en los desbordamientos e inundaciones en periodos de lluvia.

### **Tabla 10**

*Conocimiento de cuales estaciones del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se tienen registros que permitan identificar las precipitaciones que afectan el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
10. ¿Tiene conocimiento de cuales estaciones del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se tienen registros que permitan identificar las precipitaciones que afectan el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?	3	0%	0	100%

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 10, en la pregunta: ¿Tiene conocimiento de cuales estaciones del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se tienen registros que permitan identificar las precipitaciones que afectan el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?, los 3 entrevistados, un 100% de los participantes indicaron que la Municipalidad de Guácimo si tiene conocimiento de **cuáles** estaciones del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se tienen registros que permitan identificar las precipitaciones que afecta el cuadrante urbano.

El hecho que el ingeniero mencione el Instituto Meteorológico Nacional, sugiere una conexión y colaboración entre la Municipalidad de Guácimo y una entidad especializada en recopilación de datos meteorológicos. Esto es positivo, ya que implica la utilización de información confiable y respaldada por expertos en meteorología.

La respuesta sugiere que la Municipalidad utiliza registros meteorológicos específicos para identificar las precipitaciones. Esto implica un enfoque basado en datos y evidencia, lo cual es crucial para la toma de decisiones informada en la gestión del agua. La información sobre precipitaciones es fundamental para el diseño de infraestructuras hídricas, especialmente al establecer un periodo de retorno para eventos hidrológicos extremos. La colaboración con el IMN y el uso de registros confiables contribuyen a la precisión en la planificación y diseño.

En resumen, la respuesta del ingeniero refleja un enfoque técnico, basado en datos y colaborativo en la gestión de información meteorológica. La conexión con el IMN y el uso de registros específicos para identificar precipitaciones son elementos positivos para la planificación y diseño de infraestructuras relacionadas con el agua en el área de Guácimo, lo anterior no significa que dichos registros sean utilizados en el diseño de canales del cantón.

**Tabla 11**

*Estación del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) representa mejor las precipitaciones que afectan el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo.*

Ítem	Guápiles		Guácimo		Otro	
	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr
11. Cual estación del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) representa mejor las precipitaciones que afectan el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?	3	100%	0	0%		

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 11, en la pregunta ¿Estación del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) representa mejor las precipitaciones que afectan el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?, un 100% de los participantes **indicó** que la estación del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) que representa mejor las precipitaciones es la de Guápiles.

La respuesta del ingeniero de la municipalidad de Guácimo, indica que la estación del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) que mejor representa las precipitaciones es la de Guápiles. Esta afirmación implica que, según la opinión del ingeniero, la estación meteorológica ubicada en Guápiles proporciona datos más precisos o representativos sobre las precipitaciones en comparación con otras estaciones del IMN en la región.

En general, la elección de la estación meteorológica puede depender de diversos factores, y es importante asegurarse que la decisión esté respaldada por consideraciones técnicas y científicas para garantizar la confiabilidad de los datos meteorológicos.

### Tabla 12

*Emergencias que se hayan presentado históricamente debido a inundaciones con relación a la capacidad del canal existente.*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
12. ¿Tiene conocimiento de emergencias que se hayan presentado históricamente debido a inundaciones con relación a la capacidad del canal existente?	3	100%	0	0%

*Nota:* Cuestionario aplicado a funcionarios Municipales. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 12, en la pregunta: ¿Tiene conocimiento de emergencias que se hayan presentado históricamente debido a inundaciones **en relación con la**

capacidad del canal existente?, los 3 entrevistados, un 100% de los participantes indicaron que si se han presentado históricamente emergencias debido a inundaciones **relacionadas con** la capacidad del canal existente.

La afirmación del ingeniero de la municipalidad de Guácimo, indicando que históricamente ha habido emergencias debido a inundaciones en relación con la capacidad del canal existente, es de suma importancia y señala posibles desafíos significativos en la gestión de agua y drenaje en la zona. La mención de emergencias históricas sugiere que las inundaciones son un riesgo real y recurrente en la zona. Este es un problema serio que puede afectar a la población local, la propiedad y la infraestructura.

La conexión entre las inundaciones y la capacidad del canal indica que el sistema de drenaje actual puede ser insuficiente para manejar volúmenes significativos de agua durante eventos climáticos extremos. Evaluar la capacidad y eficacia del canal es esencial para abordar adecuadamente el problema.

En resumen, la declaración del ingeniero destaca la necesidad de abordar la gestión de inundaciones de manera urgente y eficiente. Esto implica un enfoque integral que combine mejoras en la infraestructura, planificación adecuada y coordinación entre diversas entidades para reducir el riesgo y proteger la seguridad de la comunidad.

### **Entrevista aplicada a los habitantes del cantón de Guácimo**

Seguidamente se mostrarán los resultados y análisis, producto de las entrevistas realizadas a los habitantes del cantón de Guácimo.

#### **Tabla 13**

*¿Ha requerido pedir intervención de la Municipalidad para la solución de desbordamiento o cualquier otro relacionado con inundaciones?*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
1. ¿Ha requerido pedir intervención de la Municipalidad para la solución de desbordamiento o cualquier otro relacionado con inundaciones??	25	100%	0	0%

*Nota:* Entrevista aplicado a los Habitantes del cantón de Guácimo. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 13, a la pregunta que si la municipalidad cuenta con registros de la precipitación máxima diaria en el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo, los 25 participantes ,un 100% de los participantes indico que ha requerido pedir intervención de la Municipalidad para la solución de desbordamiento o cualquier otro relacionado con inundaciones. Lo anterior concuerda **con** que existe una estructura pluvial ineficiente dentro del cantón.

#### ¿Tabla 14

¿Se observa durante los periodos de lluvia áreas con alcantarillas desbordadas?.

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr

2. ¿Se observa durante los periodos de lluvia áreas con alcantarillas desbordadas?	25	100%	0	0%
--	----	------	---	----

*Nota:* Entrevista aplicado a los Habitantes del cantón de Guácimo. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 14, en la pregunta que se observa durante los periodos de lluvia áreas con alcantarillas desbordadas, los 25 participantes, un 100% de los participantes indicaron que sí se observa durante los periodos de lluvia áreas con alcantarillas desbordadas. Con lo anterior se evidencia la urgencia de intervenir un sistema pluvial que se encuentra actualmente obsoleto.

### Tabla 15

*Se observa durante los periodos de lluvia calles inundadas*

Ítem	Sí		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
3. ¿Se observa durante los periodos de lluvia calles inundadas?	25	100%	0	0%

*Nota:* Entrevista aplicado a los Habitantes del cantón de Guácimo. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Lo anterior reafirma la importancia de contar con una infraestructura pluvial adecuada para el tránsito de aguas llovidas, que a la postre, si no se realiza una intervención, puede llegar ocasionar problemáticas en la red vial.

**Tabla 16**

*Existen construcciones que se ven afectadas por inundaciones debido a las lluvias y aguas pluviales.*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
4. ¿Existen construcciones que se ven afectadas por inundaciones debido a las lluvias y aguas pluviales?	25	100%	0	0%

*Nota* Entrevista aplicado a los Habitantes del cantón de Guácimo. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia relativa

Para determinar la variable del área urbana que impermeabiliza la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo la tabla 16, los 25 entrevistados, un 100% de los participantes, indicaron que, si existen construcciones que se van afectadas por inundaciones debido a las lluvias y aguas pluviales. Lo anterior evidencia que la ausencia de una red pluvial adecuada, afecta el desarrollo del cantón, al generar retrasos en el crecimiento urbano.

**Tabla 17**

*¿Ha experimentado su comunidad problemas de aguas estancadas durante eventos de lluvia intensa?*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr

5. ¿Ha experimentado su comunidad problemas de aguas estancadas durante eventos de lluvia intensa?	25	100%	0	0%
--	----	------	---	----

*Nota* Entrevista aplicado a los Habitantes del cantón de Guácimo. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 17, en la pregunta: ¿Ha experimentado su comunidad problemas de aguas estancadas durante eventos de lluvia intensa?, los 25 entrevistados, un 100% de los participantes indicaron que si se ha experimentado su comunidad problemas de aguas estancadas durante eventos de lluvia intensa. Lo anterior evidencia que este problema, afecta directamente la salud de la población, al promover la proliferación de enfermedades producto de las lluvias no evacuadas correctamente.

### **Tabla 18**

*¿ Ha notado algún cambio en la frecuencia o severidad de los problemas de aguas estancadas en los últimos años?.*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
6. ¿Ha notado algún cambio en la frecuencia o severidad de los problemas de aguas estancadas en los últimos años?	25	100%	0	0%

*Nota:* Entrevista aplicado a los Habitantes del cantón de Guácimo. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 18, en la pregunta: ¿Ha notado algún cambio en la frecuencia o severidad de los problemas de aguas estancadas en los últimos años?, los 25 entrevistados, un 100% de los participantes, indicaron que sí han notado algún cambio en la frecuencia o severidad de los problemas de aguas estancadas en los últimos años. Lo anterior evidencia la problemática que día con día seguirá creciendo, esto debido al problema ya existente sumado al crecimiento de la población.

**Tabla 19**

*¿Considera que la comunidad podría verse perjudicada con relación a temas de la salud pública o la seguridad por las aguas estancadas en su área?*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
7. ¿Considera que la comunidad podría verse perjudicada con relación a temas de la salud pública o la seguridad por las aguas estancadas en su área?	25	100%	0	0%

*Nota* Entrevista aplicado a los Habitantes del cantón de Guácimo. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 19, en la pregunta: ¿Considera que la comunidad podría verse perjudicada con relación **con** temas de la salud pública o la seguridad por las aguas estancadas en su área?, los 25 entrevistados, un 100% de los participantes, indicaron que la comunidad si podría verse perjudicada **en aspectos relacionados con** temas de la salud pública

o la seguridad, por las aguas estancadas en su área. Lo anterior confirma que de no resolver esta problemática la afectación a nivel salud y seguridad de los habitantes del cantón se verá afectada.

**Tabla 20**

*¿Considera que la situación pluvial y las aguas estancadas representan un riesgo para la población?*

Ítem	Si		No	
	Fa	Fr	Fa	Fr
8. ¿Considera que la situación pluvial y las aguas estancadas representan un riesgo para la población?	25	100%	0	0%

*Nota* Entrevista aplicado a los Habitantes del cantón de Guácimo. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 20, en la pregunta ¿Considera que la situación pluvial y las aguas estancadas representan un riesgo para la población? ,los 25 entrevistados, un 100% de los participantes, indicaron que consideran que la situación pluvial y las aguas estancadas representan un riesgo para la población. Las aguas mal gestionadas siempre serán un problema que genera un riesgo para la población, **si no** se intervienen de manera oportuna, situación contraria como se puede evidenciar en la anterior respuesta.

**Tabla 21**

*¿Considera que las personas de la comunidad podrían colaborar con las autoridades locales para abordar este problema de manera conjunto?.*

Ítem	Si	100
------	----	-----

	<b>Fa</b>	<b>Fr</b>	<b>Fa</b>	<b>Fr</b>
9. ¿Considera que las personas de la comunidad podrían colaborar con las autoridades locales para abordar este problema de manera conjunto?	25	100%		0%

*Nota* Entrevista aplicado a los Habitantes del cantón de Guácimo. Fa: Frecuencia absoluta, Fr: Frecuencia Relativa

Basados en los datos recopilados en la tabla 21, en la pregunta: ¿Considera que las personas de la comunidad podrían colaborar con las autoridades locales para abordar este problema de manera conjunto?, los 25 entrevistados un 100% de los participantes indicaron que las personas de la comunidad podrían colaborar con las autoridades locales para abordar este problema de manera conjunto. Lo anterior evidencia que la comunidad esta anuente a colaborar en la solución de un problema que les aqueja de gran manera, **en este** sentido, la municipalidad tiene una gran oportunidad de diseñar un plan en conjunto con la comunidad.

En este apartado se muestran los principales resultados producto del proceso de investigación llevado a cabo en el campo. Las herramientas tecnológicas juegan un papel muy importante en la búsqueda de soluciones de los problemas que afectan a las ciudades a diario, considerando que para el inicio de este proyecto no se contaba con la información mínima para el cálculo de la cuenca de análisis básico para el desarrollo del análisis hidrológico. Echar mano de herramientas como Google Earth, QGIS y otros, pueden ayudar a la generación de las cuencas y las áreas tributarias necesarias para el análisis hidrológico y el diseño hidráulico del sector.

## Análisis y resultados de diseño del canal

Los resultados se mostrarán en el orden que se plantearon los objetivos del trabajo. Se tiene que, para el primer objetivo específico, identificar el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del Cantón de Guácimo; mediante el software QGIS los resultados son los siguientes:

La generación del modelo de elevación digital ayuda a interpretar muy bien la cuenca con la que se trabajó. También es el elemento básico para la utilización de las herramientas del software QGIS, lo que permitió generar el área tributaria, la cuenca y las microcuencas para el diseño del canal de conducción pluvial requerido.

Mediante la utilización del software Google Earth se extrajo el área aproximada de análisis y utilizando la delimitación física existente, se estableció el área de influencia para realizar la modelación de la cuenca. Con este levantamiento, y mediante la utilización del software QGIS se creó el Modelo de Elevación Digital (MED) que se muestra en la figura 1, mediante el análisis de la cuenca y la creación de microcuencas.

### Figura 1

*Modelo de Elevación Digital (MED) de la zona de estudio*



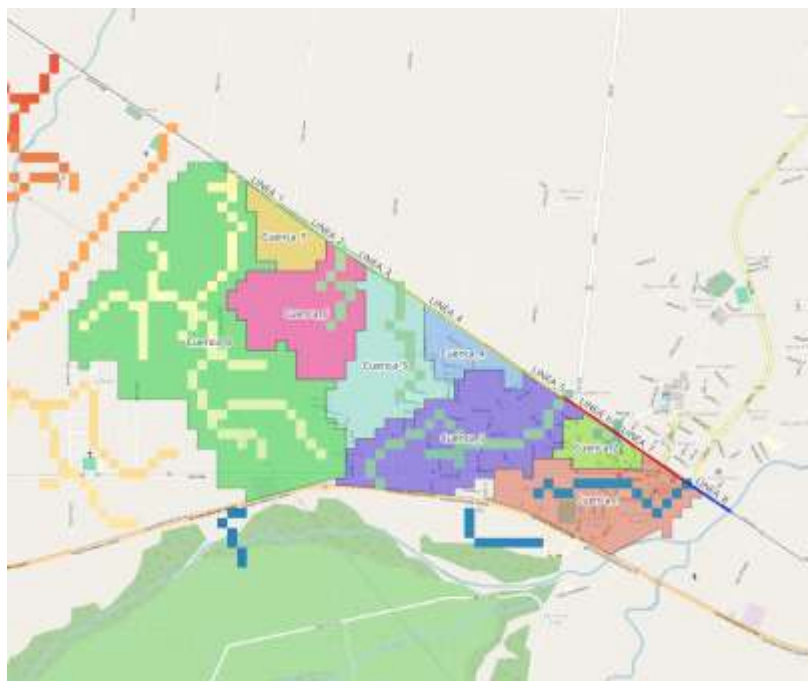
Nota: Generado con la herramienta QGIS

Para el sector analizado, se logró obtener una segregación de ocho (8) microcuencas que descargan hacia el costado norte del área analizada, es decir, hacia el sitio del canal existente, **las**

cuales cuentan con diferentes formas y áreas que varían su comportamiento a la hora de modelar el aporte hídrico realizado a la cuenca en general. Cómo se puede observar en la figura 2, se muestran las microcuencas calculadas mediante las diferentes herramientas con las que cuenta el QGIS, así como su línea de conducción hasta el desfogue ubicado en el río Guácimo. En el apéndice C se puede observar detalladamente el procedimiento realizado para la delimitación de las microcuencas y la identificación del punto de desfogue.

## Figura 2

*Delimitación de microcuencas mediante la herramienta QGIS.*



Nota: Elaborados con QGIS

Para cada una de estas microcuencas se obtuvo su área, la pendiente general de la cuenca y la longitud lineal de cada cuenca para los cálculos hidráulicos que se muestran más adelante. El área tributaria de cada microcuenca se muestra en la tabla 22.

**Tabla 22**

*Área de cada microcuenca con aporte al canal*

<b>Numeración de las microcuencas</b>	<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>
Cuenca 1	379.159,77
Cuenca 2	95.941,40
Cuenca 3	551.464,66
Cuenca 4	113.882,28
Cuenca 5	361.741,37
Cuenca 6	367.357,46
Cuenca 7	120.040,42
Cuenca 8	1.408.140,05

Nota: Datos arrojados por *QGIS*

Con las anteriores áreas tributarias, se procede a elaborar un estudio hidrológico utilizando el método racional, para calcular el caudal de diseño que requiere el canal que desfoga las lluvias del cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la RN32 del distrito primero del cantón de Guácimo, Limón.

Se elaboró el estudio hidrológico del sector, utilizando las áreas de las microcuencas y la utilización de la fórmula de Kirpich-Ramser (1940)  $T_c = 0,01947 * L^{0,77} * S^{-0,385}$ , se calcularon los tiempos de concentración ( $T_c$ ) para cada sector, **se obtuvieron** como resultados, los valores que se muestran en la tabla 22, los cuales son una variable esencial en el cálculo del caudal de diseño al utilizar el método racional.

**Tabla 23***Tiempo de concentración para cada microcuenca identificada*

<b>Microcuenca</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Tc (min)</b>
<b>Cuenca 1</b>	1140	0,0202	19,76
<b>Cuenca 2</b>	470	0,0191	10,19
<b>Cuenca 3</b>	1336	0,0254	20,42
<b>Cuenca 4</b>	400	0,0300	7,57
<b>Cuenca 5</b>	908	0,0231	15,74
<b>Cuenca 6</b>	890	0,0247	15,10
<b>Cuenca 7</b>	323	0,0464	5,43
<b>Cuenca 8</b>	1720	0,0233	25,68

Nota: *Datos arrojados por QGIS*

Para el estudio hidrológico se utilizó el registro histórico con el que cuenta el IMN para la generación del modelo de lluvia, y poder realizar la estimación probabilística de intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno. El registro histórico de la estación 73147 Guápiles, con más de diez años, permitió desarrollar el análisis estadístico mediante el modelo de Gumbel y posteriormente crear las curvas IDF requeridas para el cálculo del caudal de diseño.

Para esta estación se obtuvo la precipitación máxima diaria para cada uno de los años registrados, **se obtuvieron** los resultados mostrados en la tabla 24. En el apéndice E, se muestra detalladamente el procedimiento para el cálculo de la precipitación máxima diaria a partir de los datos del IMN y el desarrollo de las curvas IDF para la estación 73147-Guápiles.

**Tabla 24***Precipitación máxima anual para la estación 73147-Guápiles*

<b>Año</b>	<b>Precipitación máxima diaria (mm)</b>
<b>2012</b>	105,3
<b>2013</b>	176,0
<b>2014</b>	164,9
<b>2015</b>	159,5
<b>2016</b>	173,4
<b>2017</b>	170,0
<b>2018</b>	156,2
<b>2019</b>	200,4
<b>2020</b>	131,4
<b>2021</b>	149,8
<b>2022</b>	151,6
<b>2023</b>	187,2

Nota: Datos obtenidos del IMN

Mediante el modelo Gumbel y la ecuación de Aparicio (1997), se desarrollaron las curvas IDF para la estación analizada; Utilizando diferentes periodos de retorno y tiempos de concentración, se obtuvo la intensidad de lluvia (mm/hr) como se muestra en la tabla 25 y el

gráfico de la figura 3. Las duraciones de lluvia muestran los tiempos de concentración de cada microcuenca, con el fin de utilizar la intensidad de lluvia real en cada microcuenca de análisis.

**Tabla 25**

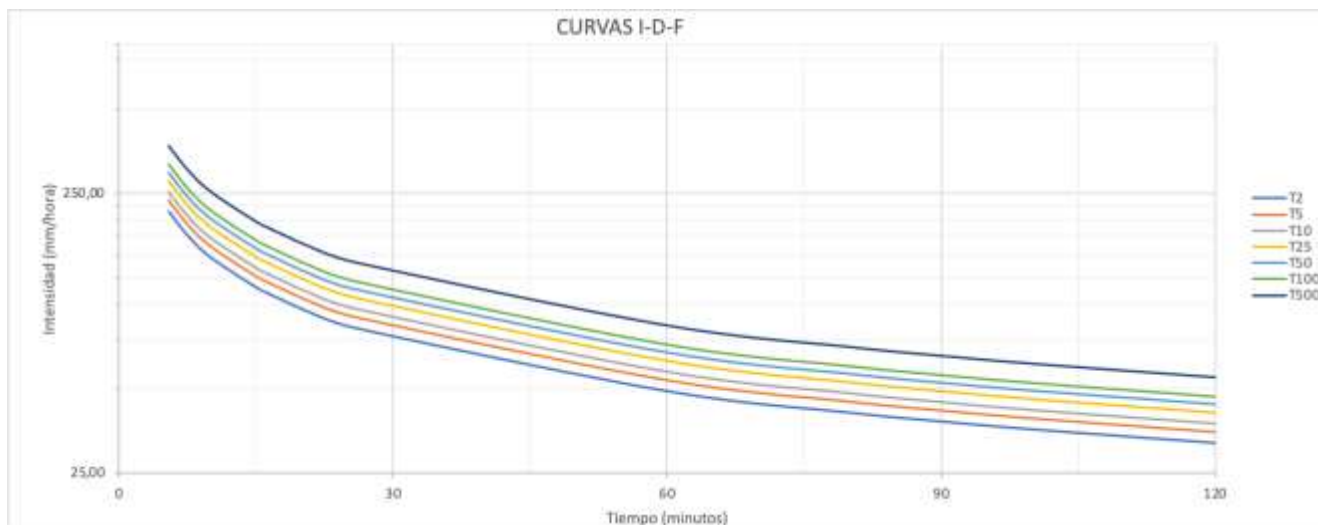
*Intensidad de lluvia por duración y periodo de retorno (T)*

T	Duración en minutos													Intensidad (mm/hora)
	5,43	7,57	10,19	15,1	15,74	19,76	20,42	25,68	60	80	90	100	120	
2	215,94	175,95	146,50	114,96	112,06	97,40	95,45	82,87	49,12	41,14	38,26	35,85	32,04	
5	236,21	192,47	160,25	125,75	122,57	106,54	104,40	90,65	53,73	45,00	41,85	39,21	35,05	
10	252,79	205,98	171,50	134,58	131,18	114,02	111,73	97,01	57,50	48,16	44,78	41,97	37,51	
25	276,52	225,31	187,60	147,21	143,49	124,72	122,22	106,12	62,90	52,68	48,99	45,91	41,03	
50	295,94	241,13	200,77	157,55	153,57	133,48	130,80	113,57	67,31	56,37	52,43	49,13	43,91	
100	316,72	258,06	214,87	168,61	164,35	142,85	139,99	121,54	72,04	60,33	56,11	52,58	46,99	
500	370,77	302,11	251,53	197,39	192,40	167,23	163,88	142,29	84,33	70,63	65,68	61,55	55,01	

Nota: Calculo a partir del cálculo de áreas y precipitaciones

**Figura 3**

*Curvas IDF para la estación 73147-Guápiles.*



Nota: Generadas por el software Excel

Para el casco urbano del cantón de Guácimo, se estimó que, para un periodo de retorno de 50 años, las precipitaciones máximas pueden estimarse entre los 113,57mm/hr y los 295,94 mm/hr, considerando que para cada microcuenca se calcula un tiempo de concentración único y una intensidad característica en cada cuenca para el cálculo del caudal de diseño.

