



Formando nuevas generaciones con sello de excelencia comprometidos
con la transformación social de las regiones y un país en paz

**PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO INGENIERO AUXILIAR PARA EL
MEJORAMIENTO DE OBRAS DE DRENAJE DE LA SEDE VILLA DEL ROSARIO EN
LA OFICINA DE PLANEACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

Francy Natalia Lizcano Campos

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Civil

Pamplona

2024



**PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO INGENIERO AUXILIAR PARA EL
MEJORAMIENTO DE OBRAS DE DRENAJE DE LA SEDE VILLA DEL ROSARIO EN
LA OFICINA DE PLANEACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

Autor

Francy Natalia Lizcano Campos

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil

Director

Carlos Alexis Bonilla Granados

Ingeniero Civil

Universidad de Pamplona

Facultad de ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Civil

Pamplona

2024



Introducción	12
1 Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2 Marco Referencial	14
2.1 Marco de Antecedentes	14
2.2 Localización General	19
2.2.1 Localización del Proyecto	20
2.3 Marco Teórico	21
2.3.1 Prueba de Datos Dudosos	21
2.3.2 Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogórov-Smirnov	22
2.3.3 Distribuciones de Probabilidad	22
2.3.4 Curvas IDF	23
2.3.5 Numero de Curva CN	24
2.3.6 Método Racional Modificado	26
2.3.7 Hidrograma Unitario Sintético del SCS	26
2.3.8 Hietogramas	26
2.3.9 HEC-HMS	27
2.3.10 HEC-RAS	27
2.3.11 HY-8	28
2.3.12 Pozo Séptico	28
2.3.13 Aguas Residuales	29
2.3.14 Digestión Anaeróbica	29
2.3.15 Lodos	30
2.3.16 Natas	30
2.4 Marco Legal	30
3 Metodología	32



3.1	Recolección de Datos	32
3.2	Análisis de Datos	33
3.2.1	Prueba de Datos Dudosos.....	33
3.2.2	Prueba de Bondad de Ajuste	34
3.2.3	Precipitación Máxima en 24 Horas	35
3.2.4	Curvas IDF	36
3.2.5	Caracterización de la Cuenca	37
3.3	Modelo Hidrológico	44
3.3.1	Método Racional Modificado.....	44
3.3.2	Hidrograma Unitario del SCS	46
3.3.3	Software HEC-HMS	48
3.3.4	Periodo de Retorno.....	49
3.4	Análisis Hidráulico.....	50
3.5	Diseño del Canal y Box Culvert.....	51
3.6	Diseño Pozo Séptico.....	51
3.6.1	Volumen útil (<i>Vu</i>).....	52
3.6.2	Volumen Requerido Para Sedimentación (<i>Vrs</i>)	52
3.6.3	Volumen Para el Almacenamiento de Lodos (<i>VI</i>)	53
3.6.4	Volumen Para el Almacenamiento de Natas (<i>Vn</i>).....	53
3.6.5	Dimensionamiento del Pozo Séptico.....	54
4	Resultados	55
4.1	Análisis de Datos de Precipitación.....	55
4.1.1	Prueba de Datos Dudosos.....	56
4.1.2	Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogórov-Smirnov	58
4.1.3	Precipitación Máxima en 24 Horas	59
4.1.4	Curvas IDF	61
4.2	Caracterización del Cuenca.....	65



4.2.1	Delimitación de la cuenca	65
4.2.2	Características Morfométricas de la Cuenca	66
4.2.3	Numero de Curva CN.....	66
4.2.4	Tiempo de Concentración	71
4.3	Caudal Máximo	72
4.3.1	Método Racional Modificado.....	72
4.3.2	Método del Hidrograma Unitario Sintético del SCS.....	73
4.3.3	Software HEC-HMS	77
4.3.4	Comparación de los Caudales Obtenidos.....	80
4.3.5	Periodo de Retorno.....	81
4.4	Análisis Hidráulico Mediante el Software HEC-RAS	82
4.4.1	Topografía Canal Villa del Rosario	82
4.4.2	Perfiles Obtenidos en Civil 3D.....	87
4.4.3	Procesamiento de Datos Topográficos en QGIS.....	91
4.4.4	Modelación del Canal en HEC-RAS.....	93
4.5	Propuesta de Diseño	100
4.5.1	Diseño Box Culvert.....	101
4.5.2	Modelación del Canal y Box Culvert en HEC-RAS	106
4.6	Recomendaciones.....	122
4.7	Diseño Pozo Séptico.....	123
5	Apoyo Oficina de Planeación.....	127
6	Conclusiones	149
	Bibliografía.....	151



Lista de Tablas

Tabla 1. Precipitación media multianual en mm.....	56
Tabla 2. Prueba de bondad de ajuste estación Villa del Rosario.....	58
Tabla 3. Prueba de bondad de ajuste estación Aeropuerto Camilo Daza.....	58
Tabla 4. Prueba de bondad de ajuste estación Carmen de Tonchalá.....	59
Tabla 5. Precipitación Máxima en 24 horas estación Villa del Rosario.....	60
Tabla 6. Precipitación máxima en 24 horas estación Aeropuerto Camilo Daza	60
Tabla 7. Precipitación máxima en 24 horas estación Carmen de Tonchalá	61
Tabla 8. Características morfométricas de la cuenca	66
Tabla 9. Tiempos de concentración con la ecuación de Kirpich, Témez y Giandotti.....	71
Tabla 10. Datos hidrograma unitario sintético del SCS	73
Tabla 11. Ordenas del hidrograma unitario para la cuenca estudiada.....	74
Tabla 12. Caudal máximo (Hidrograma Unitario Sintético del SCS).....	75
Tabla 13. Ordenadas del hidrograma para diferentes periodos de retorno.....	76
Tabla 14. Resultados modelación HEC-RAS régimen combinado.....	94
Tabla 15. Resultados modelación HEC-RAS régimen subcrítico.....	96
Tabla 16. Resultados Modelación Régimen Combinado Diseño N°1.....	109
Tabla 17. Resultados modelación régimen supercrítico Diseño N°1	110
Tabla 18. Resultados Modelación Régimen Combinado Diseño N°2.....	116
Tabla 19. Resultados modelación régimen supercrítico Diseño N°2	117
Tabla 20. Población aportante de caudal.....	123
Tabla 21. Aporte de aguas residuales	123
Tabla 22. Volumen útil del pozo séptico.....	124
Tabla 23. Dimensiones útiles del pozo séptico.	125
Tabla 24. Medidas constructivas internas	125



Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación del Municipio Villa del Rosario	20
Ilustración 2. Planta Arquitectónica Sede Villa del Rosario.	21
Ilustración 3. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c, y d.....	24
Ilustración 4. Valores de Kn para la prueba de datos dudosos	34
Ilustración 5. Valores de a, b, c y d para el método regional simplificado.....	37
Ilustración 6. Numero de Curva de escorrentía para áreas urbanas.....	40
Ilustración 7. Numero de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas.....	41
Ilustración 8. Número de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas	42
Ilustración 9. Ordenadas del hidrograma unitario del SCS.	48
Ilustración 10. Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial.....	50
Ilustración 11. Profundidad útil	54
Ilustración 12. Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	55
Ilustración 13. Outlier estación Villa del Rosario	56
Ilustración 14. Outlier estación Aeropuerto Camilo Daza.....	57
Ilustración 15. Outlier estación Carmen de Tonchalá	57
Ilustración 16. Curvas IDF estación Villa del Rosario	62
Ilustración 17. Curvas IDF estación Aeropuerto Camilo Daza	63
Ilustración 18. Curvas IDF estación Carmen de Tonchalá	64
Ilustración 19. Delimitación de la cuenca.....	65
Ilustración 20. Distribución del tipo de suelo hidrológico	67
Ilustración 21. Distribución de la cobertura del suelo en el área de la cuenca	68
Ilustración 22. Número de curva en el área de estudio.....	69
Ilustración 23. Número de curva y área correspondiente	70
Ilustración 24. hidrograma unitario del SCS para la cuenca estudiada	75
Ilustración 25. Hidrograma para diferentes periodos de retorno (Hidrograma Unitario del SCS)	77



Ilustración 26.	Hietograma Tr 25 años	78
Ilustración 27.	Hietograma Tr 50 años	78
Ilustración 28.	Hietograma Tr 100 años	79
Ilustración 29.	Hidrograma Tr 25 años (HEC-HMS)	79
Ilustración 30.	Hidrograma Tr 50 años (HEC-HMS)	80
Ilustración 31.	Hidrograma Tr 100 años (HEC-HMS)	80
Ilustración 32.	Caudal obtenido de los diferentes métodos aplicados	81
Ilustración 33.	Plano canal Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario	84
Ilustración 34.	Perfil longitudinal canal Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario	85
Ilustración 35.	Perfiles secciones transversales 1 y 2 canal Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario	85
Ilustración 36.	Perfiles secciones transversales 3 y 4 canal Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario	86
Ilustración 37.	Superficie creada a partir de puntos COGO	87
Ilustración 38.	Alineamiento y secciones transversales	88
Ilustración 39.	Perfil longitudinal del canal	89
Ilustración 40.	Perfiles secciones transversales	89
Ilustración 41.	Geometría canal sede Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona	92
Ilustración 42.	Resultados obtenidos de Hcanales para el canal actual	95
Ilustración 43.	Perfiles Secciones Transversales modelación canal	97
Ilustración 44.	Perfil longitudinal modelación canal	99
Ilustración 45.	Mancha de inundación	99
Ilustración 46.	Diseño 1 canal trapezoidal	100
Ilustración 47.	Diseño 2 canal trapezoidal	101
Ilustración 48.	Datos HY-8 Diseño N°1 de Box Culvert	102
Ilustración 49.	Vista Frontal Diseño N°1 de Box Culvert	103
Ilustración 50.	Perfil Diseño N°1 de Box Culvert	103



Ilustración 51.	Datos HY-8 Diseño N°2 de Box Culvert.....	104
Ilustración 52.	Vista Frontal Diseño N°2 de Box Culvert	105
Ilustración 53.	Perfil Diseño N°2 de Box Culvert.....	105
Ilustración 54.	Geometría Diseño N°1 Canal.....	108
Ilustración 55.	Resultados obtenidos de Hcanales para el Diseño N°1	109
Ilustración 56.	Perfiles Secciones Transversales modelación Diseño N°1	111
Ilustración 57.	Perfil longitudinal modelación Diseño N°1	113
Ilustración 58.	Vista en planta Diseño N°1	114
Ilustración 59.	Geometría Diseño N°2 Canal.....	115
Ilustración 60.	Resultados obtenidos de Hcanales para el Diseño N°2	116
Ilustración 61.	Perfiles Secciones Transversales modelación Diseño N°2	118
Ilustración 62.	Perfil longitudinal modelación Diseño N°2	120
Ilustración 63.	Mancha de inundación Diseño N°2	120
Ilustración 64.	Planos Diseño #1 Canal	121
Ilustración 65.	Planos Diseño #2 Canal	122
Ilustración 66.	Planos Pozo Séptico.....	126



Resumen

La Oficina de Planeación de la Universidad de Pamplona tiene previsto llevar a cabo mejoras en la zona del cuerpo de agua que pasa por la sede Villa del Rosario. En la actualidad, esta zona cuenta con un box culvert que, aparentemente, no posee la capacidad necesaria para garantizar un drenaje seguro del agua. Adicionalmente, en las proximidades del canal se encuentra un pozo séptico perteneciente a la universidad, encargado de recibir las aguas residuales de la sede Villa del Rosario. Las obras de contención en las márgenes del canal se han realizado mediante el uso de gaviones, los cuales requieren mejoras. Se busca optimizar tanto la capacidad de drenaje del box culvert como la eficacia de los gaviones para asegurar una gestión adecuada del agua en la zona y mitigar posibles impactos ambientales. Para el análisis de la capacidad del box culvert es necesario realizar un estudio hidrológico. Este análisis se puede llevar a cabo mediante herramientas como el software HEC-HMS, por medio de este se obtiene el caudal máximo que pasa por la zona para posteriormente hacer el debido análisis de la alcantarilla tipo cajón, para esto también se usa la herramienta HY-8.

Palabras clave: drenaje, box culvert, pozo séptico, gaviones, caudal máximo.



Abstract

The Planning Office of the University of Pamplona plans to carry out improvements in the area of the body of water that passes through the Villa del Rosario campus. Currently, this area has a box culvert that, apparently, does not have the necessary capacity to guarantee safe drainage of water. Additionally, in the vicinity of the canal there is a septic tank belonging to the university, in charge of receiving wastewater from the Villa del Rosario campus. The containment works on the banks of the canal have been carried out through the use of gabions, which require improvements. The aim is to optimize both the drainage capacity of the box culvert and the effectiveness of the gabions to ensure adequate water management in the area and mitigate possible environmental impacts. To analyze the capacity of the box culvert, it is necessary to carry out a hydrological study. This analysis can be carried out using tools such as the HEC-HMS software, through which the maximum flow that passes through the area is obtained to later carry out the due analysis of the box-type sewer, for this the HY-8 tool is also used.

Keywords: drainage, box culvert, septic tank, gabions, máximo Flow.



Introducción

La gestión del recurso hídrico y la adecuada planificación de infraestructura asociadas son aspectos fundamentales dentro del marco de la ingeniería civil. En el contexto de la Universidad de Pamplona, garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de drenaje pluvial resulta clave para prevenir afectaciones por inundaciones y presentar la integridad de los espacios académicos.

El presente trabajo fue resultado de la realización de la practica empresarial en la Oficina de Planeación de la Universidad de Pamplona. Como actividad principal se tiene el estudio de un cuerpo de agua que pasa por el campus Villa del Rosario, así como de un box culvert encargado de permitir el paso hacia el campus. Se realizó el modelamiento hidráulico para conocer caudales máximos y el modelamiento hidráulico usando los Softwares HEC-HMS y HEC.RAS para conocer el comportamiento del flujo y poder evaluar la inundación generada en el sitio cuando ocurren eventos de precipitación máxima. Con base en la información obtenida se proponen nuevos diseños para el canal y para el box culvert, los cuales también son modelados para observar el comportamiento que tendrán en condiciones de precipitación máxima y garantizando así la solución al problema de inundación. Como actividades adicionales en la practica se tiene la supervisión y seguimiento de avances de obra en diferentes adecuaciones que se realizaron en el campus principal de la Universidad de Pamplona.



1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Realizar un estudio de las capacidades de las obras de drenaje del campus Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona proponiendo diseños para mejoras y aportar un respaldo sólido a las diferentes actividades a desarrollar en un futuro por la Oficina de Planeación.

1.2 Objetivos Específicos

- Obtener los datos necesarios para realizar el estudio hidrológico con el cual se quiere conocer el caudal del cuerpo de agua que pasa por el campus
- Elaborar el estudio hidrológico con la ayuda de software como HEC-HMS y HEC-RAS y obtener los caudales máximos presentes en la zona
- Determinar la capacidad del box culvert presente en el sitio, considerando su eficiencia en cuanto al manejo de los caudales previstos para esta zona y proponer recomendaciones para el mejoramiento de las obras.
- Analizar el pozo séptico usado para la captación de aguas residuales del campus y realizar diseños para el mejoramiento de esta estructura.
- Desarrollar actividades en apoyo a la supervisión del avance de las obras que se prevé realizar para adecuaciones de los espacios físicos en las diferentes sedes.



2 Marco Referencial

2.1 Marco de Antecedentes

A nivel internacional, nacional y regional, existen diferentes proyectos relacionados con el estudio hidrológico de una zona de estudio. A continuación, se presentan algunos de los documentos consultados referentes al tema a tratar en el presente trabajo, estos documentos son de índole internacional, nacional y regional.

Antecedentes Internacionales

Un estudio realizado por (Orellana Cabello, 2021), en su trabajo de grado, muestra el modelamiento hidrológico e hidráulico realizado en el río Piura, Perú, para analizar las inundaciones en la ciudad de Piura. En el estudio se determinan los hidrogramas de diseño y las áreas de inundación en la ciudad para diferentes periodos de retorno, partiendo desde la recolección de información pluviométrica de las estaciones, completación de datos faltantes, análisis estadístico para precipitación de 24 horas, el modelamiento hidrológico de precipitación-escorrentía utilizando el software HEC-HMS para obtener los hidrogramas y los caudales máximos instantáneos, el modelamiento hidráulico en el software HEC-RAS para la simulación de inundación, la delimitación de áreas inundables y, finalmente, se proporcionen medidas para el efecto de desborde del río.

Por otro lado, en el estado Vargas, Venezuela, el ingeniero Gian Franco Morassutti da a conocer las obras construidas por Corpovargas durante el periodo entre el año 2002 y el año 2007, mediante el trabajo titulado “Obras de control de torrentes en el estado Vargas segunda parte El



plan Vargas 2005”, el autor de este trabajo estuvo como asesor, proyectista, supervisor e inspector de obras durante el periodo de tiempo mencionado anteriormente. En el estado Vargas el gobierno nacional asumió el plan de recuperación de las cuencas del Estado Vargas, a través del denominado Plan Vargas 2005, debido al evento ocurrido en febrero de 2005, en este plan se deberían construir las obras de minimización de riesgo de las cuencas del Estado Vargas. Como criterios de diseño generales para los proyectos se adoptaron canalizaciones con revestimiento con muros de gaviones o colchoneta de gavión, con fondo móvil y traviesas estratégicamente ubicadas. En los diseños adoptados se evitó los revestimientos con “encachado hormigonado” y fondo móvil. (Morassutti F., s. f.)

Antecedentes Nacionales

En el cálculo de caudales máximos, se tienen varias metodologías que pueden ser usadas según las características que se tengan de la cuenca estudiada.

(Pérez López, 2015) en su proyecto de investigación titulado “Cálculo del caudal de creciente por el método racional en el caño Pavas en la vereda de Velásquez en el municipio del Puerto Boyacá” adopta la línea de investigación de optimización de procesos, que comprende la modelación del ciclo hidrológico a escala de una cuenca rural, ubicada en el Caño Pavas, orientada a la modelación y simulación de sistemas hidráulicos, estudio y desarrollo de las obras hidráulicas para el control de inundaciones y procesos erosivos. El objetivo general del trabajo es dar a conocer los fundamentos teóricos de las metodologías utilizadas, que posteriormente se validan, para la obtención de caudales máximos, mejorando su comprensión.



Por otro lado, en la monografía titulada “Análisis y comparación del cálculo de caudales máximos mediante aplicación de los métodos racional y estadístico para diferentes estaciones hidrometeorológicas en Colombia” los autores (Quimbayo Ortiz & Molina Diaz, 2015) presentan el estudio preliminar realizado para diferentes estaciones hidrometeorológicas en Colombia operadas por el IDEAM (Instituto de hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales) para el cálculo de caudales máximos en subcuencas con un área menor e igual a 15 km², que permite la evaluación y comparación entre los métodos racional y el análisis de frecuencias para caudales máximos, esto debido a los diferentes patrones de lluvia en Colombia y de la deficiencia en la red de estaciones. Con los resultados de los caudales obtenidos por ambos métodos se realizó un análisis mediante el cual se pudo establecer un factor de corrección, el cual debe ser aplicado al método racional para ajustar sus valores con respecto a los caudales medidos en cada una de las estaciones.

En cuanto a comparación de los diferentes métodos para el cálculo del caudal, también se tiene la realizada por (Estrada-Gómez & Rojas-Herrera, 2013) en su trabajo de grado titulado “Comparación entre el método racional y el método del número de curva para las estimaciones de caudales, caso de estudio puente vehicular del proyecto residencial refugio de Bassedonia I” en donde se presentan las características propias del drenaje a intervenir por la construcción del puente vehicular, en cuanto a suelos, cobertura vegetal y dinámica hidrológica. Esta información caracterizada sirvió como insumo para la elaboración del estudio hidrológico, que fue abordado con la implementación del método racional y la herramienta HEC-RAS. Los resultados obtenidos



fueron los caudales de diseño para el puente vehicular, y el periodo de retorno con el cual el drenaje estará protegido en caso de un evento de crecida en la quebrada.

En el desarrollo de proyectos civiles, también es importante el uso de herramientas SIG (Sistemas de información geográfica) puesto que por medio de estas se pueden determinar diferentes parámetros necesarios al momento de realizar los cálculos de caudal máximo. En el libro “Empleo de herramientas SIG en el desarrollo de proyectos civiles” los autores (Villate Corredor et al., 2023) presentan metodologías y enfoques para el uso de análisis geoespaciales en la gestión de recursos naturales y la mitigación de riesgo. Dentro de su contenido, muestra en el capítulo 1 un enfoque basado en sistemas de información geográfica para evaluar y predecir abstracciones generadas en la cuenca alta del río Suarez utilizando el número de curva del Soil Conservation Services, en el capítulo 2 se centra en la determinación de la vulnerabilidad sísmica del municipio de Tunja utilizando herramientas SIG, en el capítulo 3 presentan la delimitación y análisis de coberturas vegetales influenciadas por la minería y la agricultura en el páramo Rabanal utilizando sistemas de Información Geográfica, por último en el capítulo 4 presentan la calibración y validación de modelos hidrológicos distribuidos utilizando como caso de estudio la respuesta hidrológica y sedimentos de la microcuenca La Chorrera embalse La Copa.

Antecedentes Regionales

En Norte de Santander se realizó la Evaluación del modelo de hidrograma unitario SCS en la determinación de caudales máximos en cuencas de este departamento. En cuencas no instrumentadas se recurre a metodologías como el Hidrograma Unitario Sintético propuesto por el



Servicio de Conservación de Suelos – USA (HU-SCS). Luego de realizar los estudios correspondientes a este método se llegó a la conclusión de que este modelo presenta gran incertidumbre para estimar caudales máximos en condiciones de escasa información para las cuencas de Norte de Santander. (Vargas Garaya et al., 2019)

Por otro lado, en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, barrio Betania se realizó un estudio en un tramo del box culvert que se encuentra en este barrio. Se realizaron algunas mediciones y modelamientos con el software HEC-RAS, para analizar la influencia de las variables analizadas, así mismo este proceso y análisis realizado es aplicable a otras zonas y proyectos de canales que se deseen analizar. Mediante el análisis realizado con el software HEC-RAS se pudo optimizar el modelo existente del box culvert. (Moncada & Ballesteros, s. f.)

En este mismo municipio, en el Río Chiquito, se realizó un estudio hidrológico e hidráulico para determinar las zonas de inundación en la ciudad mediante el uso del modelo HEC-RAS 5.03 y sistemas de información geográfica. En los resultados se recolectó la información requerida para el estudio como la cartografía, levantamientos topográficos, estudios hidrológicos e hidráulicos, etc. Se realizó el estudio hidrológico para la microcuenca del río Chiquito mediante el uso de herramientas. Finalmente se elaboró el diseño hidráulico aplicando el modelo matemático HEC-RAS 5.03 para la corriente superficial del río y sus quebradas tributarias para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. (Trazona Monsalva & Arocha Jimenez, 2018)

En el municipio de La Playa, Norte de Santander, se realizó una investigación para analizar la frecuencia de los datos de precipitación de la estación pluviométrica del municipio, donde se



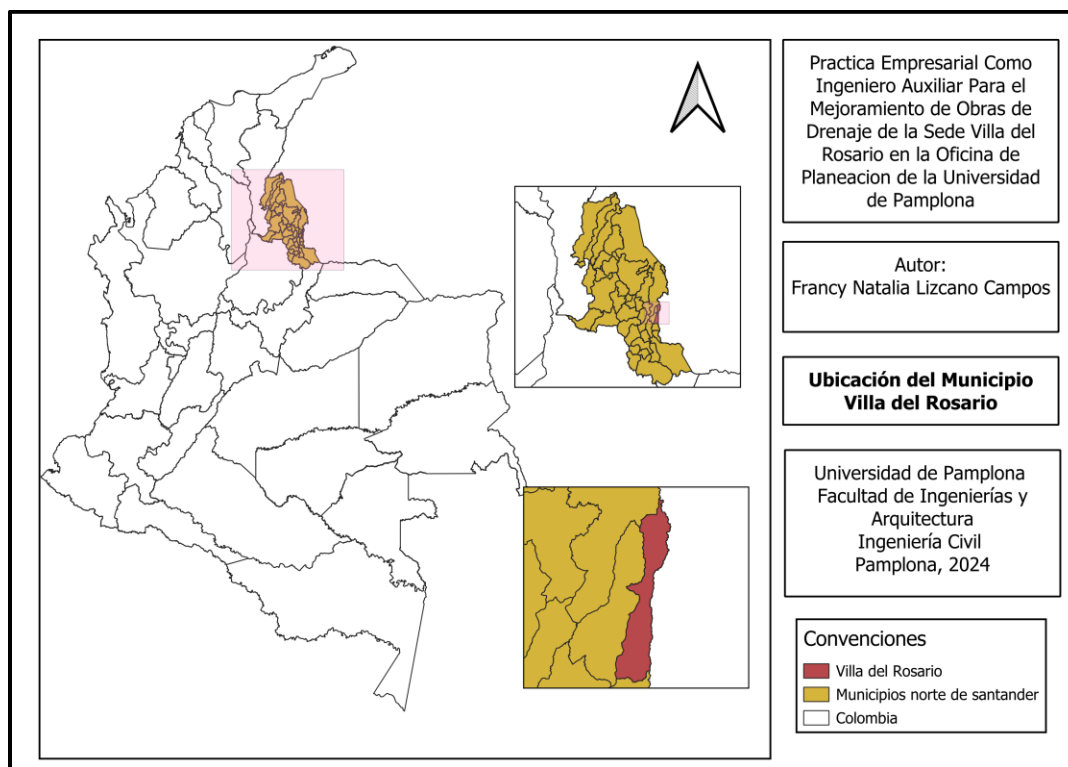
evaluó la probabilidad de la precipitación máxima anual basada en una muestra de veinticuatro años, usando diferentes modelos de distribución con base en los puntajes de las pruebas de bondad de ajuste, que se pueden utilizar para investigaciones futuras. (Bayona & Torrado, 2023)

2.2 Localización General

Villa del Rosario es un municipio de Norte de Santander, se encuentra ubicado a 7 km de la capital del departamento, sus coordenadas geográficas son 7° 50' latitud norte y 72° 28' latitud oeste del meridiano de Greenwich. Su extensión territorial está limitada al norte con la República de Venezuela y el municipio de Cúcuta, al sur con los municipios de Ragonvalia y Chinácota, al oriente con la República de Venezuela y al occidente con el municipio de Los Patios. En cuanto a su división administrativa está compuesto por 5 corregimientos y 4 veredas. El municipio se encuentra a una altura de aproximadamente 320 metros sobre el nivel del mar, con un área de 228 km² y un clima tropical con mucha menos lluvia en invierno que en verano, su temperatura promedio es de 25.3°C. Su economía se mueve por la agricultura, con la producción de alimentos como el café, arroz, caña de azúcar, plátano, hortalizas y árboles, por la pecuaria, con la crianza de vacunos, bovinos y aves de corral, y por la producción de carbón, arcilla, yeso y piedra caliza.



Ilustración 1. Ubicación del Municipio Villa del Rosario

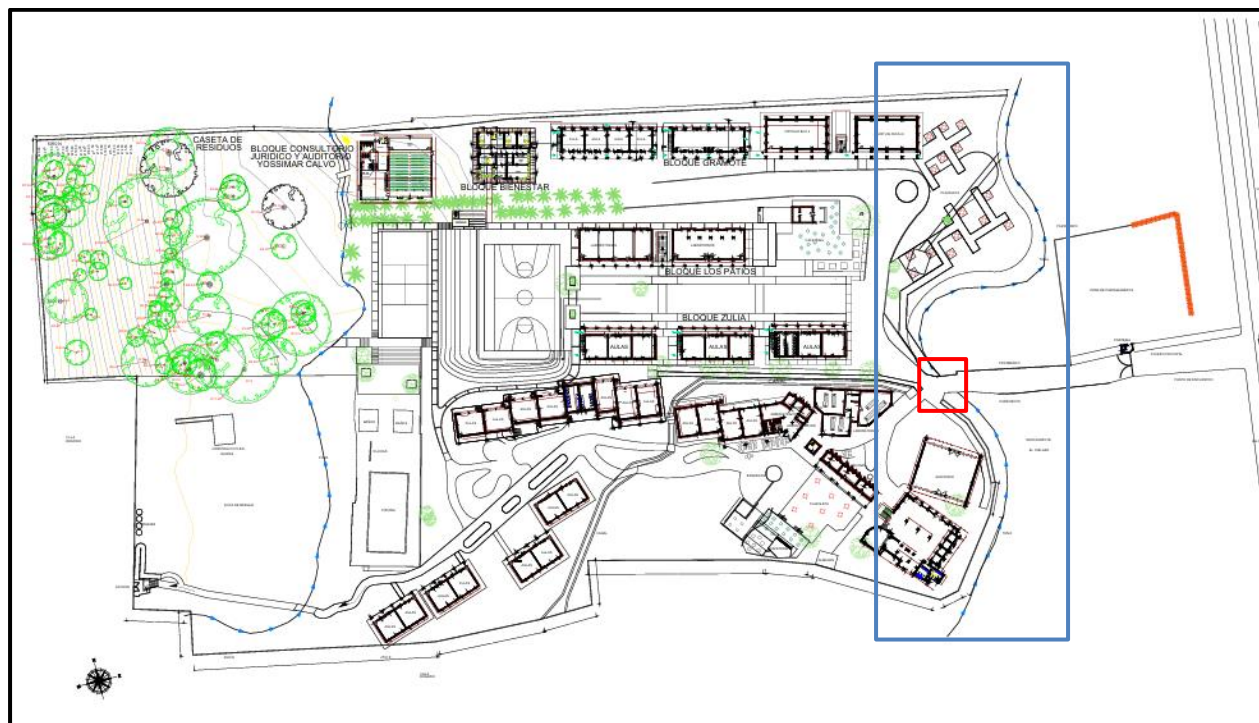


2.2.1 Localización del Proyecto

La sede Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona, se encuentra ubicada en la Autopista Internacional Vía Los Álamos Villa Antigua, municipio Villa del Rosario, departamento Norte de Santander. En el campus de esta sede existe un canal de drenaje de agua pluvial y un box culvert que permite el paso vehicular y peatonal.