El cantón de Guácimo de la provincia de Limón, al ubicarse en la **Vertiente Atlántica** y estar rodeada **por** el sistema montañoso central, genera que las precipitaciones a lo largo del año sean constantes y considerablemente altas. Según (Instituto Meteorológico Nacional, s.f.) la subregión analizada se puede clasificar como la sexta región con mayor precipitación media anual de todo el país, bajo la identificación de Región Atlántica 4 (RA4). Para la determinación del caudal de diseño se utilizaron diferentes tiempos de concentración, ya que cada microcuenca tiene la longitud suficiente para considerarse como una cuenca, por ello, es que se calculó un tiempo de concentración para cada microcuenca y así determinar la intensidad de lluvia.

Utilizando el método racional, se calculó el caudal de diseño para cada microcuenca en su punto de desfogue, con el fin de analizar cuál sería el aporte en términos de litros por segundo o en su defecto en metros cúbicos por segundo al canal principal. Para ello se calculó el área en verde y el área impermeable de cada microcuenca, la pendiente y el tiempo de concentración en la cuenca, el cual permite definir la intensidad de lluvia según la duración de **esta**. Para este análisis se utilizó la intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 50 años, obteniendo el caudal de diseño que se muestra en la tabla 26. Los cálculos detallados se muestran en el apéndice D.

**Tabla 26**

*Caudal de diseño para cada microcuenca en m<sup>3</sup>/s*

<b>Microcuenca</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
--------------------	-----------------------------	----------------------------

Cuenca 1	379.159,77	5,68
Cuenca 2	95.941,40	1,87
Cuenca 3	551.464,66	5,75
Cuenca 4	113.882,28	3,40
Cuenca 5	361.741,37	3,73
Cuenca 6	367.357,46	1,61
Cuenca 7	120.040,42	1,26
Cuenca 8	1.408.140,05	6,60

Nota: Cálculo de generación propia

Con el caudal de diseño para cada microcuenca, se procedió a modelar la geometría del canal, mediante la ecuación de Manning, para que cumpla con la demanda hidrológica de la cuenca. Considerando el caudal de diseño y la pendiente del terreno, se optó por dimensionar el canal con alcantarilla de cuadro. Para cada microcuenca, se obtuvo el aporte de caudal ( $q$ ) de esta, más el acumulado aguas arriba, y mediante la utilización de la ecuación de Manning, se obtuvieron las dimensiones del canal requerido para cada tramo, como se puede observar en la tabla 27. Cada tramo se dimensionó con una longitud máxima de 120 m, en atención al capítulo 6.4.2; y la velocidad interna menor a los 5,0 m/s entre pozo y pozo, así mismo de 7,0 m/s como máximo en el tramo final entre el pozo y el desfogue, basado en lo indicado en el capítulo 6.3.1 de la norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados, 2017).

Tabla 27

*Dimensionamiento del canal*

	Tramo		Caudal diseño q	Altura nominal Y	Luz nominal B	Pendiente S	Caudal a tubo lleno Q	Velocidad a tubo lleno V
	De Pozo	A Pozo						
	Nombre	Nombre						
1	C8	C7-1	6.600	1,000	2,500	0,52%	9,386	3,8
2	C7-1	C7	6.600	1,000	2,500	0,52%	9,386	3,8
3	C7	C6	7.862	1,000	2,500	0,80%	11,624	4,6
4	C6	C5-1	9.470	1,500	2,500	0,43%	14,653	3,9
5	C5-1	C5-2	9.470	1,500	2,500	0,43%	14,653	3,9
6	C5-2	C5-3	9.470	1,500	2,500	0,43%	14,653	3,9
7	C5-3	C5	9.470	1,500	2,500	0,43%	14,653	3,9
8	C5	C4-1	13.205	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
9	C4-1	C4-2	13.205	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
10	C4-2	C4-3	13.205	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
11	C4-3	C4-4	13.205	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
12	C4-4	C4-5	13.205	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
13	C4-5	C4-6	13.205	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
14	C4-6	C4	13.205	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9

15	C4	C3-1	16.604	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
16	C3-1	C3-2	16.604	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
17	C3-2	C3-3	16.604	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
18	C3-3	C3	16.604	1,500	3,000	0,60%	22,134	4,9
19	C3	C2-1	22.356	1,500	4,000	0,50%	29,448	4,9
20	C2-1	C2-2	22.356	1,500	4,000	0,50%	29,448	4,9
21	C2-2	C2-3	22.356	1,500	4,000	0,50%	29,448	4,9
22	C2-3	C2	22.356	1,500	4,000	0,50%	29,448	4,9
23	C2	C1-1	24.221	1,500	4,000	0,50%	29,448	4,9
24	C1-1	C1-2	24.221	1,500	4,000	0,50%	29,448	4,9
25	C1-2	C1-3	24.221	1,500	4,000	0,50%	29,448	4,9
26	C1-3	C1	24.221	1,500	4,000	0,50%	29,448	4,9
27	C1	D-1	29.898	1,500	4,000	1,00%	41,646	6,9
28	D-1	Desfogue	29.898	1,500	4,000	1,00%	41,646	6,9

Nota: Datos que resumen los cálculos anteriores

Con las dimensiones propuestas, se revisó que el tirante real máximo calculado no supere el 85% del tirante nominal para cumplir lo establecido en el capítulo 6.3.2 de la norma técnica de diseño (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2019). En el apéndice H se muestra la tabla con el detalle completo del dimensionamiento del canal, el perfil y la planta final.

Con la finalidad de analizar la funcionalidad del diseño de conducción pluvial propuesto mediante el software SWMM, para el bienestar de la población del cantón de Guácimo, se

modeló el canal en el software y se compararon los resultados obtenidos de la modelación con los resultados de la ecuación de Manning.

**Tabla 28**

*Comparación de altura nominal, tirante modelado en SWMM, real y al 85%*

Tramo		Altura Nominal	Tirante SWMM	Tirante real	Tirante al 85%
De Pozo	A Pozo	Y	Y	Y	Y
Nombre	Nombre	m	m	m	m
C8	C7-1	1,000	0,780	0,776	0,850
C7-1	C7	1,000	0,780	0,776	0,850
C7	C6	1,000	0,630	0,755	0,850
C6	C5-1	1,500	1,080	1,077	1,275
C5-1	C5-2	1,500	1,090	1,077	1,275
C5-2	C5-3	1,500	1,090	1,077	1,275
C5-3	C5	1,500	1,080	1,077	1,275
C5	C4-1	1,500	0,980	0,988	1,275
C4-1	C4-2	1,500	0,980	0,988	1,275
C4-2	C4-3	1,500	0,990	0,988	1,275
C4-3	C4-4	1,500	0,990	0,988	1,275
C4-4	C4-5	1,500	1,010	0,988	1,275
C4-5	C4-6	1,500	1,010	0,988	1,275
C4-6	C4	1,500	0,980	0,988	1,275
C4	C3-1	1,500	0,940	0,956	1,275

C3-1	C3-2	1,500	0,940	0,956	1,275
C3-2	C3-3	1,500	0,940	0,956	1,275
C3-3	C3	1,500	0,940	0,956	1,275
C3	C2-1	1,500	0,930	0,980	1,275
C2-1	C2-2	1,500	0,930	0,980	1,275
C2-2	C2-3	1,500	0,930	0,980	1,275
C2-3	C2	1,500	0,930	0,980	1,275
C2	C1-1	1,500	0,850	0,813	1,275
C1-1	C1-2	1,500	0,850	0,813	1,275
C1-2	C1-3	1,500	0,850	0,813	1,275
C1-3	C1	1,500	1,000	0,813	1,275
C1	D-1	1,500	1,190	1,077	1,275
D-1	Desfogue	1,500	1,200	1,077	1,275

Nota: Datos que resumen los cálculos anteriores

Como se muestra en la tabla 28, las diferencias entre el tirante resultante de la modelación (SWMM) y el tirante calculado (real) son mínimas y en ambos casos son menores que el tirante máximo establecido por la norma técnica de diseño del AyA.

En la figura 4, se muestra el perfil de la modelación realizada mediante el uso del software SWMM, en donde se puede observar la línea de la rasante del terreno, la altura de los pozos y el dimensionamiento de la línea de conducción pluvial.



- Mediante el análisis realizado en el sector, utilizando los programas Google Earth y QGIS, se logró calcular que el área tributaria que afecta el cuadrante urbano del cantón de Guácimo es de 3,4 km<sup>2</sup> segregado en ocho microcuencas con rangos desde 0,095 km<sup>2</sup> hasta 1,4 km<sup>2</sup>. C
- Para el análisis de la gestión del riesgo de un proyecto hidrológico, es importante incluir la variable de cambio climático para contemplar experiencias previas, proyección de posibles afectaciones y blindar el proyecto logrando una mejor solución para el cantón. Considerando que ni el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT) ni la Municipalidad de Guácimo contaban con información base para el análisis de la cuenca, se logró desarrollar un Modelo de Elevación Digital (MED) que permitió la modelación de la cuenca y las microcuencas para el estudio hidrológico y el diseño hidráulico.
  - Las cuencas hidrográficas forman parte importante en el ambiente y se encuentran relacionadas con el ciclo del agua, por lo que es necesario valorar sus componentes al desarrollar obras dentro de la comunidad, para evitar situaciones que produzcan desastres naturales.
  - Cercano al sitio de estudio solo se contaba con el registro de precipitaciones de la estación 73147-Guápiles; sin embargo, los registros datan desde el 2012. Considerando que el análisis para la estimación de intensidad de lluvia para diferentes años, es un análisis probabilístico, un mayor registro podría estimar mejor los resultados de la modelación. El estudio hidrológico de la cuenca, a partir de los registros históricos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en la estación 73147, permitió el desarrollo de las curvas IDF para esta estación, a partir de las cuales se obtuvieron las intensidades de lluvias para diferentes periodos de retorno y el cálculo del caudal de diseño para cada microcuenca para un periodo de retorno de 50 años. Las precipitaciones máximas estimadas se ubicaron entre los rangos de 113,57mm/hr y los

295,94 mm/hr. El caudal de diseño para cada microcuenca se calculó en el rango entre 1,26 m<sup>3</sup>/s y 6,60 m<sup>3</sup>/s; y para la línea del desfogue, el caudal acumulado fue de 29,90 m<sup>3</sup>/s.

- La modelación del canal mediante la ecuación de Manning permitió establecer la geometría requerida para cumplir con la demanda hidráulica del sector, dimensionando el canal con una geometría rectangular cerrada (alcantarilla de cuadro), con 28 pozos y 28 tramos de conducción, para una longitud total de 2800 m con dimensiones entre los 1000 mm y los 1500 mm de altura, entre los 2500 mm y 4000 mm de luz y con pendientes longitudinales entre el 0,43% y el 1,00%; cumpliendo con la norma técnica del AyA en cuanto a velocidades mínimas y máximas, así como la altura máxima del tirante hidráulico. La elaboración de un diseño eficiente de la línea de conducción pluvial brindará aportes significativos para la comunidad, como lo son los riesgos de inundaciones, la protección de la infraestructura y el mejoramiento del entorno urbano, social y la calidad de vida de los habitantes.

- Mediante la utilización del *software SWMM*, se corroboró, mediante la modelación de la precipitación máxima para el periodo de retorno de 50 años, que el sistema propuesto tiene la capacidad necesaria para desfogar las aguas de lluvia de manera segura y sin ocasionar inundaciones en la zona.

- La investigación permitió conocer el diseño adecuado de infraestructura de drenaje pluvial en área urbana en el distrito primero del Cantón de Guácimo, Limón; paralela a la calle cantonal C-06027 con un periodo de retorno de 50 años, con el fin de mitigar el riesgo de inundaciones, proteger la seguridad y el bienestar de las personas de la comunidad.

### **Recomendaciones**

- Considerando las dimensiones del canal propuesto, es importante establecer una hoja de ruta para su ejecución mediante un plan por etapas iniciando en el desfogue e ir trabajando en dirección de aguas arriba. Es importante resaltar que el diseño propuesto está

basado en el análisis de las microcuencas como un solo ramal; por lo tanto, a la hora de ejecutar el diseño definitivo se deben trabajar los ramales secundarios de cada microcuenca para mejorar la modelación del sistema.

- Para etapas posteriores, se recomienda realizar levantamientos topográficos que permitan contar con información más detallada y de mejor calidad para calibrar los modelos topográficos de mejor calidad y así desarrollar curvas de niveles más realistas.
- Las cuencas hidrográficas necesitan ser vistas dentro de los desarrollos urbanos con enfoque integrado que considere no solo los aspectos hidrológicos, sino también, sociales, económicos y ambientales. Para esto, las instituciones gubernamentales pertinentes en el asunto, deben velar por que todo se cumpla, se inspeccione y se desarrolle de la mejor manera posible.
- Al no contar con información básica para la gestión de proyectos hidrológicos e hidráulicos, se recomienda generar una línea base de información e implementar una estrategia de monitoreo riguroso para mejorar la fiscalización y proyección a futuro de los proyectos pluviales urbanísticos en el Cantón de Guácimo, adaptando las medidas en pro de mejorar las condiciones ambientales y socioeconómicas.
- Para el análisis de la gestión del riesgo de un proyecto hidrológico, es importante incluir la variable de cambio climático para contemplar experiencias previas, proyección de posibles afectaciones y blindar el proyecto, **con lo que se logra** una mejor solución para el cantón.
- Exigir e implementar sistemas de retención pluvial para los sectores existentes, pero principalmente para proyectos nuevos con el fin de que la variación en el aporte de escorrentía superficial de los proyectos de desarrollo urbanístico sea el mínimo.

- Con el espacio recuperado y previendo un incremento del espacio público, se recomienda incentivar el uso de modos de transportes más amigables con el medio ambiente, mediante el aprovechamiento de este espacio para la creación de infraestructura ciclista y ampliar la infraestructura peatonal, construyendo espacios de estar, sombra y espacios de recreación.

## Bibliografía

- Abarca, A, Alpízar, F, Rojas, C y Sibaja, G. (2012). *Técnicas cualitativas de investigación*. Costa Rica: Editorial UCR. <http://www.editorial.ucr.ac.cr/ciencias-sociales/item/2268-tecnicascualitativas-de-investigacion.html>
- Anta, J, Naves, A. (2019). *Introducción al cálculo de redes de saneamiento con SWMM*. Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións.
- Ávila, M. (2009). *La salud y el cambio climático*. Scielo, volumen (51).  
[https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-60022009000100001](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022009000100001)
- Ávila, V. (2019). *Afectación del coeficiente de rugosidad para la ecuación de Manning con el envejecimiento de tuberías de diferentes materiales*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia].  
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/4414a453-7596-4634-a882-257f72943f04/content>
- Bello, M, & Pino, M. (2000). *Medición de presión y caudal*.  
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/32174>
- Béjar, M. (2004). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Camacho, D. (2008). Esquemas de pagos por servicios ambientales para la conservación de cuencas hidrográficas en el Ecuador. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 17(1), 54-66.
- Del Pezo, V. (2023). *Diseño de una aplicación web GIS mediante el uso de las herramientas angular y QGIS recopilando información a través de la técnica scraping con Python de los hoteles de la provincia de Santa Elena* [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9272>

Defensoría de los habitantes. (2023). *Casi el 50% de los cantones no tienen un plan regulador*.

<https://www.dhr.go.cr/index.php/mas/comunicacion/comunicados-de-prensa/casi-el-50-de-los-cantones-no-tienen-un-plan-regulador>.

Delgadillo, O, & Pérez, L. (2016). *Medición de la infiltración del agua en el suelo. Centro andino para la gestión y uso del agua. Centro agua. Facultad deficiencias agrícolas, pecuarias y forestales universidad mayor de san simón*.

[http://www.centroagua.umss.edu.bo/wpcontent/uploads/2022/04/S\\_T\\_12016\\_Medicion\\_infiltracion\\_doble\\_anilla.pdf](http://www.centroagua.umss.edu.bo/wpcontent/uploads/2022/04/S_T_12016_Medicion_infiltracion_doble_anilla.pdf)

Duarte, D, & Sierra, B. (2022). *"Morfocuenca" Plugin para QGIS que permite obtener la delimitación y caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica*. [tesis de pregrado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

<http://hdl.handle.net/11349/30635>.

García, C, Montoya, N y Rodríguez, L. (2013). *Diseño del sistema de drenaje pluvial para el casco urbano del municipio de La Concepción-Masaya*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/5008/1/94342.pdf>.

Hernández, R, Fernández, C, y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (6a ed.)*.

McGraw-Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Hernández, R, Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

[http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf)

- Hernández, R. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atejama. *Tecnología y Ciencias del agua, volumen (8)*.  
[https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/rev-03-2017/files/assets/basic-html/page1.html](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/rev-03-2017/files/assets/basic-html/page1.html)
- Ibañez, S, Moreno, H, & Gisbert, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrológicas*.  
<https://www.udocz.com/apuntes/143301/1-morfologia-de-una-cuenca-1>
- Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados. 2017. *Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*. (Norma núm. 2017-281).  
<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20diseño%20y%20construccion%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional. (s.f.). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*.  
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalización+climática+de+Costa+Rica>
- Izquierdo, A & Zeña, J. (2019). *Diseño del drenaje pluvial urbano de la zona urbana del distrito de Santa Cruz, Provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca*. [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6647>
- Jiménez, A. (2016). *Desarrollo de metodologías para mejorar la estimación de los hidrogramas de diseño para el cálculo de los órganos de desagüe de las presas* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].  
[https://oa.upm.es/39115/1/Antonio\\_Jimenez\\_Alvarez.pdf](https://oa.upm.es/39115/1/Antonio_Jimenez_Alvarez.pdf)
- Joya, N. (2021). *Modelación y diseño de un sistema de alcantarillado pluvial en el municipio de Uribia, La Guajira*. [Tesis de grado, Universidad de los Andes].

<https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/daaf836c-f1cc-45ea-9f27-0c51f391ec8b>

Lima, M, Escobar, J, Massone, H., & Martínez, D. (2012). Modelación geoespacial exploratoria en cuencas de llanura: caso de aplicación en la cuenca del Arroyo Dulce, Buenos Aires, Argentina. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(2), 51-65.

Martínez, M. (2015). *Diagnóstico de las alcantarillas en el primer tramo de la ruta nacional No.1 , autopista General Cañas, y el análisis hidráulico para los puntos críticos*. [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica].

<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2669/1/38088.pdf>.

Maranto, M y González, M. (2015). *Fuentes de Información*.

<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16700/LECT132.pdf>

Mata, L. (2021). *Los sujetos de investigación*. Investigalia.

<https://investigaliacr.com/investigacion/lossujetos-de-estudio>

Melgar, K y Zamora, N. (2021). *Diseño del sistema de drenaje pluvial, alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales para el casco urbano del Municipio de Comasagua Departamento de la Libertad*. [Tesis de grado, Universidad de el Salvador].

<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/24383/>

Niño, J & Garcia, M. (2021). *Diseño y optimización del sistema de drenaje de las aguas pluviales de la urbanización El Chilcal*. [Tesis de grado, Universidad de Piura].

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UDEP\\_9553b1d8e87a36d132244e3e31114fe6](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UDEP_9553b1d8e87a36d132244e3e31114fe6)

- Núñez, K. (2021). *Diseño de un sistema de conducción para el abastecimiento de agua potable para la comunidad La Enseñanza, en el distrito de Capellades del Cantón de Alvarado, Cartago*. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica].  
[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/13699/TF9042\\_BIB303788\\_Keylor\\_Nu%C3%B1ez\\_Marin.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/13699/TF9042_BIB303788_Keylor_Nu%C3%B1ez_Marin.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Olaya, V. (2009). Sistemas de información geográfica. <https://volaya.github.io/libro-sig/>
- Ortiz, A. (2015). *Enfoques y métodos de investigación en las ciencias sociales y humanas* Educación. <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Enfoques-y-metodos-de-investiga-Alexander-Ortiz.pdf>
- Pinargote, P, y Tumbaco, V. (2019). *Análisis comparativo del método estadístico de Gumbel con el método de energía liberada para la determinación del comportamiento sísmico en países de Sudamérica* [Tesis Doctoral, Universidad de Guayaquil].  
<https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/fd12b358-b586-47fa-a1d2-ccf5cf515a5c/content>
- Pizarro, R, Sangüesa, C, & Martínez, E. (2003). *Módulo 2 Curvas Intensidad Duración Frecuencia*. Sociedad Estándares de Ingeniería Para Aguas Y Suelos LTDA.  
<https://www.yumpu.com/es/document/read/15498191/curvas-intensidad-duracion-frecuencia-estandares-de->
- Perales, V. (2016). La cuenca social como aproximación sociológica a las intervenciones en cuencas hidrográficas. Scielo, *volumen (59)*.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0040-29152016000200010](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0040-29152016000200010)

- Saavedra, N. S. (1992). Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones. *Ingeniería e investigación. volumen (28)*, 31-40.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4902930>
- Salas, K. (2018). *Diseño geométrico vial y secciones de drenaje para el mejoramiento del tramo de carretera de la Ruta Nacional N.o 707, comprendido entre San Pablo de Turrubares y la Ruta Nacional N.o 27*. [Tesis de grado, Instituto Tecnológico de Costa Rica].  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10488>
- Samanez, D & Patiño, J. (2022). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial en la urbanización Santa Margarita de la ciudad de Piura con el software SWMM*. [Tesis de grado, Universidad de Piura].  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5785/ICI\\_2221.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5785/ICI_2221.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sendra, J. B. (1994). *Sistema de información geográfica*.  
<https://www.researchgate.net/profile/Joaquin-Bosque-Sendra>
- Smith, R, Velásquez, J. (1995). Modelos conceptuales en hidrología para la estimación del hidrograma unitario. *Avances en Recursos Hidráulicos, (03)*, 55-72.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9175>
- Temez, J. (1992). Generalización y mejora del método racional. *Dirección general de carreteras de España, volumen (82)*, 51-56. <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/833>
- Torres, I, & Roldán, B. (2019). Distribución de Gumbel: Antecedentes y aplicación. *Miscelánea Matemática, Volumen(69)*. 111-125.

[https://miscelaneamatematica.org/download/tbl\\_articulos.pdf2.8f3b5fceb28337a2.363930372e706466.pdf](https://miscelaneamatematica.org/download/tbl_articulos.pdf2.8f3b5fceb28337a2.363930372e706466.pdf)

Valverde, R. (2022). *Análisis y diseño hidráulico para la conducción y el suministro de agua potable en la comunidad de el Manzano, Jericó de Desamparados*. [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica]. [https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2022/09/TFG-](https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2022/09/TFG-RicardoValverdeJimenez.pdf)

[RicardoValverdeJimenez.pdfhttps://www.dhr.go.cr/index.php/mas/comunicacion/comunicados-de-prensa/casi-el-50-de-los-cantones-no-tienen-un-plan-regulador](https://www.dhr.go.cr/index.php/mas/comunicacion/comunicados-de-prensa/casi-el-50-de-los-cantones-no-tienen-un-plan-regulador)

Vargas, C. (2022). *Propuesta de diseño pluvial para el proyecto Nueva Esperanza, La Cruz, Guanacaste*. [Tesis de Grado, Universidad Latina de Costa Rica].

[https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/1664/1/TFG\\_Ulatina\\_Carlos\\_Vargas\\_Vargas\\_20170220172.pdf](https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/1664/1/TFG_Ulatina_Carlos_Vargas_Vargas_20170220172.pdf)

Wolf, P., & Ghilani, C. (2015). *Topografía*. Alpha Editorial.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=g7F1EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=topografia+&ots=jSuG0N94b1&sig=ihyqLgan9F23UJ4KOomBLCti8Ok>

**Apéndice A. Cuestionario aplicado a funcionarios****Municipales****UNIVERSIDAD CENTRAL****Facultad de Ingeniería y Arquitectura**

---

Este instrumento es parte del proceso de investigación realizado para la formulación de la tesis para optar por el grado de Licenciatura. La información que se brinde será tratada de manera confidencial, apegada a los principios de ética y será utilizada únicamente con fines académicos. Se le agradece la colaboración brindada.

**Áreas tributarias de la cuenca**

1. ¿Tiene conocimiento el departamento de ingeniería de la Municipalidad de Guácimo del tamaño del área tributaria que afecta el manejo de las aguas de **escorrentía** en el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?

Si

No

2. ¿Cuenta la municipalidad con registros de la precipitación máxima diaria en el área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?

Si

No

3. ¿Cuenta con información de la topografía (Curvas de nivel, relieve, modelo de elevación digital o alguna similar) presente en la cuenca que que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?

Si

No

4. ¿Tiene conocimiento del área urbana que impermeabiliza la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?

Si

No

**Estudio hidrológico utilizando, para calcular el caudal de diseño que requiere el canal.**

5. ¿Posee la Municipalidad de Guácimo un estudio hidrológico para conocer las afectaciones del área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?

Si

No

6. ¿Es capaz la infraestructura existente de evacuar las aguas durante el periodo de lluvia en el área tributaria que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo?

Si

No

7. Aplica la Municipalidad de Guácimo metodologías o herramientas tecnológicas e innovadoras para recopilar y analizar datos con respecto al campo hidrológico/hidraulico del área tributaria de la cuenca que afecta el cuadrante urbano entre la calle cantonal C-06027 y la ruta 32 del distrito primero del cantón de Guácimo.

Si

No

8. ¿Tiene la Municipalidad establecido el periodo de retorno que debe de contar el diseño de un canal?

Si

No

9. ¿Cuál es el periodo de retorno por utilizar en el diseño de un canal?



---

**Apéndice B. Instrumento aplicado a la población del  
cantón de Guácimo**



**UNIVERSIDAD CENTRAL**

**Facultad de Ingeniería y Arquitectura**

---

Este instrumento es parte del proceso de investigación realizado para la formulación de la tesis para optar por el grado de Licenciatura . La información que se brinde será tratada de manera confidencial, apegada a los principios de ética y será utilizada únicamente con fines académicos. Se le agradece la colaboración brindada.

**Áreas tributarias de la cuenca**

1. ¿Ha requerido pedir intervención de la Municipalidad para la solución de desbordamiento o cualquier otro relacionado con inundaciones?  
 Si  No
2. ¿ Se observa durante los periodos de lluvia áreas con alcantarillas desbordadas?  
 Si  No
3. ¿ Se observa durante los periodos de lluvia calles inundadas ?  
 Si  No
4. ¿Existen construcciones que se van afectadas por inundaciones debido a las lluvias y aguas pluviales ?  
 Si  No
5. ¿ Ha experimentado su comunidad problemas de aguas estancadas durante eventos de lluvia intensa?  
 Si  No

6. ¿Ha notado algún cambio en la frecuencia o severidad de los problemas de aguas estancadas en los últimos años?
- Si  No
7. ¿Considera que la comunidad podría verse perjudicada con relación a temas de la salud pública o la seguridad por las aguas estancadas en su área?
- Si  No
8. ¿Considera que situación pluvial y las aguas estancadas representan un riesgo para la población?
- Si  No
9. ¿Considera que las personas de la comunidad podrían colaborar con las autoridades locales para abordar este problema de manera conjunto?
- Si  No

## **Apéndice C. Identificación de las cuencas para el cálculo del caudal de diseño creando el Modelo de Elevación Digital (MDE) a partir de Google Earth**

### **Pasos para el cálculo del Caudal**

#### ***Paso 1***

Se genera el *track point* mediante la creación de la ruta, que abarca toda el área de estudio.

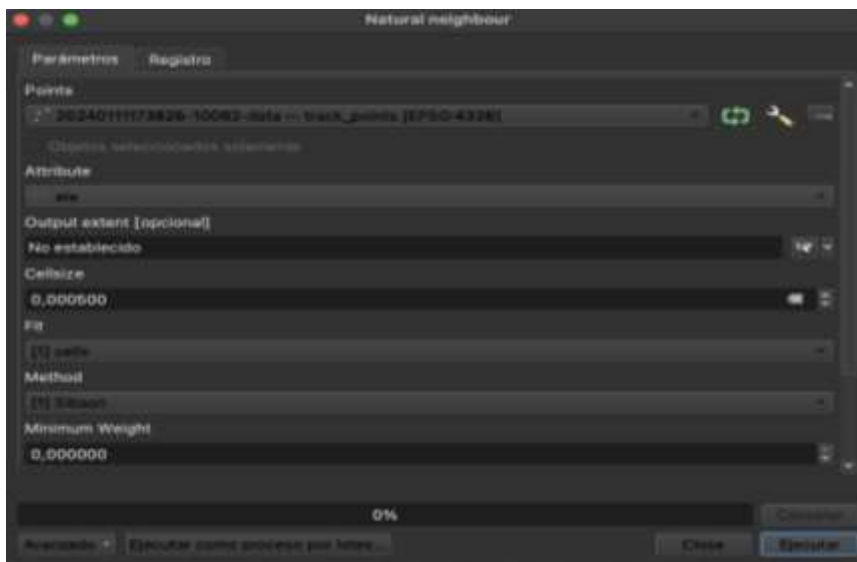
#### ***Paso 2***

Luego de generar la ruta en archivo .KML, se debe convertir a un archivo .GPX. Para este caso, se utilizó la plataforma GPX Visualizer, con la cual, mediante un algoritmo se puede obtener el archivo .GPX.

#### ***Paso 3***

El archivo .GPX se carga al QGIS como un archivo vectorial (solo el tipo punto track points) y se inicia la conversión hacia un Modelo de Elevación Digital (MDE) mediante la herramienta NATURAL NEIGHBOUR ; esto genera un MDE con la información de elevación extraída de Google Earth, al cual se le incluyen las variables más importantes como el tamaño de la celda y el tipo de método por realizar, en este caso “Sibson”

Figura C1

*Herramienta natural neighbour***Identificación de las micro cuencas de diseño mediante el uso de QGIS**

Una vez que ya se tiene el MDE se debe utilizar una serie de herramientas con las que cuenta el *software*, con el fin de lograr limitar la cuenta del área de estudio.

***Paso 1***

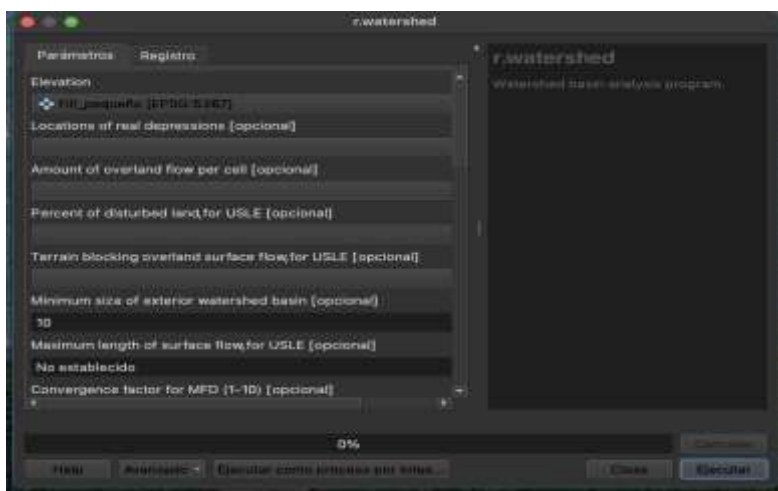
Corregir errores en la generación del MDE mediante la utilización de la herramienta *r.fill.dir*,

Figura C2

*Herramienta r.fill.dir***Paso 2**

Una vez que se corrigen los espacios faltantes de relleno, se avanza con la definición de la dirección del flujo y la dirección del drenaje mediante la herramienta r.watershed.

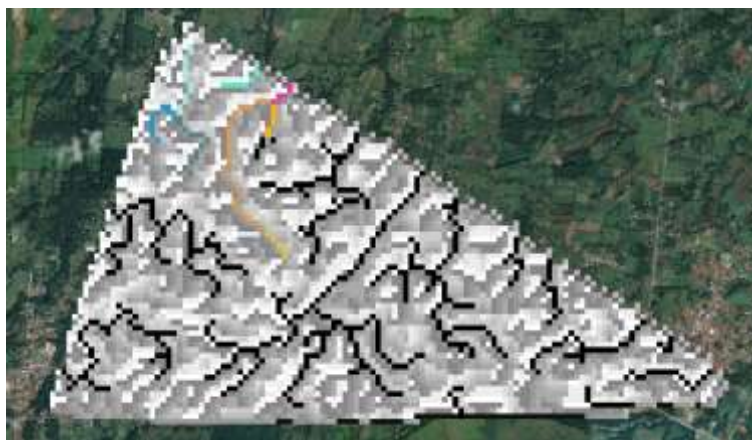
Figura C3

*Herramienta r.watershed*

Generando el modelo de dirección de flujo, para el área de estudio:

**Figura C4***Modelo de dirección de flujo*

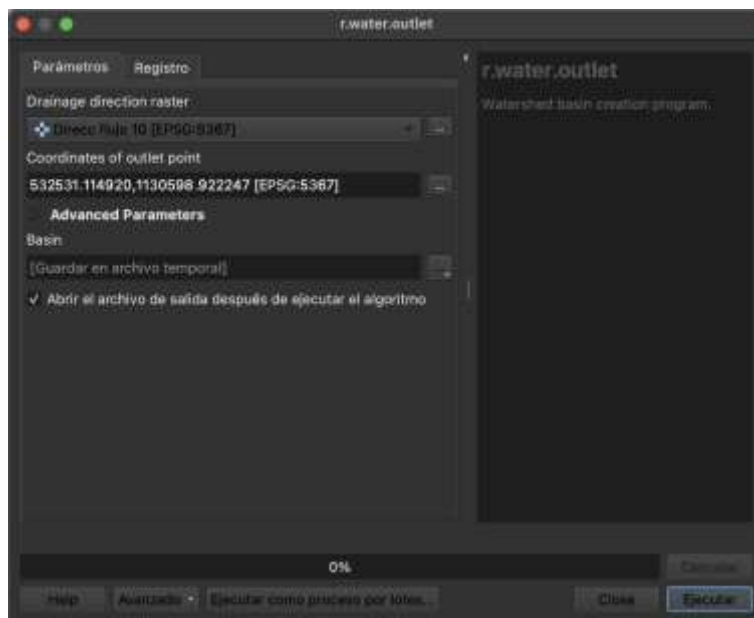
Y el modelo de dirección del drenaje, que ayuda a estimar cuál sería el comportamiento de la cuenca y la dirección de las aguas dentro de cada una de las cuencas por analizar:

**Figura C5***Modelo de dirección del drenaje***Paso 3**

Una vez que se tiene definida la dirección del drenaje y la dirección del flujo, se debe calcular la cuenca para cada uno de los desfogues identificados en los pasos anteriores, mediante la herramienta: [r.water.outlet](#)

**Figura C6**

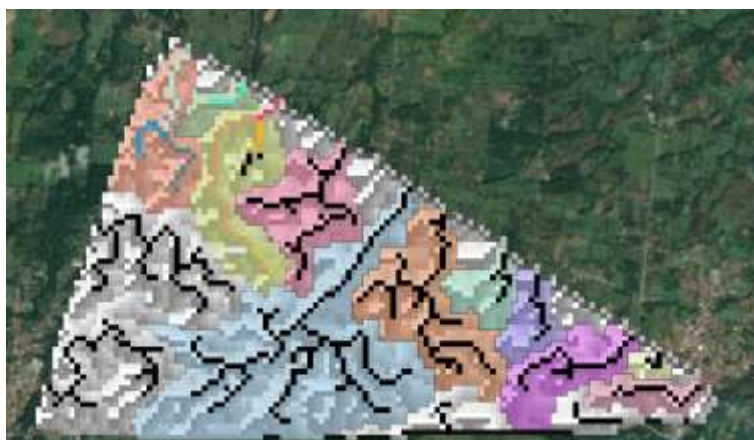
Herramienta: *r.water.outlet*



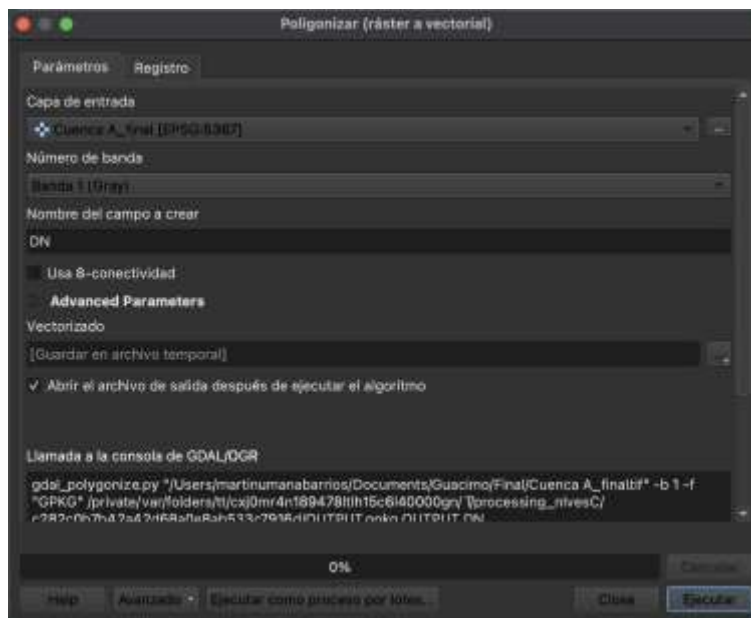
Este procedimiento se realiza hasta generar todas las cuencas necesarias para el proyecto. Esta herramienta genera cuencas en archivo tipo ráster, tal como se observa a continuación:

**Figura C7**

*Cuencas*

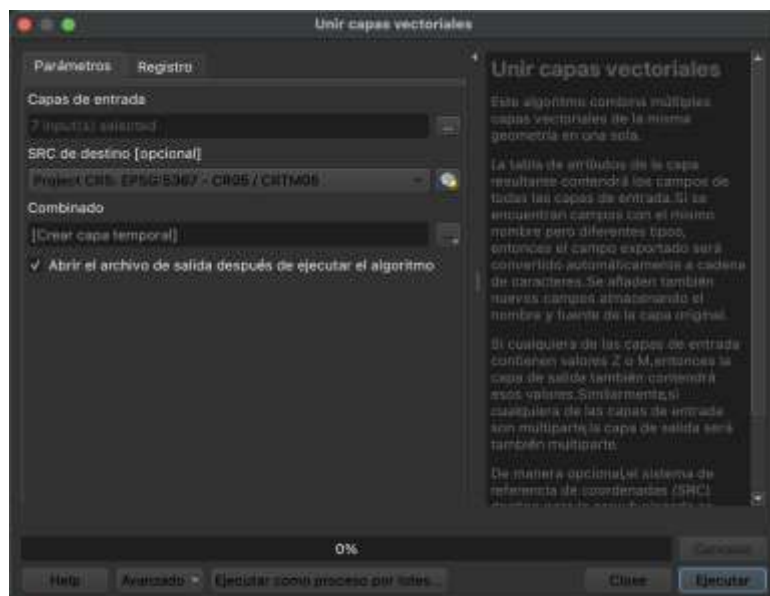


Para cada cuenca identificada en cada uno de los sectores analizados, se debe realizar la conversión del archivo ráster a un archivo tipo vectorial utilizando la herramienta Poligonizar.

**Figura C8***Herramienta Poligonizar***Paso 4**

Una vez que se generó el archivo tipo vectorial para cada cuenca, se utiliza la herramienta “unir capas vectoriales” para agrupar todas las cuencas en un solo archivo; esto facilita la trabajabilidad y también el **geo proceso** del cálculo de las áreas de cada una de las cuencas:

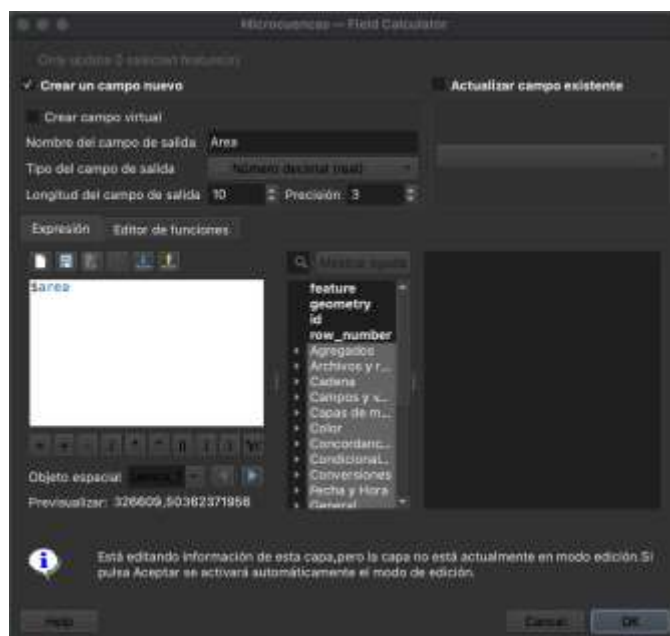
**Figura C9***Herramienta unir capas vectoriales*



Para el archivo vectorial que contiene todas las cuencas identificadas, se utiliza la herramienta calculadora de campos, se genera un nuevo atributo denominado “Área con una salida de número decimal” y se calcula el área mediante el proceso “\$area”.

**Figura C10**

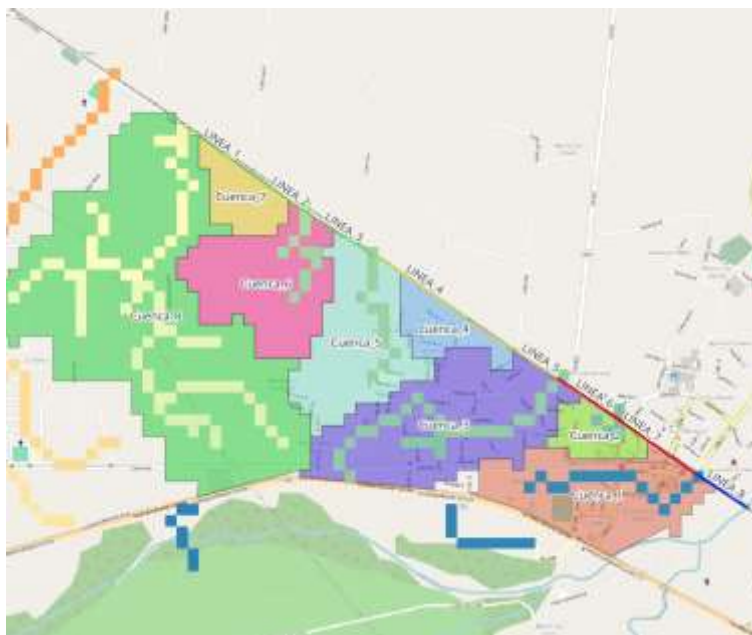
*Herramienta Calculadora de campos*



Como resultado se obtuvo el área de cada cuenca, insumo necesario para el cálculo del caudal de diseño mediante la ecuación del método racional.