Ilustración 2. Planta Arquitectónica Sede Villa del Rosario.



Nota. El recuadro de color azul señala la ubicación del cuerpo de agua dentro del campus y el recuadro de color rojo señala la ubicación del box culvert. Tomado de *Universidad de Pamplona*.

2.3 Marco Teórico

2.3.1 Prueba de Datos Dudosos

Los datos dudosos o outliers son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. Estos valores atípicos pueden deberse a errores de medición, transcripción o instrumentación defectuosa. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos para la información, especialmente en muestras pequeñas. (Ven te Chow et al., 1994)



2.3.2 Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogórov-Smirnov

La prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov permite evaluar si una muestra de datos se ajusta a una distribución teórica específica (normal, exponencial, Gumbel, Person, etc.). Es no paramétrica y se basa en la comparación entre la función de distribución empírica y la teórica. En hidrología, la prueba de bondad de Kolmogórov-Smirnov es utilizada para determinar la mejor distribución que representa fenómenos como las precipitaciones y los caudales máximos.

2.3.3 Distribuciones de Probabilidad

La probabilidad es un valor que nos dice la posibilidad que existe de que acontezca un evento determinado, esta probabilidad se representa con un valor entre 0 y 1, donde 1 representa que seguramente se dará el acontecimiento estudiado y 0 que no sucederá el acontecimiento. La distribución de probabilidad puede ser descrita como el resultado de los valores que se pueden presentar en un acontecimiento, junto con la probabilidad de ocurrencia asociada a cada valor. (*¿Qué es la distribución de probabilidad?*, s. f.). Para calcular eventos extremos es necesario que la distribución de probabilidad sea invertible. Algunas funciones de probabilidad no son invertibles, necesitando un método alternativo para calcular las magnitudes de eventos para estas distribuciones.

Dentro de las distribuciones más utilizadas están la Normal, Log-Normal, Gumbel, Pearson Tipo III, entre otras.



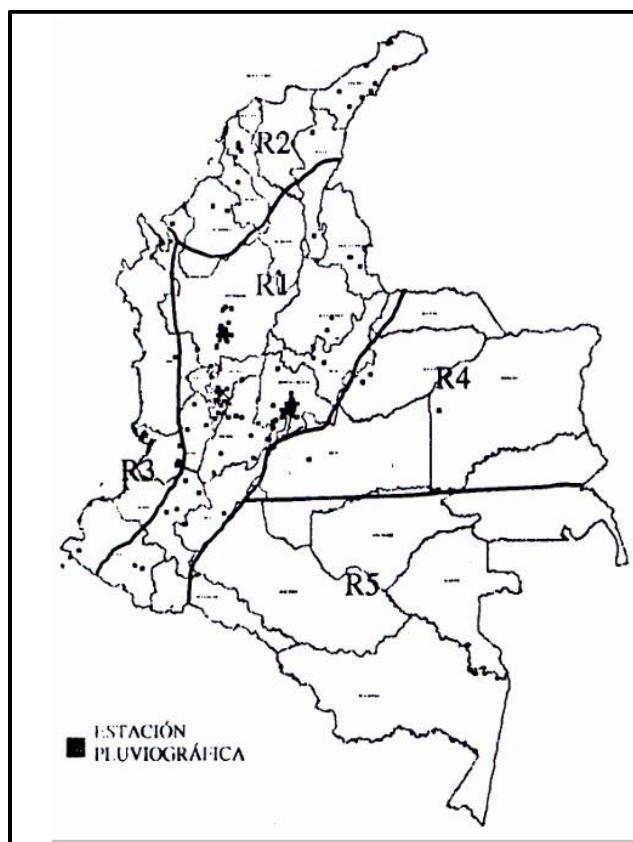
2.3.4 Curvas IDF

Las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF) ilustran la intensidad (I) o cantidad de precipitación en milímetros por hora durante un periodo de tiempo específico, duración (D), típicamente de 30, 60, 90, 120 o 360 minutos. Esta intensidad se estima en función de la probabilidad de ocurrencia, también conocida como frecuencia (F), expresada en años y equivalente al periodo de retorno. (*CURVAS IDF - CURVAS IDF - IDEAM, s. f.*)

Para el cálculo de las curvas IDF existe el método regional simplificado, donde se usan datos como la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual, la duración de la lluvia y parámetros de ajuste los cuales fueron regionalizados para Colombia, según la ilustración presentada a continuación.



Ilustración 3. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c, y d.



Nota. INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*.

2.3.5 Numero de Curva CN

El número de curva de escorrentía, CN, refleja la capacidad de producir escorrentía de la cuenca estudiada teniendo en cuenta una combinación específica de los grupos de suelos hidrológicos, el uso y tratamiento de la tierra, la condición hidrográfica superficial y las condiciones de humedad antecedente. Todos estos factores tienen un comportamiento directo sobre la cantidad de escorrentía producida por la cuenca.



El Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS presenta cada uno de estos factores. La clasificación hidrológica de los suelos se da en cuatro grupos, A, B, C y D. Los suelos del grupo A son aquellos con bajo potencial de escorrentía, consisten en arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Los suelos del grupo B son aquellos que presentan moderadamente bajo potencial de escurrimiento, son moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Los suelos del grupo C presentan moderadamente alto potencial de escorrentía, tienen un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelo de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta o suelos con niveles freáticos moderados. Los suelos del grupo D tienen alto potencial de escorrentía. Son arcillosos con alto potencial de expansión, con nivel freático permanente, con estrato arcilloso superficial, con infiltración muy lenta y poco profundos sobre material casi impermeable. El uso del suelo corresponde a la cobertura de la cuenca, incluyendo todo tipo de vegetación, humus vegetal, tierras de descanso, usos no agrícolas, superficies de agua, superficies impermeables y áreas urbanas. El tratamiento del suelo aplica principalmente a los usos agrícolas del suelo. La condición hidrológica puede catalogarse como pobre cuando hay menos del 50% de área cubierta y alta intensidad de pastoreo, aceptable cuando hay entre 50 y 75 % del área cubierta y media intensidad de pastoreo, y buena cuando existe más del 75% de área cubierta y ligera intensidad de pastoreo. La humedad antecedente se clasifica en tres niveles, la condición de humedad antecedente seca (AMC I) que tiene el menor potencial de escorrentía, la condición de humedad antecedente



promedio (AMC II) que tiene un potencial de escorrentía intermedio, y la condición de humedad antecedente húmeda (AMC III) que tiene el mayor potencial de escorrentía.

2.3.6 *Método Racional Modificado*

El método racional modificado, como su nombre lo indica, es una modificación al método racional para la estimación de caudales máximos en áreas de mayor tamaño, utilizando la fórmula básica del Método Racional, pero añadiendo factores como el tiempo de concentración (T_c) y la precipitación neta para una mayor precisión. A diferencia del método original, este método considera la variabilidad espacial de la lluvia y la transformación de la escorrentía mediante la aplicación de fórmulas para los factores del coeficiente de escorrentía (C) y la intensidad de la precipitación (I) para condiciones específicas de la cuenca.

2.3.7 *Hidrograma Unitario Sintético del SCS*

El hidrograma unitario sintético del Soil Conservation Service (SCS), desarrollado por Víctor Mockus en 1950, permite simular el caudal resultante de una lluvia efectiva unitaria sobre una cuenca. Este método es utilizado en combinación con el método del número de curva para modelar modelos de escorrentía. Fue estudiado teniendo en cuenta un gran número de hidrogramas unitarios naturales con un amplio rango de tamaños de cuencas hidrográficas y sitios geográficos. (*Modelo de hidrograma unitario SCS*, s. f.)

2.3.8 *Hietogramas*

Los hietogramas son una representación gráfica en la que se plasma la variación de la intensidad de precipitación con respecto al tiempo y se representa con un diagrama de barras. Para



su elaboración se requieren los datos de la curva IDF según el periodo de retorno seleccionado, luego se debe dividir el tiempo de diseño o tiempo de concentración de la cuenca en intervalos de tiempo iguales, se calcula la cantidad total de precipitación ocurrida en cada intervalo de tiempo multiplicando la intensidad por la duración del mismo, luego se calcula ΔP , que corresponde a la resta de los valores de precipitación consecutivos, por último se ordenan y se grafican los valores de ΔP de modo que el valor mayor quede en el medio.

2.3.9 HEC-HMS

El sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS) está diseñado con el propósito de simular de manera integral los procesos hidrológicos presentes en sistemas de cuencas dendríticas. Este software incorpora numerosos métodos de análisis hidrológicos convencionales, tales como la infiltración de eventos, la creación de hidrogramas unitarios y el enrutamiento hidrológico. Además, HEC-HMS cuenta con los procedimientos necesarios para llevar a cabo simulaciones continuas, abarcando aspectos como la evapotranspiración, el deshielo y la gestión de la humedad del suelo. (HEC-HMS, s. f.)

2.3.10 HEC-RAS

El sistema de análisis de ríos (HEC-RAS) del Centro de Ingeniería Hidrológica (CEIWR-HEC) permite realizar cálculos de flujo estacionario unidimensional, flujo inestable unidimensional y bidimensional, cálculos de transporte de sedimentos/lechos móviles y modelamiento de temperatura/calidad del agua. (HEC-RAS, s. f.)



2.3.11 HY-8

El software HY-8 automatiza los cálculos hidráulicos de alcantarillas utilizando una serie de características esenciales que facilitan el análisis y el diseño de alcantarillas. Se compone de cuatro módulos: uno de análisis de alcantarillas; dos módulos de generación y tránsito de hidrogramas y un cuarto módulo para el diseño de estructuras de disipación de energía. (Fuentes Hamburger, 2017)

2.3.12 Pozo Séptico

Un pozo o tanque séptico consiste en un sistema encargado del tratamiento de aguas residuales negras y grises. Por lo general, los tanques sépticos son instalados en sectores donde existe baja densidad poblacional o en lugares que no cuentan con acceso a alcantarillado público. Su función principal es separar el agua mediante una transformación fisicoquímica de la materia orgánica para poder facilitar su degradación y reducir la contaminación que pueden causar estas aguas tanto en el suelo como en las fuentes hídricas.

Un pozo séptico funciona como un tanque sedimentador, en el que los desechos pequeños o sólidos y pesados van cayendo al fondo del tanque, formando así una capa de lodo que logra aislar adecuadamente dichos residuos de los recursos hídricos. Los residuos que son más ligeros como grasas o aceites pueden flotar en la superficie. Dentro del pozo séptico habitan microorganismos que se alimentan de los residuos de lodo formados debilitándolos. Estas bacterias tienen la capacidad de degradar los compuestos. (*Pozo séptico qué es*, s. f.)



2.3.13 Aguas Residuales

Las aguas residuales son todas aquellas aguas que han sido afectadas por la acción humana, ya sea en entornos domésticos, industriales o agrícolas. Estas aguas residuales pueden contener algunos contaminantes físicos, químicos u orgánicos. No todas las aguas residuales tienen la misma cantidad de contaminantes, esto depende de si son domésticas, industriales, agrícolas o urbanas.

Las aguas residuales domesticas provienen de viviendas y son generadas por actividades domésticas, suelen tener contaminantes orgánicos y bacterias. Las aguas residuales industriales son las resultantes de cualquier actividad industrial o comercial, estas aguas se caracterizan por contener metales pesados y elementos químicos. Las aguas residuales de la agricultura y la ganadería provienen del sector primario, suelen contener contaminantes orgánicos y químicos debido a actividades de fumigo en los diferentes cultivos. (Telwesa, 2024)

2.3.14 Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en ausencia de oxígeno mediante el cual la materia orgánica que se encuentra presente en las aguas residuales es convertida en gases como el metano y el dióxido de carbono. En la digestión anaeróbica existen cuatro etapas conocidas como: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. En cada una de estas etapas actúan diferentes bacterias y microorganismos que descomponen la materia orgánica produciendo así dichos gases. (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia & Parra Huertas, 2015)



2.3.15 Lodos

Los lodos en un tanque séptico son aquellos residuos o material semisólido que se forma en el fondo del tanque producto de la sedimentación de sólidos en las aguas residuales. Estos lodos están compuestos principalmente por agua, sólidos, materia orgánica, grasas, aceites, entre otros residuos. La textura de los lodos es pastosa debido a su alto contenido de agua, que puede llegar a ser de hasta un 95%. Es necesario que estos lodos sean limpiados periódicamente puesto que si se acumulan pueden causar problemas en el sistema.

2.3.16 Natas

Las natas son una capa de sólidos flotantes que se forman en la superficie del líquido. La capa de natas está formada principalmente por grasas y otras materias ligeras que no se asientan, por lo que se forma una capa en la superficie del agua clarificada, permitiendo así la separación de estos sólidos del agua. Las natas al igual que los sólidos deben ser eliminadas periódicamente ya que no se degradan por completo en el proceso de digestión anaeróbica.

2.4 Marco Legal

NTC-5672 Secciones rectangulares prefabricadas de concreto reforzado “Bo Culvert”, para alcantarillados de aguas lluvias y aguas servidas: Esta norma especifica las secciones rectangulares prefabricadas en concretos reforzados en una celda simple para ser usadas en la construcción de alcantarillados y transporte de agua lluvia, aguas de residuos industriales y aguas negras.



Decreto 1640 de 2012 por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.

Resolución 0330 de 2017 por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS). La resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.

El Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS es una guía técnica que establece los criterios, procedimientos y especificaciones para el diseño, construcción y mantenimiento de sistemas de drenaje en vías. Este manual abarca tanto el drenaje superficial (cunetas, canales, bajantes, etc.) como el drenaje subterráneo (subdrenes, filtros, etc.), además del diseño de estructuras hidráulicas como alcantarillas, box culverts, etc.

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – Título J: Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural. Este documento propone desarrollos alternativos para los proyectos de suministro de agua y saneamiento básico para el área rural. Este documento es una guía para que profesionales y encargados de las soluciones en el sector rural puedan utilizar los criterios mínimos de diseño. El Título J del RAS es un componente normativo crucial para la planificación y diseño de proyectos de aguas y saneamiento en zonas rurales o que no cuenten con alcantarillado público cercano.



Resolución 0799 de 2021 por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017. Esta actualización tiene como objetivo principal la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de acueductos, alcantarillados y aseo, también incluyendo temas como la gestión de riesgos, caudales de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales y la evaluación socioeconómica de proyectos.

Norma Técnica Colombiana NTC 1500 Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias. Esta norma presenta las disposiciones aplicables al montaje, instalación, modificación, preparaciones, reubicación, reemplazo, ampliación y el uso o mantenimiento de sistemas hidráulicos y sanitarios. Provee los requisitos mínimos para salvaguardar la vida y bienestar público controlando el diseño, construcción e instalación de sistemas hidráulicos y sanitarios.

3 Metodología

3.1 Recolección de Datos

La recopilación de los datos meteorológicos se realiza a través de una estación meteorológica cercana al área de estudio, de esta estación se obtienen los datos de precipitación máxima anual de una serie de mínimo 30 años. La búsqueda de las estaciones y descarga de datos se realiza por medio de la página del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), estos datos son necesarios para la realización de las curvas IDF y hallar la precipitación máxima para diferentes periodos de retorno. La delimitación y caracterización morfométrica de la cuenca se lleva a cabo con el software QGIS mediante un Modelo de Elevación Digital (DEM) y la cartografía del sitio, obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). También es



importante la obtención de información sobre los tipos y usos del suelo presentes en la zona de estudio, información obtenida de la página del IGAC.

3.2 Análisis de Datos

3.2.1 Prueba de Datos Dudosos

Para el análisis de datos es necesario primeramente realizar una prueba de datos dudosos para identificar valores atípicos y que puedan interferir en la correcta representación de la tendencia de los datos. Para esto se utilizan las ecuaciones para los umbrales altos y bajos:

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s \rightarrow \text{Umbral alto}$$

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s \rightarrow \text{Umbral alto}$$

Donde x es el umbral de dato dudoso en unidades logarítmicas y k_n está dado por el tamaño de muestra n .



Ilustración 4. Valores de K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U. S. Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de K_n de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal.

Nota. Tomado de. Ven Te Chow. (1994). *Hidrología Aplicada*.

3.2.2 Prueba de Bondad de Ajuste

Una vez realizada la prueba de datos dudosos, se realiza la prueba de bondad de ajuste, que en este caso se usa la prueba de bondad de kolmogorov-Smirnov, este es un método para probar si existe diferencia estadísticamente significativa entre una distribución de frecuencias observada y una distribución de frecuencias esperada. Esto con el fin de conocer cuál es la distribución que mejor se ajusta a los datos. Las distribuciones para tener en cuenta fueron: distribución Normal, Log-Normal, Pearson III, Log-Pearson III, Gumbel y Log-Gumbel.

Para calcular el estadístico de la prueba de Kolmogorov-Smirnov se toma la desviación máxima de la comparación de las frecuencias acumuladas, tanto observada como esperada.



Una vez obtenida la distribución que mejor se ajusta a los datos obtenidos de cada estación calculamos la precipitación máxima.

3.2.3 Precipitación Máxima en 24 Horas

El cálculo de la precipitación máxima en 24 horas se realiza con las distribuciones Normal, Pearson III, Log-Pearson III y Gumbel y se toma la precipitación resultante de la distribución que mejor ajuste tuvo según la prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov para cada una de las estaciones estudiadas. Con esta precipitación se realizan las curvas IDF.

La magnitud de un evento hidrológico extremo se puede representar como la media más una desviación de la variable con respecto a la media.

$$x_T = \bar{x} + K_T s$$

Para los eventos en los que la variable sea $y = \log x$, entonces se aplica el mismo método a las estadísticas para los logaritmos de los datos, utilizando:

$$y_T = \bar{y} + K_T s_y$$

Distribución Normal: El factor de frecuencia K_T es igual a z , el valor de z puede encontrarse hallando el valor de una variable intermedia w

$$w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}$$

$$p = 1/T$$

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}$$



Distribución de Valor Extremo (Gumbel): El factor de frecuencia para esta distribución esta dado por la siguiente expresión.

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Distribución Log-Pearson Tipo III: En esta distribución se usan los logaritmos de la información hidrológica, usualmente logaritmos con base 10, se calcula la media $\bar{y}$, la desviación estándar s_y y el coeficiente de asimetría C_s para los logaritmos de los datos. El factor de frecuencia se puede calcular con la siguiente expresión:

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

Donde $k = C_s/6$

Para la distribución Pearson Tipo III se hace el mismo procedimiento usando la media $\bar{x}$, la desviación estándar s y el coeficiente de asimetría C_s de los datos de precipitación. (Ven te Chow et al., 1994).

Los valores de precipitación resultantes deben multiplicarse por un coeficiente de corrección por intervalo fijo que según L. Weiss es de 1.13.

3.2.4 Curvas IDF

Con las precipitaciones obtenidas de la distribución de probabilidad que mejor se ajusta para cada estación, se calcula la intensidad de precipitación por el método regional simplificado para la realización de las curvas IDF.

El método regional simplificado propone la siguiente expresión:



$$i = \frac{a * T^b * M^d}{(t/60)^c}$$

Donde:

i : Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h)

T : Periodo de retorno, en años.

M : Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual

t : Duración de la lluvia, en minutos (min).

a, b, c, d : Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados.

Dado que el departamento Norte de Santander hace parte de la Región Andina (R1), se usaron los valores de a, b, c y d correspondientes a esta región, estos valores se muestran a continuación:

Ilustración 5. Valores de a, b, c y d para el método regional simplificado

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Nota. INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*

3.2.5 Caracterización de la Cuenca

3.2.5.1 Delimitación de Cuenca.

Para la delimitación de la cuenca se usa un Modelo Digital de Elevación (DEM), corregido y procesado mediante herramientas de modulo GRASS en QGIS. El flujo y el área de drenaje se



identifican siguiendo los siguientes pasos: En primer lugar, se corrige el DEM usando la herramienta *r.fll.dir* para eliminar depresiones que puedan estar presentes. Una vez corregido el DEM se calcula la acumulación y dirección del flujo con la herramienta *r.watershed* que genera los mapas raster necesarios para la interpretación hidrológica. Con esta información se procede a delimitar la cuenca mediante la herramienta *r.water.oulet*, teniendo un punto de desfogue, que en nuestro caso de estudio es la ubicación del box culvert. Por último, convertimos el raster de la cuenca a vectorial mediante la herramienta *r.to.vect*, permitiendo también la suavización de los bordes de la delimitación.

3.2.5.2 Características Morfométricas.

Una vez realizada la delimitación de la cuenca se obtienen las características morfométricas de la misma, que son necesarias ya que influyen en el comportamiento hidrológico. Los parámetros que se debe hallar son: el área, la longitud del cauce que corresponde a la distancia que recorre el río entre el punto de desagüe y el punto que se encuentra a mayor distancia, el perímetro de la cuenca y la pendiente. Estas características también se obtienen del software QGIS.

3.2.5.3 Número de Curva.

Dentro de la caracterización de la cuenca también es necesario conocer el número de curva CN. Para esto es necesario obtener los datos correspondientes al tipo hidrológico del suelo y al uso hidrológico en suelo en formato shapefile para procesarlos en el software QGIS. La clasificación hidrológica de los suelos se realiza en cuatro grupos A, B, C y D, de acuerdo con el potencial de escurrimiento de cada uno. Los suelos del grupo A tienen un bajo potencial de escorrentía, los del



grupo B presentan moderadamente bajo potencial de escorrentía, los suelos del grupo C tienen moderadamente alto potencial de escorrentía, y los suelos del grupo D tienen un alto potencial de escorrentía. El uso y tratamiento del suelo también se tiene en cuenta en la determinación del número de curva al igual que la condición hidrológica.

El INVIAS en el Manual de Drenaje para Carreteras proporciona unas tablas para la determinación del número de curva, que relaciona los tres componentes mencionados anteriormente.



Ilustración 6. Numero de Curva de escorrentía para áreas urbanas.

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	% PROMEDIO ÁREAS IMPERMEABLES ¹	NUMERO DE CURVAS PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida): Espacios abiertos (prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.) ²					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
Áreas Impermeables: Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentados; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
Áreas desiertas urbanas: Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables) ³		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barreras impermeables de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diámetro; Cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
Áreas urbanas: Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:					
1/8 de acre o menos (506 m ² o menos)	65	77	85	90	92
1/4 acre (1012 m ²)	38	61	75	83	87
1/3 acre (1350 m ²)	30	57	72	81	86
1/2 acre (2025 m ²)	25	54	70	80	85
1 acre (4050 m ²)	20	51	68	79	84
2 acre (8100 m ²)	12	46	65	77	82
Áreas urbanas desarrolladas: Áreas permeables conformadas (solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Nota. INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*



Ilustración 7. Numero de curva de escorrentía para tierras agrícolas cultivadas.

COBERTURA		CONDICIÓN HIDROLÓGICA	GRUPO DE SUELOS			
USO DE LA TIERRA	TRATAMIENTO O PRÁCTICA		A	B	C	D
			NÚMERO DE CURVA			
Rastrojo	Hileras Rectas	---	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras Rectas	Mala	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en ¹ hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80

Nota. INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*



Ilustración 8. Número de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas

DESCRIPCIÓN Y TIPO DE COBERTURA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo ¹	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segados para heno	---	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento ²	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30 ³	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles) ⁴	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques ⁵	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	---	59	74	82	86

Nota. INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*.

Una vez obtenidos los diferentes números de curva, se debe sacar un Número de curva ponderado para el área de estudio, esto se hace multiplicando el número de curva por el área que cubre, se suman todos estos resultados y posteriormente se divide entre el área total de la cuenca.

$$CN = \frac{\sum CN_i * A_i}{A_{total}}$$



Para el método del número de curva también se tiene en cuenta tres niveles de humedad antecedente, la cual depende de la precipitación total en los cinco días previos a la tormenta analizada. La condición de humedad antecedente seca (AMC I), que tiene el menor potencial de escorrentía. La condición de humedad antecedente promedio (AMC II), que tiene un potencial de escorrentía promedio, el valor de curva hallado pertenece a esta condición de humedad, puesto que los valores de número de curva CN dados por el INVIAS pertenecen a esta condición humedad antecedente. La condición de humedad antecedente húmeda (AMC III), que tiene el mayor potencial de escorrentía, ya que indica que la cuenca hidrográfica se encuentra prácticamente saturada.

Existen dos ecuaciones para calcular el número de curva perteneciente a las condiciones de humedad antecedente seca y húmeda, en función del número de curva de la condición de humedad antecedente promedio.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

3.2.5.4 Tiempos de Concentración.

Para el cálculo del tiempo de concentración existen ecuaciones propuestas por diferentes autores. Para el tiempo de concentración de la cuenca estudiada se tendrá en cuenta tres ecuaciones propuestas por Kirpich, Témez y Giandotti, las ecuaciones son las siguientes:



$$Tc = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \rightarrow \text{Kirpich}$$

$$Tc = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \rightarrow \text{Témez}$$

$$Tc = \frac{4A^{0.5} + 1.50L}{25.3(LS)^{0.5}} \rightarrow \text{Giandotti}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración, L es la longitud del cauce principal en km, S es la pendiente del cauce principal y A es el área de la cuenca en km².

3.3 Modelo Hidrológico

El caudal máximo para diferentes periodos de retorno puede ser calculado usando metodologías descritas en diferentes libros, en este trabajo, se usaron el método racional modificado, el hidrograma unitario del SCS y el software HEC-HMS. Para el cálculo del caudal máximo es necesario obtener los datos de las curvas IDF para diferentes periodos de retorno, las características morfométricas de la cuenca y el numero de la curva CN para el área que se está estudiando.

3.3.1 Método Racional Modificado

El método racional se ha modificado para la estimación de caudales máximos en áreas de mayor tamaño, ajustando las variables que se tienen en cuenta en la ecuación de este método, dando como resultado la siguiente expresión:

$$Q = 0.278 C * I * A * K$$

Donde:



Q: Caudal máximo de diseño (m3/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: intensidad de precipitación máxima (mm/h)

A: Área de la cuenca (km2)

K: Coeficiente de uniformidad

Las ecuaciones para hallar los factores de la formula general se presentan a continuación:

Coeficiente de uniformidad

$$k = 1 + \frac{tc^{1.25}}{tc^{1.25} + 14}$$

Donde tc corresponde al tiempo de concentración

Intensidad de Precipitación

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) \left(\frac{I_{m\acute{a}x}}{\frac{P}{24}}\right)^{\frac{28^{0.1}-tc^{0.1}}{28^{0.1}-1}}$$

Donde tc corresponde al tiempo de concentración, $I_{m\acute{a}x}$ es la intensidad máxima y P es la precipitación en mm

Precipitación máxima corregida (P)

$$P = K_A P_d$$

Donde K_A corresponde a un factor reductor o coeficiente de simultaneidad y P_d corresponde a la precipitación máxima diaria (mm)

Coeficiente de simultaneidad o factor reductor



$$K_A = 1 - \frac{\log A}{15}$$

Donde A corresponde al área de la cuenca en km²

Coeficiente de escorrentía (C)

$$C = \frac{(P_d - P_o)(P_d + 23P_o)}{(P_d + 11P_o)^2}$$

Donde P_o es un parámetro que depende del uso y tipo de suelo, de la cobertura vegetal de la cuenca y de la humedad antecedente del suelo antes del aguacero de diseño, en milímetros (mm) y P_d es la precipitación máxima puntual anual en 24 horas para un periodo de retorno específico, en milímetros (mm)

El valor P_o se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$P_o = (5080 - 50.8CN)/CN$$

Donde CN es el número de curva de escurrimiento CN del método Soil Conservación Service.