**Figura C11**

*Áreas de cuencas*



**Tabla C1**

*Áreas de cuencas*

<b>Numeración de la cuenca</b>	<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Cuenca 1</b>	379159,775
<b>Cuenca 2</b>	95941,404
<b>Cuenca 3</b>	551464,664
<b>Cuenca 4</b>	113882,280
<b>Cuenca 5</b>	361741,372

<b>Cuenca 6</b>	367357,465
<b>Cuenca 7</b>	120040,424
<b>Cuenca 8</b>	1408140,047

## Apéndice D. Caudal del diseño

	Área total	Techos	Coefficiente techos	Techos	Zonas verdes	Coefficiente ZV	Zonas verdes	Longitud cuenca	Pendiente (S)	Tc	Intensidad 50 años	Q m <sup>3</sup> /s (T=50 años)	Sumatoria
<b>Cuenca 1</b>	379159,775	192000	0,70	0,1344	187159,775	0,10	0,0187159775	1140	0,0202	19,76	133,48	5,68	29,90
<b>Cuenca 2</b>	95941,404	39755	0,70	0,0278285	56186,404	0,10	0,0056186404	470	0,0191	10,19	200,77	1,87	24,22
<b>Cuenca 3</b>	551464,664	171917,664	0,70	0,1203423648	379547	0,10	0,0379547	1336	0,0254	20,42	130,80	5,75	22,36
<b>Cuenca 4</b>	113882,280	65615,322	0,70	0,0459307254	48266,958	0,10	0,0048266958	400	0,0300	7,57	241,13	3,40	16,60
<b>Cuenca 5</b>	361741,372	85618	0,70	0,0599326	276123,372	0,10	0,0276123372	908	0,0231	15,74	153,57	3,73	13,20
<b>Cuenca 6</b>	367357,465	0	0,70	0	367357,465	0,10	0,0367357465	890	0,0247	15,10	157,55	1,61	9,47
<b>Cuenca 7</b>	120040,424	5596,744	0,70	0,0039177208	114443,68	0,10	0,011444368	323	0,0464	5,43	295,94	1,26	7,86
<b>Cuenca 8</b>	1408140,047	113975	0,70	0,0797825	1294165,047	0,10	0,1294165047	1720	0,0233	25,68	113,57	6,60	6,60



**Paso 3**

Se calcula la precipitación máxima diaria para cada año de los registrados, mediante las fórmulas: Si y Máximo. Se obtiene el siguiente resultado:

**Tabla E1**

*Precipitación máxima diaria para cada año*

<b>Año</b>	<b>Precipitación máxima diaria (mm)</b>
<b>2012</b>	105,3
<b>2013</b>	176,0
<b>2014</b>	164,9
<b>2015</b>	159,5
<b>2016</b>	173,4
<b>2017</b>	170,0
<b>2018</b>	156,2
<b>2019</b>	200,4
<b>2020</b>	131,4
<b>2021</b>	149,8
<b>2022</b>	151,6
<b>2023</b>	187,2

**Paso 4**

Una vez que se calcula la precipitación máxima diaria de los datos recopilados, se utiliza la distribución de Gumbel para hacer la aproximación de la precipitación diaria máxima para diferentes periodos de retorno.

Se calcula el valor promedio, la desviación estándar y los factores  $\mu$  y  $\alpha$  mediante las siguientes fórmulas:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

Desviación estándar (S) =

$$S = \frac{\sum X_i - \bar{X}}{N}$$

Donde:

Xi: Precipitación máxima diaria por año

N: Cantidad de datos (años)

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

$$\mu = \bar{X} - 0,45 * S$$

Se calcula la probabilidad para cada periodo de retorno mediante la fórmula:

$$Probabilidad = 100 * \left( 1 - \left( \frac{1}{T} \right) \right)$$

donde T: Periodo de retorno

Y la precipitación máxima diaria (Pdmax) se calcula con la siguiente ecuación:

$$Pd_{max} = \mu + \alpha \left( -\ln \left( -\ln \left( \frac{\text{Probabilidad}}{100\%} \right) \right) \right)$$

Obteniendo como resultado que para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 las siguientes precipitaciones máximas:

**Tabla E2**

*Precipitación máxima por periodo de retorno*

<b>Periodo de retorno</b>	<b>Pdmax (mm)</b>
<b>2</b>	156,272
<b>5</b>	178,438
<b>10</b>	193,114
<b>25</b>	211,657
<b>50</b>	225,413
<b>100</b>	239,067
<b>500</b>	270,621

## Curvas IDF

Una vez, que se calcula el  $P_{d\max}$  para cada periodo de retorno se calculan las curvas IDF, a través de los siguientes pasos:

### *Paso 1*

Se calcula la precipitación máxima para las 24 horas del día, multiplicándolas por un factor de corrección, obteniendo la siguiente tabla:

**Tabla E3**

*Precipitación máxima por periodo de retorno para 24 horas*

<b>T</b> <b>(años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b><math>P_{d\max}</math></b>	156,272	178,438	193,114	211,657	225,413	239,067	270,621
<b>Precipitación máxima</b>							
<b>T (años)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
<b>24</b>	156,272	178,438	193,114	211,657	225,413	239,067	270,621
<b>18</b>	142,208	162,379	175,734	192,608	205,126	217,551	246,265
<b>12</b>	125,018	142,751	154,491	169,325	180,330	191,254	216,497
<b>8</b>	106,265	121,338	131,318	143,927	153,281	162,566	184,022
<b>6</b>	95,326	108,847	117,800	129,111	137,502	145,831	165,079
<b>5</b>	89,075	101,710	110,075	120,644	128,485	136,268	154,254
<b>4</b>	81,262	92,788	100,419	110,062	117,215	124,315	140,723
<b>3</b>	71,885	82,082	88,832	97,362	103,690	109,971	124,486
<b>2</b>	60,946	69,591	75,314	82,546	87,911	93,236	105,542
<b>1</b>	46,882	53,531	57,934	63,497	67,624	71,720	81,186

### *Paso 2*

Una vez que se calcula esta precipitación se divide entre la cantidad de horas calculadas, para que se obtenga el valor de intensidad por hora para cada periodo de retorno:

**Tabla E4**

*Intensidad de lluvia por hora para cada periodo de retorno*

min	Intensidad de lluvia						
	2	5	10	25	50	100	500
1440	6,511	7,435	8,046	8,819	9,392	9,961	11,276
1080	7,900	9,021	9,763	10,700	11,396	12,086	13,681
720	10,418	11,896	12,874	14,110	15,028	15,938	18,041
480	13,283	15,167	16,415	17,991	19,160	20,321	23,003
360	15,888	18,141	19,633	21,518	22,917	24,305	27,513
300	17,815	20,342	22,015	24,129	25,697	27,254	30,851
240	20,315	23,197	25,105	27,515	29,304	31,079	35,181
180	23,962	27,361	29,611	32,454	34,563	36,657	41,495
120	30,473	34,795	37,657	41,273	43,956	46,618	52,771
60	46,882	53,531	57,934	63,497	67,624	71,720	81,186

Una vez que se calculó la intensidad de lluvia unitaria para cada periodo de retorno y distribución del día, se obtienen las variables para el cálculo de las intensidades para cada periodo de retorno y duración de lluvia utilizando la ecuación de Aparicio:

Ecuación de Aparicio:

$$i = \frac{kT^m}{D^n}$$

Donde: *i*: Intensidad de lluvia (mm)

*T*: Periodo de retorno; *D*: Duración de la lluvia; *K*, *m* y *n*: constantes de ajuste

### **Paso 3**

Se calculan los valores de *k*, *m* y *n*, mediante un análisis de correlación lineal múltiple., obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla E5***Correlación para periodo de retorno de 2 años*

	<b>T=2</b>					
<b>#</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>lnx</b>	<b>lny</b>	<b>lnx*lny</b>	<b>lnx*lnx</b>
<b>1</b>	1440	6,511	7,272	1,874	13,625	52,888
<b>2</b>	1080	7,900	6,985	2,067	14,437	48,786
<b>3</b>	720	10,418	6,579	2,344	15,419	43,287
<b>4</b>	480	13,283	6,174	2,586	15,968	38,116
<b>5</b>	360	15,888	5,886	2,766	16,278	34,646
<b>6</b>	300	17,815	5,704	2,880	16,427	32,533
<b>7</b>	240	20,315	5,481	3,011	16,504	30,037
<b>8</b>	180	23,962	5,193	3,176	16,495	26,967
<b>9</b>	120	30,473	4,787	3,417	16,358	22,920
<b>10</b>	60	46,882	4,094	3,848	15,754	16,764
10	4980	193,448	58,155	27,968	157,266	346,944
<i>Ln(d)=</i>	6,3815					
<i>d=</i>	590,7917					
<i>n=</i>	-0,6164					

**Tabla E6***Correlación para periodo de retorno de 5 años*

	<b>T=5</b>					
<b>#</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>lnx</b>	<b>lny</b>	<b>lnx*lny</b>	<b>lnx*lnx</b>
<b>1</b>	1440	7,435	7,272	2,006	14,590	52,888
<b>2</b>	1080	9,021	6,985	2,200	15,363	48,786
<b>3</b>	720	11,896	6,579	2,476	16,291	43,287
<b>4</b>	480	15,167	6,174	2,719	16,787	38,116
<b>5</b>	360	18,141	5,886	2,898	17,059	34,646
<b>6</b>	300	20,342	5,704	3,013	17,184	32,533
<b>7</b>	240	23,197	5,481	3,144	17,231	30,037
<b>8</b>	180	27,361	5,193	3,309	17,184	26,967
<b>9</b>	120	34,795	4,787	3,549	16,993	22,920
<b>10</b>	60	53,531	4,094	3,980	16,297	16,764
10	4980	220,887	58,155	29,295	164,980	346,944
<i>Ln(d)=</i>	6,5141					
<i>d=</i>	674,5903					
<i>n=</i>	-0,6164					

Tabla E7

*Correlación para periodo de retorno de 10 años*

	<b>T=10</b>					
<b>#</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>lnx</b>	<b>lny</b>	<b>lnx*lny</b>	<b>lnx*lnx</b>
<b>1</b>	1440	8,046	7,272	2,085	15,165	52,888
<b>2</b>	1080	9,763	6,985	2,279	15,915	48,786
<b>3</b>	720	12,874	6,579	2,555	16,812	43,287
<b>4</b>	480	16,415	6,174	2,798	17,275	38,116
<b>5</b>	360	19,633	5,886	2,977	17,524	34,646
<b>6</b>	300	22,015	5,704	3,092	17,635	32,533
<b>7</b>	240	25,105	5,481	3,223	17,664	30,037
<b>8</b>	180	29,611	5,193	3,388	17,594	26,967
<b>9</b>	120	37,657	4,787	3,629	17,372	22,920
<b>10</b>	60	57,934	4,094	4,059	16,620	16,764
10	4980	239,054	58,155	30,085	169,576	346,944
<i>Ln(d)=</i>	6,5931					
<i>d=</i>	730,0723					
<i>n=</i>	-0,6164					

**Tabla E8***Correlación para periodo de retorno de 25 años*

	<b>T=25</b>					
<b>#</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>lnx</b>	<b>lny</b>	<b>lnx*lny</b>	<b>lnx*lnx</b>
<b>1</b>	1440	8,819	7,272	2,177	15,831	52,888
<b>2</b>	1080	10,700	6,985	2,370	16,556	48,786
<b>3</b>	720	14,110	6,579	2,647	17,415	43,287
<b>4</b>	480	17,991	6,174	2,890	17,841	38,116
<b>5</b>	360	21,518	5,886	3,069	18,064	34,646
<b>6</b>	300	24,129	5,704	3,183	18,157	32,533
<b>7</b>	240	27,515	5,481	3,315	18,167	30,037
<b>8</b>	180	32,454	5,193	3,480	18,071	26,967
<b>9</b>	120	41,273	4,787	3,720	17,810	22,920
<b>10</b>	60	63,497	4,094	4,151	16,996	16,764
10	4980	262,008	58,155	31,002	174,908	346,944
<i>Ln(d)=</i>	6,6848					
<i>d=</i>	800,1738					
<i>n=</i>	-0,6164					

Tabla E9

*Correlación para periodo de retorno de 50 años*

	<b>T=50</b>					
<b>#</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>lnx</b>	<b>lny</b>	<b>lnx*lny</b>	<b>lnx*lnx</b>
<b>1</b>	1440	9,392	7,272	2,240	16,289	52,888
<b>2</b>	1080	11,396	6,985	2,433	16,996	48,786
<b>3</b>	720	15,028	6,579	2,710	17,829	43,287
<b>4</b>	480	19,160	6,174	2,953	18,230	38,116
<b>5</b>	360	22,917	5,886	3,132	18,435	34,646
<b>6</b>	300	25,697	5,704	3,246	18,517	32,533
<b>7</b>	240	29,304	5,481	3,378	18,512	30,037
<b>8</b>	180	34,563	5,193	3,543	18,398	26,967
<b>9</b>	120	43,956	4,787	3,783	18,112	22,920
<b>10</b>	60	67,624	4,094	4,214	17,253	16,764
10	4980	279,036	58,155	31,632	178,570	346,944
<i>Ln(d)=</i>	6,7478					
<i>d=</i>	852,1792					
<i>n=</i>	-0,6164					

**Tabla E10***Correlación para periodo de retorno de 100 años*

	<b>T=100</b>					
<b>#</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>lnx</b>	<b>lny</b>	<b>lnx*lny</b>	<b>lnx*lnx</b>
<b>1</b>	1440	9,961	7,272	2,299	16,717	52,888
<b>2</b>	1080	12,086	6,985	2,492	17,406	48,786
<b>3</b>	720	15,938	6,579	2,769	18,216	43,287
<b>4</b>	480	20,321	6,174	3,012	18,593	38,116
<b>5</b>	360	24,305	5,886	3,191	18,781	34,646
<b>6</b>	300	27,254	5,704	3,305	18,852	32,533
<b>7</b>	240	31,079	5,481	3,437	18,834	30,037
<b>8</b>	180	36,657	5,193	3,602	18,703	26,967
<b>9</b>	120	46,618	4,787	3,842	18,393	22,920
<b>10</b>	60	71,720	4,094	4,273	17,494	16,764
10	4980	295,939	58,155	32,220	181,990	346,944
<i>Ln(d)=</i>	6,8066					
<i>d=</i>	903,8006					
<i>n=</i>	-0,6164					

Tabla E11

*Correlación para periodo de retorno de 500 años*

	<b>T=500</b>					
<b>#</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>lnx</b>	<b>lny</b>	<b>lnx*lny</b>	<b>lnx*lnx</b>
<b>1</b>	1440	11,276	7,272	2,423	17,619	52,888
<b>2</b>	1080	13,681	6,985	2,616	18,272	48,786
<b>3</b>	720	18,041	6,579	2,893	19,032	43,287
<b>4</b>	480	23,003	6,174	3,136	19,359	38,116
<b>5</b>	360	27,513	5,886	3,315	19,510	34,646
<b>6</b>	300	30,851	5,704	3,429	19,559	32,533
<b>7</b>	240	35,181	5,481	3,560	19,514	30,037
<b>8</b>	180	41,495	5,193	3,726	19,347	26,967
<b>9</b>	120	52,771	4,787	3,966	18,987	22,920
<b>10</b>	60	81,186	4,094	4,397	18,002	16,764
10	4980	334,999	58,155	33,460	189,200	346,944
<i>Ln(d)=</i>	6,9306					
<i>d=</i>	1023,0897					
<i>n=</i>	-0,6164					

Tabla E12

*Regresión potencial*

<b>Regresión Potencial</b>							
<b>#</b>	<b>T</b>	<b>[d]</b>	<b>[n]</b>	<b>lnT</b>	<b>ln d</b>	<b>lnT*ln d</b>	<b>lnT*ln T</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	590,792	-0,616	0,693	6,381	4,423	0,480
<b>2</b>	<b>5</b>	674,590	-0,616	1,609	6,514	10,484	2,590
<b>3</b>	<b>10</b>	730,072	-0,616	2,303	6,593	15,181	5,302
<b>4</b>	<b>25</b>	800,174	-0,616	3,219	6,685	21,518	10,361
<b>5</b>	<b>50</b>	852,179	-0,616	3,912	6,748	26,398	15,304
<b>6</b>	<b>100</b>	903,801	-0,616	4,605	6,807	31,346	21,208
<b>7</b>	<b>500</b>	1023,090	-0,616	6,215	6,931	43,071	38,621
<b>7</b>			<b>Suma</b>	<b>22,556</b>	<b>46,659</b>	<b>152,420</b>	<b>93,867</b>
<b>Ln(K)=</b>	<b>6,3500</b>						
<b>K=</b>	<b>572,5140</b>						
<b>m=</b>	<b>0,0979</b>						
<b>n=</b>	<b>0,6164</b>						

Utilizando la ecuación de Aparicio (1997) y el tiempo de concentración calculado para cada microfrecuencia, se puede calcular la intensidad de lluvia para cada segmento del análisis.

**Tabla E13**

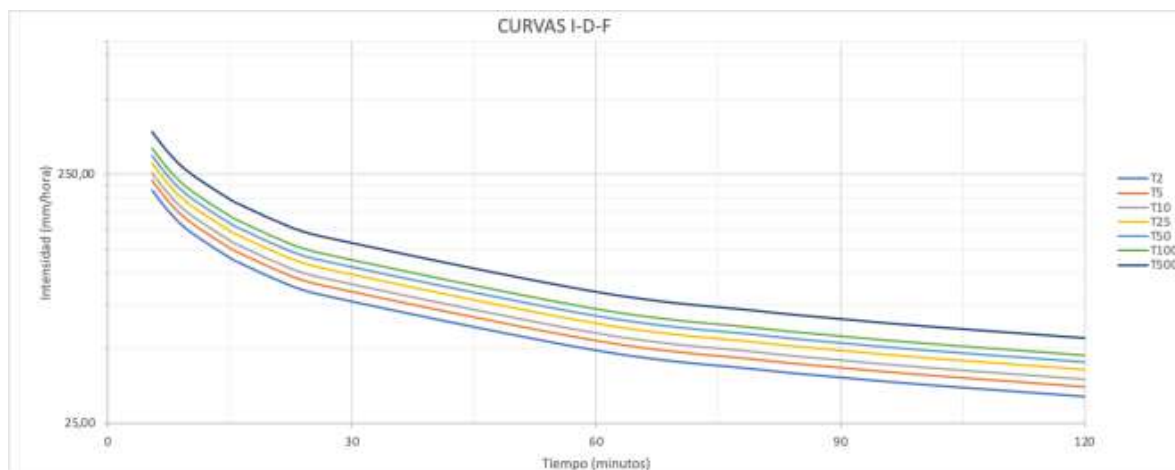
*Intensidad de lluvia para cada segmento del análisis*

T	Duración en minutos													Intensidad (mm / hora)
	5,43	7,57	10,19	15,1	15,74	19,76	20,42	25,68	60	80	90	100	120	
2	215,94	175,95	146,50	114,96	112,06	97,40	95,45	82,87	49,12	41,14	38,26	35,85	32,04	
5	236,21	192,47	160,25	125,75	122,57	106,54	104,40	90,65	53,73	45,00	41,85	39,21	35,05	
10	252,79	205,98	171,50	134,58	131,18	114,02	111,73	97,01	57,50	48,16	44,78	41,97	37,51	
25	276,52	225,31	187,60	147,21	143,49	124,72	122,22	106,12	62,90	52,68	48,99	45,91	41,03	
50	295,94	241,13	200,77	157,55	153,57	133,48	130,80	113,57	67,31	56,37	52,43	49,13	43,91	
100	316,72	258,06	214,87	168,61	164,35	142,85	139,99	121,54	72,04	60,33	56,11	52,58	46,99	
500	370,77	302,11	251,53	197,39	192,40	167,23	163,88	142,29	84,33	70,63	65,68	61,55	55,01	

Basado en los datos obtenidos, se puede graficar las curvas IDF, como se muestra en la siguiente figura:

**Figura E2**

*Intensidad de lluvia para cada segmento del análisis*



## Caudal de diseño (q)

Se calcula por medio de la ecuación del método racional:

$$q = \frac{C * i * A}{360}$$

Donde:

q: Caudal de escorrentía, en m<sup>3</sup>/s.

C: Coeficiente de escorrentía, adimensional.

i: Intensidad de la lluvia de diseño, en  
mm/hora.

A: Área a drenar, en m<sup>2</sup>.

## Coeficiente de escorrentía (C)

Los coeficientes de escorrentía utilizados son aquellos indicados en la *Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial* para un periodo de retorno de 50 años. Se asignan según el tipo de superficie de cada **subcuenca**.