3.3.2 Hidrograma Unitario del SCS

En este método es necesario calcular un caudal pico, y para esto es necesario tener un tiempo al pico t_p , que se puede calcular con la siguiente expresión:

$$t_p = \frac{t_r}{2} + t_l$$

Donde:

t_r : Duración de la lluvia, en horas (h)

t_l : tiempo de desfase, en horas (h)



El tiempo de desfase se calcula con la siguiente ecuación, que la relaciona con el tiempo de concentración de la cuenca.

$$\frac{t_l}{t_c} = \frac{6}{10}$$

En el sistema métrico, la formula del caudal pico es:

$$Q_p = \frac{0.208 A}{t_p}$$

Donde:

Q_p : Caudal pico del hidrograma unitario (m³/s)

A: Área de drenaje de la cuenca hidrográfica (km²)

t_p : Tiempo al pico (h)

Este caudal pico del hidrograma unitario es para 1mm de precipitación efectiva.

La precipitación efectiva está dada por la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{P + 0.8 * S}$$

Donde S es la máxima retención potencial y puede ser expresada en términos del numero de curva de escorrentía CN, de la siguiente forma:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Una vez que se tienen el tiempo al pico y el caudal pico, se halla el hidrograma unitario multiplicando por los valores de las ordenadas del hidrograma unitario adimensional del SCS, dichos valores se encuentran en la siguiente tabla:



Ilustración 9. Ordenadas del hidrograma unitario del SCS.

t/t_p	Q/Q_p
0.0	0.00
0.2	0.10
0.4	0.31
0.6	0.66
0.8	0.93
1.0	1.00
1.2	0.93
1.4	0.78
1.6	0.56
1.8	0.39
2.0	0.28
2.2	0.207
2.4	0.147
2.6	0.107
2.8	0.077
3.0	0.055
3.2	0.040
3.4	0.029
3.6	0.021
3.8	0.015
4.0	0.011
4.2	0.010
4.4	0.007
4.6	0.003
4.8	0.0015
5.0	0.0000

Nota. INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*.

3.3.3 Software HEC-HMS

Para el cálculo del caudal máximo en el software es necesario contar con la información de la cuenca, los datos que se ingresan al programa son: La delimitación, el drenaje, el área, el número de curva, lag time (tiempo que transcurre desde el centro de gravedad de la precipitación neta hasta la punta del hidrograma) que es aproximadamente 0.6 del tiempo de retorno, hietograma para una



duración de la lluvia igual al tiempo de concentración y un periodo de retorno definido. Para la elaboración de los hietogramas se requiere los datos de la curva IDF según el periodo de retorno seleccionado, luego se debe dividir el tiempo de diseño o tiempo de concentración de la cuenca en intervalos de tiempo iguales, se calcula la cantidad total de precipitación ocurrida en cada intervalo de tiempo multiplicando la intensidad por la duración del mismo, luego se calcula ΔP , que corresponde a la resta de los valores de precipitación consecutivos, por último se ordenan y se grafican los valores de ΔP de modo que el valor mayor quede en el medio.

3.3.4 *Periodo de Retorno*

El periodo de retorno de eventos hidrológicos máximos es el tiempo promedio, expresado en años, en el que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez. El Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS proporciona una tabla donde se expresan los valores de periodo de retorno para el cálculo de caudales máximos instantáneos anuales en obras de drenaje vial.



Ilustración 10. *Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial*

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Nota. INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras.*

3.4 Análisis Hidráulico

La interfaz HEC-RAS Mapper proporciona una visualización geoespacial de la geometría HEC-RAS, resultados de simulación y otros datos geoespaciales para ayudar a los usuarios a crear modelos hidráulicos fluviales de manera eficiente. El software HEC-RAS admite el uso de un modelo digital del terreno para representar la superficie del terreno desnudo. Para representar adecuadamente el área de la llanura aluvial y desarrollar una geometría precisa para el análisis del río, el MDT (Modelo digital del terreno) debe tener datos representativos en el canal principal y



las áreas de sobreebanco. (HEC-RAS - Hydrologic Engineering Center, s. f). Por esto es necesario obtener la topografía del área de estudio con la información de elevación necesaria para que el software procese los datos y nos de como resultado la simulación de áreas problemáticas en la zona.

3.5 Diseño del Canal y Box Culvert

A partir del análisis hidráulico se determina la velocidad media del flujo en el canal. Con este valor y el caudal correspondiente a un periodo de retorno de 25 años, es posible calcular el área hidráulica efectiva del canal mediante la siguiente expresión:

$$A = Q/V.$$

Una vez determinada el área hidráulica efectiva, se procede al diseño geométrico del canal, asegurando que cumpla con los requerimientos hidráulicos establecidos. El modelo del canal se desarrolla en Autodesk Civil 3D, donde se genera un Modelo Digital de Elevación (DEM) con información topográfica de la sección diseñada. Este DEM se utiliza posteriormente en el software HEC-RAS para realizar el análisis hidráulico del canal rediseñado.

Adicionalmente, el diseño del box culvert se lleva a cabo considerando las nuevas secciones transversales del canal y utilizando el software HY-8, el cual permite evaluar el comportamiento hidráulico de la estructura bajo diferentes condiciones de flujo.

3.6 Diseño Pozo Séptico

Debido a que no se proporcionó información sobre el pozo que se encuentra actualmente en la Universidad de Pamplona Sede Villa del Rosario, se realizó un diseño analizando el aporte de caudal diario que puede recibir este.



Para el diseño del tanque séptico es importante en primer lugar conocer el número de personas que va a realizar un aporte de caudal, para esto, se tuvo en cuenta la infraestructura presente en la Universidad de Pamplona sede villa del rosario.

También es importante definir el aporte de caudal por persona, para esto tenemos en cuenta que la NTC 1500 nos dice que para instituciones educativas como universidades el consumo diario por persona es de 50 L/hab*día. Teniendo en cuenta un coeficiente de retorno de 85%.

Una vez obtenidos estos datos se procede a calcular el volumen útil del tanque, para esto el Titulo J del RAS nos presenta una metodología que se muestra a continuación.

3.6.1 Volumen útil (V_u)

El volumen útil del pozo séptico se puede calcular teniendo en cuenta la siguiente expresión

$$V_u = V_{rs} + V_l + V_n + V_v$$

Donde V_{rs} es el volumen requerido para la sedimentación, determinante del rendimiento del proceso de tratamiento, el cual a su vez es función del tiempo de retención hidráulica. V_l es el volumen para el almacenamiento de lodos. V_n es el volumen para el almacenamiento de natas y espumas no sumergidas. V_v es el volumen para ventilación, este es el espacio sobre el nivel de líquido para almacenamiento de espumas y el techo del tanque séptico, o borde libre.

3.6.2 Volumen Requerido Para Sedimentación (V_{rs})

El volumen en metros cúbicos requerido para la sedimentación V_{rs} es:

$$V_{rs} = \frac{P * Q * t_d}{1000}$$



Donde t_d es el tiempo de retención hidráulica en días. P es la población aportante. Q es el aporte de aguas residuales en L/hab*día.

El tiempo de detención hidráulica t_d para los pozos sépticos, que según la resolución 0799 de 2021 debe estar entre 12 a 24 horas, se calcula usando la siguiente expresión:

$$t_d = 1.5 - 0.3 \log(P * Q)$$

3.6.3 Volumen Para el Almacenamiento de Lodos (V_l)

El volumen para el almacenamiento de lodos en metros cúbicos está dado por la siguiente expresión:

$$V_l = \frac{T_i * P * N}{1000}$$

Donde T_i es la tasa de acumulación de lodos en L/hab*año. La cantidad de lodos producidos por habitante por año depende de la temperatura ambiental y si al tanque séptico se descargan residuos de cocina. Los valores a considerar son: para clima cálido 40 l/hab-año y de 50 l/hab-año para clima frío. N es el número asumido de años entre operaciones de limpieza. Se recomienda como mínimo 2 años y como máximo 6 años.

3.6.4 Volumen Para el Almacenamiento de Natas (V_n)

El volumen para el almacenamiento de natas y espumas no sumergidas en metros cúbicos se puede calcular empleando la siguiente expresión:

$$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$$



Donde T_n es la tasa de acumulación de natas en L/hab*año. Como valor de referencia se tiene el obtenido en 1983 a partir de observaciones y mediciones en el proyecto ASAS en Cartagena, de acuerdo con las cuales la tasa de acumulación de natas resultó de 3.51 L/hab-año.

3.6.5 Dimensionamiento del Pozo Séptico

Para determinar las dimensiones internas del pozo séptico es importante tener en cuenta los siguientes criterios, de acuerdo con la resolución 0799 de 2021. (Resolución 0799 de 2021)

Para tanques rectangulares, la relación entre el largo-ancho será como mínimo de 2:1 y como máximo de 5:1.

El pozo séptico deberá constar como mínimo de dos cámaras; el volumen de la primera cámara deberá ser igual a 2/3 del total del volumen.

La profundidad útil debe estar entre los valores mínimos y máximos de acuerdo con el volumen obtenido.

Ilustración 11. Profundidad útil

Volumen útil (m ³)	Profundidad útil mínima (m)	Profundidad útil máxima (m)
Hasta 6	1,2	2,2
De 6 a 10	1,5	2,5
Más de 10	1,8	2,8

Nota. Tomado de RAS – Titulo J

Teniendo en cuenta esto, el volumen útil del pozo y la profundidad útil es posible calcular las medidas de ancho y largo del taque, considerando que se debe dejar un borde libre de entre 0.10m a 0.15m.

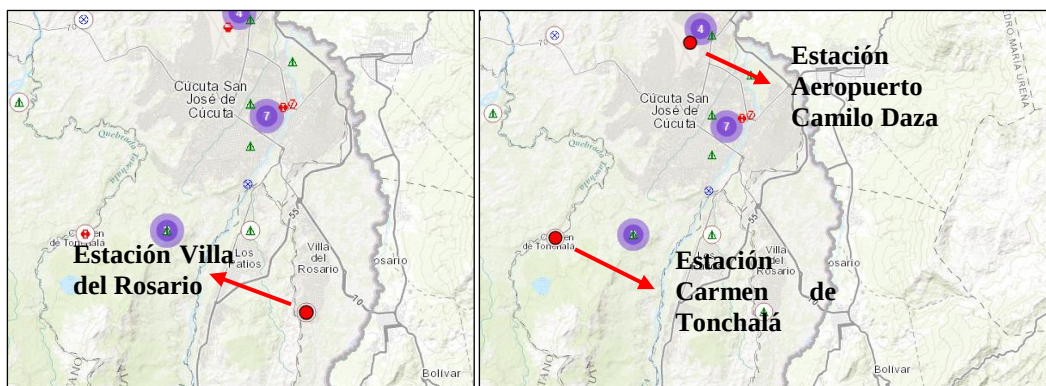


4 Resultados

4.1 Análisis de Datos de Precipitación

Los datos meteorológicos se obtuvieron de las estaciones pluviométricas más cercanas a la zona de estudio, que pudieran proporcionar los datos de precipitación máxima diaria para una serie de datos de 30 años. Las estaciones que se encuentran más cercanas a la zona de estudio son: estación Villa del Rosario [16010010], ubicada en el municipio Villa del Rosario, Norte de Santander. Estación Aeropuerto Camilo Daza [16015010] y estación Carmen de Tonchalá [16025010], ubicadas en el municipio de Cúcuta, Norte de Santander.

Ilustración 12. *Ubicación de las estaciones meteorológicas*



Nota. Se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas con respecto al municipio Villa del Rosario.



Se obtuvieron los siguientes valores de precipitación media multianual en mm.

Tabla 1. Precipitación media multianual en mm

Estación		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Villa del Rosario	Máximos	56,0	65,0	70,0	152,0	109,0	82,0	74,0	62,0	84,0	105,0	92,0	134,0	152,0
	Medios	19,6	23,8	24,9	42,1	31,2	14,4	11,9	13,2	24,4	43,7	39,4	30,1	71,6
	Mínimos	1,0	1,0	1,0	3,0	2,0	1,0	2,0	2,0	4,0	8,0	5,0	1,0	33,0
Aeropuerto Camilo Daza	Máximos	93,2	87,8	96,8	118,1	99,6	74,3	46,9	94,7	77,0	101,0	108,7	168,4	168,4
	Medios	23,7	20,0	26,7	41,0	35,6	15,1	11,9	16,7	26,6	43,0	46,0	32,8	74,9
	Mínimos	0,6	1,5	1,1	4,7	2,2	3,3	1,8	1,9	2,9	11,3	5,3	0,8	9,8
Carmen de Tonchalá	Máximos	71,5	95,0	118,4	195,4	133,0	75,0	70,5	71,0	91,5	118,5	126,4	105,0	195,4
	Medios	23,3	27,4	34,6	45,5	40,2	13,9	13,2	19,3	24,6	51,1	46,5	28,1	82,2
	Mínimos	0,0	0,5	1,6	2,5	4,0	0,6	1,1	2,0	2,3	12,0	0,0	0,0	33,0

4.1.1 Prueba de Datos Dudosos

Se realizó la prueba de datos dudosos a los datos de precipitación obtenidos de cada una de las estaciones

Los resultados de las pruebas de datos dudosos se ven reflejados en las siguientes gráficas

Ilustración 13. Outlier estación Villa del Rosario



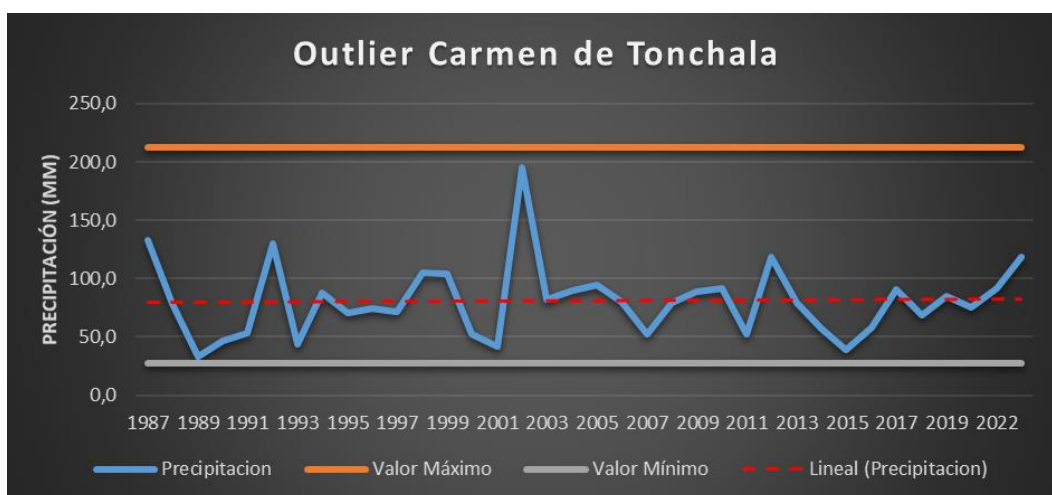


Ilustración 14. Outlier estación Aeropuerto Camilo Daza



Dado que la prueba de datos dudosos para los datos de precipitación en la estación Aeropuerto Camilo Daza arrojó que los años 2016, 2017, 2018 y 2021 tienen precipitaciones por debajo del umbral mínimo, estos años no se tuvieron en cuenta al momento de calcular las precipitaciones máximas y las curvas IDF.

Ilustración 15. Outlier estación Carmen de Tonchalá





4.1.2 Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogórov-Smirnov

Después de haber realizado la prueba de datos dudosos, se realizó la prueba de bondad de ajuste a los datos de precipitación de cada una de las estaciones, dando como resultado la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos. El resultado de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov-Smirnov es el siguiente:

Tabla 2. Prueba de bondad de ajuste estación Villa del Rosario

		Dmáx	Dcritico>Dmáx	Mejor Ajuste
Xm	71,647			
s	27,865			
Cs	1,102			
n	51,000			
a	0,050			
DCrítico	0,190			
Distribución Normal		0,0980	Si se ajusta	5
Distribución Log-Normal		0,0520	Si se ajusta	3
Distribución Pearson III		0,0458	Si se ajusta	2
Distribución Log-Pearson III		0,0543	Si se ajusta	4
Distribución Gumbel		0,0449	Si se ajusta	1
Distribución Log-Gumbel		0,1025	Si se ajusta	6

El mejor ajuste para la estación Villa del Rosario es el de la distribución de probabilidad Gumbel, por lo tanto, se utilizó esta distribución para hallar la precipitación máxima de 24 horas.

Tabla 3. Prueba de bondad de ajuste estación Aeropuerto Camilo Daza

		Dmáx	Dcritico>Dmáx	Mejor Ajuste
Xm	76,223			
s	24,528			
Cs	1,093			
n	48,000			
a	0,050			
DCrítico	0,192			
Distribución Normal		0,0751	Si se ajusta	1
Distribución Log-Normal		0,1723	Si se ajusta	4
Distribución Pearson III		0,0782	Si se ajusta	2
Distribución Log-Pearson III		0,1806	Si se ajusta	5
Distribución Gumbel		0,0839	Si se ajusta	3
Distribución Log-Gumbel		0,2104	No se ajusta	6



El mejor ajuste para la estación Aeropuerto Camilo Daza es el de la distribución de probabilidad Normal, por lo tanto, se utilizó esta distribución para hallar la precipitación máxima de 24 horas.

Tabla 4. Prueba de bondad de ajuste estación Carmen de Tonchalá

		Dmáx	Dcritico>Dmáx	Mejor Ajuste
Xm	82,200			
s	32,381			
Cs	1,207			
n	37,000			
a	0,050			
Dcrítico	0,224			
Distribución Normal		0,1238	Si se ajusta	5
Distribución Log-Normal		0,0808	Si se ajusta	2
Distribución Pearson III		0,0915	Si se ajusta	4
Distribución Log-Pearson III		0,0849	Si se ajusta	3
Distribución Gumbel		0,0748	Si se ajusta	1
Distribución Log-Gumbel		0,1444	Si se ajusta	6

El mejor ajuste para la estación Carmen de Tonchalá es el de la distribución de probabilidad Gumbel, por lo tanto, se utilizó esta distribución para hallar la precipitación máxima de 24 horas.

4.1.3 Precipitación Máxima en 24 Horas

La precipitación máxima para diferentes periodos de retorno se halló usando la distribución de probabilidad que mejor se ajustó para cada una de las estaciones, según la prueba de bondad de ajuste realizada. Los valores de precipitación resultantes deben multiplicarse por un coeficiente de corrección por intervalo fijo que según L. Weiss es de 1.13.

Para la estación Villa del Rosario se usó la distribución de probabilidad Gumbel. La precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno se muestra a continuación:



Tabla 5. Precipitación Máxima en 24 horas estación Villa del Rosario

Distribución de Probabilidad Gumbel				
Periodo retorno	Prob. de ocurrencia	Factor de frecuencia	Precip. (mm)	Corrección intervalo fijo
Años	F(xT)	Kt	XT'(mm)	XT (mm)
2	0,5000	-0,1643	72,1409	81,5192
5	0,8000	0,7195	103,8632	117,3655
10	0,9000	1,3046	124,8662	141,0988
25	0,9600	2,0438	151,4035	171,0860
50	0,9800	2,5923	171,0904	193,3322
100	0,9900	3,1367	190,6319	215,4141

Para la estación Aeropuerto Camilo Daza se usó la distribución de probabilidad Normal. La precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno se muestra a continuación:

Tabla 6. Precipitación máxima en 24 horas estación Aeropuerto Camilo Daza

Distribución de Probabilidad Normal					
Periodo de retorno	Probabilidad	Variable Intermedia	Probabilidad de Excedencia	Precip. (mm)	Corrección por intervalo fijo P[mm]
[Años]	(1/T)	[w]	[z]	XT'(mm)	XT (mm)
2	0,50	1,177	0,000	76,22	86,13
5	0,20	1,794	0,841	96,86	109,45
10	0,10	2,146	1,282	107,66	121,66
25	0,04	2,537	1,751	119,17	134,67
50	0,02	2,797	2,054	126,61	143,07
100	0,01	3,035	2,327	133,29	150,62

Para la estación Carmen de Tonchalá se usó la distribución de probabilidad Gumbel. La precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno se muestra a continuación:



Tabla 7. Precipitación máxima en 24 horas estación Carmen de Tonchalá

Distribución de Probabilidad Gumbel				
Periodo retorno	Prob. de ocurrencia	Factor de frecuencia	Precip. (mm)	Corrección intervalo fijo
Años	F(xT)	Kt	XT'(mm)	XT (mm)
2	0,5000	-0,1643	63,4797	71,7321
5	0,8000	0,7195	85,7916	96,9445
10	0,9000	1,3046	100,5640	113,6374
25	0,9600	2,0438	119,2290	134,7288
50	0,9800	2,5923	133,0758	150,3756
100	0,9900	3,1367	146,8203	165,9069

4.1.4 Curvas IDF

La intensidad para la realización de las curvas IDF fue calculada con el método regional simplificado descrito en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS.

El valor de la precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual es de 71,647 mm para la estación Villa del Rosario, 76,223 mm para la estación Aeropuerto Camilo Daza y 82,200 mm para la estación Carmen de Tonchalá.

Considerando estos valores de precipitación máxima, y utilizando la ecuación presentada en el numeral 3.2.4, se calcularon las curvas IDF correspondientes para cada una de las estaciones pluviométricas de las cuales se obtuvieron los datos.

A continuación, se muestra las Curvas IDF para cada una de las estaciones consultadas.

Ilustración 16. *Curvas IDF estación Villa del Rosario*

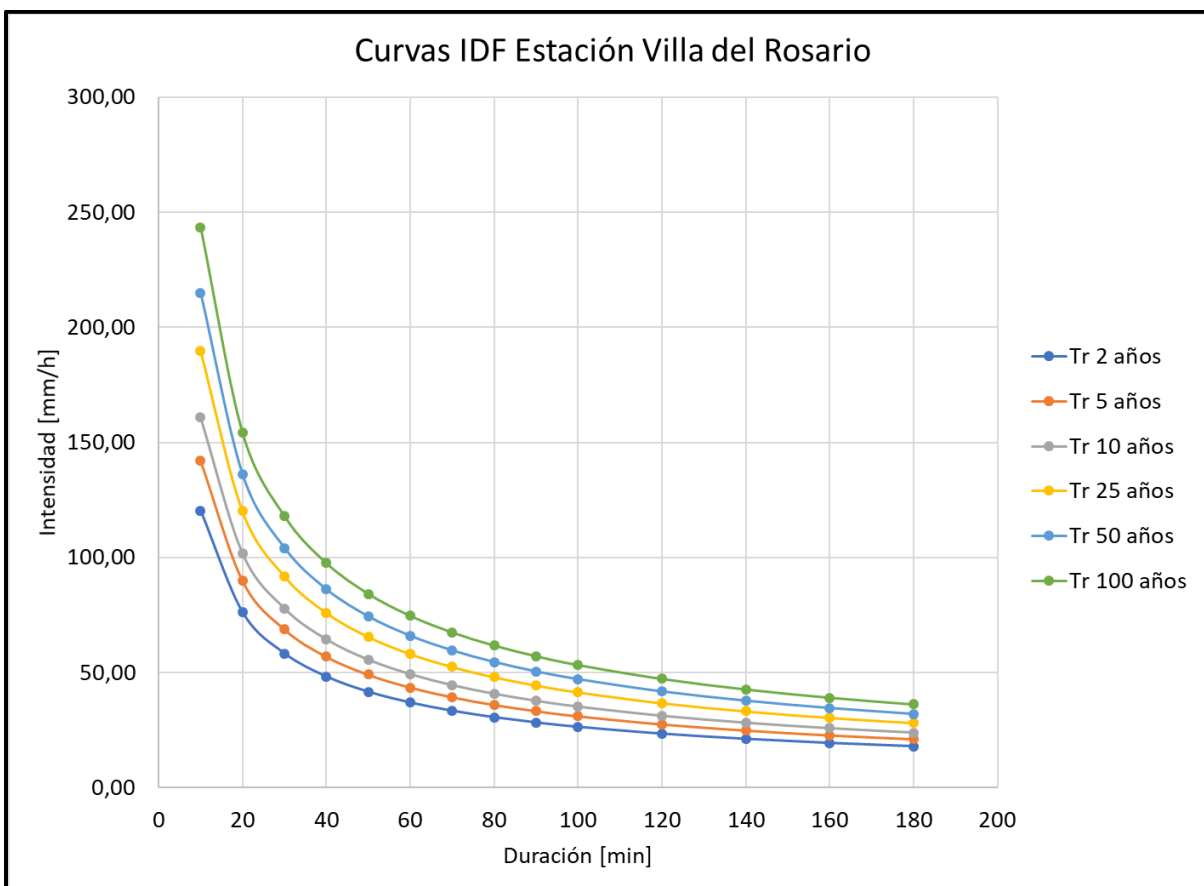




Ilustración 17. *Curvas IDF estación Aeropuerto Camilo Daza*

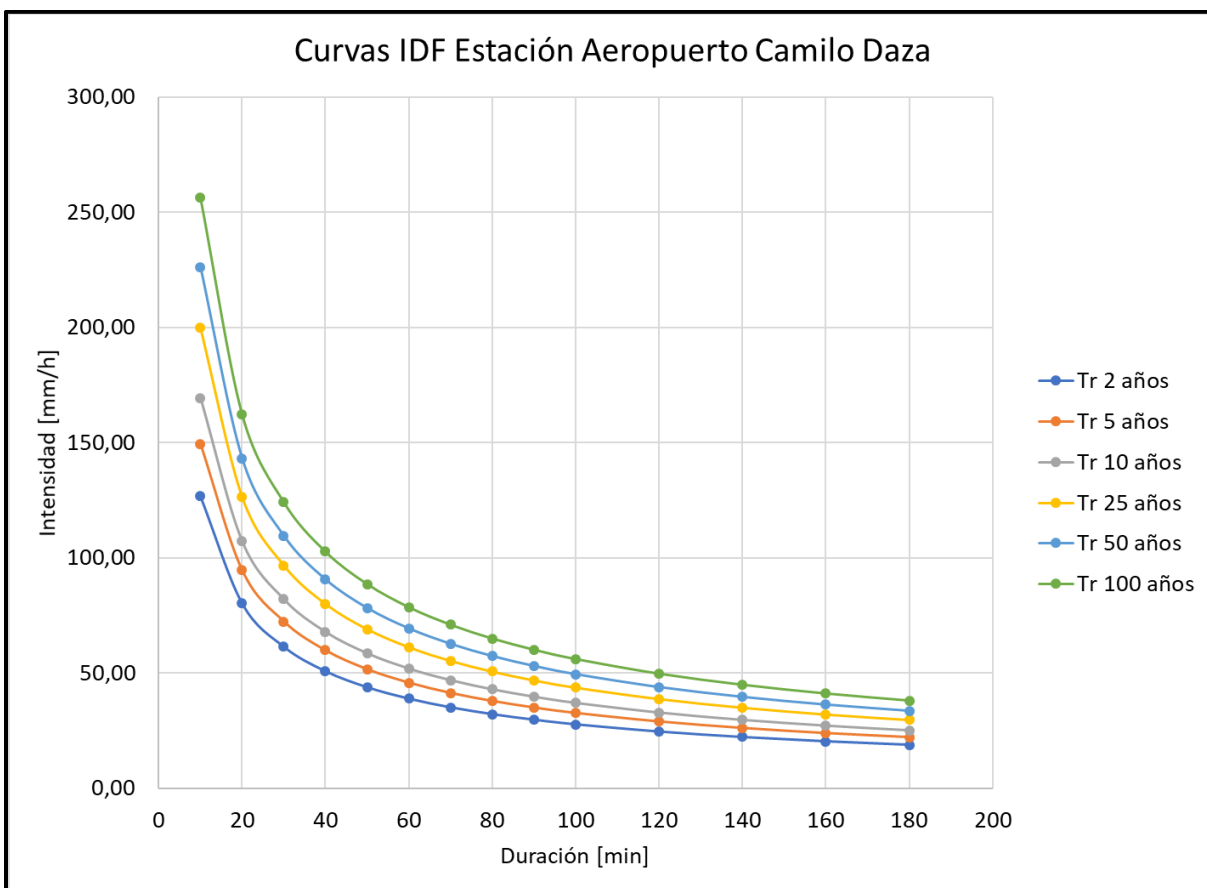
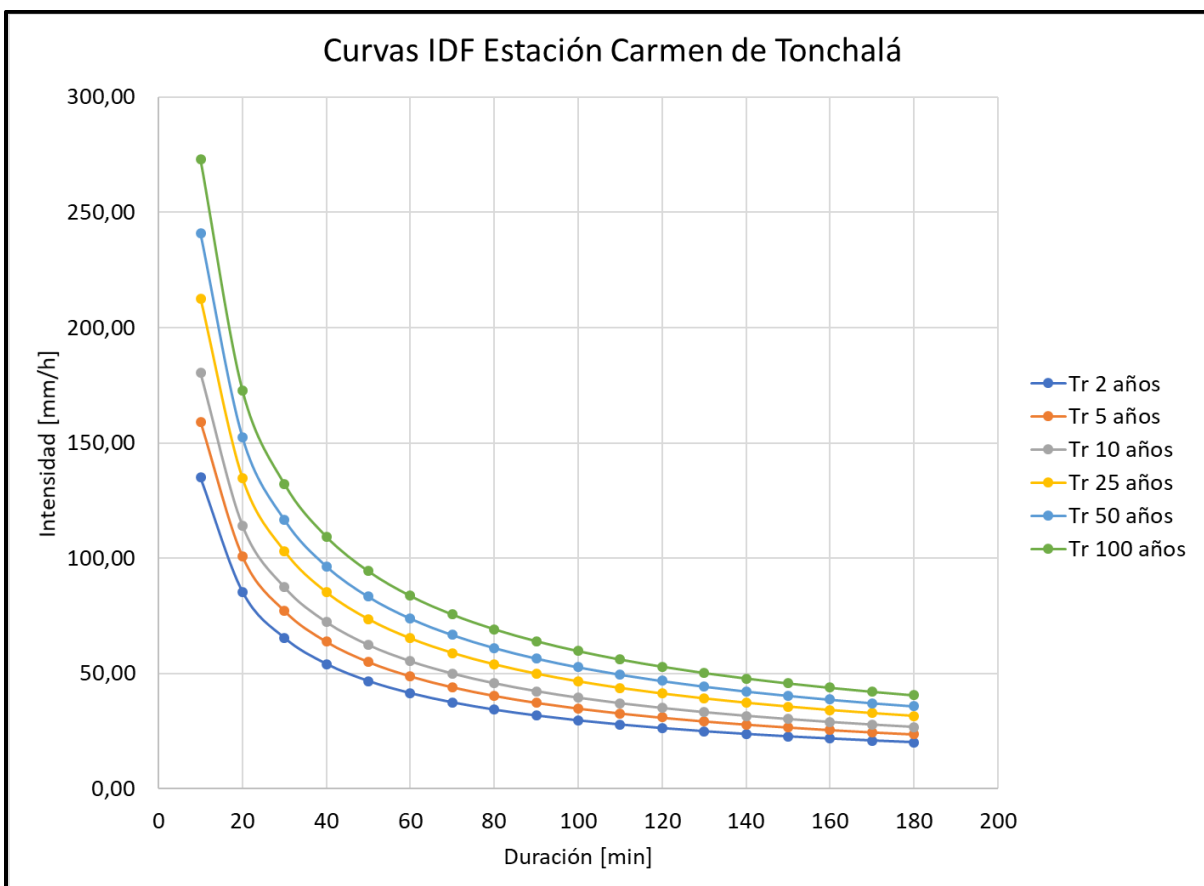




Ilustración 18. Curvas IDF estación Carmen de Tonchalá



Para el proyecto en la sede Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona, se usaron los datos de precipitación máxima y curvas IDF obtenidos de la estación Villa del Rosario puesto que es la estación más cercana al sitio e incluso, como lo veremos más adelante, su ubicación está dentro del área delimitada de la cuenca.



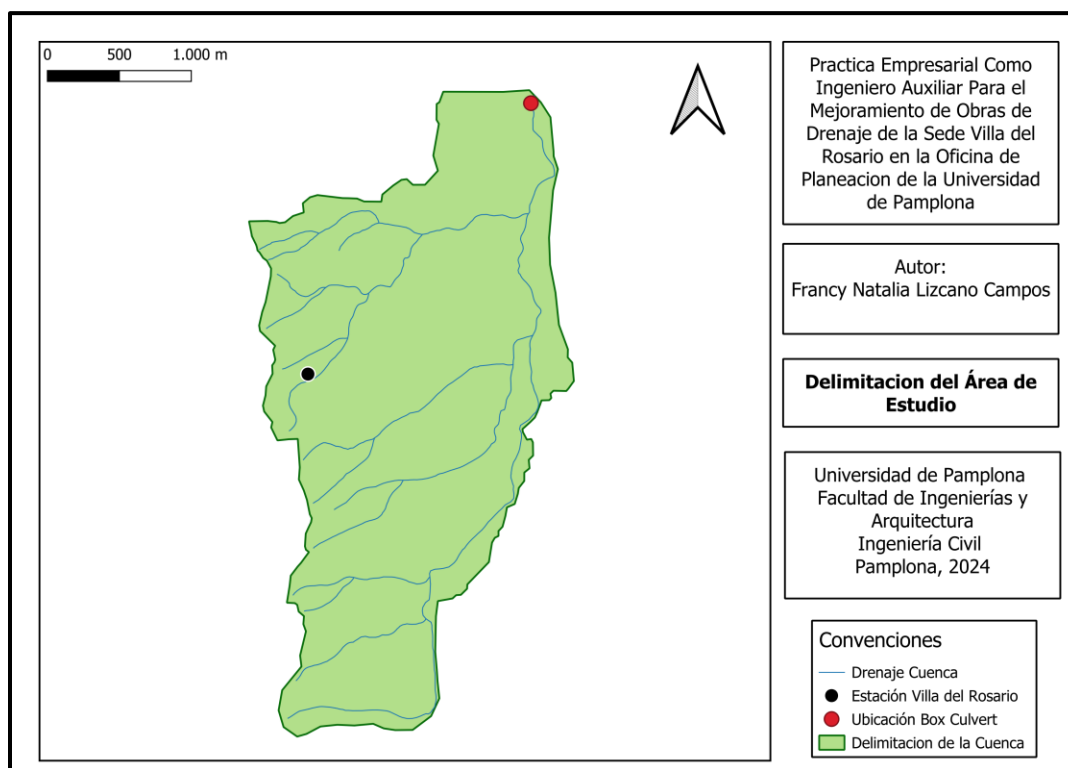
4.2 Caracterización del Cuenca

4.2.1 Delimitación de la cuenca

La delimitación de la cuenca se realizó por medio del software QGIS mediante un Modelo de Elevación Digital (DEM) que se obtuvo del Stands for Shuttle Radar Topography Mission (STRM), con resolución de 1 segundo de arco, 30 metros aproximadamente. Dado que el DEM puede presentar desfase horizontal, se descargaron datos cartográficos de la zona proporcionados por el IGAC y se mejoró manualmente teniendo en cuenta los drenajes y las curvas de nivel.

A continuación, se muestra el resultado de la delimitación de la cuenca, junto con la ubicación del box culvert y la estación Villa del Rosario.

Ilustración 19. *Delimitación de la cuenca*





4.2.2 Características Morfométricas de la Cuenca

Las características morfométricas de la cuenca son aquellas variables que permiten el reconocimiento físico de la cuenca que se está estudiando, estas características son importantes ya que incluyen en el comportamiento hidrológico. Los parámetros hallados para la cuenca de estudio son: el área, la longitud del cauce que corresponde a la distancia que recorre el río entre el punto de desagüe y el punto que se encuentra a mayor distancia, el perímetro de la cuenca y la pendiente. Estas características morfométricas fueron obtenidas del software QGIS.

A continuación, se presentan las características morfométricas de la cuenca:

Tabla 8. Características morfométricas de la cuenca

Características Morfométricas	
Área [km ²]	6,3757
Perímetro [km]	12,93
Longitud [km]	4,96651
Pendiente [%]	4,33%

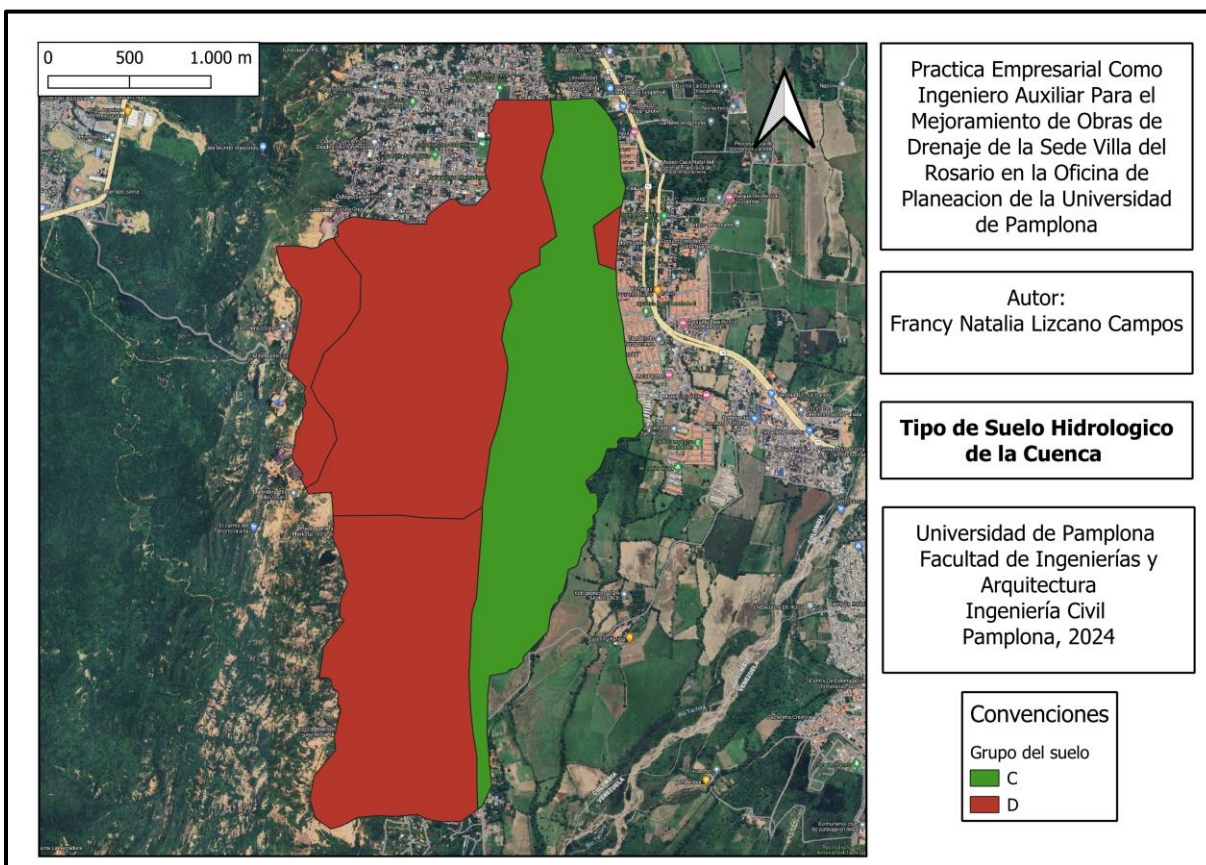
4.2.3 Numero de Curva CN

El Número de Curva (CN) fue determinado utilizando el software QGIS. Para ello, se emplearon archivos en formato shapefile correspondientes al tipo y uso hidrológico del suelo, los cuales fueron descargados desde la página oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Posteriormente, esta información fue cargada en el software para su procesamiento y análisis.



En el área perteneciente a la cuenca solo se presentan dos grupos de suelo hidrológico, suelos que pertenecen a los grupos C y D. A continuación, se muestra la distribución de los suelos en el área de la cuenca.

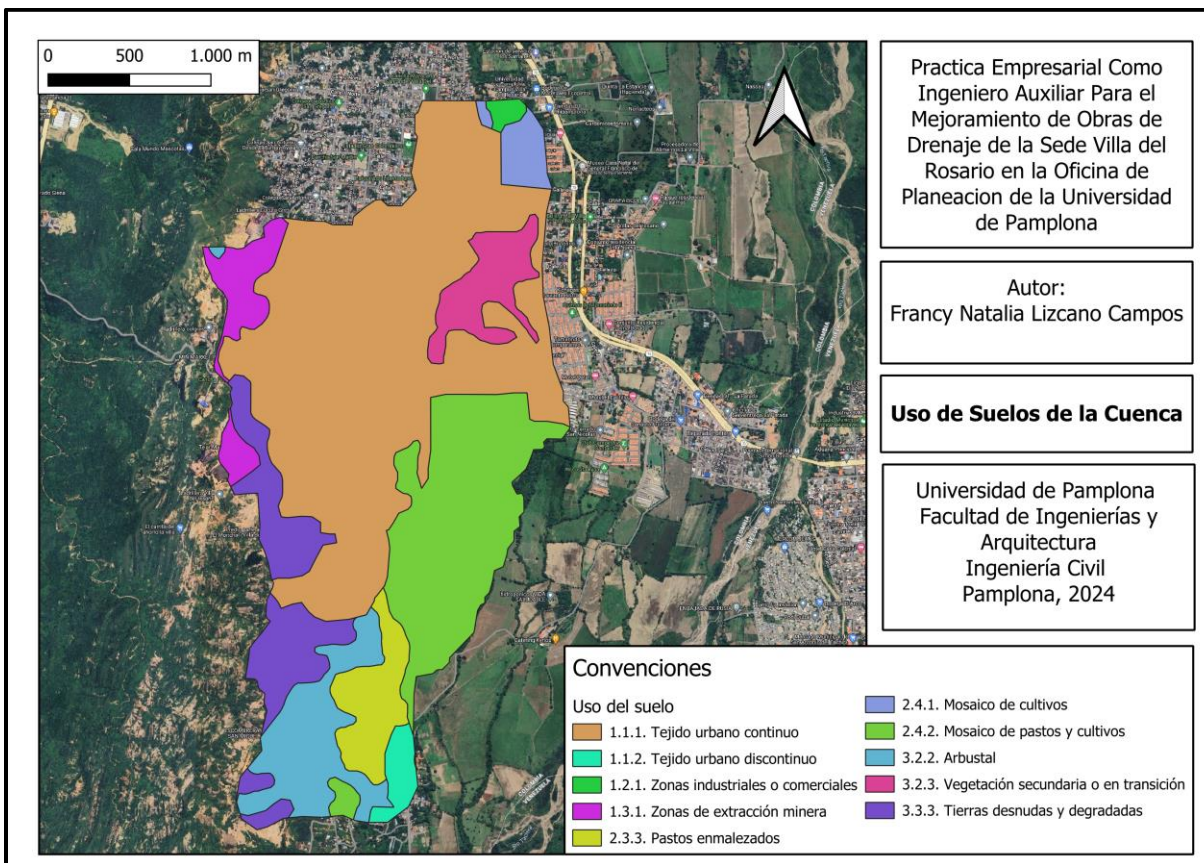
Ilustración 20. *Distribución del tipo de suelo hidrológico*



Nota. Se muestra la ubicación y distribución de los suelos tipo D y C en el área de la cuenca.



Ilustración 21. Distribución de la cobertura del suelo en el área de la cuenca



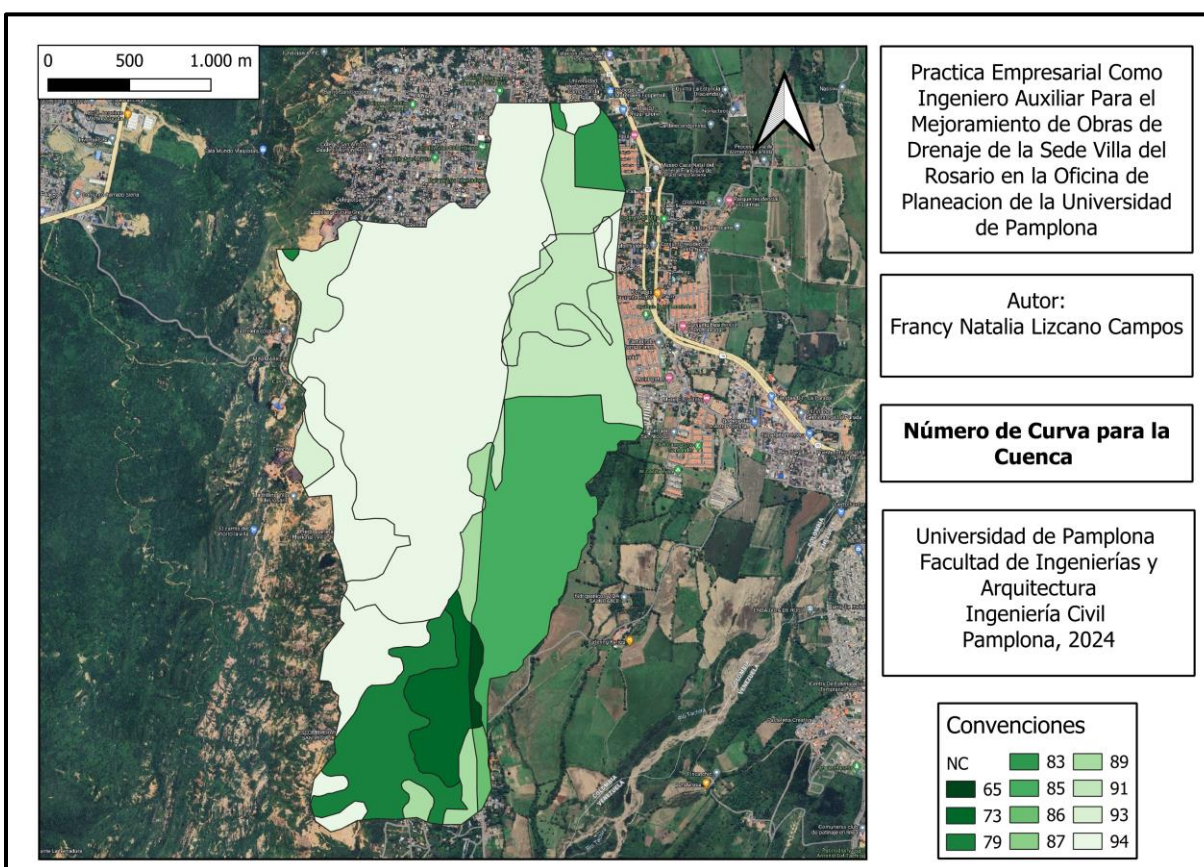
Nota. Se muestra la ubicación y distribución de los diferentes tipos de suelo.

Seguidamente, se realizó la unión de los shapefiles correspondientes al tipo de suelo y al uso del suelo. A cada combinación resultante se le asignó un Número de Curva (CN) específico, de acuerdo con las clasificaciones establecidas en las tablas del Manual de Drenaje para Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), tal como se presenta en el ítem 3.2.5.3.

Acontinuación, se muestra el resultado de la clasificación del Numero de Curva CN para los diferentes tipos y usos del suelo en el área delimitada de la cuenca.



Ilustración 22. Número de curva en el área de estudio.



Nota. Se muestran los números de curva de escorrentía presentes en el área de la cuenca.

Una vez obtenidos los diferentes números de curva, se debe sacar un Número de curva ponderado para el área de estudio, esto se hace multiplicando el número de curva por el área que cubre, se suman todos estos resultados y posteriormente se divide entre el área total de la cuenca.



Ilustración 23. Número de curva y área correspondiente

CN	area	CNi*Ai
65	3,565	231,725
73	25,694	1875,662
79	49,536	3913,344
83	12,478	1035,674
85	99,873	8489,205
86	3,790	325,940
87	0,021	1,827
89	5,931	527,859
89	12,851	1143,739
91	60,016	5461,456
91	25,544	2324,504
93	24,300	2259,900
94	251,348	23626,712
94	3,361	315,934
94	59,262	5570,628

Nota. Se muestra el área correspondiente a cada número de curva, y la multiplicación de estos parámetros.

El número de curva ponderado se halla usando la ecuación presentada en el ítem 3.2.5.3:

$$CN = \frac{57104.1}{637.57} = 89.56$$

El método del Número de Curva también considera tres condiciones de humedad antecedente (AMC, por sus siglas en inglés), las cuales influyen en la capacidad de infiltración del



suelo. Estas condiciones se determinan en función de la precipitación total acumulada durante los cinco días previos al evento de lluvia analizado.

Las ecuaciones para calcular el número de curva perteneciente a las condiciones de humedad antecedente seca y húmeda se presentan en el ítem 3.2.5.3. A continuación se presenta los valores CN(I) y CN (III)

$$CN(I) = \frac{4.2 * 89.56}{10 - 0.058 * 89.56} = 78.27$$

$$CN(III) = \frac{23 * 89.56}{10 + 0.13 * 89.56} = 95.17$$

4.2.4 Tiempo de Concentración

Usando las ecuaciones de Kirpich, Témez y Giandotti mencionadas en el ítem 3.2.5.4 se obtuvieron los siguientes resultados de tiempo de concentración para la cuenca estudiada:

Tabla 9. *Tiempos de concentración con la ecuación de Kirpich, Témez y Giandotti*

L [km]	4,96651
S [m/m]	0,0433
A [km2]	6,376
Tc Kirpich [h]	0,763
Tc Témez [h]	1,842
Tc Giandotti [h]	1,496

En la cuenca de estudio se usó el tiempo de concentración resultante de la ecuación formulada por Témez, puesto que esta es la que se usa para el método racional modificado.



4.3 Caudal Máximo

Para el cálculo del caudal máximo que llega al punto donde se encuentra ubicado el box culvert, se analizaron dos métodos lluvia-escorrentía, estos métodos son el racional modificado y el hidrograma unitario sintético del SCS, además también se usó el software HEC-HMS. Cada uno de estos métodos tiene un rango de aplicabilidad que depende del área de la cuenca estudiada, el método racional tiende a usar 1.3 a 2.5 km² como límite superior de aplicabilidad, aunque el método racional modificado amplía un poco este rango. El método del hidrograma unitario sintético del SCS es usado para áreas mayores a 2.5 km² y de hasta 250 km², cuando existen cuencas mayores es recomendable subdividir las en subcuencas y aplicar métodos computacionales.

4.3.1 Método Racional Modificado

En el cálculo del caudal máximo son necesarios los siguientes datos, algunos de estos fueron obtenidos aplicando las ecuaciones presentadas en el ítem 3.3.1:

Área [km²]	6,3757
L [km]	4,96651
Pendiente [m/m]	0,0433
T_c	1,842
Coef. Simul. K_a	0,95
Coef. Unif. K	1,13
CN	89,56
P_o	5,922

Los resultados de caudal máximo para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 por el método racional modificado se presentan a continuación:



Periodo de retorno	Precipitación [mm]	Precip. Corr. [mm]	Intensidad Máxima [mm/h]	Intensidad [mm/h]	C	Caudal [m3/s]
2	81,519	77,147	23,563	17,159	0,77	26,365
5	117,366	111,071	27,789	20,889	0,85	35,585
10	141,099	133,531	31,483	23,891	0,88	42,276
25	171,086	161,910	35,664	27,358	0,91	49,963
50	193,332	182,963	42,059	32,046	0,92	59,482
100	215,414	203,860	47,649	36,208	0,94	68,040

Las ecuaciones para el cálculo de la precipitación corregida, la intensidad, el coeficiente de escorrentía C y el caudal son presentadas en el ítem 3.3.1

4.3.2 Método del Hidrograma Unitario Sintético del SCS.

Para el cálculo del caudal pico, se tomó la duración de la lluvia t_r igual al tiempo de retorno, es decir 1,842 horas, puesto que el caudal máximo se presenta cuando el tiempo de duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración.

A continuación, se presenta el caudal pico por milímetro de lluvia efectiva usado para el hidrograma unitario sintético del SCS.

Tabla 10. Datos hidrograma unitario sintético del SCS

Área [km ²]	6,3757
CN	89,56
S	29,61
t_c [horas]	1,84156712
t_l [horas]	1,10494027
t_p [horas]	2,02572384
Q_p [m3/s]	0,65465271



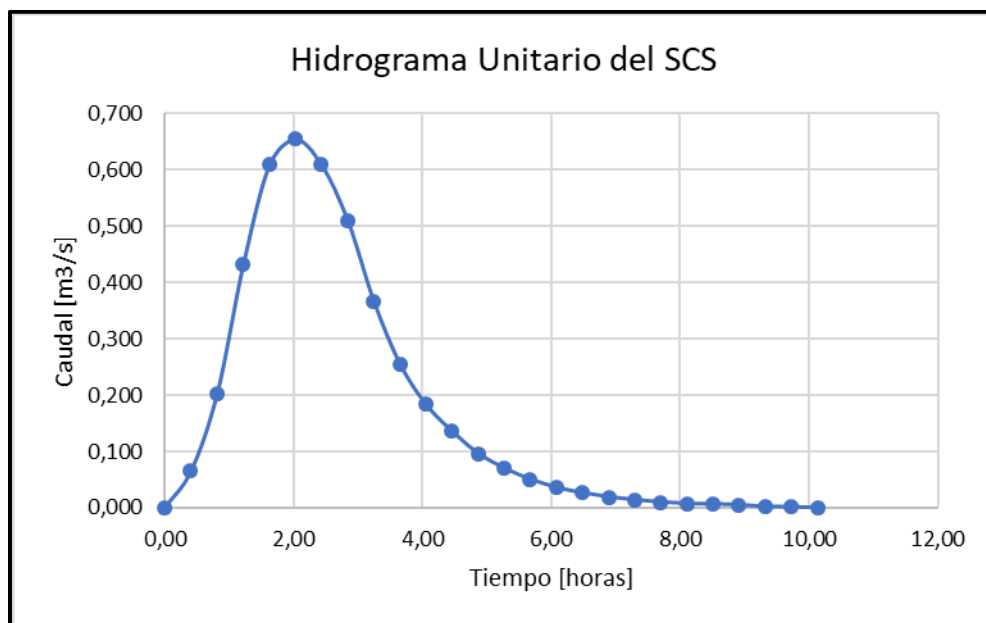
El caudal pico y el tiempo al pico se multiplican por las ordenadas del hidrograma unitario adimensional del SCS, dando como resultado los siguientes valores, que al ser graficados muestran el hidrograma unitario sintético de la cuenca.

Tabla 11. Ordenas del hidrograma unitario para la cuenca estudiada.

t [horas]	CAUDAL [m3/s]	t [horas]	CAUDAL [m3/s]
0,00	0,000	5,27	0,070
0,41	0,065	5,67	0,050
0,81	0,203	6,08	0,036
1,22	0,432	6,48	0,026
1,62	0,609	6,89	0,019
2,03	0,655	7,29	0,014
2,43	0,609	7,70	0,010
2,84	0,511	8,10	0,007
3,24	0,367	8,51	0,007
3,65	0,255	8,91	0,005
4,05	0,183	9,32	0,002
4,46	0,136	9,72	0,001
4,86	0,096	10,13	0,000



Ilustración 24. hidrograma unitario del SCS para la cuenca estudiada



Con el hidrograma unitario obtenido se procede a calcular el caudal máximo y el hidrograma para diferentes periodos de retorno, multiplicando el caudal pico por la precipitación efectiva en cada periodo de retorno.