**Tabla E14**

*Coefficientes de escorrentía*

TIPO DE ÁREA O DESARROLLO	C
<b>TIPO DE ÁREA</b>	
Techos de edificios	0.80 - 0.95
Pavimentos de asfalto o concreto	0.70 - 0.95
Pavimentos de ladrillo	0.70 - 0.80
<b>Suelos cubiertos de pasto:</b>	
Pendientes de 2% a 8%	0.05 - 0.10
Pendientes de 2 a 8%	0.10 - 0.16
Pendientes de 8% o más	0.16 - 0.20
<b>Suelos arcillosos cubiertos de pasto</b>	
Pendientes de 2% a menor	0.10 - 0.16
Pendientes de 2 a 8%	0.17 - 0.25
Pendientes de 8% o más	0.26 - 0.36
<b>TIPO DE DESARROLLO</b>	
Comercios urbanos	0.70 - 0.95
Oficinas comerciales	0.50 - 0.70
Casas unifamiliares	0.30 - 0.50
Condominios	0.40 - 0.60

**Apéndice F. Clasificación de regiones y subregiones climáticas de Costa Rica por la lluvia  
media anual (mm)**

**Tabla F1**

*Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica por la lluvia media anual (mm)*

Clasificación	Zona	Lluvia media anual (mm)
1	RA3	4860
2	PS3	4820
3	PS4	4282
4	RA1	4150
5	PC3	3923
6	RA4	3844
7	RN2	3768
8	PS2	3710
9	RN5	3710
10	PC2	3689
11	PS5	3320
12	PC1	3122
13	RN1	3100
14	PS1	3050
15	RN4	3020
16	VC3	2820
17	RN3	2722

18	PN4	2637
19	RA5	2470
20	PN3	2462
21	PN1	2385
22	RMS1	2370
23	RA2	2300
24	RMS2	2190
25	VC2	2016
26	VC1	1950
27	PN2	1800

Donde:

PN	Pacífico Norte
PC	Pacífico Central
PS	Pacífico Sur
RMS	Región Montañosa Sur
VC	Valle Central
RN	Región Norte
RA	Región Atlántica



Apéndice G. Tabla dimensionamiento del canal

Tramo		Caudal diseño	N Manning	Altura nominal	Altura real	Altura al 85%	Luz nominal	Pendiente	Área hidráulica	Radio hidráulico	Caudal a tubo lleno	Velocidad a tubo lleno	Área hidráulica real	Radio hidráulico real	Caudal real en la tubería	Longitud acumulada	Estacionamiento	Recubrimiento mínimo de la corona del tubo a la rasante		Ancho interno de los Pozos		Longitud de la proyección horizontal del tubo	Desnivel del tubo	Elevación del Fondo del Tubo					
De Pozo	A Pozo																	L	GR	q	n			Y	Y	Y	B	S	A
Nombre	Rasante	Nombre	Rasante	m	%	m <sup>3</sup> /s	m	m	m	%	m <sup>2</sup>	m	m/s	m <sup>2</sup>	m	l/s	m	l/s	m	m	m	m	m	m	EFST	EFET			
C8	128,58	C7-1	127,95	120,00	0,52 %	6,600	0,013	1,000	0,776	0,850	2,500	0,52 %	2,500	0,556	9,386	3,8	1,941	0,479	6,600	120,00	0+120	0,00	0,00	2,00	2,00	118,00	0,62	127,58	126,96
C7-1	127,95	C7	127,64	60,00	0,52 %	6,600	0,013	1,000	0,776	0,850	2,500	0,52 %	2,500	0,556	9,386	3,8	1,941	0,479	6,600	180,00	0+180	0,00	0,00	2,00	2,00	58,00	0,30	126,96	126,66
C7	127,64	C6	125,90	109,00	1,60 %	7,862	0,013	1,000	0,755	0,850	2,500	0,80 %	2,500	0,556	11,624	4,6	1,888	0,471	7,862	289,00	0+289	0,90	0,00	2,00	2,00	107,00	0,86	125,76	124,90
C6	125,90	C5-1	125,38	120,00	0,43 %	9,470	0,013	1,500	1,077	1,275	2,500	0,43 %	3,750	0,682	14,653	3,9	2,693	0,579	9,434	409,00	0+409	0,60	0,10	2,00	2,00	118,00	0,51	124,30	123,79
C5-1	125,38	C5-2	124,87	120,00	0,43 %	9,470	0,013	1,500	1,077	1,275	2,500	0,43 %	3,750	0,682	14,653	3,9	2,693	0,579	9,434	529,00	0+529	0,00	0,10	2,00	2,00	118,00	0,51	123,79	123,29
C5-2	124,87	C5-3	124,35	120,00	0,43 %	9,470	0,013	1,500	1,077	1,275	2,500	0,43 %	3,750	0,682	14,653	3,9	2,693	0,579	9,434	649,00	0+649	0,00	0,10	2,00	2,00	118,00	0,51	123,29	122,78
C5-3	124,35	C5	124,17	41,57	0,43 %	9,470	0,013	1,500	1,077	1,275	2,500	0,43 %	3,750	0,682	14,653	3,9	2,693	0,579	9,434	690,57	0+690	0,00	0,10	2,00	2,00	39,57	0,17	122,78	122,61
C5	124,17	C4-1	123,37	120,00	0,67 %	13,205	0,013	1,500	0,988	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,963	0,596	12,496	810,57	0+810	0,10	0,10	2,00	2,00	118,00	0,71	122,51	121,80
C4-1	123,37	C4-2	122,57	120,00	0,67 %	13,205	0,013	1,500	0,988	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,963	0,596	12,496	930,57	0+930	0,10	0,10	2,00	2,00	118,00	0,71	121,70	120,99
C4-2	122,57	C4-3	121,76	120,00	0,67 %	13,205	0,013	1,500	0,988	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,963	0,596	12,496	1050,57	1+050	0,10	0,10	2,00	2,00	118,00	0,71	120,89	120,19
C4-3	121,76	C4-4	120,96	120,00	0,67 %	13,205	0,013	1,500	0,988	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,963	0,596	12,496	1170,57	1+170	0,10	0,10	2,00	2,00	118,00	0,71	120,09	119,38
C4-4	120,96	C4-5	120,15	120,00	0,67 %	13,205	0,013	1,500	0,988	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,963	0,596	12,496	1290,57	1+290	0,10	0,10	2,00	2,00	118,00	0,71	119,28	118,57
C4-5	120,15	C4-6	119,35	120,00	0,67 %	13,205	0,013	1,500	0,988	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,963	0,596	12,496	1410,57	1+410	0,10	0,10	2,00	2,00	118,00	0,71	118,47	117,76
C4-6	119,35	C4	119,03	47,00	0,67 %	13,205	0,013	1,500	0,988	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,963	0,596	12,496	1457,57	1+457	0,10	0,10	2,00	2,00	45,00	0,27	117,66	117,39
C4	119,03	C3-1	117,64	120,00	1,16 %	16,604	0,013	1,500	0,956	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,869	0,584	11,942	1577,57	1+577	0,75	0,20	2,00	2,00	118,00	0,71	116,64	115,93
C3-1	117,64	C3-2	116,25	120,00	1,16 %	16,604	0,013	1,500	0,956	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,869	0,584	11,942	1697,57	1+697	0,75	0,30	2,00	2,00	118,00	0,71	115,18	114,48
C3-2	116,25	C3-3	114,86	120,00	1,16 %	16,604	0,013	1,500	0,956	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,869	0,584	11,942	1817,57	1+817	0,75	0,30	2,00	2,00	118,00	0,71	113,73	113,02
C3-3	114,86	C3	114,39	40,00	1,16 %	16,604	0,013	1,500	0,956	1,275	3,000	0,60 %	4,500	0,750	22,134	4,9	2,869	0,584	11,942	1857,57	1+857	0,75	0,90	2,00	2,00	38,00	0,23	112,27	112,04
C3	114,39	C2-1	113,24	120,00	0,96 %	22,356	0,013	1,500	0,980	1,275	4,000	0,50 %	6,000	0,857	29,448	4,9	3,921	0,658	16,134	1977,57	1+977	0,75	1,00	2,00	2,00	118,00	0,59	111,29	110,70
C2-1	113,24	C2-2	112,09	120,00	0,96 %	22,356	0,013	1,500	0,980	1,275	4,000	0,50 %	6,000	0,857	29,448	4,9	3,921	0,658	16,134	2097,57	2+097	0,75	1,20	2,00	2,00	118,00	0,59	109,95	109,36
C2-2	112,09	C2-3	110,94	120,00	0,96 %	22,356	0,013	1,500	0,980	1,275	4,000	0,50 %	6,000	0,857	29,448	4,9	3,921	0,658	16,134	2217,57	2+217	0,75	1,40	2,00	2,00	118,00	0,59	108,61	108,02
C2-3	110,94	C2	110,67	27,47	0,96 %	22,356	0,013	1,500	0,980	1,275	4,000	0,50 %	6,000	0,857	29,448	4,9	3,921	0,658	16,134	2245,04	2+245	0,75	2,00	2,00	2,00	25,47	0,13	107,27	107,14
C2	110,67	C1-1	108,33	120,00	1,95 %	24,221	0,013	1,500	0,813	1,275	4,000	0,50 %	6,000	0,857	29,448	4,9	3,250	0,578	12,265	2365,04	2+365	1,45	1,70	2,00	2,00	118,00	0,59	105,60	105,10
C1-1	108,33	C1-2	105,99	120,00	1,95 %	24,221	0,013	1,500	0,813	1,275	4,000	0,50 %	6,000	0,857	29,448	4,9	3,250	0,578	12,265	2485,04	2+485	1,45	1,40	2,00	2,00	118,00	0,59	103,65	103,06
C1-2	105,99	C1-3	103,65	120,00	1,95 %	24,221	0,013	1,500	0,813	1,275	4,000	0,50 %	6,000	0,857	29,448	4,9	3,250	0,578	12,265	2605,04	2+605	1,45	1,10	2,00	2,00	118,00	0,59	101,61	101,02
C1-3	103,65	C1	102,31	68,83	1,95 %	24,221	0,013	1,500	0,813	1,275	4,000	0,50 %	6,000	0,857	29,448	4,9	3,250	0,578	12,265	2673,87	2+673	1,45	1,60	2,00	2,00	66,83	0,33	99,57	99,24
C1	102,31	D-1	100,74	120,00	1,31 %	29,898	0,013	1,500	1,077	1,275	4,000	1,00 %	6,000	0,857	41,646	6,9	4,308	0,700	26,122	2793,87	2+793	0,40	1,60	2,00	2,00	118,00	1,18	98,84	97,66
D-1	100,74	Desfogues	100,07	50,79	1,31 %	29,898	0,013	1,500	1,077	1,275	4,000	1,00 %	6,000	0,857	41,646	6,9	4,308	0,700	26,122	2844,66	2+844	0,00	1,40	2,00	2,00	48,79	0,49	97,66	97,17

## Apéndice H. Perfil de la tubería del canal

**Figura H1**

*Perfil de tubería tramo PP8 a PP7-1*

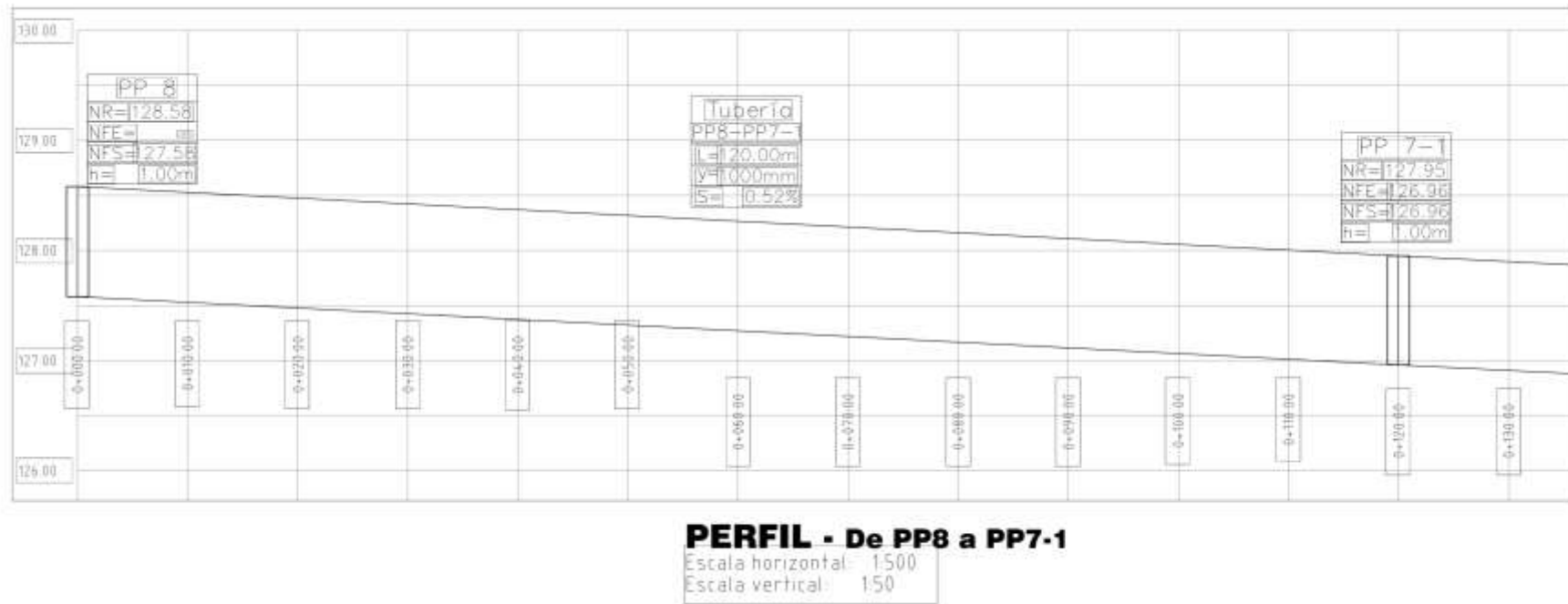
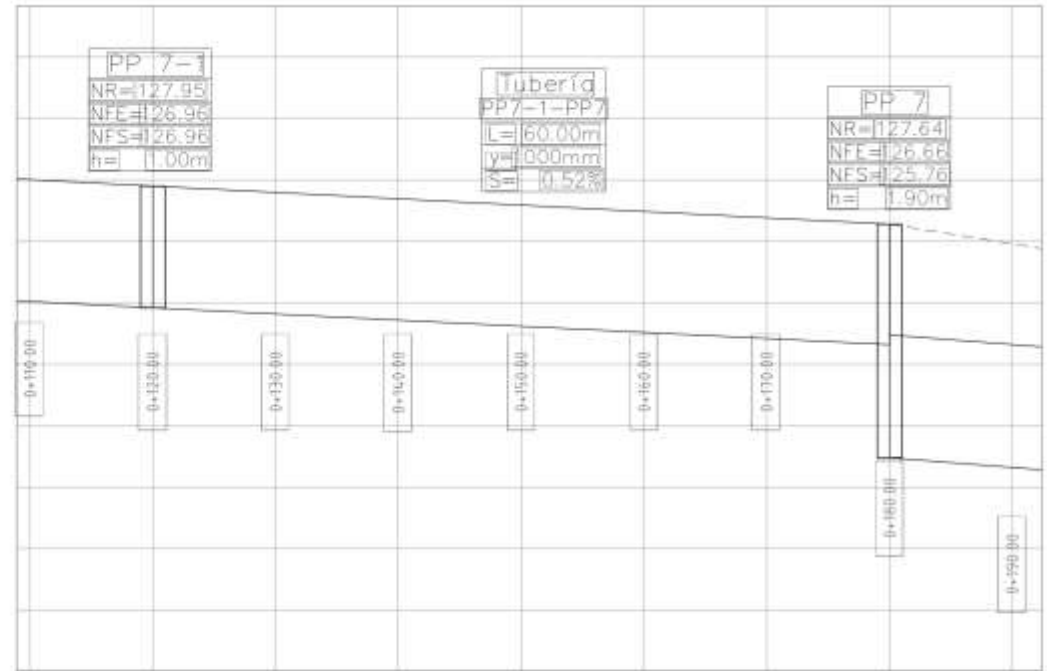