Tabla 12. Caudal máximo (Hidrograma Unitario Sintético del SCS)

Periodo de Retorno	Precipitacion [mm]	Precip. Efec [mm]	Caudal [m3/s]
2	81,52	54,32	35,56
5	117,37	88,05	57,64
10	141,10	110,89	72,59
25	171,09	140,06	91,69
50	193,33	161,84	105,95
100	215,41	183,55	120,16

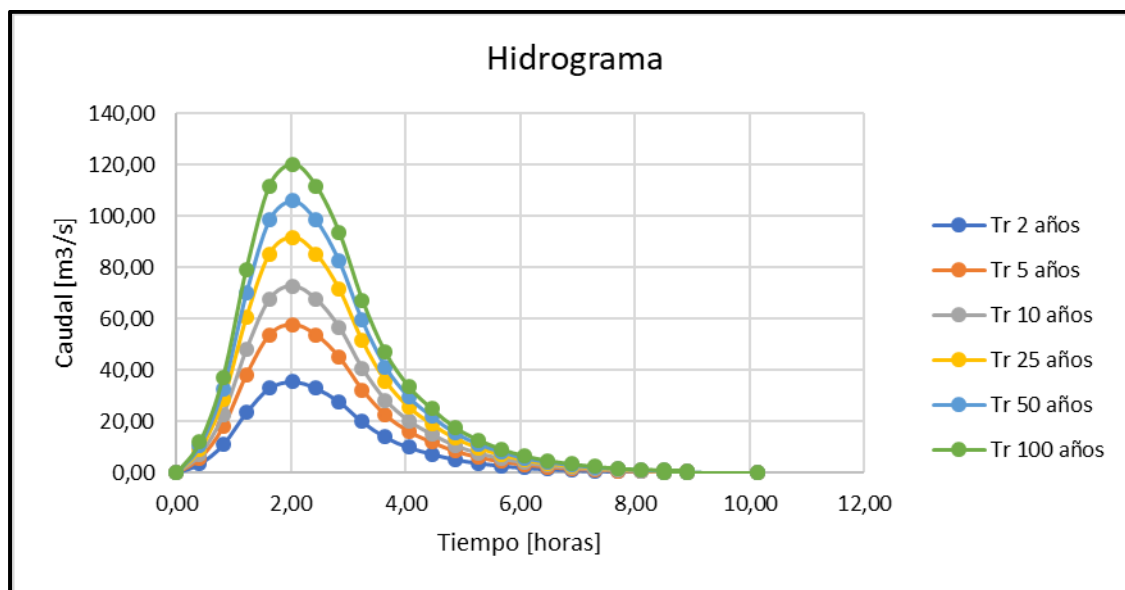


Tabla 13. Ordenadas del hidrograma para diferentes periodos de retorno.

t [horas]	CAUDAL [M3/S]					
	Tr 2 años	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,41	3,56	5,76	7,26	9,17	10,59	12,02
0,81	11,02	17,87	22,50	28,42	32,84	37,25
1,22	23,47	38,04	47,91	60,51	69,93	79,31
1,62	33,07	53,61	67,51	85,27	98,53	111,75
2,03	35,56	57,64	72,59	91,69	105,95	120,16
2,43	33,07	53,61	67,51	85,27	98,53	111,75
2,84	27,74	44,96	56,62	71,52	82,64	93,73
3,24	19,91	32,28	40,65	51,35	59,33	67,29
3,65	13,87	22,48	28,31	35,76	41,32	46,86
4,05	9,96	16,14	20,33	25,67	29,67	33,65
4,46	7,36	11,93	15,03	18,98	21,93	24,87
4,86	5,23	8,47	10,67	13,48	15,57	17,66
5,27	3,81	6,17	7,77	9,81	11,34	12,86
5,67	2,74	4,44	5,59	7,06	8,16	9,25
6,08	1,96	3,17	3,99	5,04	5,83	6,61
6,48	1,42	2,31	2,90	3,67	4,24	4,81
6,89	1,03	1,67	2,11	2,66	3,07	3,48
7,29	0,75	1,21	1,52	1,93	2,22	2,52
7,70	0,53	0,86	1,09	1,38	1,59	1,80
8,10	0,39	0,63	0,80	1,01	1,17	1,32
8,51	0,36	0,58	0,73	0,92	1,06	1,20
8,91	0,25	0,40	0,51	0,64	0,74	0,84
8,51	0,11	0,17	0,22	0,28	0,32	0,36
8,91	0,05	0,09	0,11	0,14	0,16	0,18
10,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Ilustración 25. Hidrograma para diferentes periodos de retorno (Hidrograma Unitario del SCS)



4.3.3 Software HEC-HMS

En el software HEC-HMS se calcularon caudales solo para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, por lo tanto, se tienen hietogramas para estos tres periodos de retorno.



Ilustración 26. *Hietograma Tr 25 años*

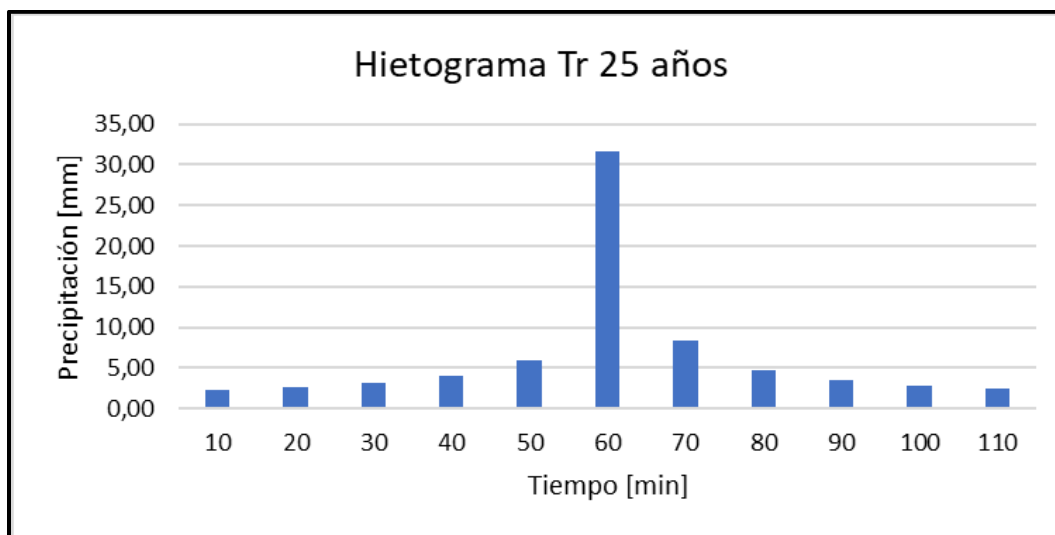


Ilustración 27. *Hietograma Tr 50 años*

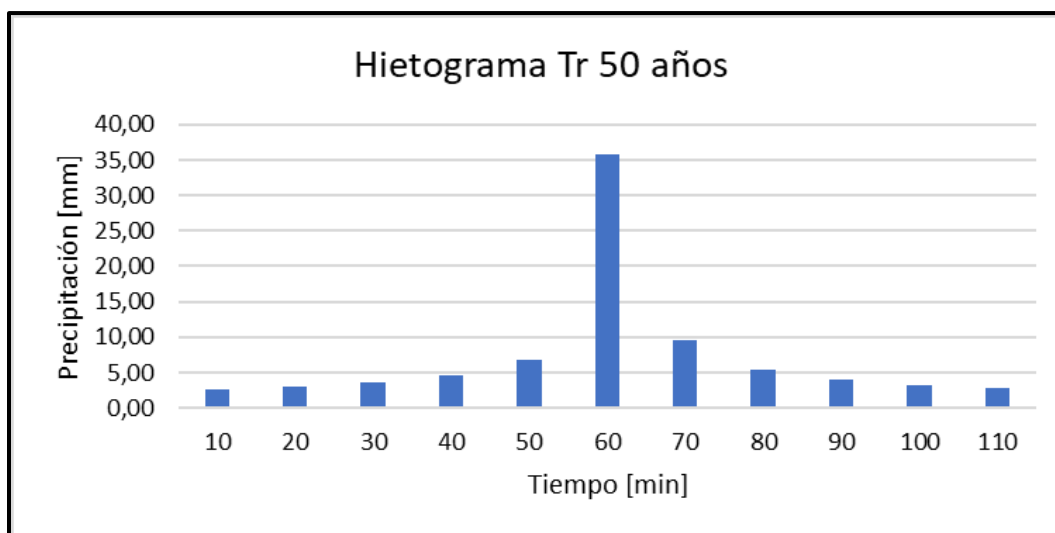
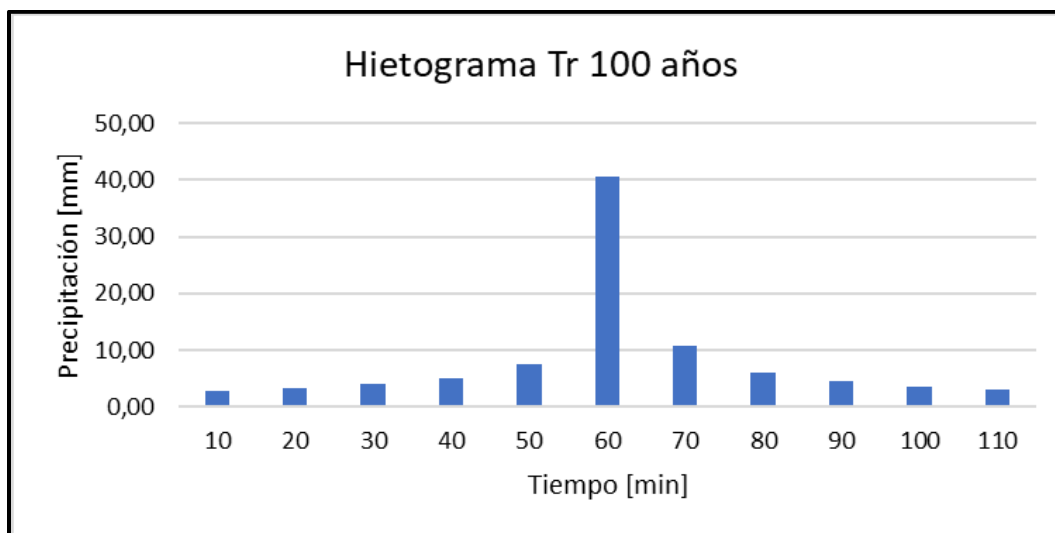




Ilustración 28. *Hietograma Tr 100 años*



El resultado obtenido del software HEC-HMS son los hidrogramas para cada periodo de retorno.

Ilustración 29. *Hidrograma Tr 25 años (HEC-HMS)*

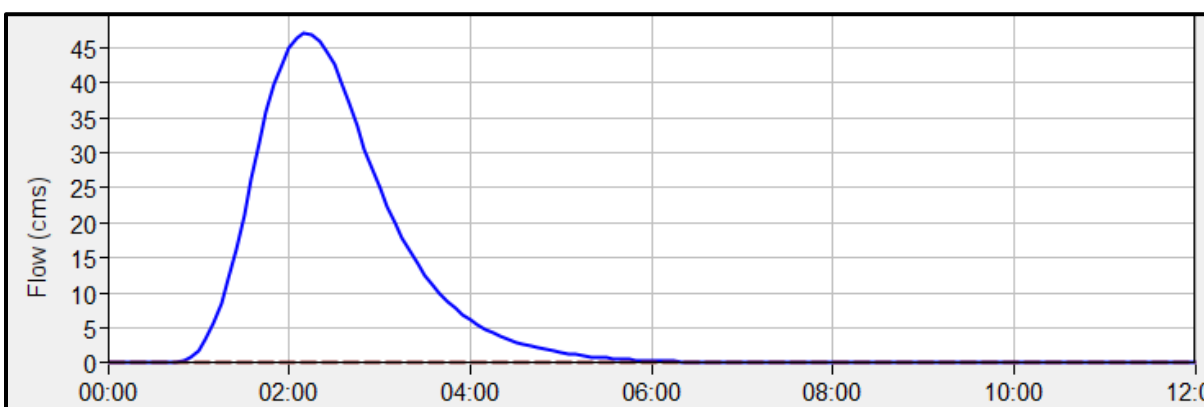




Ilustración 30. *Hidrograma Tr 50 años (HEC-HMS)*

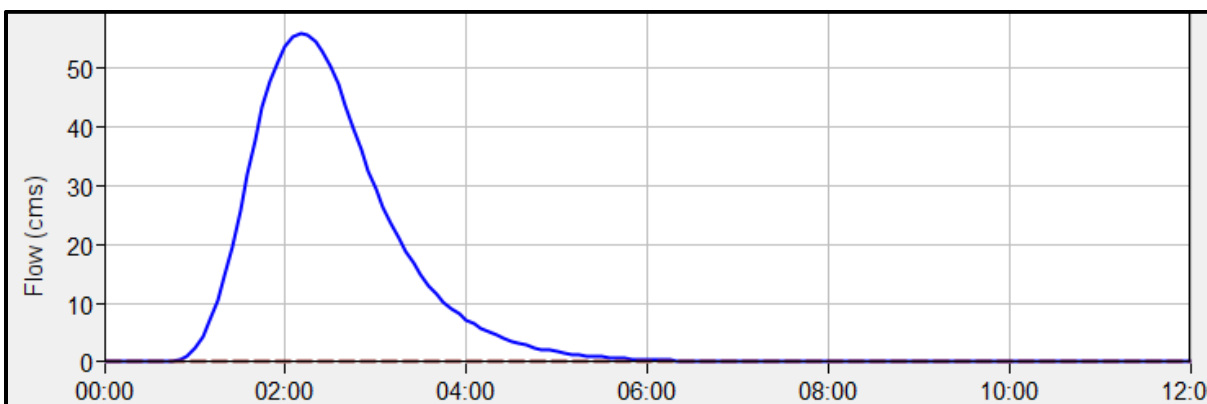
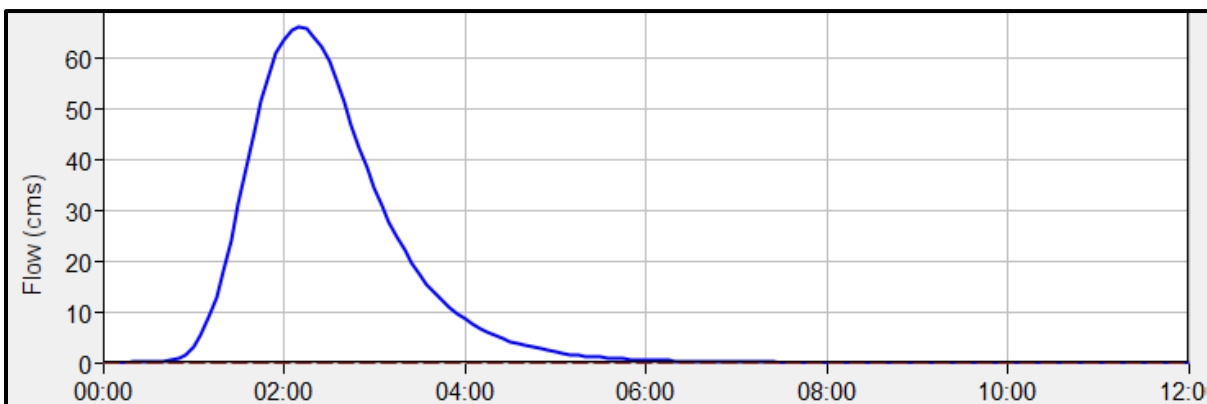


Ilustración 31. *Hidrograma Tr 100 años (HEC-HMS)*

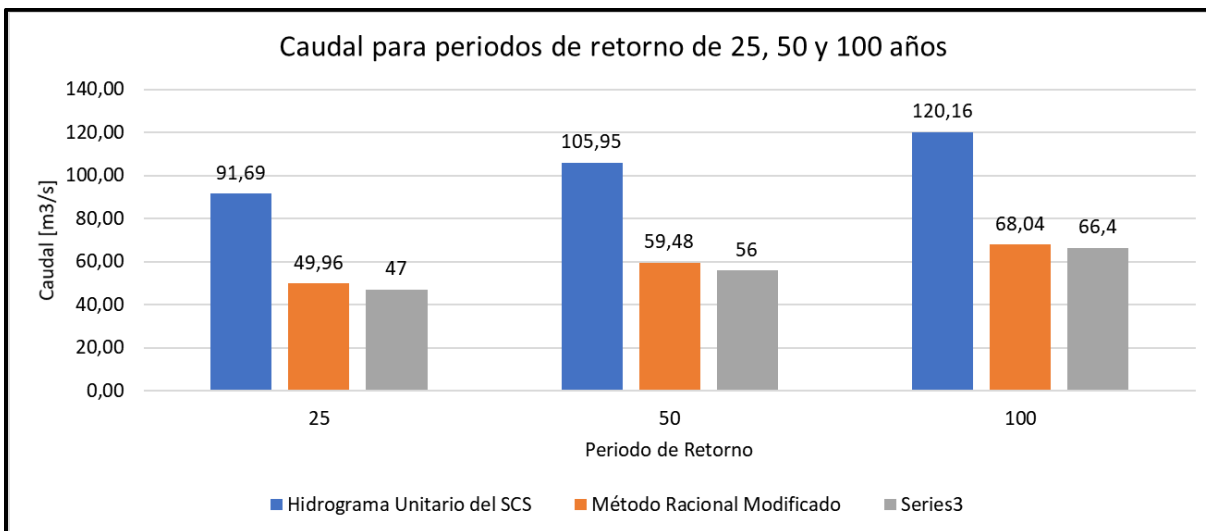


4.3.4 Comparación de los Caudales Obtenidos

Se realizó una comparación entre los resultados obtenidos de los diferentes métodos aplicados para el cálculo del caudal. A continuación, se presenta un gráfico de barras donde se muestra la variación de los caudales para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, permitiendo una mejor vista de los resultados obtenidos.



Ilustración 32. Caudal obtenido de los diferentes métodos aplicados



Al hacer la comparación entre los caudales resultantes del método del hidrograma unitario del SCS, el método racional modificado y el software HEC-HMS, se puede apreciar una variación en los diferentes métodos. El método del Hidrograma Unitario del SCS realizado en Excel arrojó caudales muy altos con respecto a los caudales resultantes del método racional modificado y el software HEC-HMS. Por esta razón, quedaron descartados los caudales obtenidos por el método del Hidrograma Unitario del SCS mediante Excel y se optó por la utilización de los caudales obtenidos del software HEC-HMS.

4.3.5 Periodo de Retorno

Para la obra de drenaje estudiada en este trabajo, un box culvert que permite el paso vehicular dentro del campus de la Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario, se escogió el periodo de retorno de 25 años, que corresponde a puentes menores (luz menor a 10m), según la ilustración mostrada en el ítem 3.3.4 *Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial*. Sin



embargo, también se tienen los caudales máximos anuales para periodos de retorno de 50 y 100 años, esto debido a que algunos de los softwares usados para el análisis hidráulico de la estructura de drenaje, permiten el ingreso de un caudal mínimo, un caudal de diseño (caudal resultante de un periodo de retorno de 25 años) y un caudal máximo, perteneciente al caudal para un periodo de retorno mayor.

4.4 Análisis Hidráulico Mediante el Software HEC-RAS

Para el análisis hidráulico es necesario contar con la información de elevación en la zona que nos permita identificar el canal y los perfiles transversales del mismo. La información de elevación en la zona fue procesada mediante CIVIL 3D para posteriormente subirla al software HEC-RAS y obtener el modelo hidráulico.

4.4.1 Topografía Canal Villa del Rosario

La Oficina de Planeación de la Universidad de Pamplona proporcionó el levantamiento topográfico del canal situado dentro del campus de la Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario, en esta topografía se tienen con detalle las cotas presentes en el canal y en las orillas de este, así como la información del box culvert que se desea estudiar, esta topografía fue proporcionada en formato DWG.

Dentro de los datos que se encuentran en la topografía, se tienen puntos referenciados y con información de elevación, el perfil longitudinal del canal y los perfiles de 4 secciones transversales a lo largo del canal. Con esta información es posible obtener los datos de elevación necesarios para



la realización del modelamiento hidráulico mediante el software HEC-RAS y el software HY-8 para el estudio de la capacidad hidráulica del box culvert.

A continuación, se presenta el plano del canal en la Universidad de Pamplona, sede villa del rosario, junto con el perfil longitudinal y los perfiles de las secciones transversales que fueron dados en la topografía.



Ilustración 33. Plano canal Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario

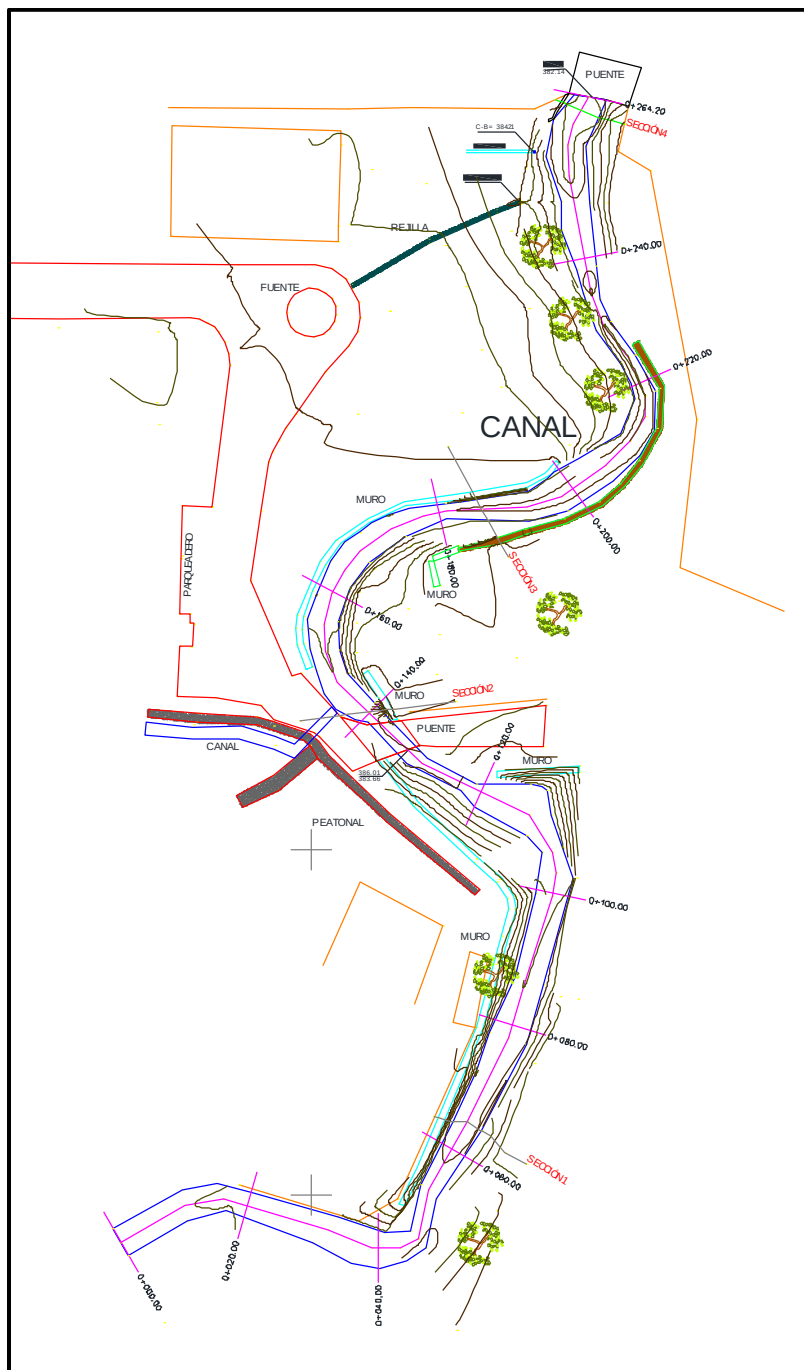




Ilustración 34. Perfil longitudinal canal Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario

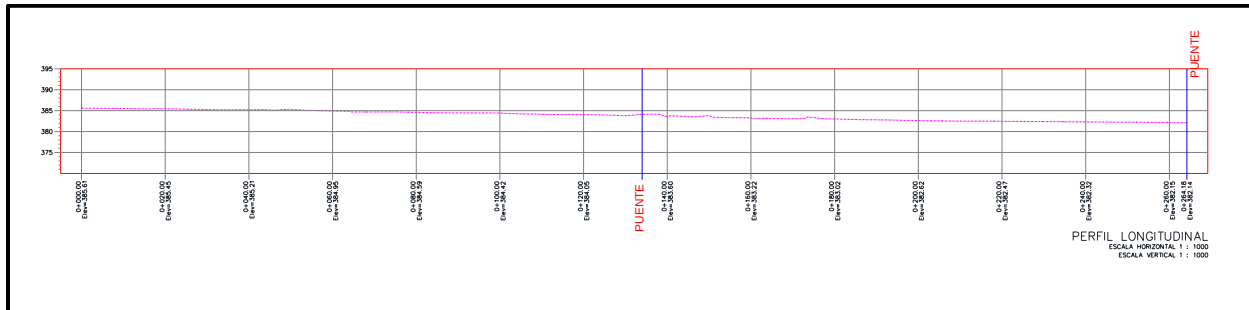


Ilustración 35. Perfiles secciones transversales 1 y 2 canal Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario

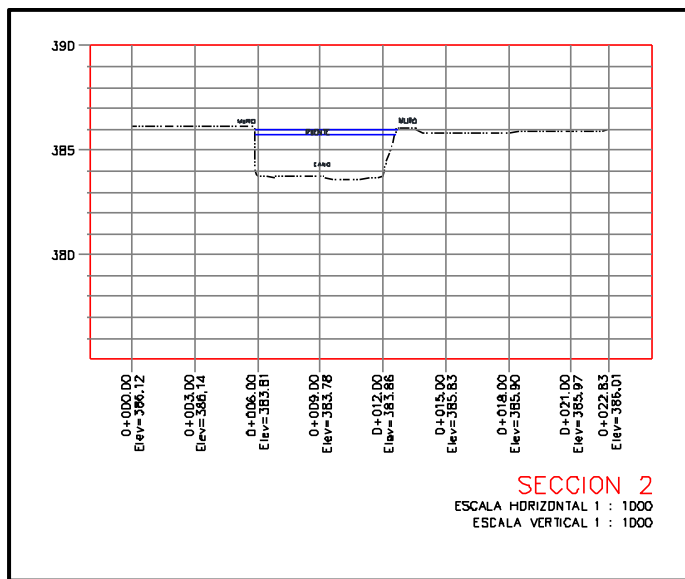
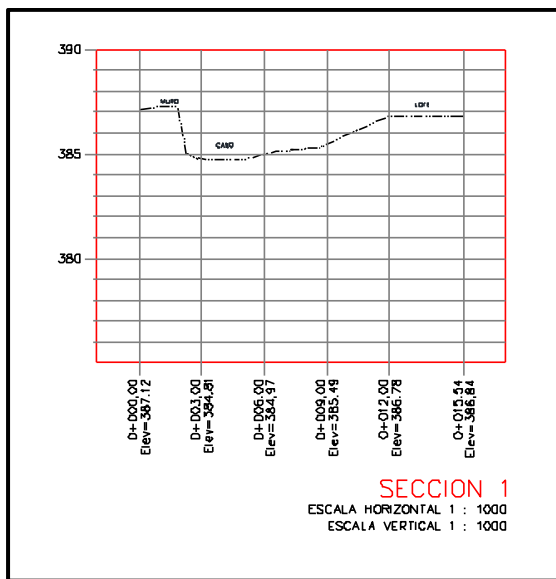
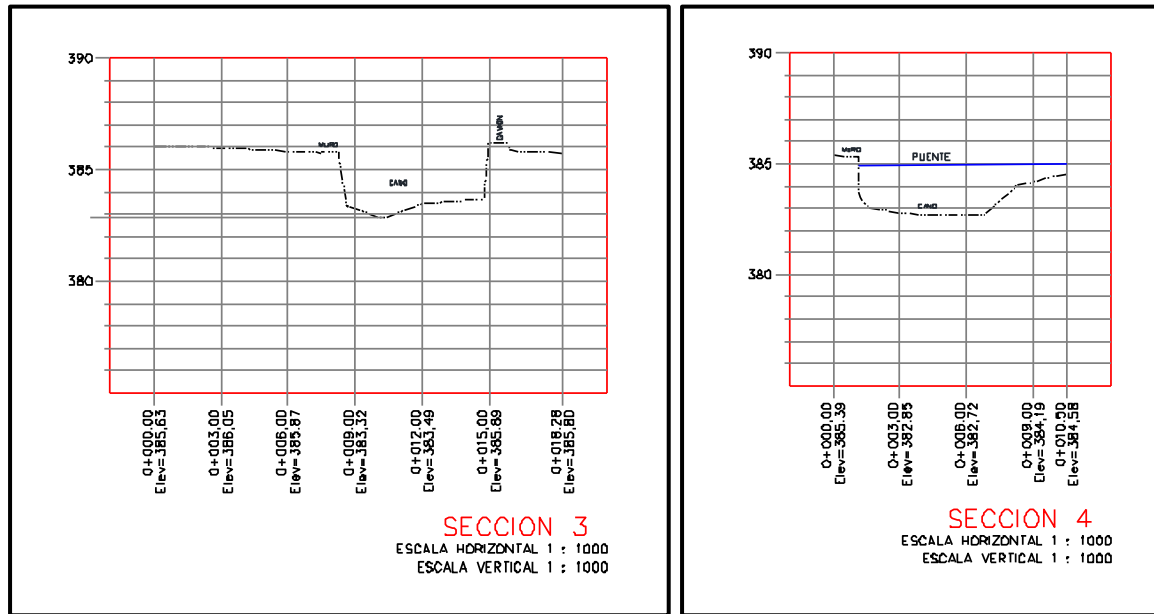




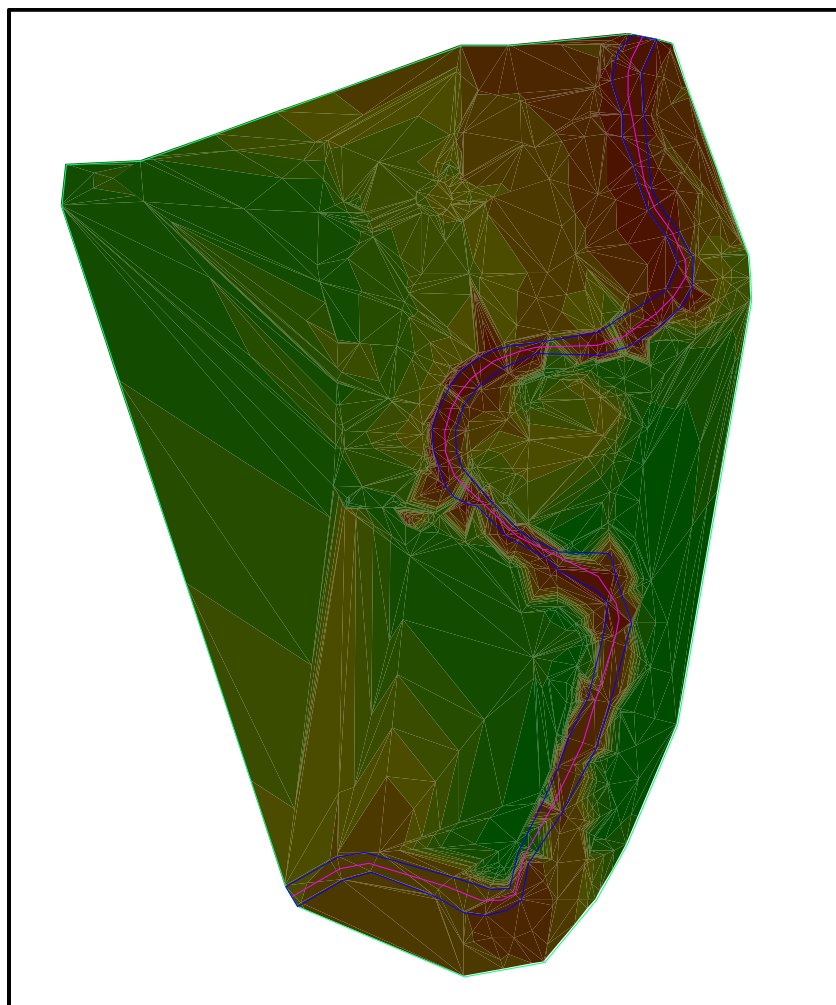
Ilustración 36. Perfiles secciones transversales 3 y 4 canal Universidad de Pamplona, sede Villa del Rosario



Con los puntos georreferenciados e información de elevación, se creó una superficie en Civil 3D. Lo primero que se hizo fue convertir los puntos de AutoCAD a puntos COGO (geometría de coordenadas), debido a que se trabajó en este programa es importante esta conversión. Una vez creados los puntos COGO se creó la superficie por medio del comando CreateSurface. A continuación, se muestra el resultado de la superficie creada en Civil 3D.



Ilustración 37. Superficie creada a partir de puntos COGO



Nota. Los colores verdes representan cotas mayores mientras que los colores marrones representan las cotas menores. La línea de color rosado representa el eje del canal y las de color azul representan las bank lines del canal.

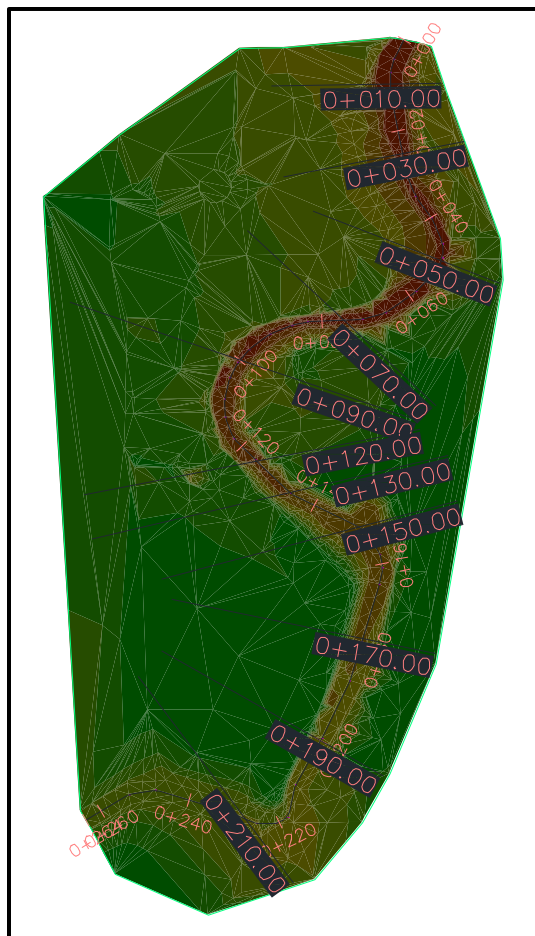
4.4.2 Perfiles Obtenidos en Civil 3D

Una vez creada la superficie con la información de los puntos en Civil 3D, se procedió a crear un alineamiento mediante la polilínea que representa el eje del canal, con la información de



la superficie y el alineamiento, se pudo obtener el perfil longitudinal, y por medio de líneas de muestreo se pudo obtener los perfiles transversales en el canal.

Ilustración 38. Alineamiento y secciones transversales



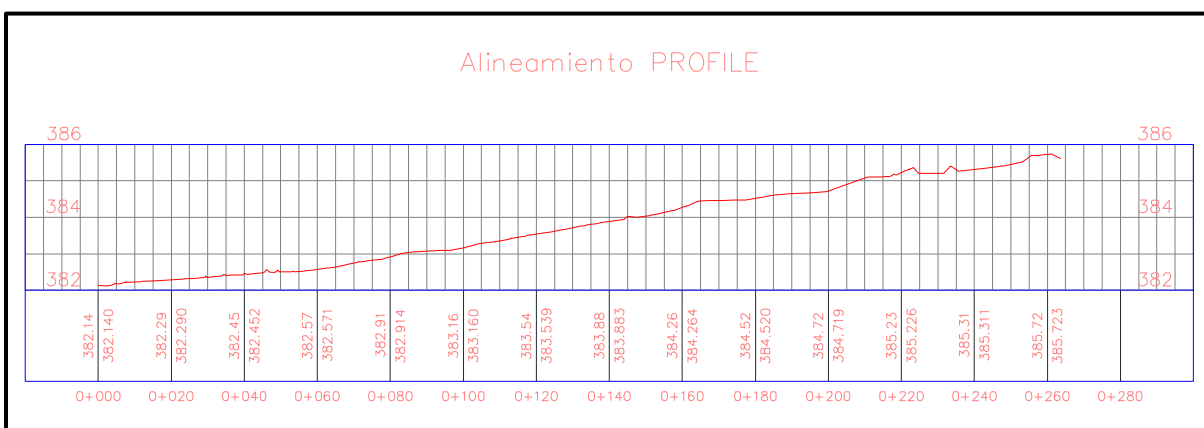
Nota. Se muestra el alineamiento y las líneas de muestreo generadas automáticamente por Civil 3D, estas líneas fueron modificadas manualmente para obtener las observadas en la imagen.

Una vez obtenido el alineamiento, se creó el perfil transversal del canal mediante el comando *CreateProfileFromSurface*, este comando permite la creación del perfil a partir de una



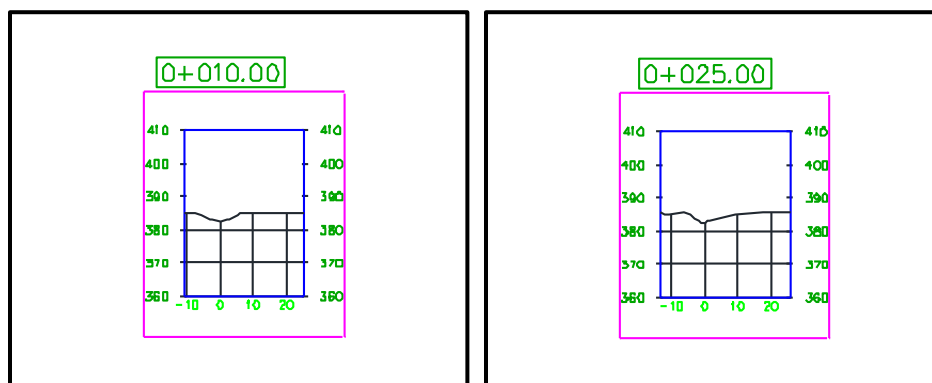
superficie a lo largo de una alineación especificada. Una vez creado el perfil, se visualizó mediante el comando *CreateProfileView*. A continuación, se muestra el perfil longitudinal del canal ubicado en la sede Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona.

Ilustración 39. Perfil longitudinal del canal



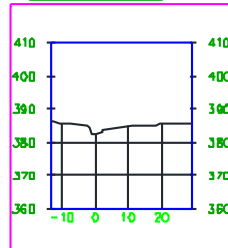
La creación de los perfiles se hace con el comando *CreateMultipleSeccionView*, mediante el cual se crean varias vistas en sección para un grupo de líneas de muestreo a lo largo de una alineación. A continuación, se presentan los perfiles longitudinales de las secciones correspondientes a las líneas de muestreo generadas anteriormente y modificadas manualmente.

Ilustración 40. Perfiles secciones transversales





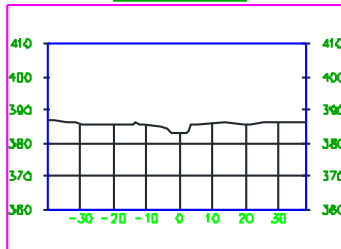
0+049.85



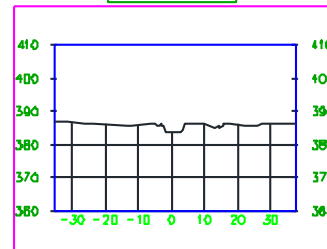
0+075.25



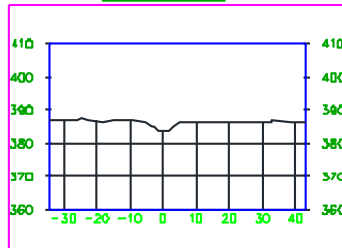
0+099.85



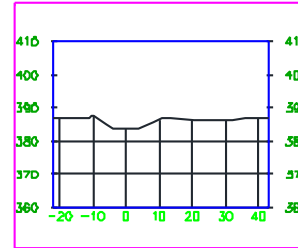
0+124.43



0+134.21

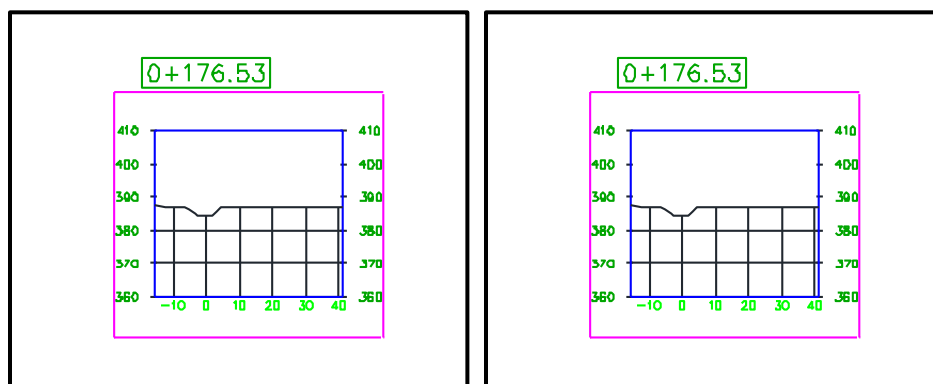


0+150.54



SC-CER96940

"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"
 Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (+57) 3153429495 - 3160244475
www.unipamplona.edu.co



4.4.3 Procesamiento de Datos Topográficos en QGIS

Para el procesamiento de los datos topográficos en QGIS se hace uso de la superficie generada en Civil 3D, exportada en un archivo DEM, y del complemento RiverGIS que permite crear la geometría del modelo de flujo para HEC-RAS a partir de datos espaciales.

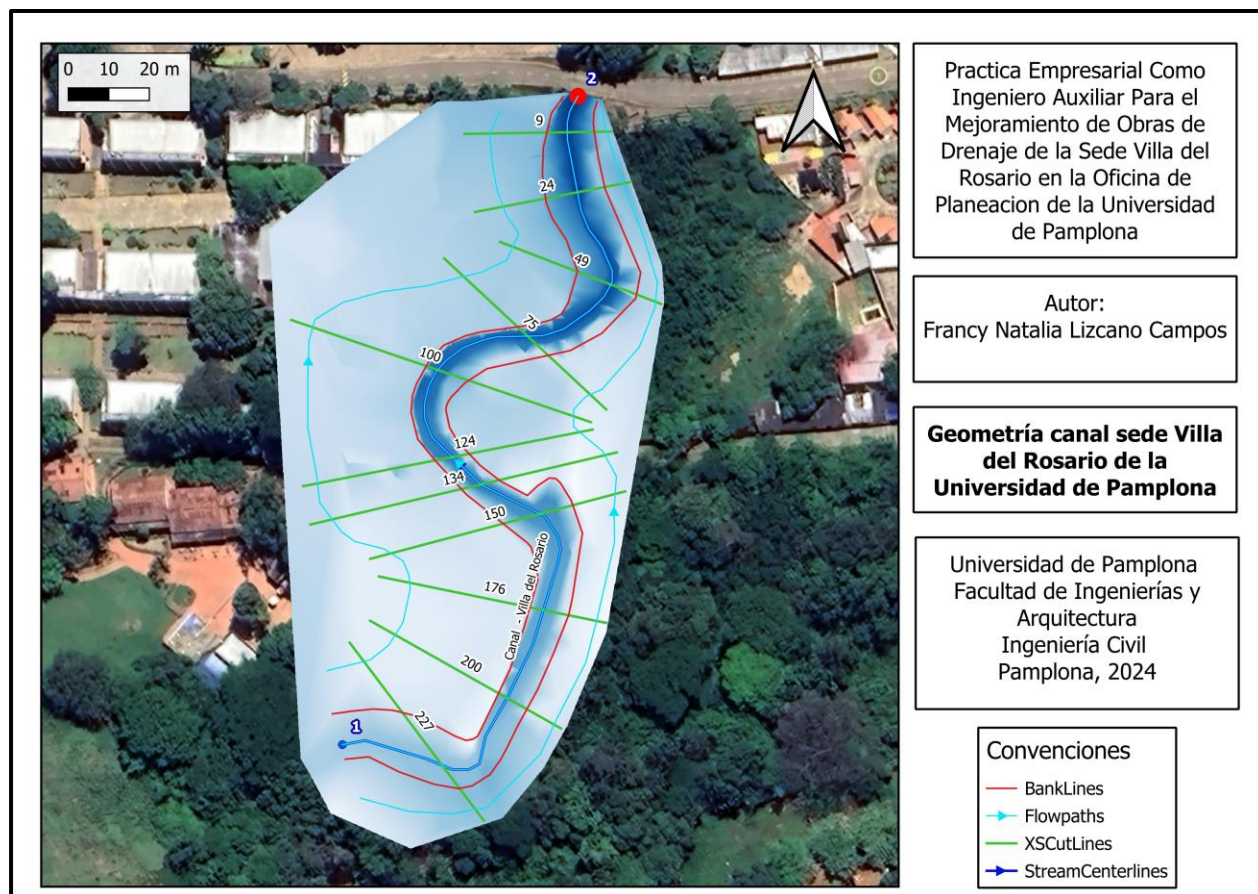
El DEM se obtuvo de Civil 3D usando el comando *SurfaceExportToDem*, que permite exportar una superficie de terreno o volumen especificada a un archivo DEM externo, para la descarga del DEM se debe especificar un intervalo de rejilla, que en este caso fue de 0.05.

En QGIS, se subió el DEM, y por medio del complemento RiverGIS, se creó las *stream center lines*, que es la línea central que describe el punto medio a lo largo de un flujo de agua, las *bank lines* o líneas de las orillas que permiten definir los bancos principales para una sección transversal, las *flow paths lines*, o líneas de ruta de flujo que son usadas para calcular las longitudes de tramo entre secciones transversales en el banco superior izquierdo y derecho, y por último las *cross section lines*, o líneas de secciones transversales que se deben diseñar perpendiculares al lugar por donde fluirá el agua en el canal y las áreas sobre el banco. Cada uno de estos parámetros



son necesarios para realizar la modelación hidráulica en el software HEC-RAS, una vez que se descargan los datos topográficos procesados de QGIS por medio del complemento RiverGIS,

Ilustración 41. Geometría canal sede Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona



Después de procesar los datos topográficos en QGIS por medio del complemento RiverGIS, se descargó la geometría para posteriormente importarla en el software HEC-RAS y realizar la modelación hidráulica.



4.4.4 Modelación del Canal en HEC-RAS

Usando los datos topográficos procesados mediante QGIS, se realizó el modelamiento hidráulico en HEC-RAS, se importó en este software la información de elevación del canal. En esta información se tiene el perfil de las diferentes secciones transversales, así como las líneas de banco, necesarias para la modelación hidráulica. Para la modelación en este software es necesario obtener también el coeficiente de rugosidad o número de Manning del canal, que fue hallado por medio del método Cowan, y dio como resultado $n=0.0644$.

Una vez importada la geometría en el software HEC-RAS, se añadió la información del puente presente en el sitio, y la información sobre el flujo, en este caso se trabajó con el caudal calculado para el periodo de retorno de 25 años que es de $47\text{m}^3/\text{s}$, además se dió una condición de borde para una primera modelación, y se estableció el plan para que calculara un flujo mixto, es decir, tanto régimen crítico como régimen subcrítico.

A continuación, se muestra una tabla con los datos resultantes de esta primera modelación.



Tabla 14. Resultados modelación HEC-RAS régimen combinado.

River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
227,40	TR 25	47	385,17	387,38	386,08	387,41	0,000174	0,55	72,6	54,9	0,13
199,84	TR 25	47	384,74	387,29	387,1	387,39	0,001679	1,57	35,13	54,04	0,37
176,33	TR 25	47	384,5	386,55	386,55	387,25	0,012877	3,69	12,73	9,19	1
150,27	TR 25	47	384,05	386,76	385,41	386,84	0,000854	1,23	40,23	42,97	0,29
133,90	TR 25	47	383,71	386,62	385,93	386,8	0,002394	2,01	27,2	39,8	0,46
129,03		Bridge									
124,16	TR 25	47	383,66	385,68	386,13	386,57	0,016741	4,24	11,43	10,02	1,07
99,50	TR 25	47	383,18	386,33	385,31	386,4	0,001043	1,27	43,07	62,75	0,3
74,80	TR 25	47	382,84	385,4	385,4	386,26	0,015757	4,1	11,46	6,63	1
49,40	TR 25	47	382,64	385,16	385,05	385,62	0,010673	2,99	15,72	13,83	0,9
24,49	TR 25	47	382,34	384,74	384,74	385,31	0,012845	3,34	14,06	12,34	1
94,63	TR 25	47	382,35	384,45	384,49	385,11	0,013497	3,58	13,14	10,89	1,04
Prom							0,0080485	2,59727			

Con la ayuda del software Hcanales, se hace un estudio rápido con la información del canal y el caudal que este va a llevar para saber el tipo de flujo que tendrá. La información requerida por el software es el tipo de sección del canal (trapezoidal, rectangular, triangular, etc), para el canal presente en la sede Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona, se realizó un promedio de sección entre las diferentes secciones presentadas, y se ingresaron los datos para un canal trapezoidal, el software también requiere información de caudal, el coeficiente de rugosidad y la pendiente hidráulica, dicha pendiente es el promedio obtenido por la modelación en el software HEC-RAS. Los resultados arrojados por Hcanales son los siguientes:



Ilustración 42. Resultados obtenidos de Hcanales para el canal actual

Datos:		
Caudal (Q):	47 m ³ /s	
Ancho de solera (b):	4 m	
Talud (Z):	1.0874	
Rugosidad (n):	0.0644	
Pendiente (S):	0.0080485 m/m	
Resultados:		
Tirante normal (y):	3.1346 m	Perímetro (p): 13.2615 m
Area hidráulica (A):	23.2227 m ²	Radio hidráulico (R): 1.7511 m
Espejo de agua (T):	10.8171 m	Velocidad (v): 2.0239 m/s
Número de Froude (F):	0.4410	Energía específica (E): 3.3434 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico	Cuidado velocidad erosiva

Se tiene que el tipo de flujo es régimen subcrítico, por lo que la modelación en el software HEC-RAS se debe volver a realizar, cambiando las condiciones de borde y que el régimen de flujo a calcular sea subcrítico, una vez realizado esto, se obtienen los siguientes resultados:



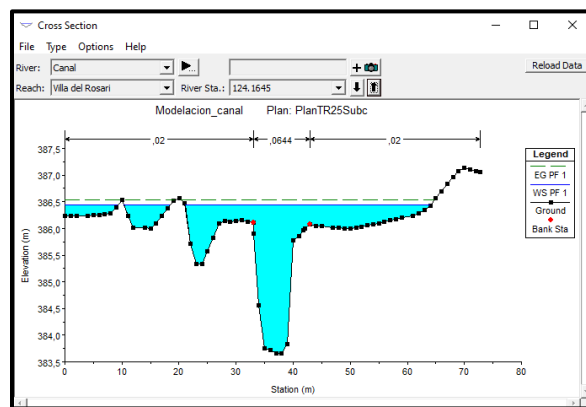
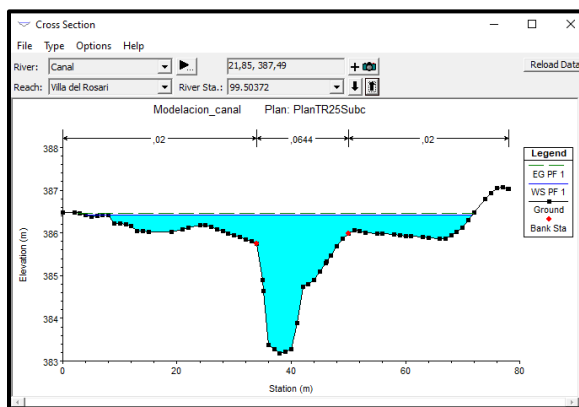
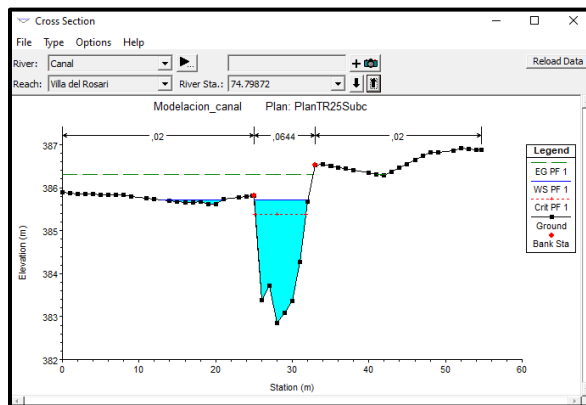
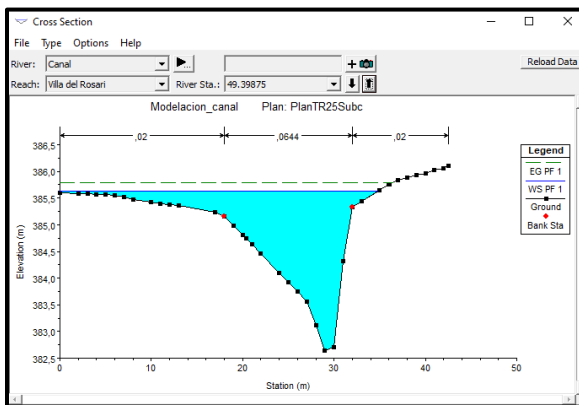
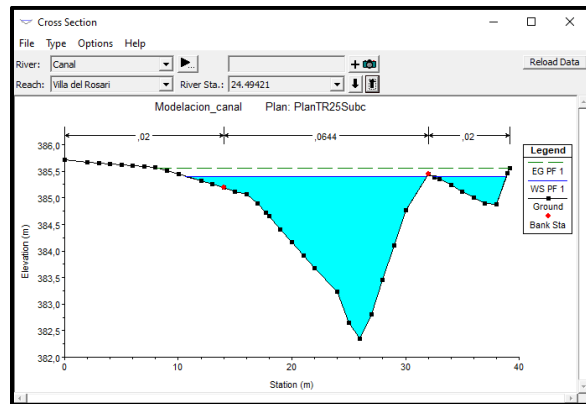
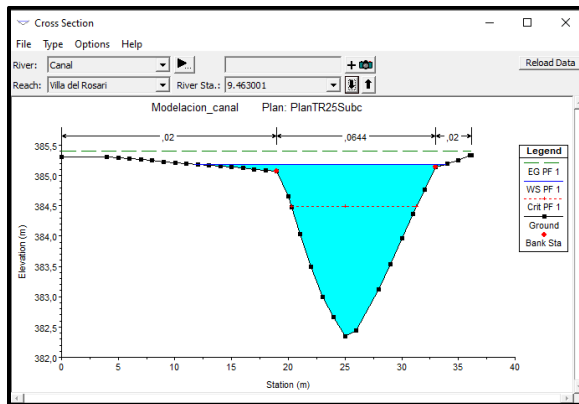
Tabla 15. Resultados modelación HEC-RAS régimen subcrítico

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
227,40	47	385,17	387,41		387,46	0,000264	0,37	74,52	54,9	0,09
199,84	47	384,74	387,36	387,06	387,44	0,002233	1,01	38,9	54,04	0,24
176,33	47	384,5	386,55	386,55	387,25	0,043491	3,69	12,74	9,2	1
150,27	47	384,05	386,85		386,91	0,002173	1,1	44,24	49,1	0,25
133,90	47	383,71	386,75	385,92	386,86	0,003671	1,41	33,41	52,15	0,31
129,03	Bridge									
124,16	47	383,66	386,44		386,54	0,003493	1,16	34,94	60,51	0,28
99,50	47	383,18	386,42		386,47	0,001647	0,89	48,6	67,49	0,21
74,80	47	382,84	385,72	385,39	386,31	0,03241	3,41	14,05	14,93	0,78
49,40	47	382,64	385,62		385,79	0,00913	1,87	25,84	34,83	0,47
24,49	47	382,34	385,4		385,56	0,009472	1,77	26,37	27,67	0,49
94,63	47	382,35	385,19	384,49	385,41	0,010818	2,09	22,73	22,19	0,53
Prom						0,010800	1,70636			

El programa también muestra la profundidad que tendrá el agua en cada una de las secciones transversales, con las cuales se puede observar la posible inundación que ocurre con un evento de caudal máximo, que, para este caso de estudio, es de 47 m3/s. A continuación, se presentan los resultados de los perfiles para cada una de las secciones transversales, el perfil longitudinal y la mancha de inundación



Ilustración 43. Perfiles Secciones Transversales modelación canal



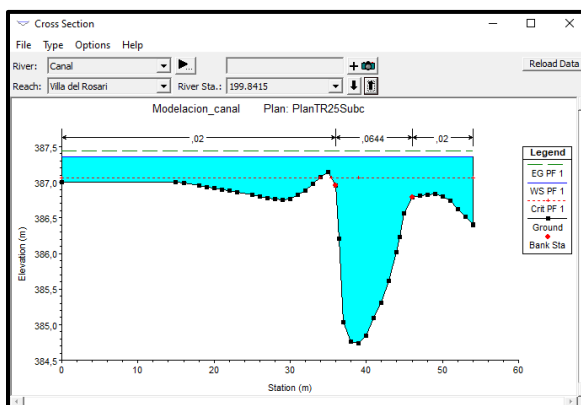
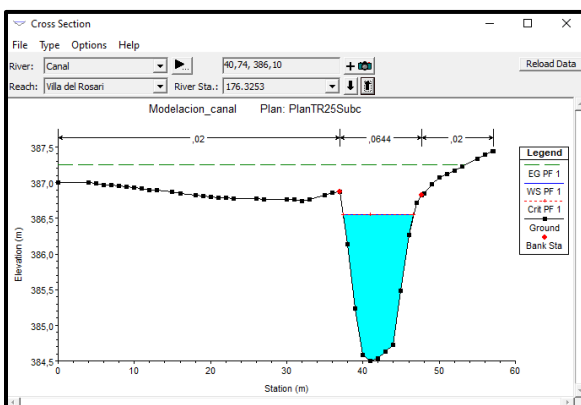
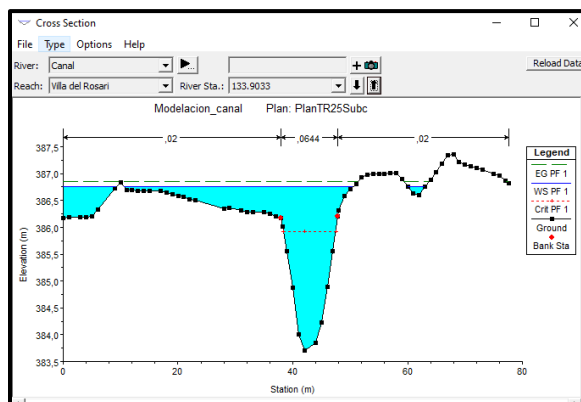
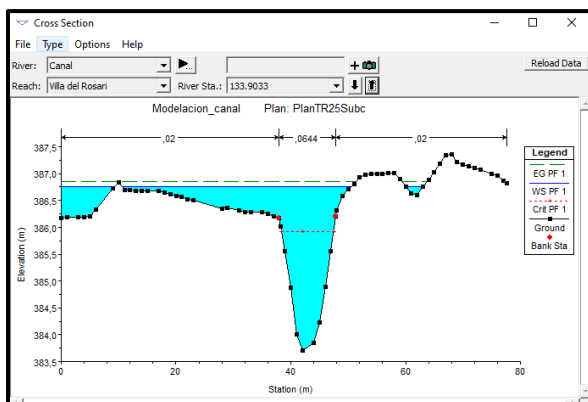
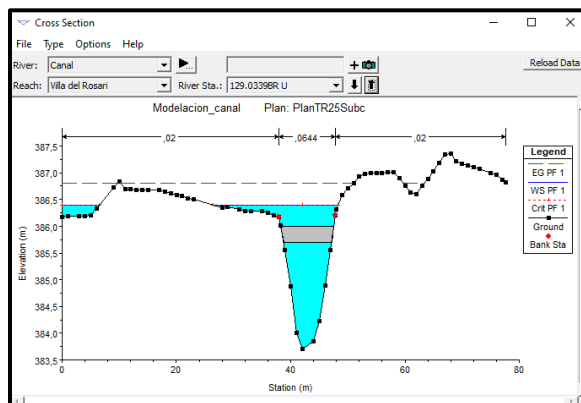
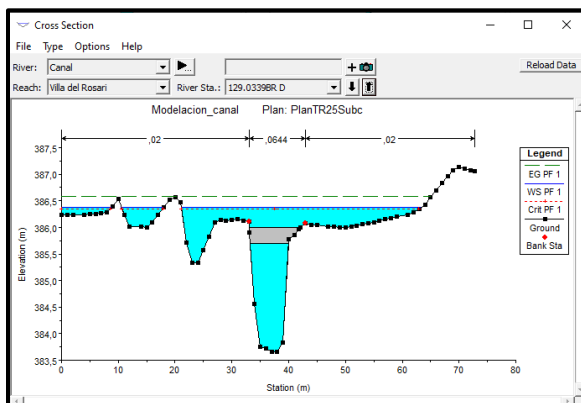