Figura H2

Perfil de tubería tramo PP7-1 a PP7

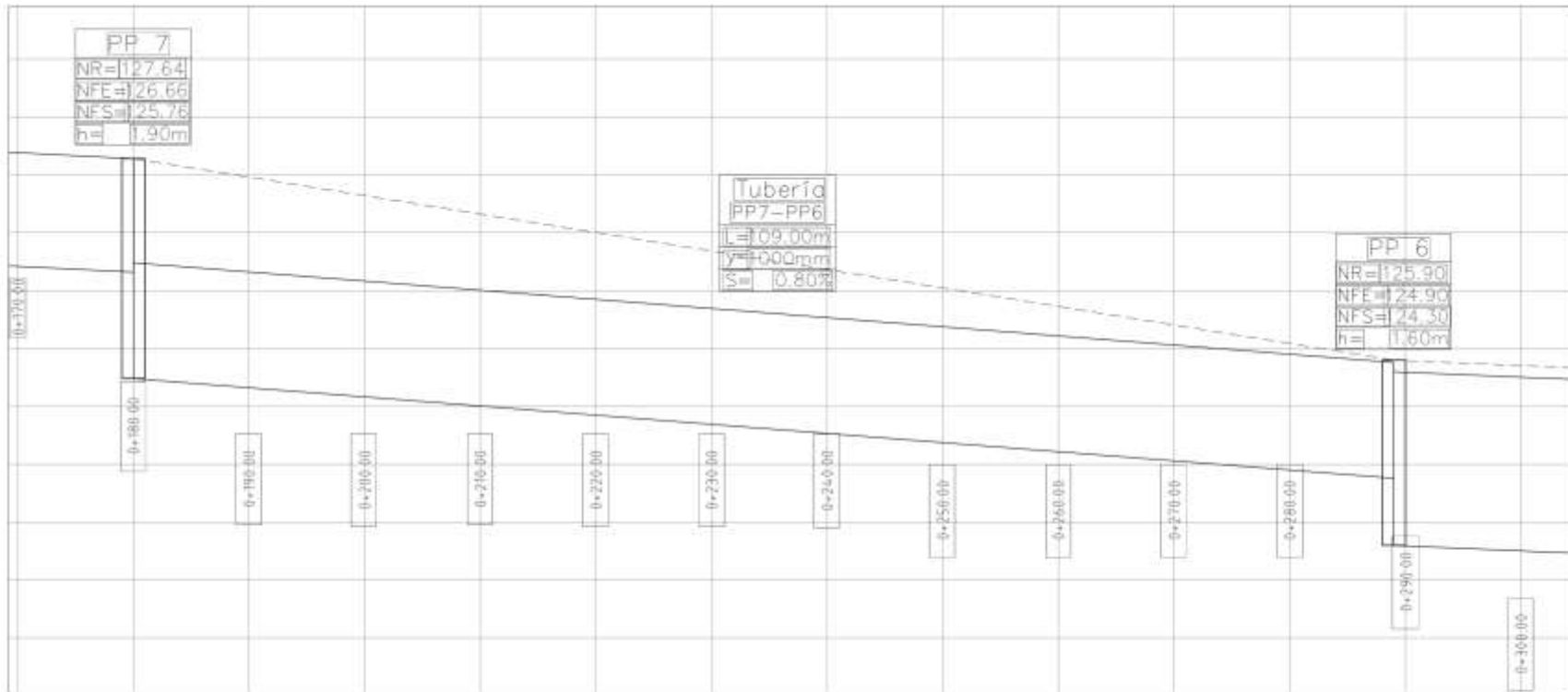


**PERFIL - De PP7-1 a PP7**

Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:50

Figura H3

Perfil de tubería tramo PP7 a PP6



**PERFIL - De PP7 a PP6**

Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:50

**Figura H4**

*Perfil de tubería tramo PP6 a PP5-1*

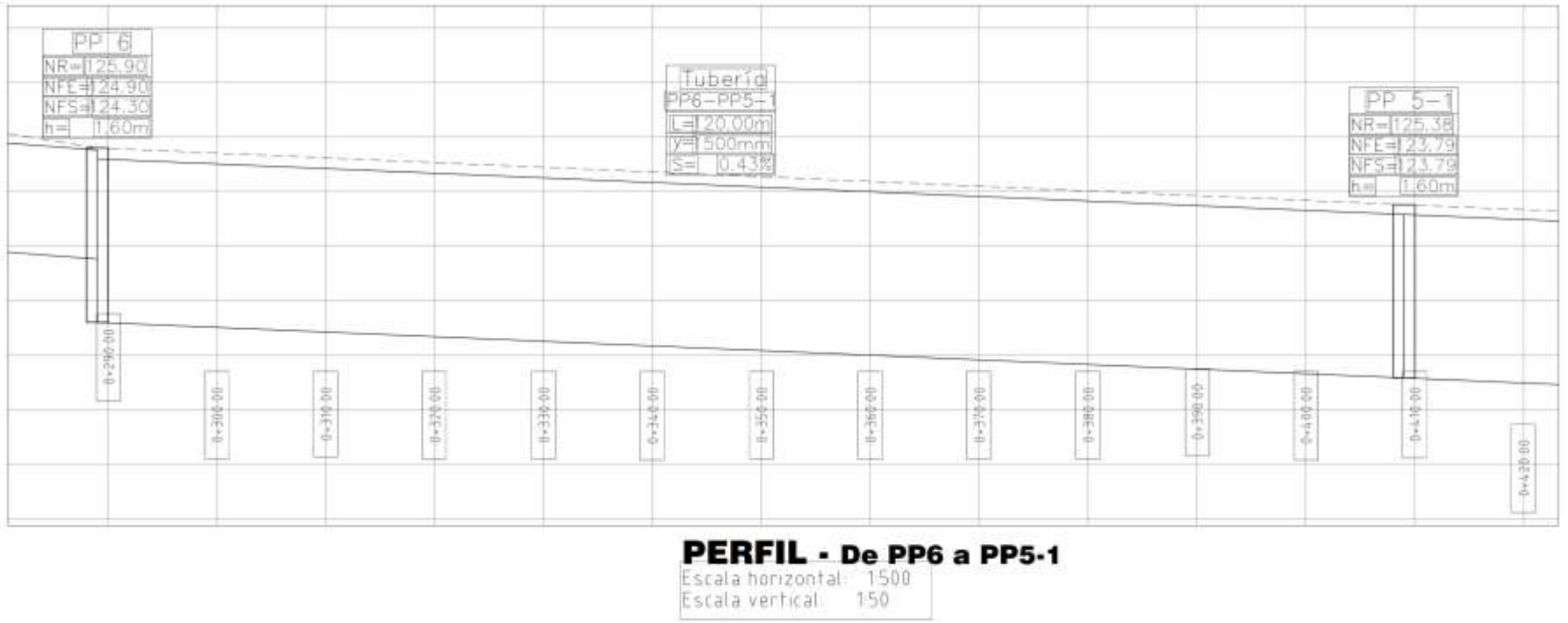


Figura H5

Perfil de tubería tramo PP5-1 a PP5-2

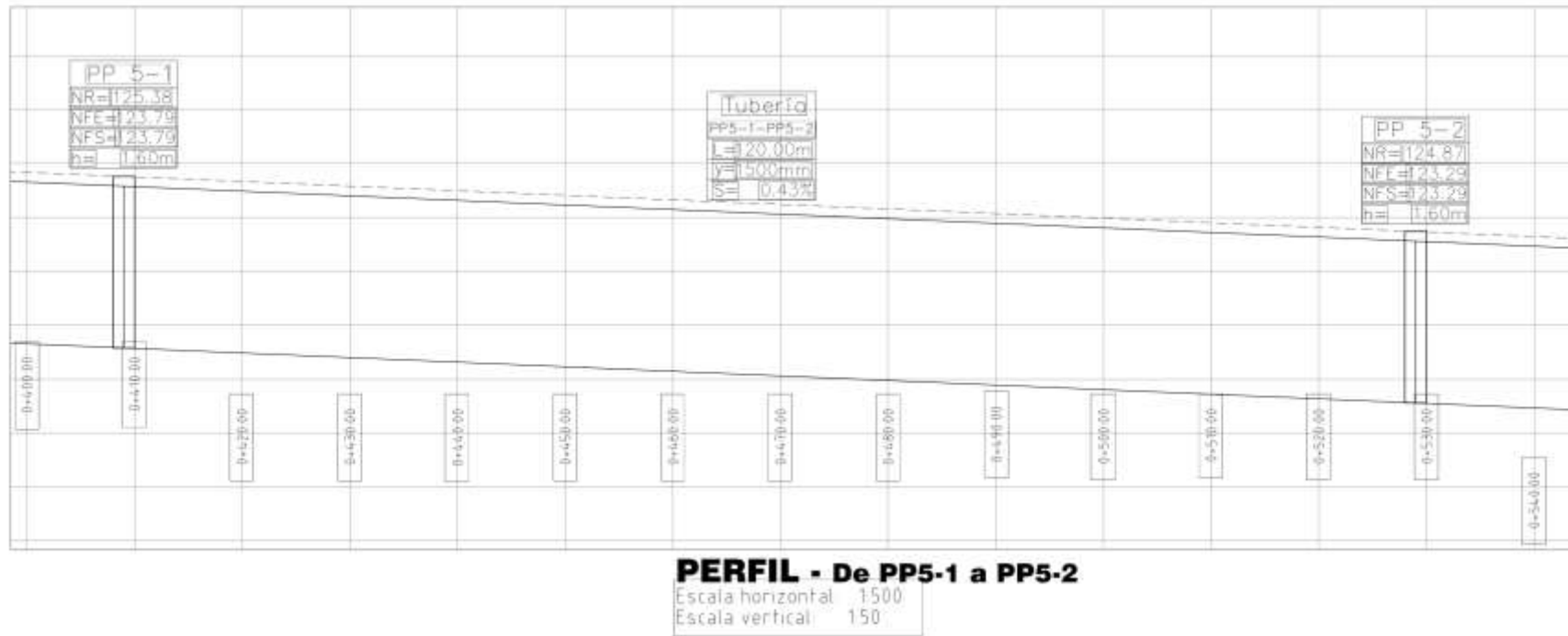
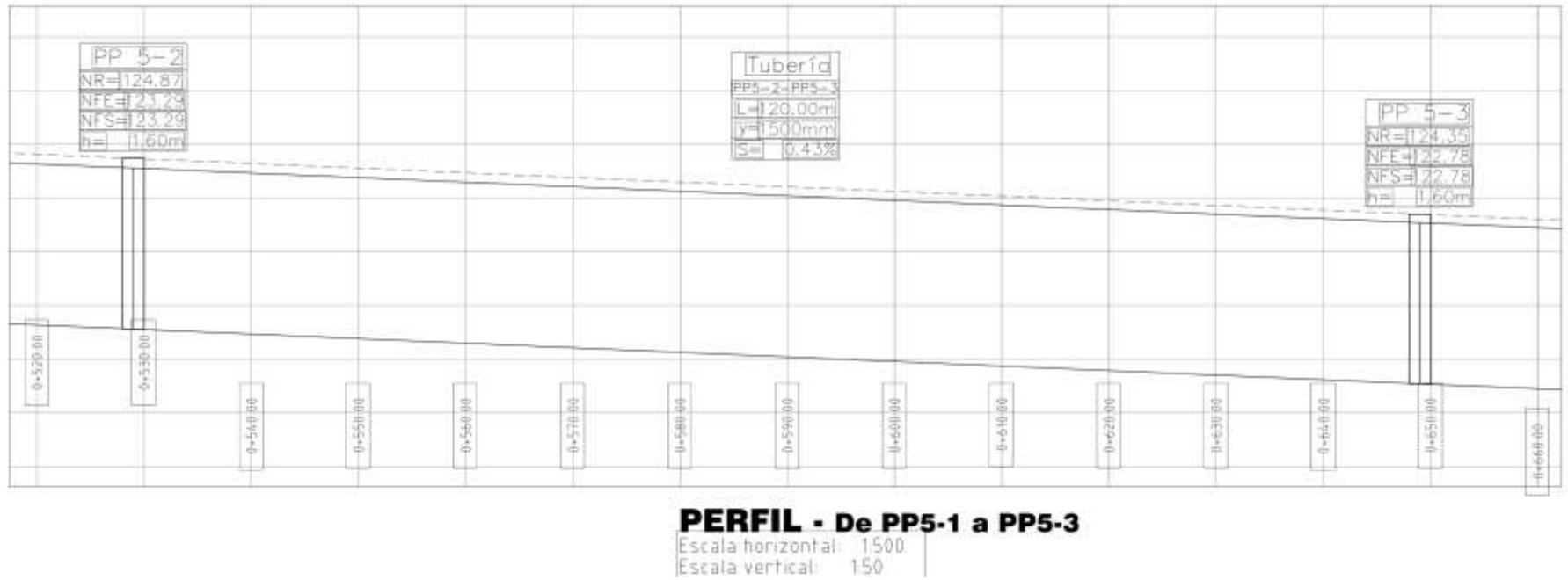


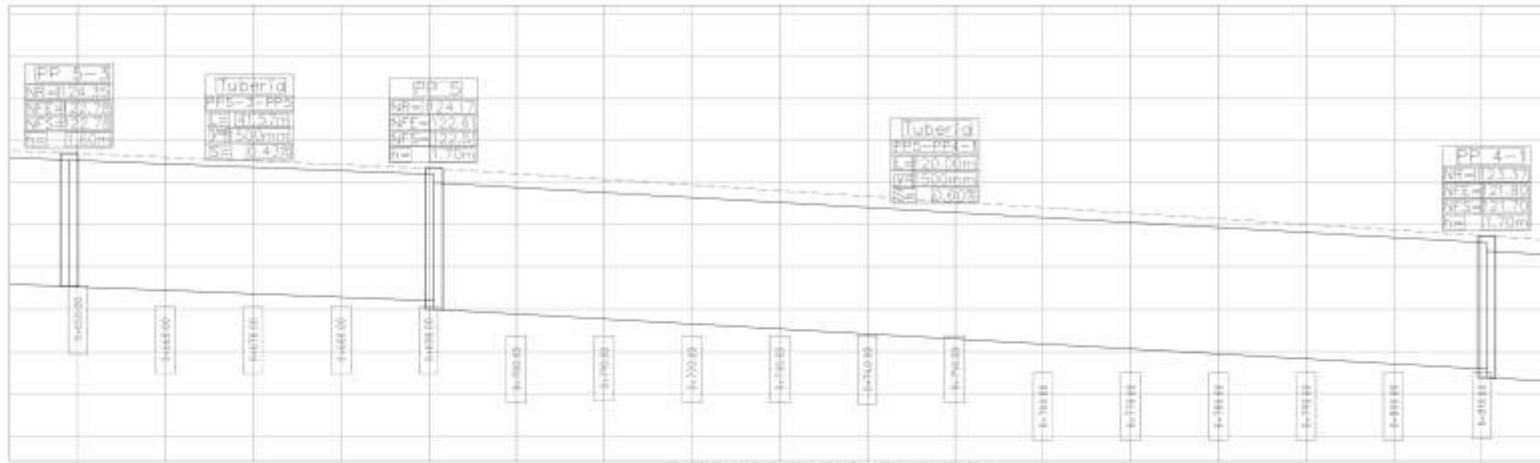
Figura H6

*Perfil de tubería tramo PP5-2 a PP5-3*

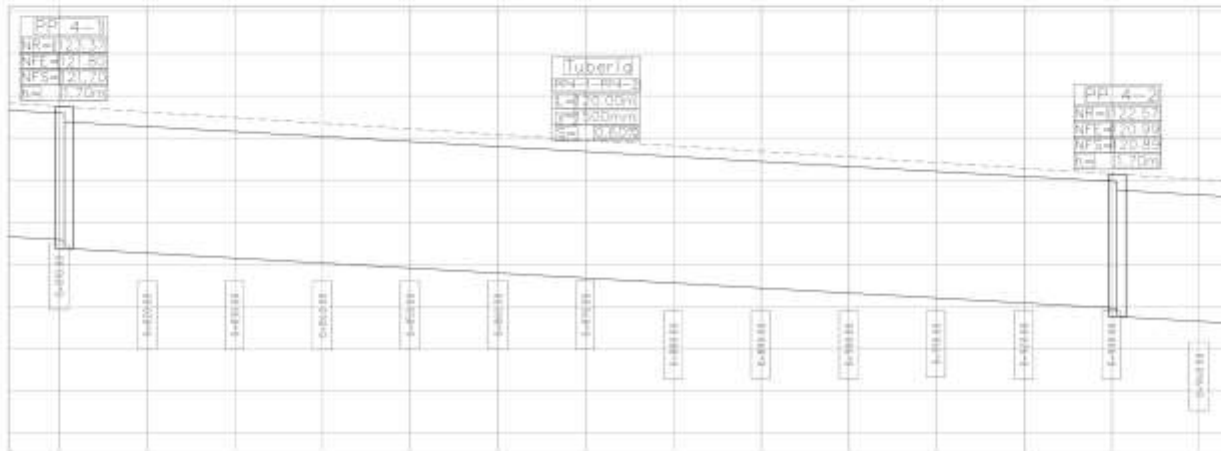


**Figura H7**

*Perfil de tubería tramo PP5-3 a PP4-1 y PP4-1 a PP4-2*



**PERFIL - De PP5-3 a PP4-1**  
 Escala horizontal: 1:500  
 Escala vertical: 1:50



**PERFIL - De PP4-1 a PP4-2**  
 Escala horizontal: 1:500  
 Escala vertical: 1:50

**Figura H8**

*Perfil de tubería tramo PP4-2 a PP4-3*

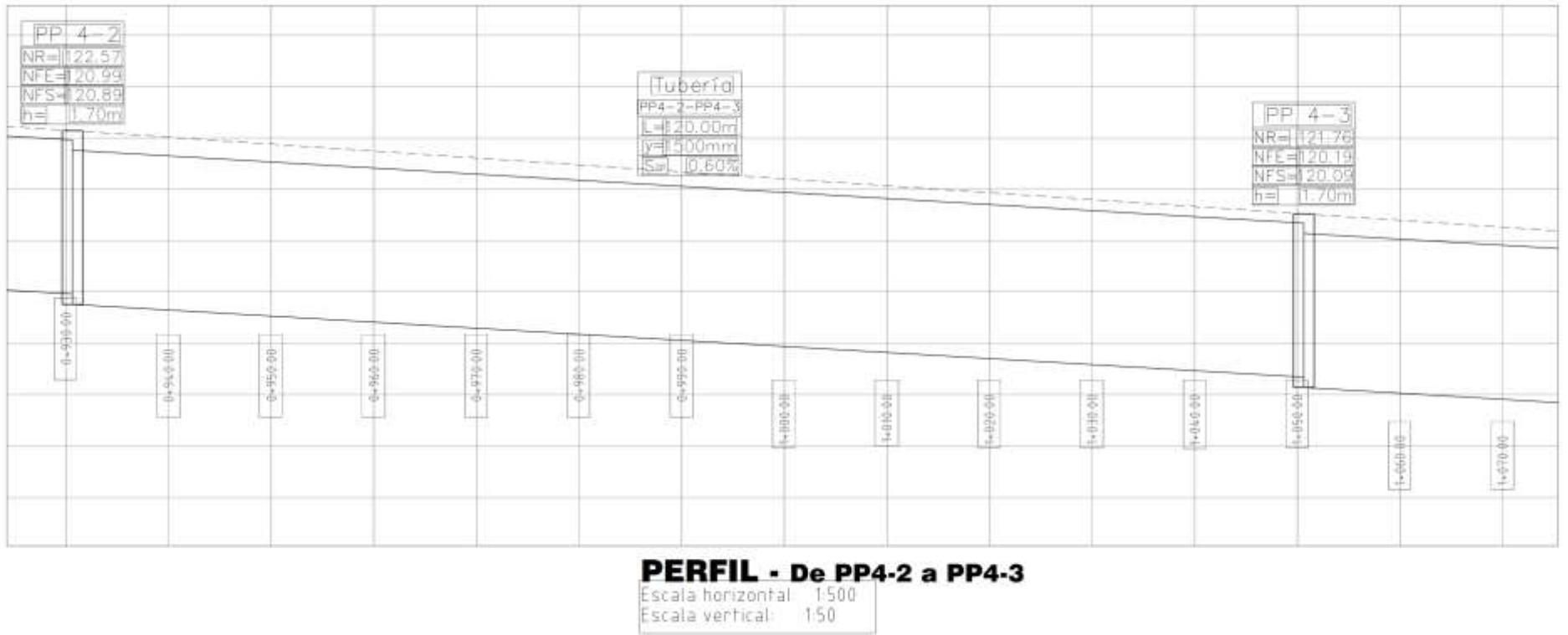
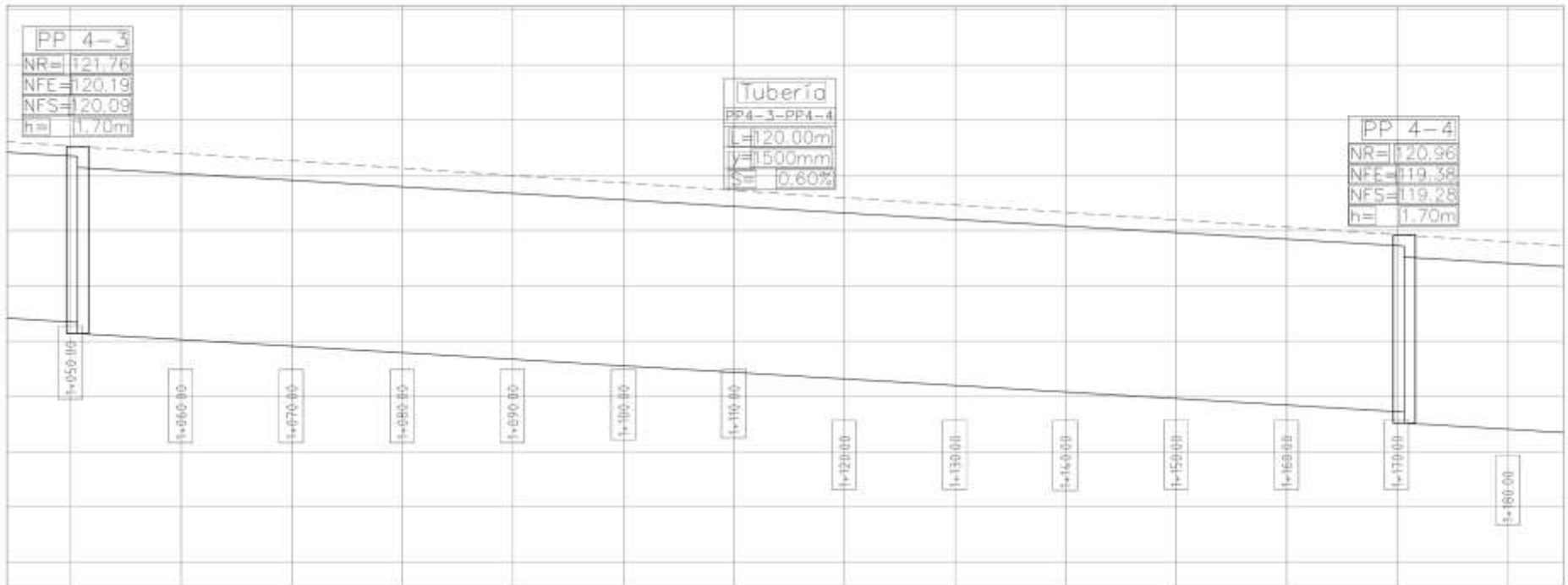