Ilustración 44. Perfil longitudinal modelación canal

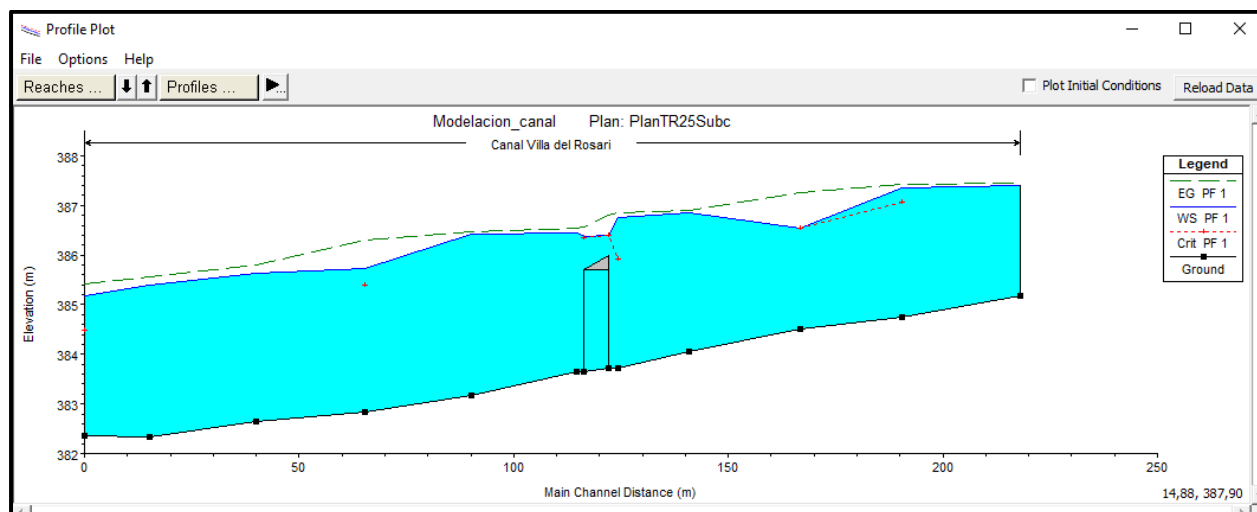
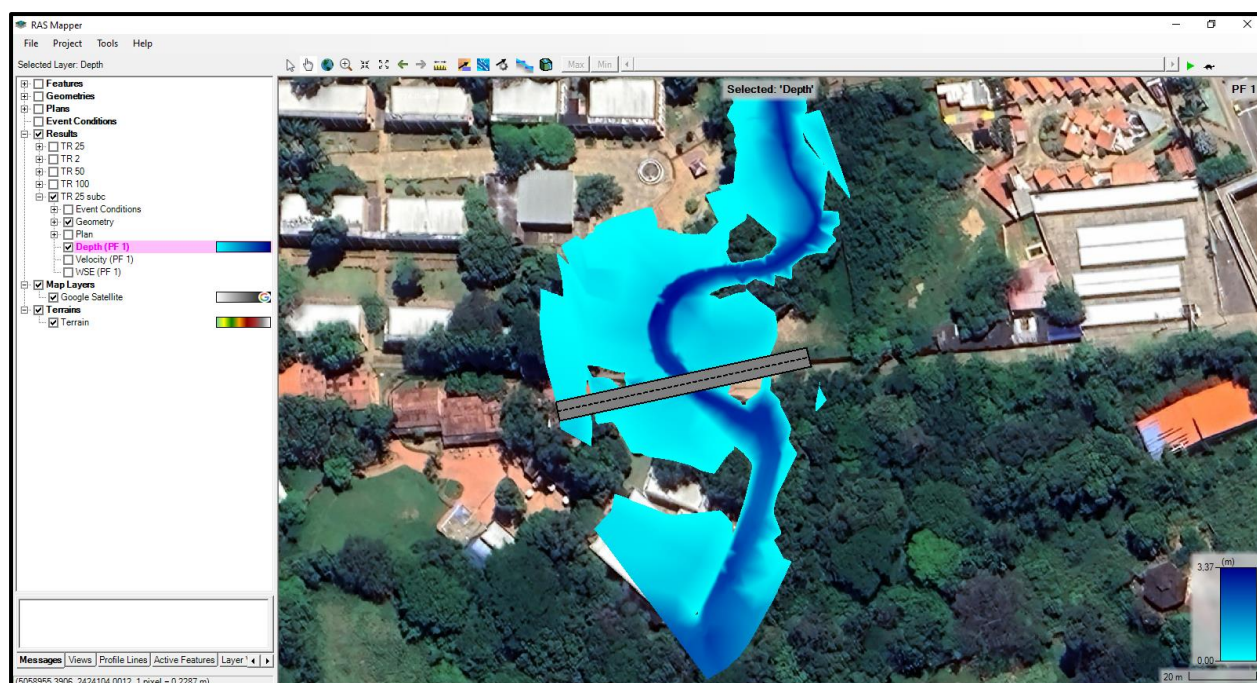


Ilustración 45. Mancha de inundación





4.5 Propuesta de Diseño

Con la velocidad promedio calculada, y el caudal para un periodo de retorno de 25 años, se procede a calcular el área efectiva del canal, haciendo uso de la formula $A = Q/V$.

$$A = \frac{47 \text{ m}^3/\text{s}}{1,70636 \text{ m/s}} = 27.54 \text{ m}^2$$

Una vez obtenida el área hidráulica con la que debe contar el canal, se realiza el diseño de la nueva sección transversal para el canal, en este caso, se pensó en un canal trapezoidal y se proponen los siguientes diseños:

1. Canal trapezoidal, con una anchura inferior de 10m, altura de 2,5m y taludes de 0,5:1
2. Canal trapezoidal, con una anchura inferior de 6.5m, altura de 3.5m y taludes de 0,5:1

Ilustración 46. *Diseño 1 canal trapezoidal*

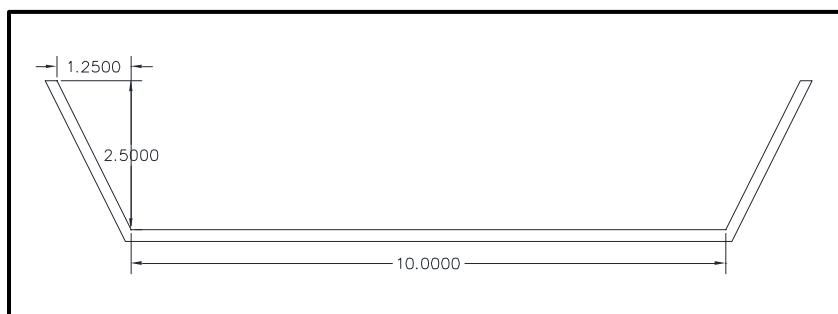
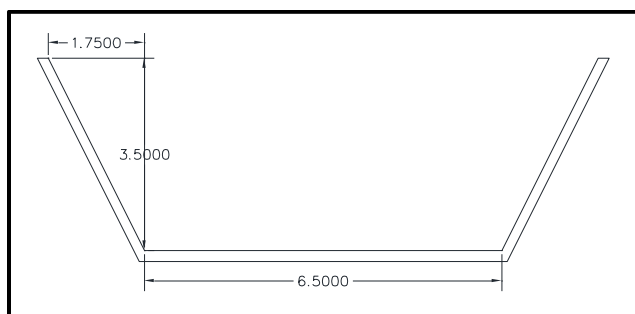




Ilustración 47. Diseño 2 canal trapezoidal



Se pensó en diseños de canal con forma trapezoidal debido principalmente a que este tipo de geometría tiene mayor eficiencia hidráulica puesto que permite transportar mayores caudales con menores profundidades y velocidades controladas optimizando el área hidráulica y reduciendo las pérdidas por fricción. Esta forma también es adaptable a condiciones topográficas variables, lo que disminuye los movimientos de tierras. Además, acceso al canal para inspecciones, limpiezas o mantenimientos se facilita debido a la inclinación de los taludes, en comparación con los canales rectangulares.

4.5.1 Diseño Box Culvert

Para el diseño del box culvert, se utilizó el software HY-8. En este programa se ingresaron los datos necesarios para modelar el comportamiento hidráulico del flujo a través de la estructura, estos datos incluyen las dimensiones del canal, las condiciones de entrada y salida, así como el caudal de diseño. Una vez digitados estos valores en el programa se variaron las características geométricas del box culvert hasta obtener las dimensiones óptimas. Esto permitió evaluar el desempeño hidráulico del box culvert y verificar que cumpla con los criterios establecidos, evitando condiciones de sobrepaso o inundación.



A continuación, se muestran los resultados del diseño del Box culvert para cada diseño de canal que se propuso:

Ilustración 48. Datos HY-8 Diseño N°1 de Box Culvert

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.000	cms
Design Flow	47.000	cms
Maximum Flow	56.000	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	10.000	m
Side Slope (H:V)	0.500	_:1
Channel Slope	0.0150	m/m
Manning's n (channel)	0.014	
Channel Invert Elevation	382.900	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.000	m
Crest Length	10.000	m
Crest Elevation	386.500	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	10.000	m

Parameter	Value	U.
CULVERT DATA		
Name	Culvert 1	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	4500.000	m..
Rise	2500.000	m..
Embedment D...	0.000	m..
Manning's n	0.014	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configur...	Square Edge (30-75° flare) Wingwall (Ke...	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Op...	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.000	m
Inlet Elevation	383.050	m
Outlet Station	10.000	m
Outlet Elevation	382.900	m
Number of Barrels	2	
Computed Culvert ...	0.015000	m..



Ilustración 49. Vista Frontal Diseño N°1 de Box Culvert

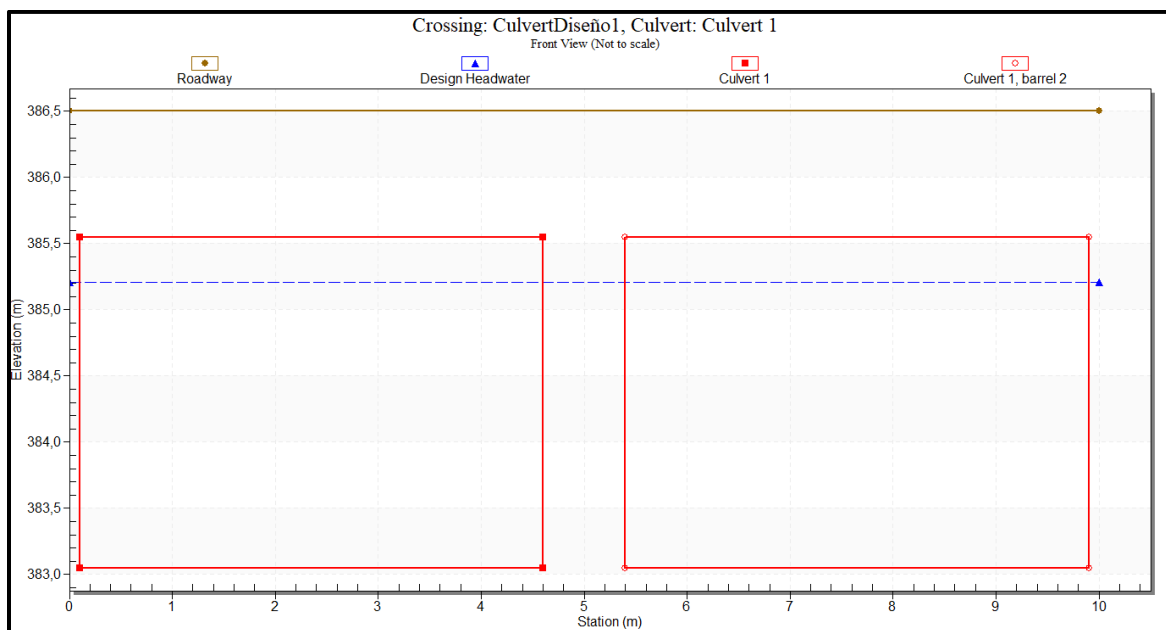


Ilustración 50. Perfil Diseño N°1 de Box Culvert

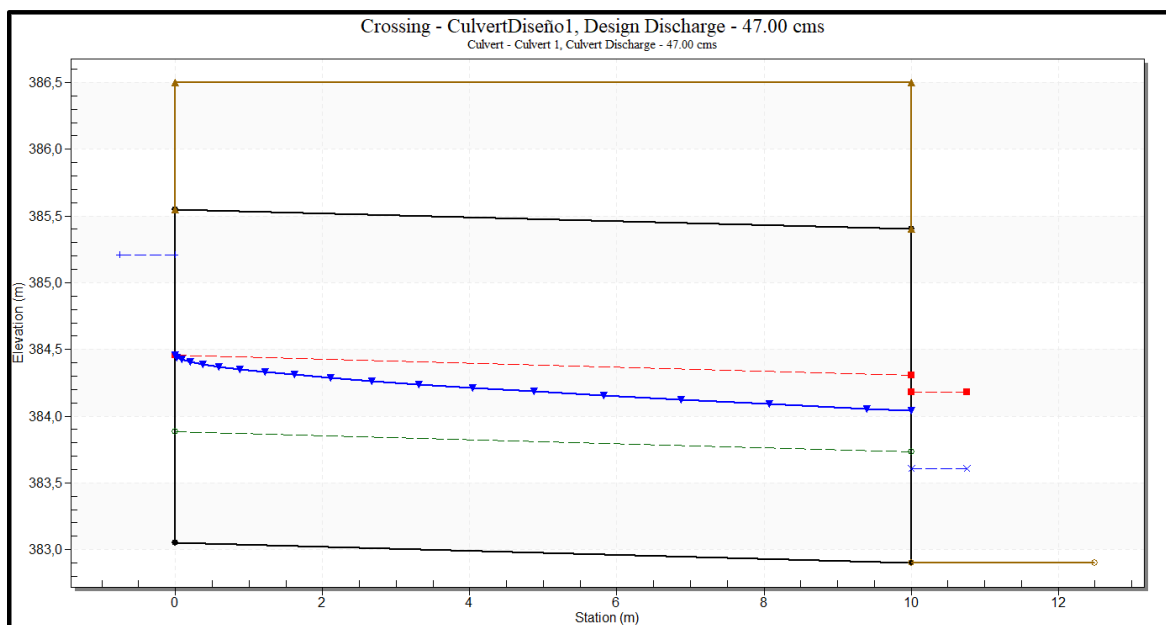




Ilustración 51. Datos HY-8 Diseño N°2 de Box Culvert

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.000	cms
Design Flow	47.000	cms
Maximum Flow	56.000	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Trapezoidal Channel	
Bottom Width	6.500	m
Side Slope (H:V)	0.500	: 1
Channel Slope	0.0150	m/m
Manning's n (channel)	0.014	
Channel Invert Elevation	382.350	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.000	m
Crest Length	10.000	m
Crest Elevation	386.200	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	10.000	m

Culvert Properties

Culvert 1

[Add Culvert](#)
[Duplicate Culvert](#)
[Delete Culvert](#)

Parameter	Value	U.
CULVERT DATA		
Name	Culvert 1	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	5000.000	m..
Rise	3500.000	m..
Embedment D...	0.000	m..
Manning's n	0.014	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configur...	Square Edge (30-75° flare) Wingwall (Ke...	
Inlet Depression?	No	
SITE DATA		
Site Data Input Op...	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.000	m
Inlet Elevation	382.500	m
Outlet Station	10.000	m
Outlet Elevation	382.350	m
Number of Barrels	1	
Computed Culvert ...	0.015000	m..



Ilustración 52. Vista Frontal Diseño N°2 de Box Culvert

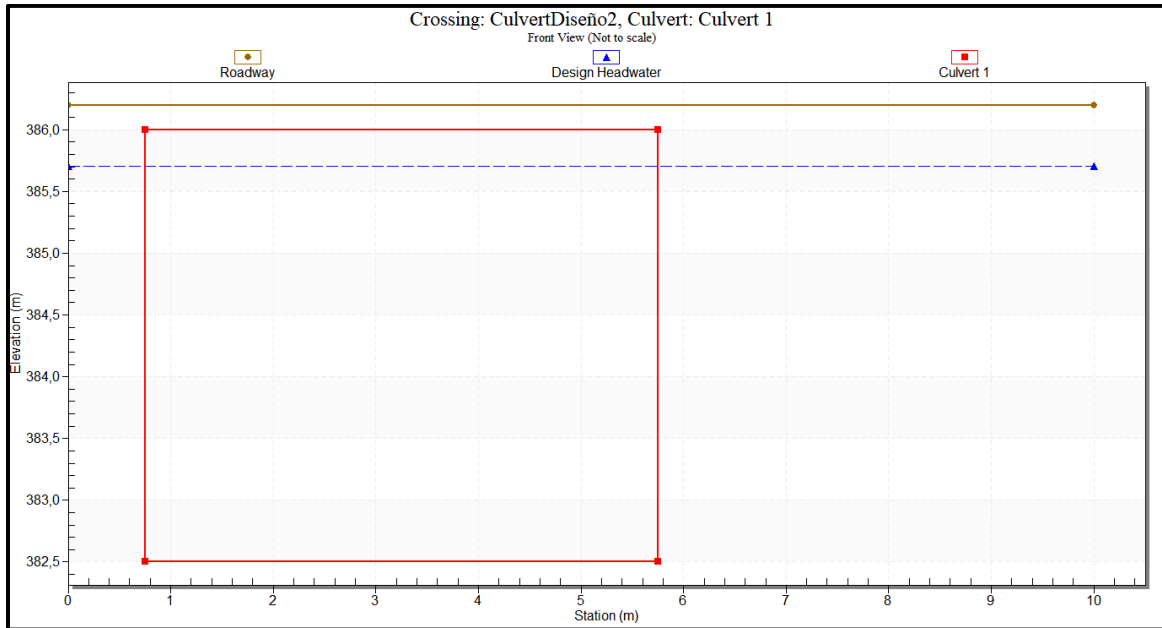
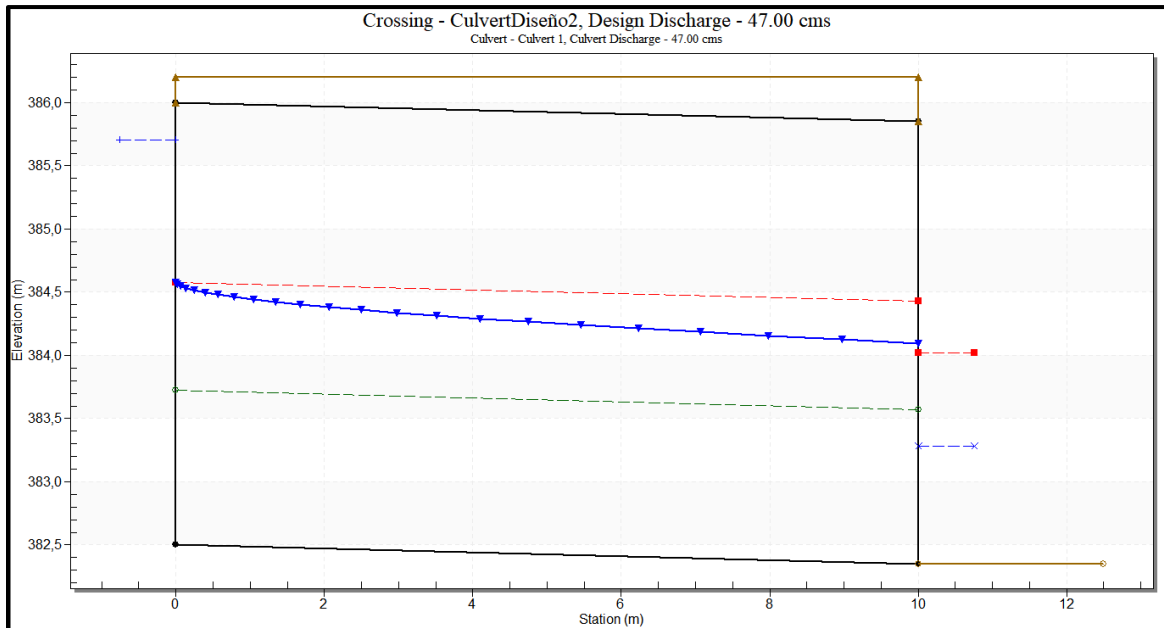


Ilustración 53. Perfil Diseño N°2 de Box Culvert





4.5.2 Modelación del Canal y Box Culvert en HEC-RAS

Para la modelación hidráulica de los diseños propuestos del canal, fue necesario, en primer lugar, desarrollar el diseño geométrico en CIVIL 3D. A partir de este diseño, se generó una superficie con la información de elevación del nuevo canal y se integró con la superficie obtenida de la topografía existente del sitio, lo que permitió obtener un modelo de elevación digital compuesto, necesario para llevar a cabo el modelamiento hidráulico.

Utilizando este DEM y mediante la herramienta RAS Mapper de HEC-RAS, se generó la geometría del canal, la cual incluye la línea central (centerline), las líneas de ribera (bank lines) y las trayectorias de flujo (flow paths). Para la simulación, se empleó un coeficiente de Manning de 0.014, correspondiente a un canal abierto revestido en concreto, que fue el tipo de sección considerado en el diseño. (Rojas, 2015)

Adicionalmente, se ingresó el Box Culvert en el tramo correspondiente mediante la herramienta de estructuras hidráulicas del editor de geometría de HEC-RAS. En este proceso se especificaron las dimensiones del box culvert, el número de barriles, las elevaciones de entrada y salida y el coeficiente de pérdida en la entrada, que en nuestro caso es de 0.4 en función de las condiciones de entrada que presenta el box culvert. (*Coficiente de pérdida de entrada*, s. f.)

Una vez cargada toda la información necesaria al software, se aplicó el mismo procedimiento utilizado previamente en la modelación del canal existente. Inicialmente, se realizó una primera simulación considerando flujo mixto, con el objeto de obtener una evaluación preliminar del comportamiento hidráulico. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis



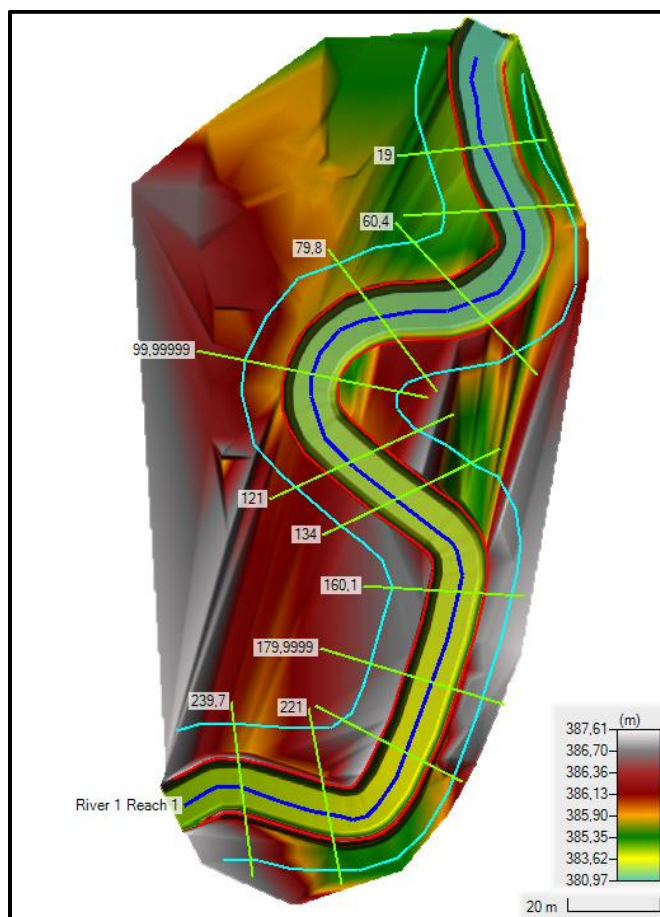
complementario en HCanales para determinar con mayor precisión el tipo de flujo predominante. Con base en esta evaluación, se ajustó el modelo y se ejecutó nuevamente la simulación en HEC-RAS, esta vez con el régimen de flujo adecuado.

4.5.2.1 Diseño N°1 del Canal.

A continuación, se presentan el Modelo de Elevación Digital y la geometría generada del diseño N°1 del canal



Ilustración 54. Geometría Diseño N°1 Canal



Nota. La línea de color azul oscuro representa el eje del canal, las de color rojo representan las bank lines y las de color azul claro las flow paths.