Figura H9

Perfil de tubería tramo PP4-3 a PP4-4

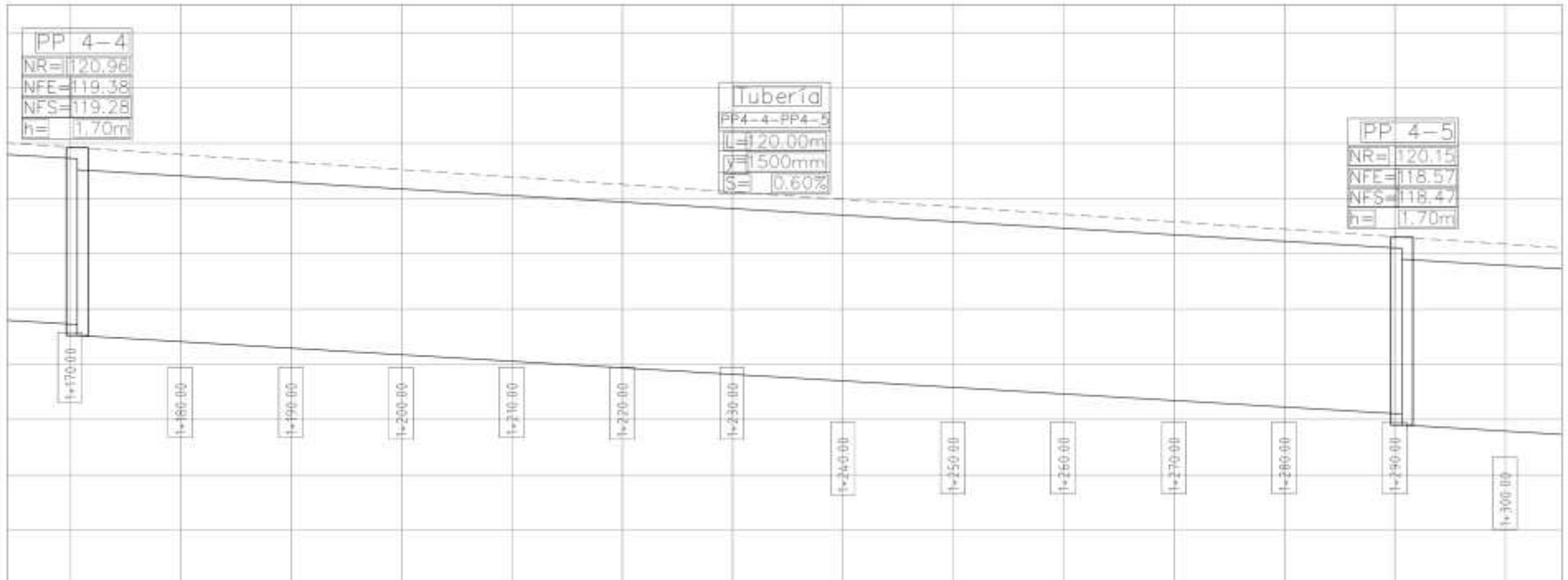


**PERFIL - De PP4-3 a PP4-4**

Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:50

**Figura H10**

*Perfil de tubería tramo PP4-4 a PP4-5*



**PERFIL - De PP4-4 a PP4-5**

Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:50

Figura H11

Perfil de tubería tramo PP4-5 a PP4

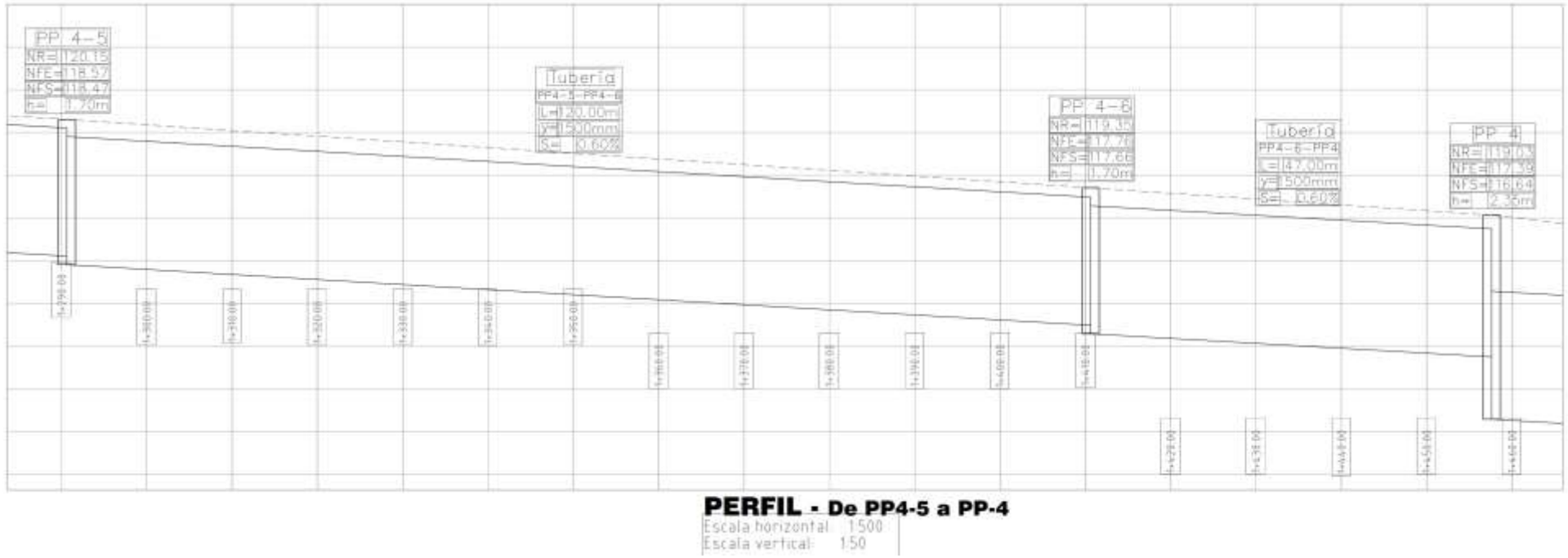


Figura H12

Perfil de tubería tramo PP4 a PP3-1

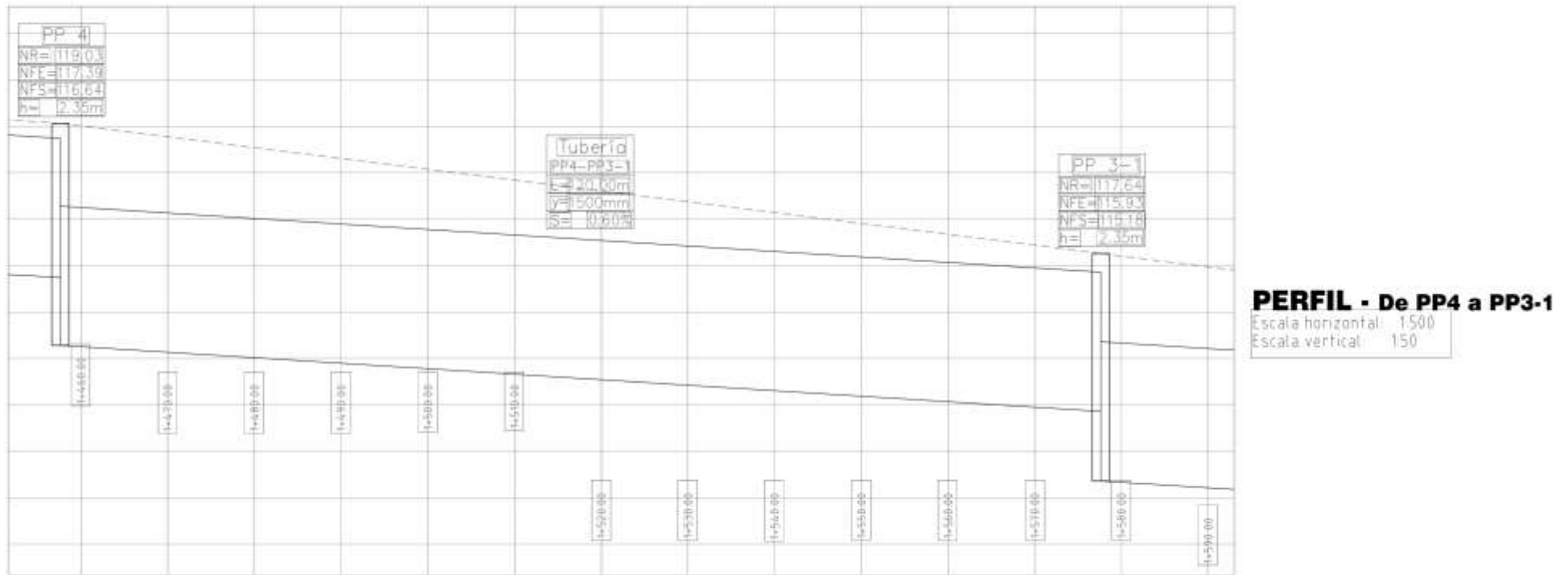


Figura H13

Perfil de tubería tramo PP3-1 a PP3-2

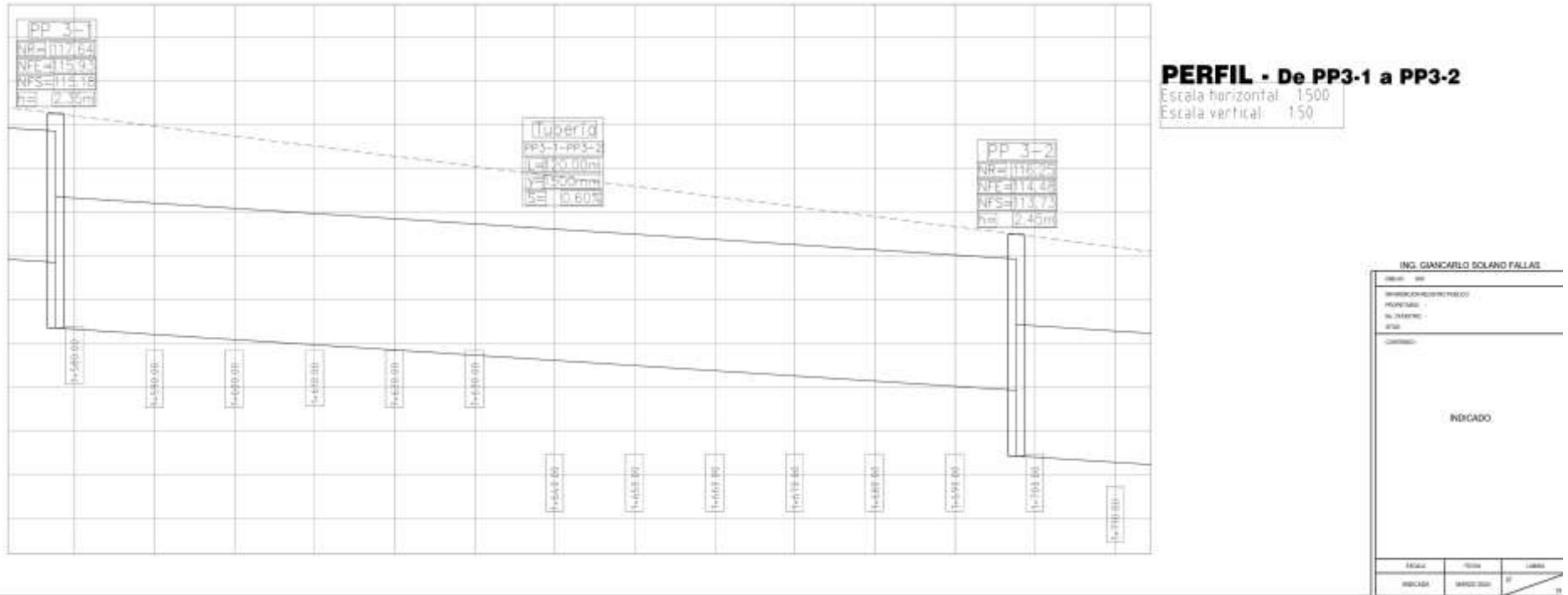




Figura H15

Perfil de tubería tramo PP2-1 a PP2-2

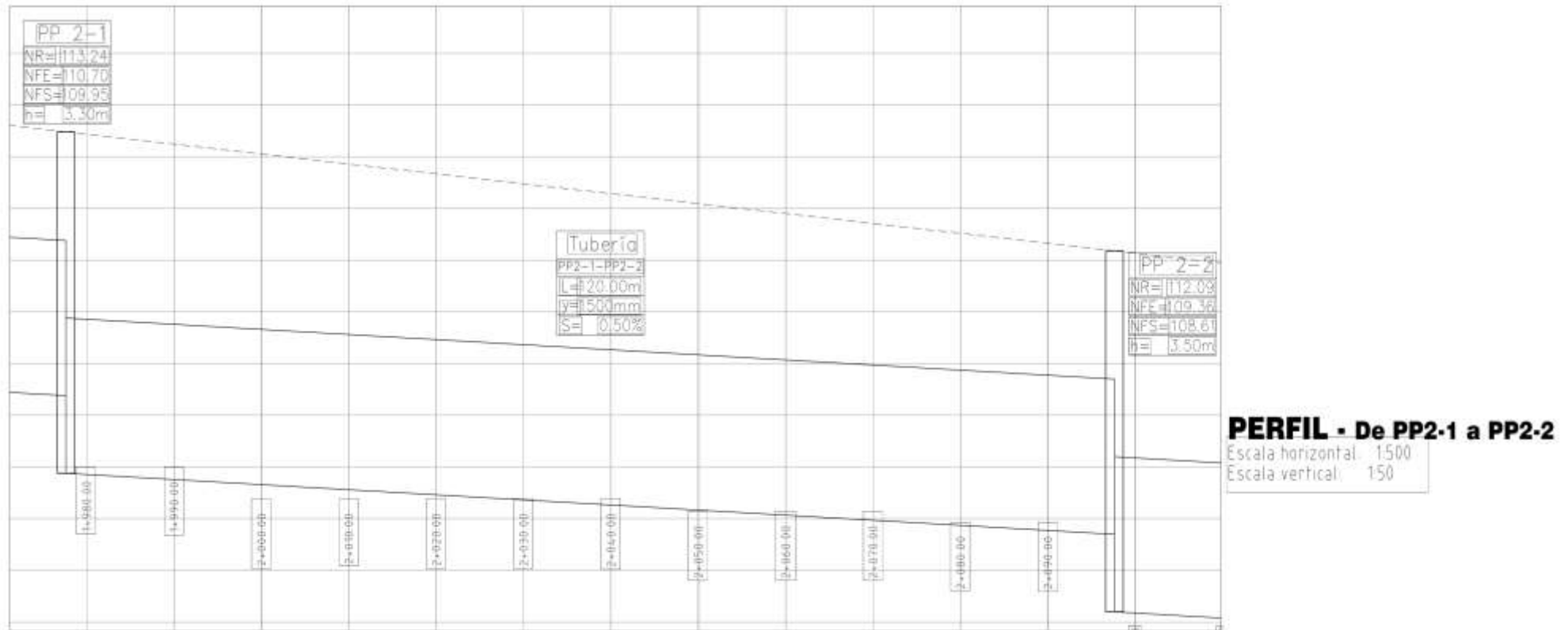


Figura H16

Perfil de tubería tramo PP2-2 a PP2

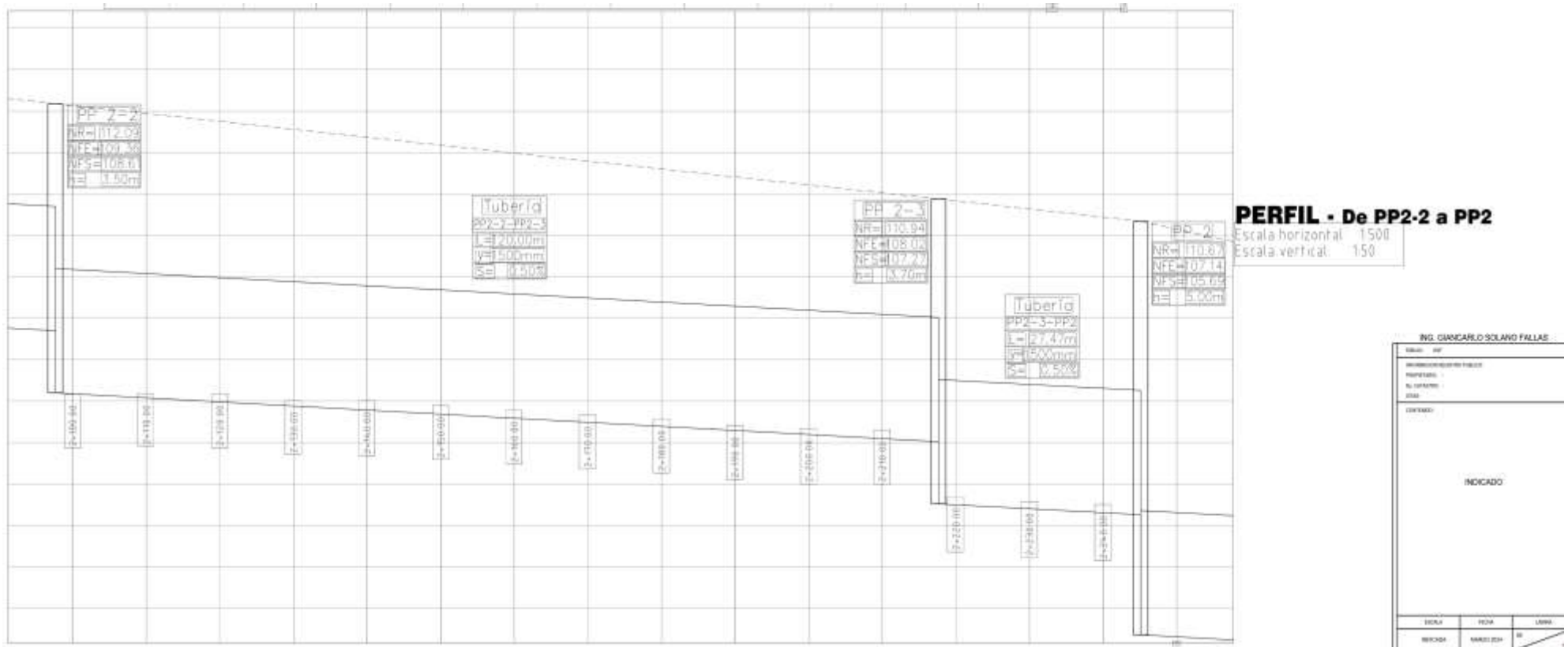
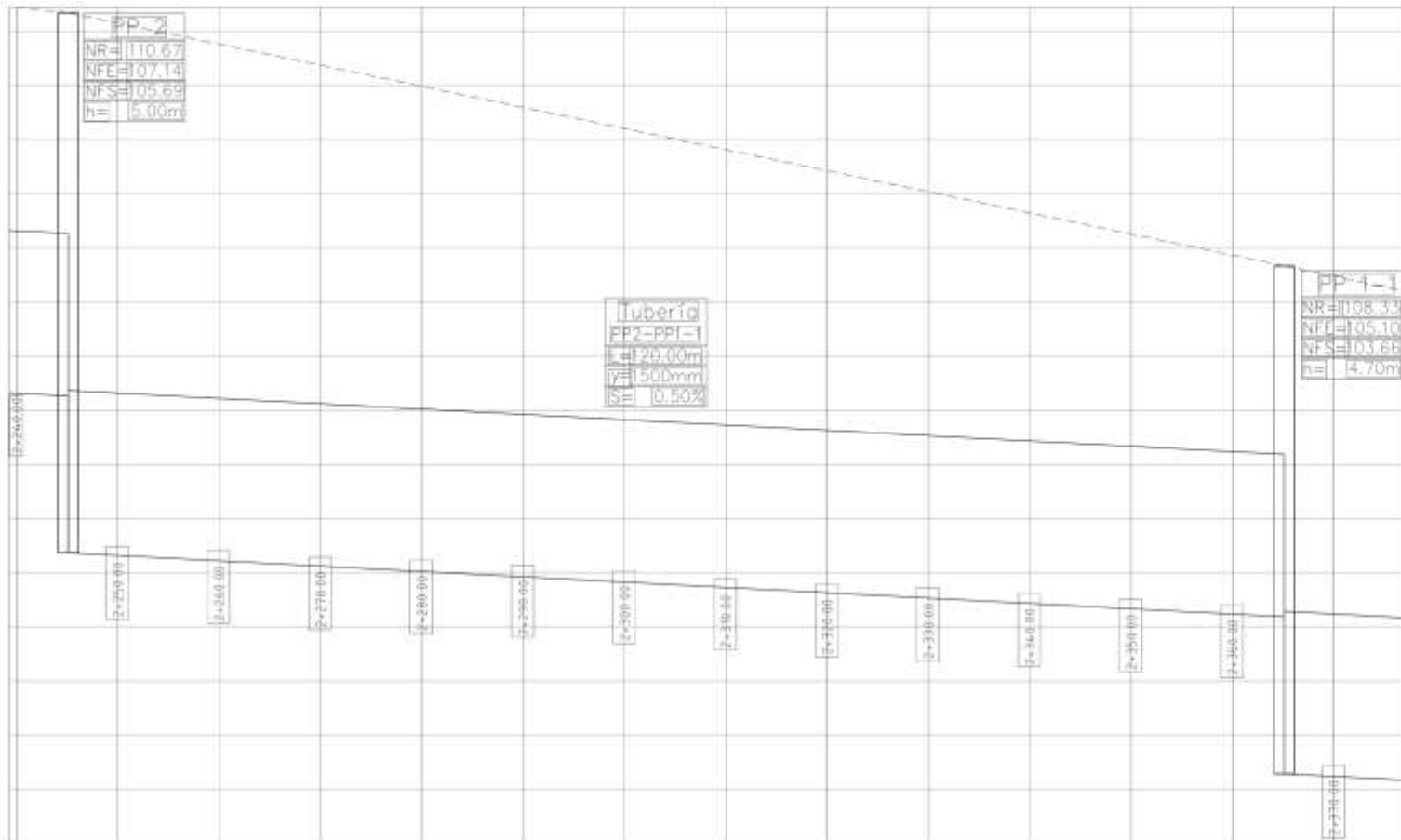


Figura H17

*Perfil de tubería tramo PP2 a PP1-1*



**PERFIL - De PP2 a PP1-1**

Escala horizontal: 1:500  
 Escala vertical: 1:50

**Figura H18**

*Perfil de tubería tramo PP1-1 a PP1-3*

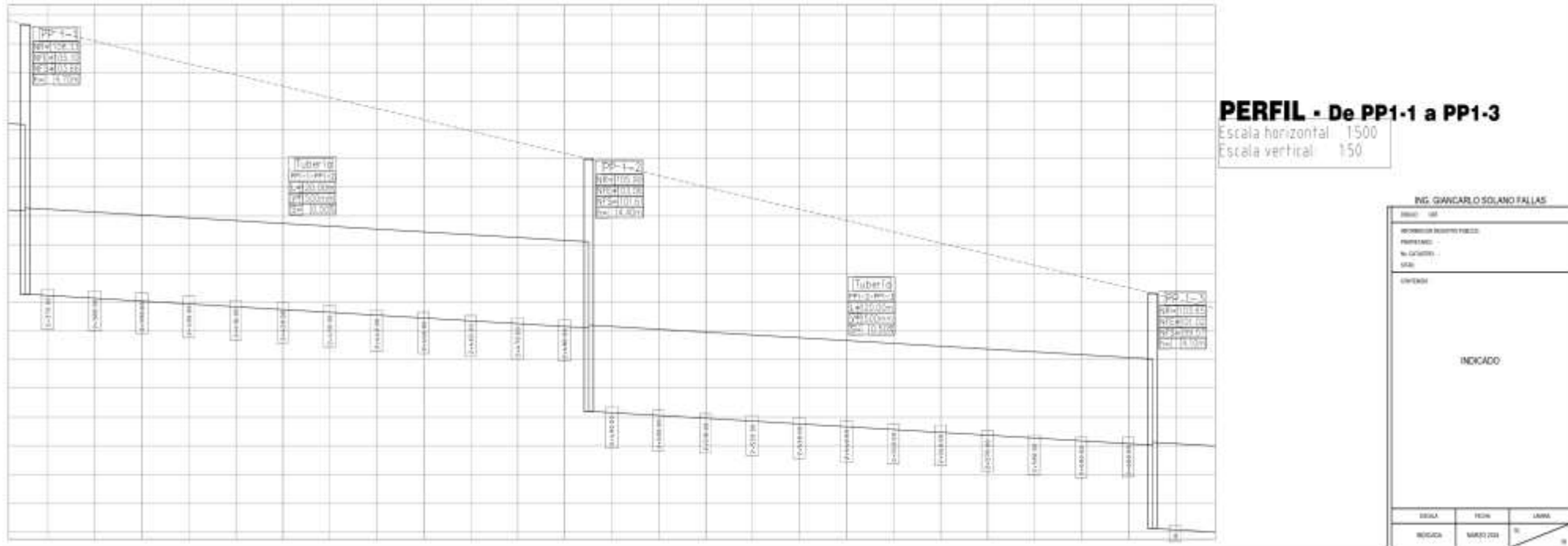
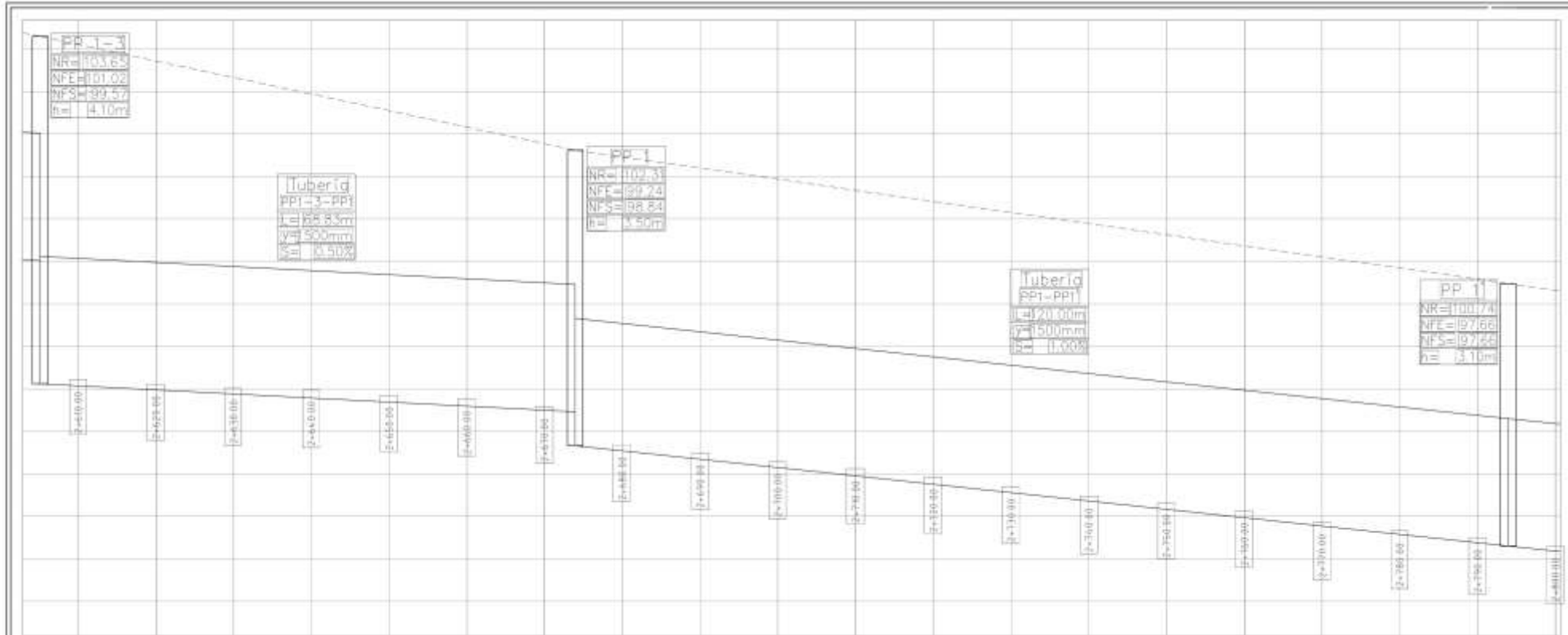


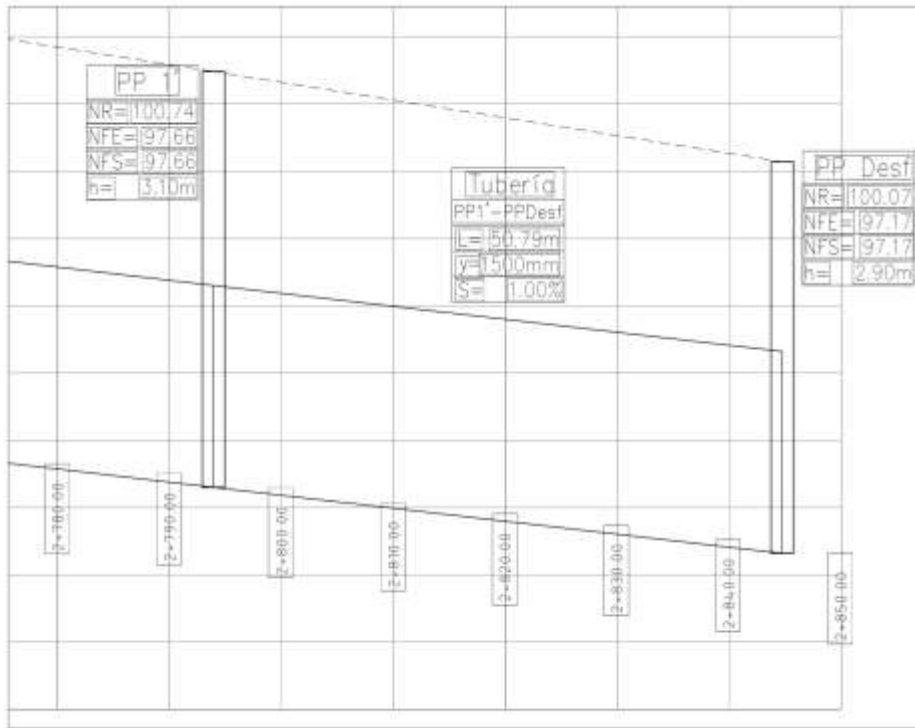
Figura H19

Perfil de tubería tramo PP1-3 a PP1'



**Figura H20**

*Perfil de tubería tramo PP1' a PPDesf*



**PERFIL - De PP1-3 a PP1'**

Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:50

**PERFIL - De PP1' a PP Desf**

Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:50

### Apéndice I. Planta de la tubería

Figura I1

Plantas de tubería tramo PP8 a PP5-2

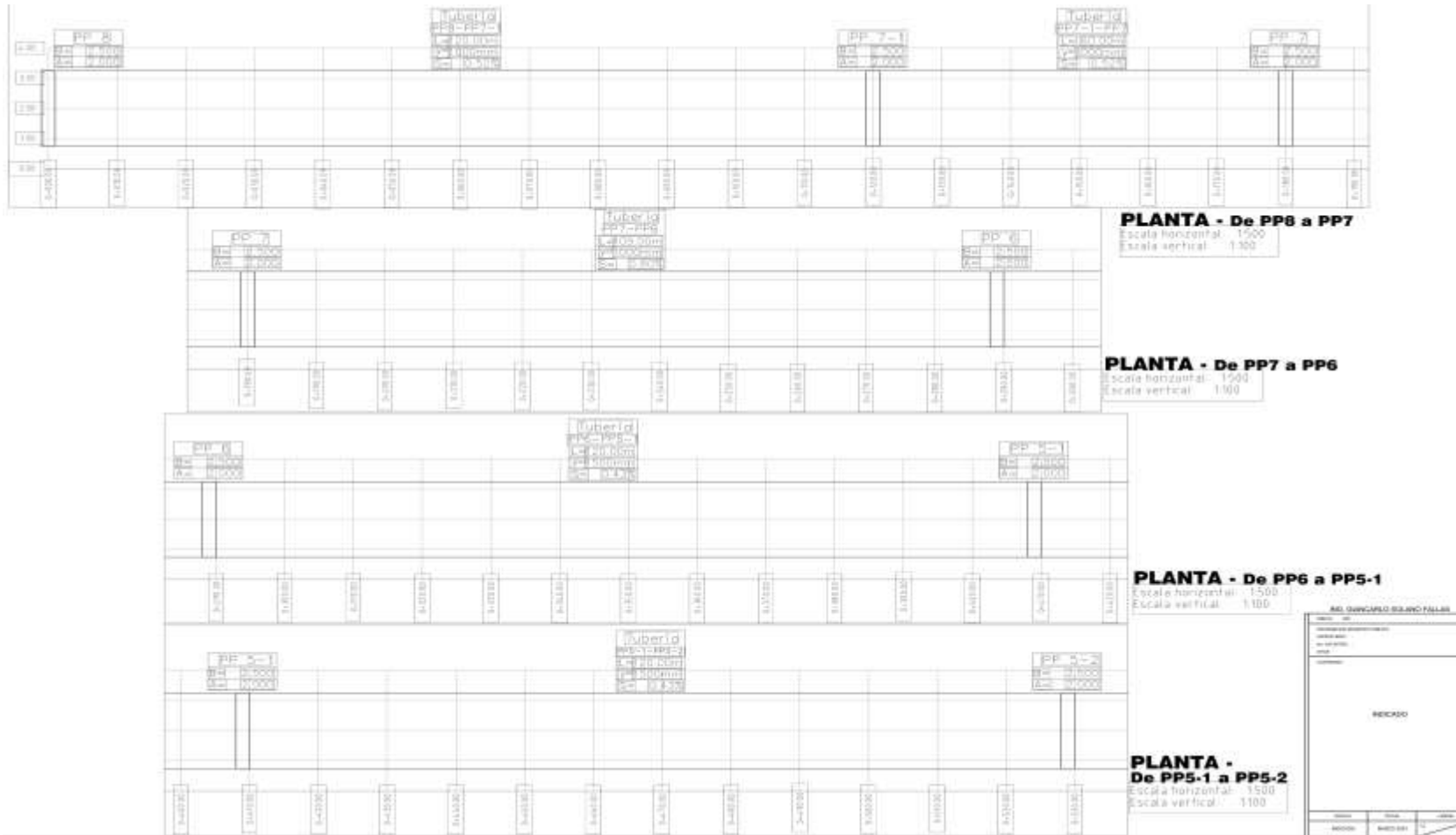
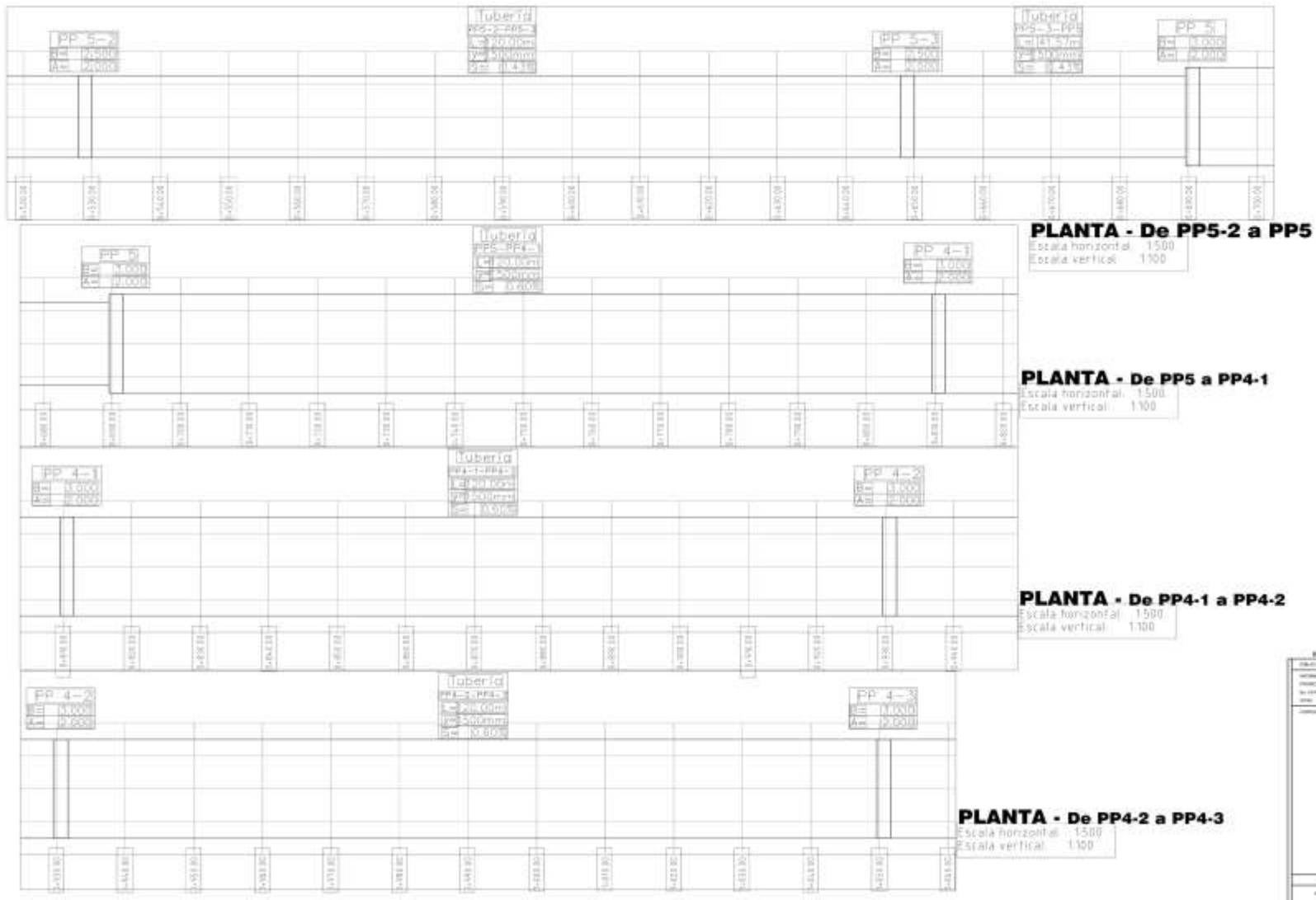


Figura I2

Plantas de tubería tramo PP5-2 a PP4-3



ING. OSCAR OLIVERA PALAS		
PROYECTO	FECHA	ESCALA
REVISADO	FECHA	ESCALA
MERCADO		
PROYECTO	FECHA	ESCALA
REVISADO	FECHA	ESCALA

Figura I3

Plantas de tubería tramo PP4-3 a PP4-6

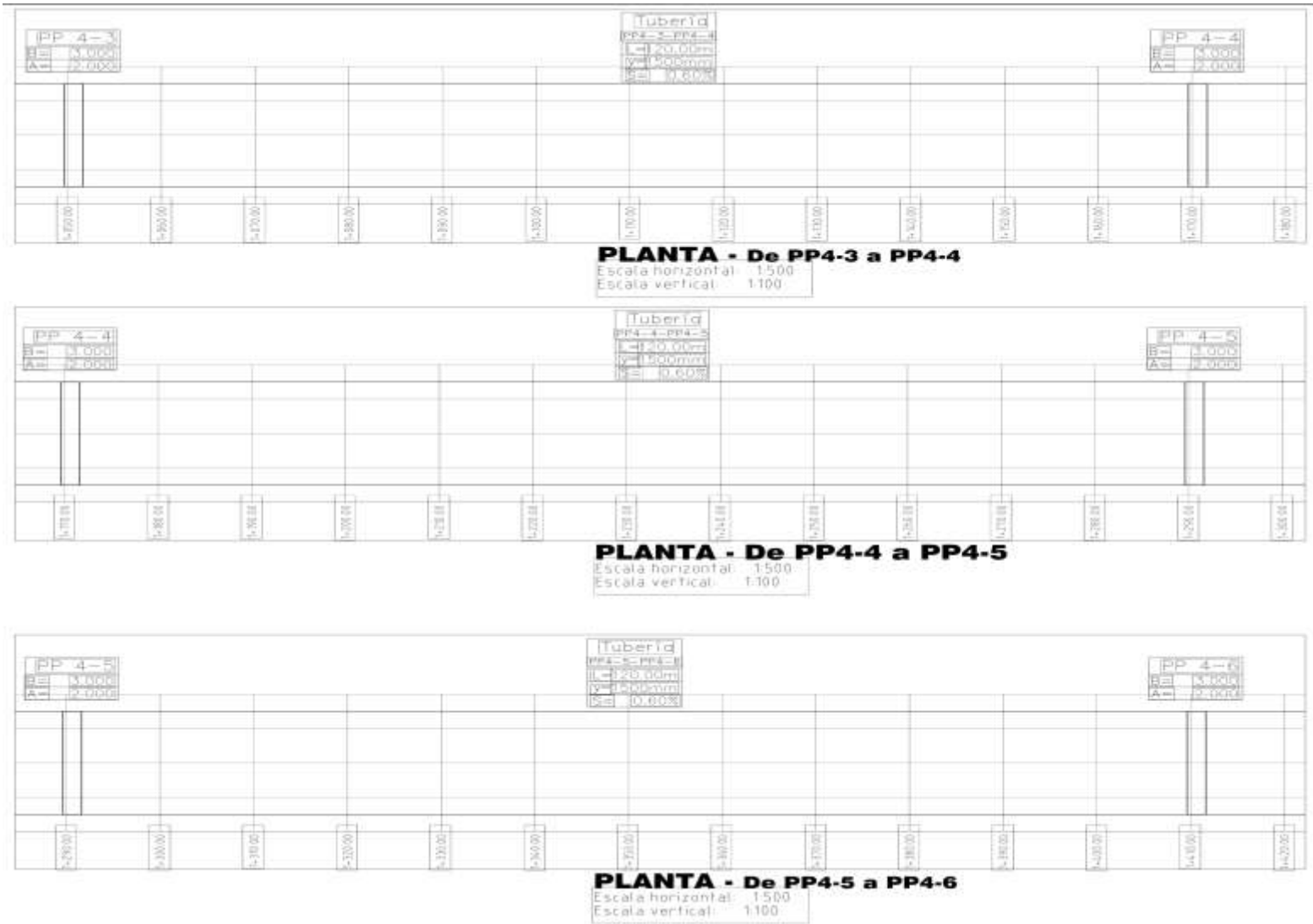


Figura I4

Plantas de tubería tramo PP4-6 a PP3



**PLANTA - De PP4-6 a PP3-1**  
Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:100



**PLANTA - De PP3-1 a PP3-2**  
Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:100



**PLANTA - De PP3-2 a PP3**  
Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:100

Figura I5

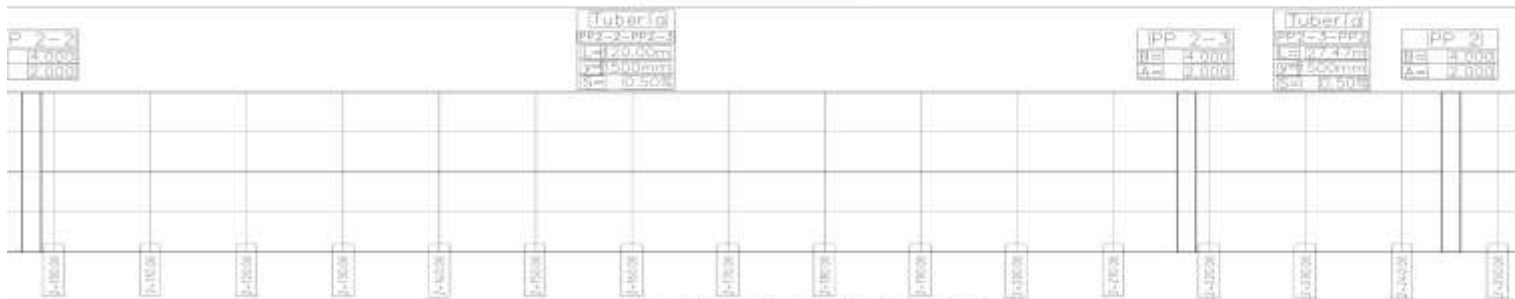
Plantas de tubería tramo PP3 a PP2



**PLANTA - De PP3 a PP2-1**  
Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:100



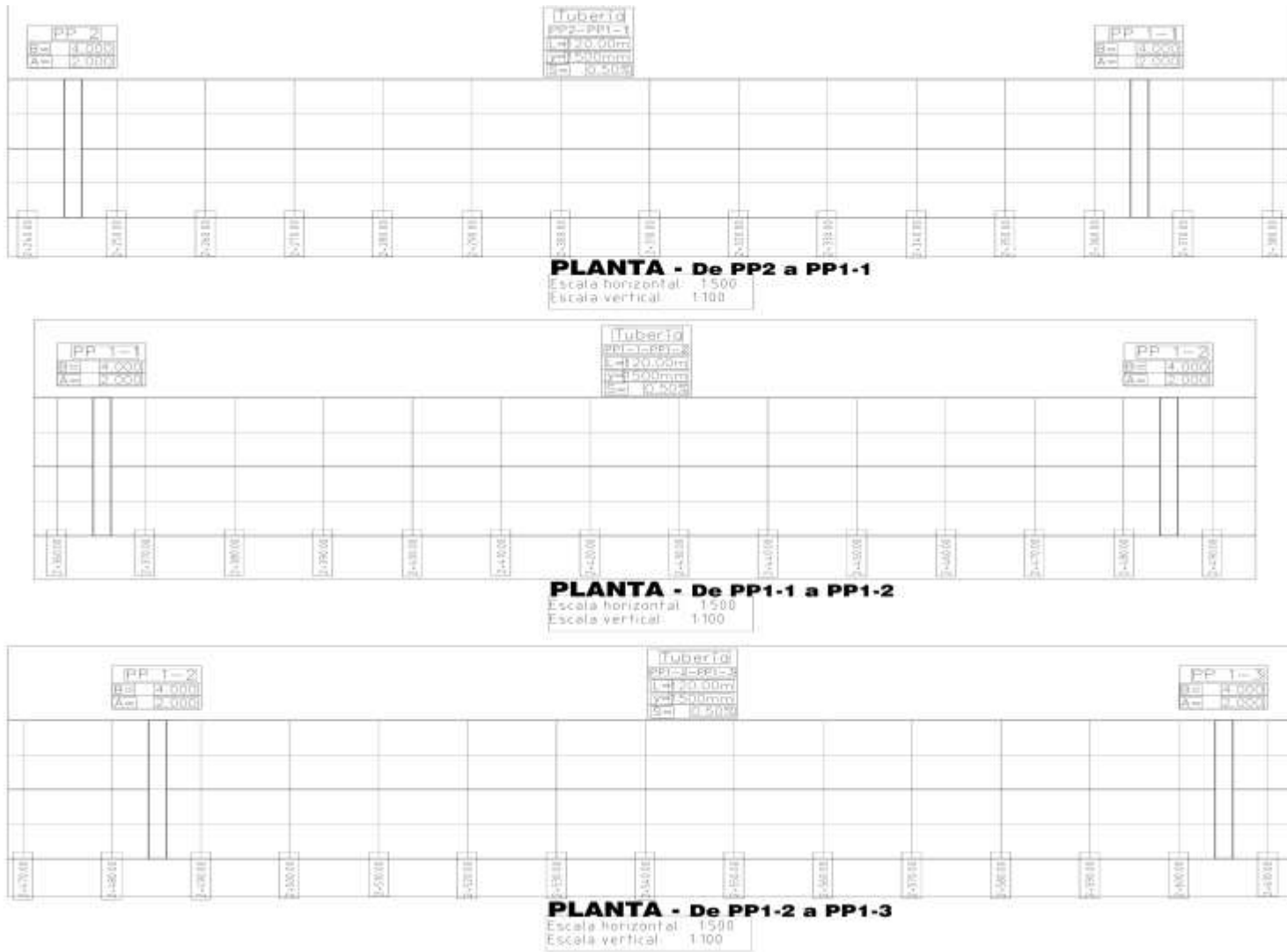
**PLANTA - De PP2-1 a PP2-2**  
Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:100



**PLANTA - De PP2-2 a PP2**  
Escala horizontal: 1:500  
Escala vertical: 1:100

Figura I6

*Plantas de tubería tramo PP2 a PP1-3*



**Figura I7**

*Plantas de tubería tramo PP1-3 a PPdesf*