Los resultados de la primera modelación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16. Resultados Modelación Régimen Combinado Diseño N°1

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
239,7	PF 1	47	384,16	385,57	385,57	386,23	0,002199	3,6	13,06	10	1,01
221	PF 1	47	383,86	384,89	385,25	386,11	0,005802	4,89	9,62	10,09	1,6
196	PF 1	47	383,53	384,56	384,98	385,94	0,006581	5,21	9,02	9,33	1,69
179,9	PF 1	47	383,29	384,27	384,74	385,81	0,007787	5,5	8,54	9,26	1,83
160,1	PF 1	47	382,98	383,91	384,42	385,63	0,009256	5,81	8,09	9,24	1,98
134	PF 1	47	382,58	384,77	383,95	384,99	0,000456	2,08	22,63	11,72	0,48
133		Culvert									
121	PF 1	47	382,38	383,7	383,76	384,4	0,002511	3,69	12,73	10,6	1,08
99,9	PF 1	47	382,08	383,27	383,53	384,3	0,00418	4,5	10,45	9,43	1,36
79,8	PF 1	47	381,78	382,77	383,18	384,15	0,006929	5,21	9,02	9,83	1,74
60,4	PF 1	47	381,51	382,43	382,9	383,99	0,008363	5,52	8,51	9,84	1,9
34	PF 1	47	381,23	382,14	382,62	383,75	0,008858	5,63	8,35	9,82	1,95
19	PF 1	47	381,15	382,17	382,6	383,58	0,006805	5,27	8,92	9,26	1,71
Prom							0,005811	4,74			

Ilustración 55. Resultados obtenidos de Hcanales para el Diseño N°1

Datos:

Caudal (Q): m3/s
Ancho de solera (b): m
Talud (Z):
Rugosidad (n):
Pendiente (S): m/m

Resultados:

Tirante normal (y): m
Area hidráulica (A): m2
Espejo de agua (T): m
Número de Froude (F):
Tipo de flujo:

Perímetro (p): m
Radio hidráulico (R): m
Velocidad (v): m/s
Energía específica (E): m-Kg/Kg



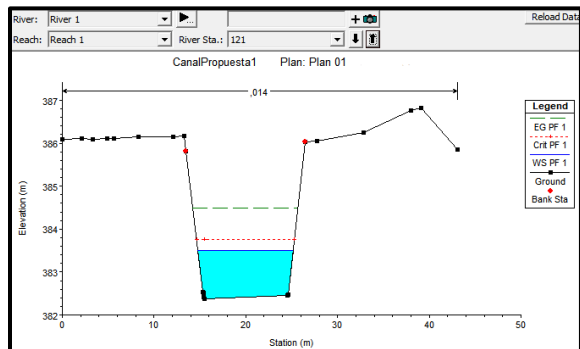
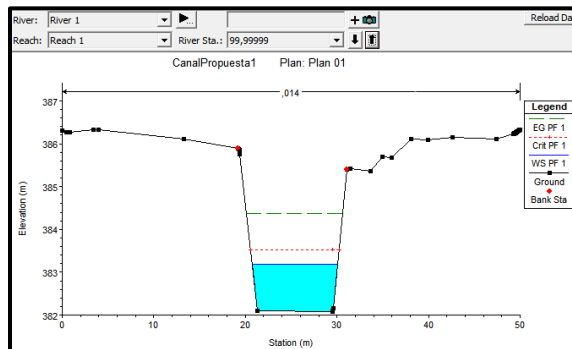
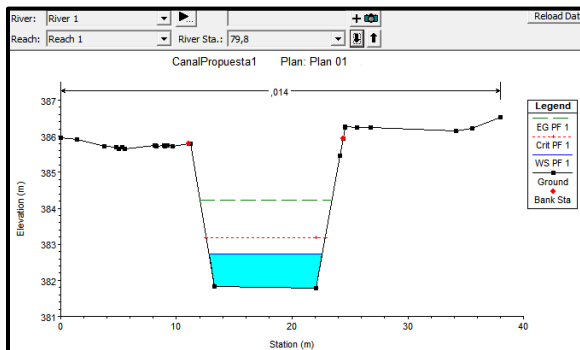
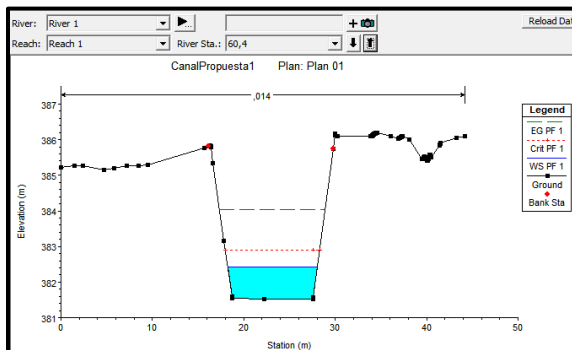
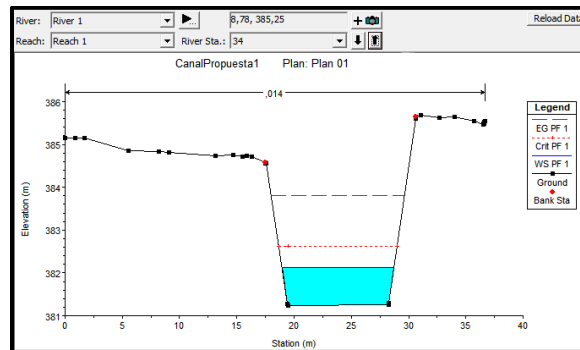
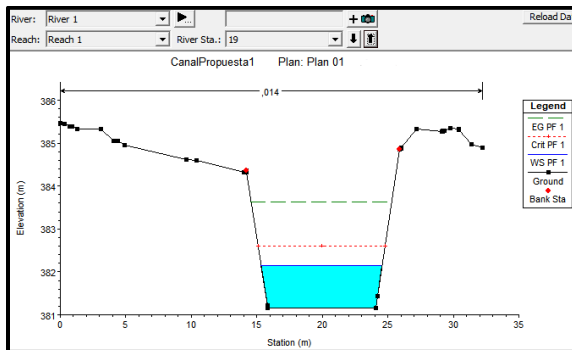
Se tiene que el tipo de flujo es régimen supercrítico, por lo que la modelación en el software HEC-RAS se debe volver a realizar, cambiando las condiciones de borde y que el régimen de flujo a calcular sea supercrítico, una vez realizado esto, se obtienen los siguientes resultados:

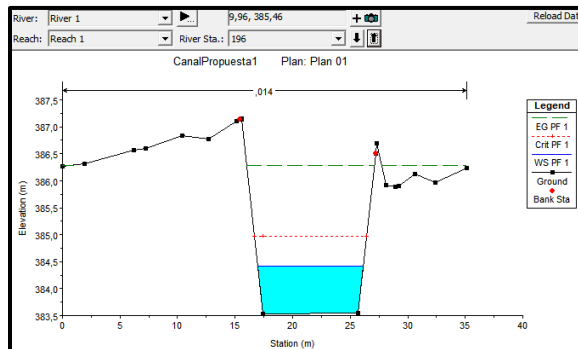
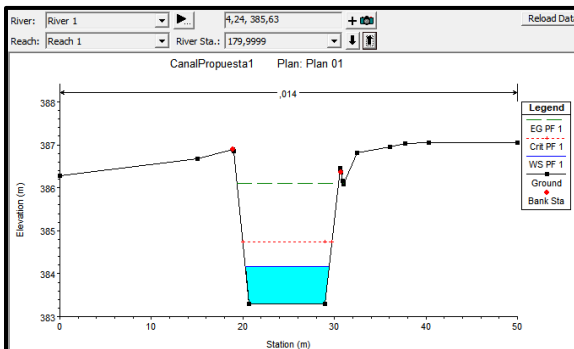
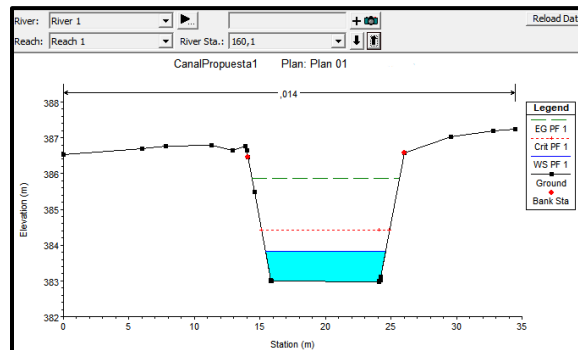
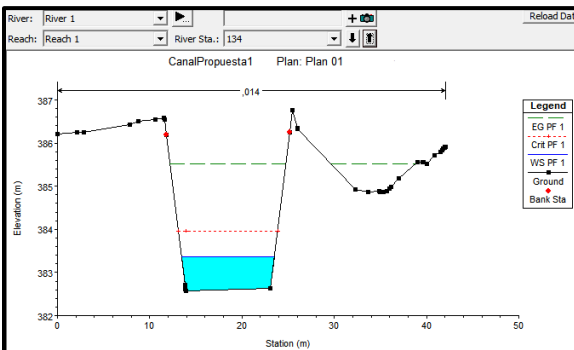
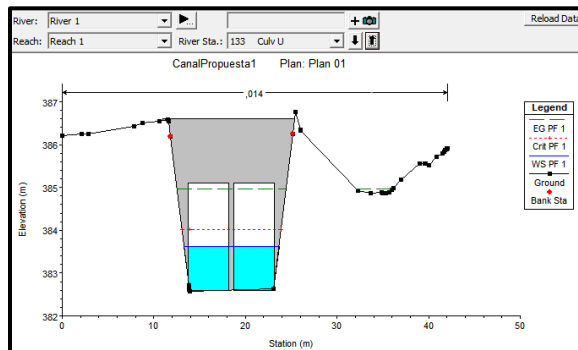
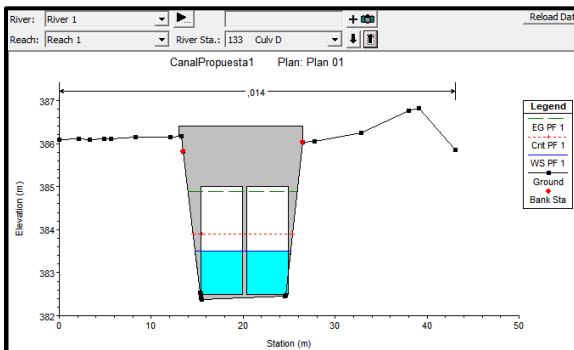
Tabla 17. Resultados modelación régimen supercrítico Diseño N°1

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
239,7	PF 1	47	384,16	385,07	385,57	386,76	0,009221	5,76	8,16	9,52	1,98
221	PF 1	47	383,86	384,72	385,25	386,55	0,010965	6	7,83	9,89	2,15
196	PF 1	47	383,53	384,42	384,98	386,29	0,010411	6,05	7,77	9,19	2,1
180	PF 1	47	383,29	384,17	384,74	386,11	0,011063	6,17	7,62	9,16	2,16
160,1	PF 1	47	382,98	383,84	384,42	385,87	0,011988	6,31	7,44	9,17	2,24
134	PF 1	47	382,58	383,36	383,95	385,51	0,014433	6,5	7,23	10,09	2,45
133		Culvert									
121	PF 1	47	382,38	383,5	383,76	384,5	0,004336	4,42	10,64	10,38	1,39
100	PF 1	47	382,08	383,19	383,53	384,38	0,005166	4,82	9,75	9,35	1,51
79,8	PF 1	47	381,78	382,74	383,18	384,22	0,00771	5,39	8,71	9,8	1,83
60,4	PF 1	47	381,51	382,41	382,9	384,05	0,009016	5,66	8,31	9,81	1,96
34	PF 1	47	381,23	382,12	382,62	383,8	0,009369	5,73	8,2	9,81	2
19	PF 1	47	381,15	382,15	382,6	383,62	0,007205	5,37	8,76	9,24	1,76
Prom							0,00924	5,68			



Ilustración 56. Perfiles Secciones Transversales modelación Diseño N°1





SC-CER96940

"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (+57) 3153429495 - 3160244475
www.unipamplona.edu.co

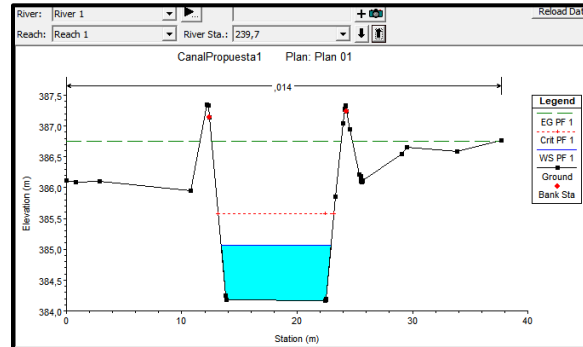
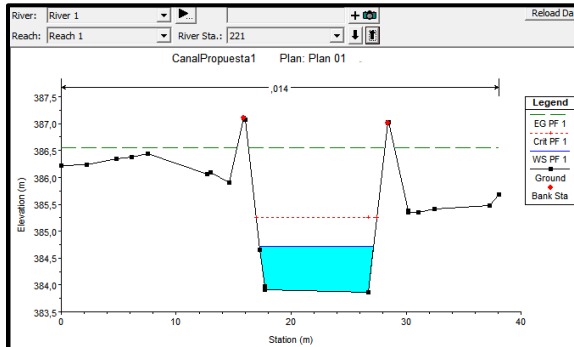


Ilustración 57. Perfil longitudinal modelación Diseño N°1

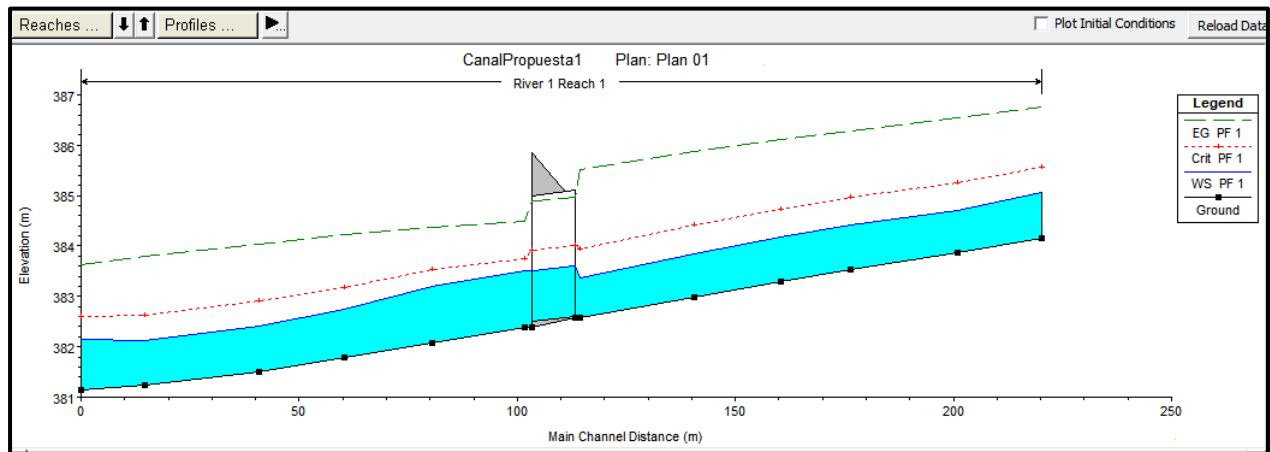
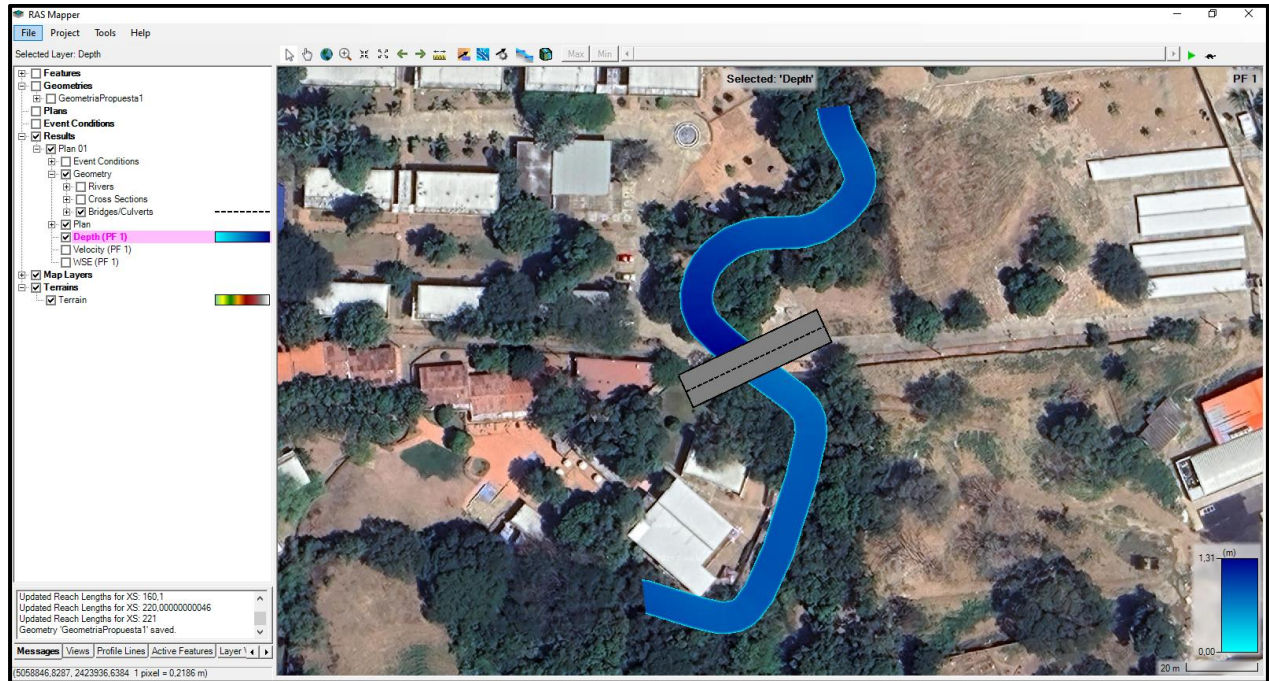




Ilustración 58. Vista en planta Diseño N°1



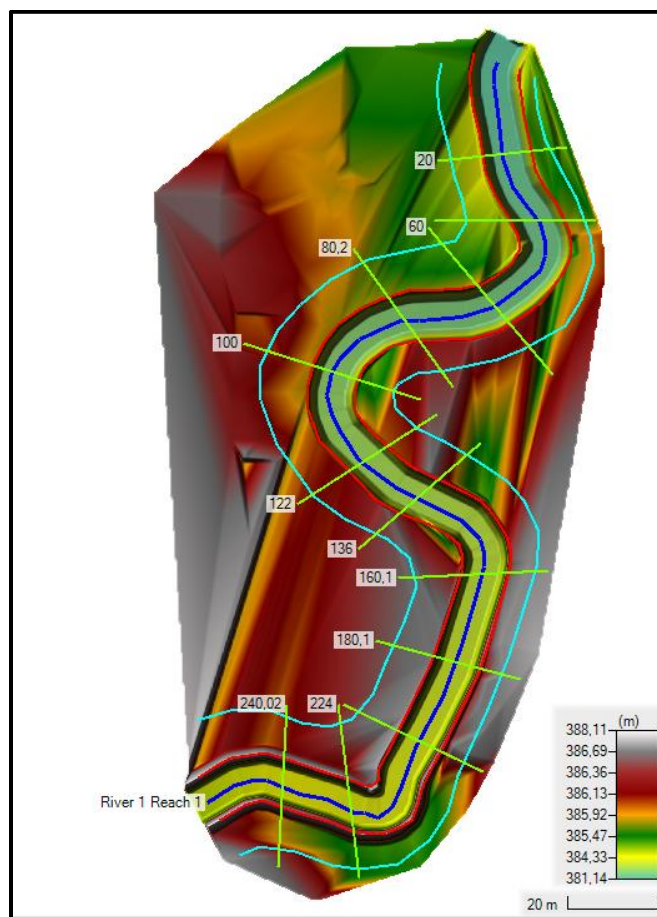
Nota. Se muestra la profundidad de la del flujo representada en color azul, siendo el color azul oscuro mayor profundidad y el color azul claro menor profundidad.

4.5.2.2 Diseño N°2 del Canal.

A continuación, se presentan el Modelo de Elevación Digital y la geometría generada del diseño N°2 del canal



Ilustración 59. Geometría Diseño N°2 Canal



Nota. La línea de color azul oscuro representa el eje del canal, las de color rojo representan las bank lines y las de color azul claro las flow paths.



Los resultados de la primera modelación se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18. Resultados Modelación Régimen Combinado Diseño N°2

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
240,02	PF 1	47	384,31	385,96	385,96	386,71	0,002291	3,82	12,29	8,34	1,01
224	PF 1	47	384,07	385,23	385,64	386,59	0,005984	5,16	9,1	8,69	1,61
199	PF 1	47	383,75	386,07	385,42	386,43	0,000786	2,64	17,81	8,85	0,59
180,1	PF 1	47	383,49	386,12		386,39	0,000522	2,29	20,53	9,13	0,49
160,1	PF 1	47	383,19	386,17		386,36	0,00031	1,9	24,79	9,89	0,38
136	PF 1	47	382,79	386,21	384,4	386,33	0,000186	1,56	30,09	10,73	0,3
135		Culvert									
122	PF 1	47	382,57	384,22	384,22	384,96	0,002266	3,81	12,32	8,39	1
100	PF 1	47	382,22	383,52	383,89	384,83	0,005105	5,06	9,28	7,8	1,48
80,2	PF 1	47	381,97	383,07	383,56	384,68	0,007379	5,61	8,37	8,28	1,78
60	PF 1	47	381,79	383,01	383,46	384,52	0,006333	5,44	8,64	7,72	1,64
37	PF 1	47	381,54	382,59	383,12	384,32	0,008433	5,83	8,06	8,39	1,9
20	PF 1	47	381,39	382,6	383,07	384,15	0,006537	5,5	8,55	7,69	1,67
Prom							0,003844	4,05			

Ilustración 60. Resultados obtenidos de Hcanales para el Diseño N°2

Datos:

Caudal (Q): m3/s

Ancho de solera (b): m

Talud (Z):

Rugosidad (n):

Pendiente (S): m/m

Resultados:

Tirante normal (y): m

Área hidráulica (A): m2

Espejo de agua (T): m

Número de Froude (F):

Tipo de flujo:

Perímetro (p): m

Radio hidráulico (R): m

Velocidad (v): m/s

Energía específica (E): m-Kg/Kg



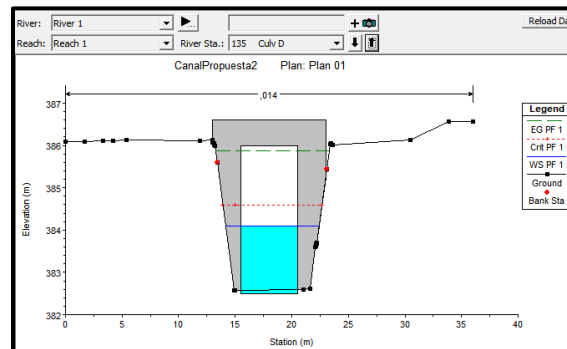
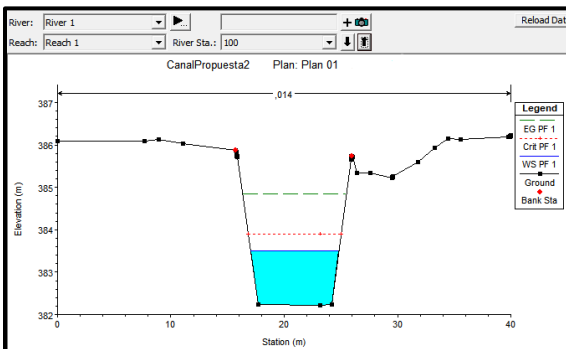
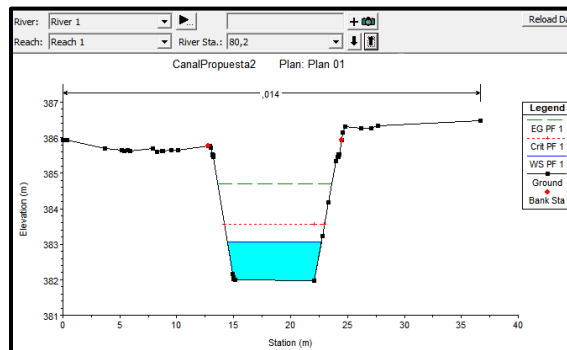
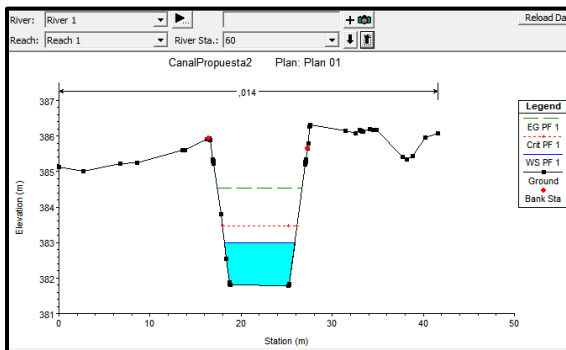
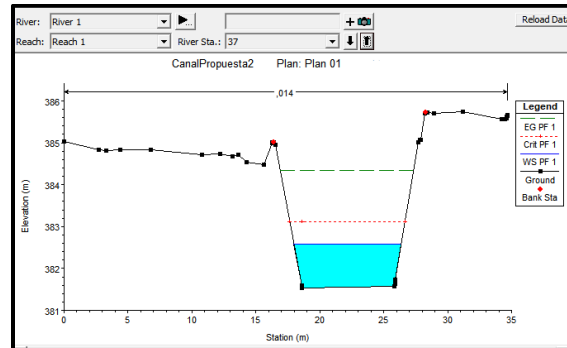
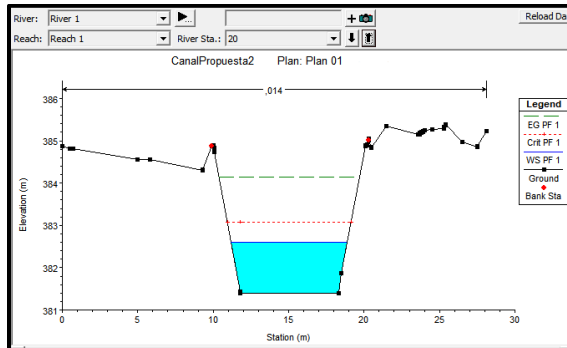
Se tiene que el tipo de flujo es régimen supercrítico, por lo que la modelación en el software HEC-RAS se debe volver a realizar, cambiando las condiciones de borde y que el régimen de flujo a calcular sea supercrítico, una vez realizado esto, se obtienen los siguientes resultados:

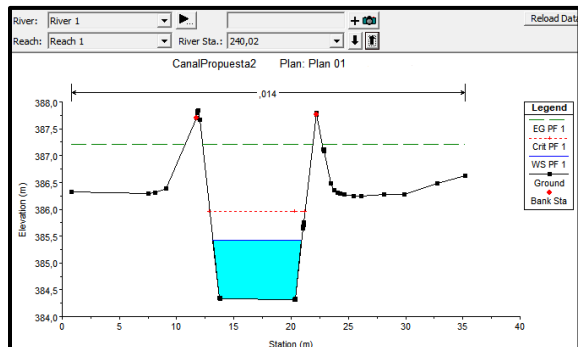
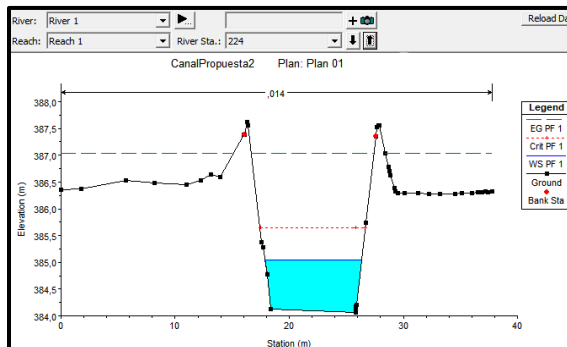
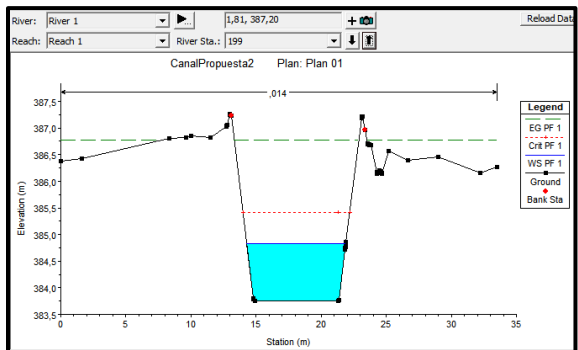
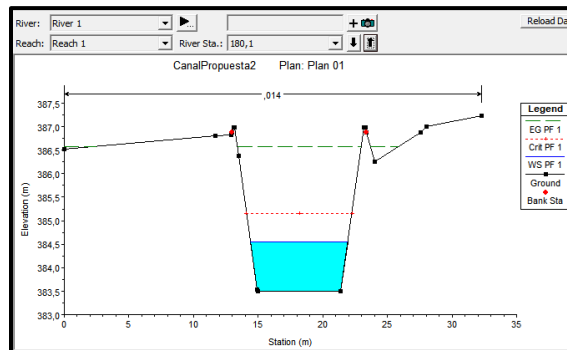
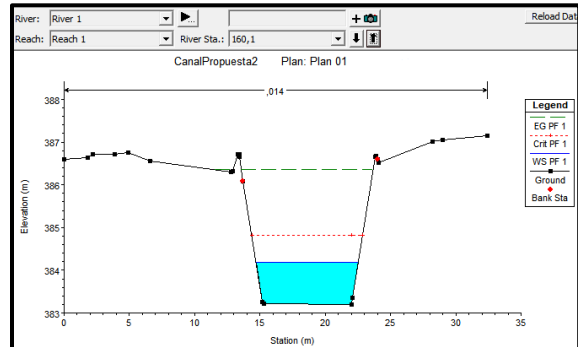
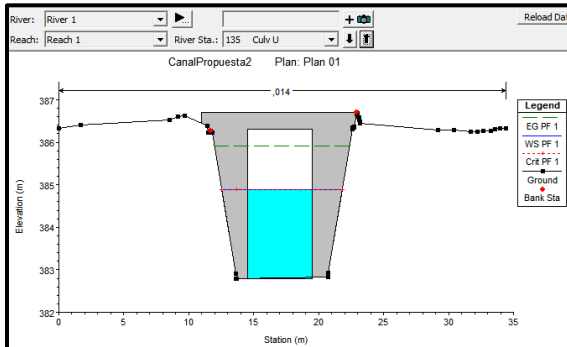
Tabla 19. Resultados modelación régimen supercrítico Diseño N°2

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
240,02	PF 1	47	384,31	385,42	385,96	387,21	0,008253	5,92	7,94	7,75	1,87
224	PF 1	47	384,07	385,05	385,64	387,04	0,01062	6,25	7,52	8,45	2,11
199	PF 1	47	383,75	384,83	385,42	386,77	0,0093	6,17	7,62	7,61	1,97
180,1	PF 1	47	383,49	384,55	385,16	386,58	0,009793	6,31	7,45	7,55	2,03
160,1	PF 1	47	383,19	384,19	384,82	386,36	0,011246	6,53	7,2	7,82	2,17
136	PF 1	47	382,79	383,74	384,4	386,05	0,012842	6,74	6,98	8,01	2,31
135		Culvert									
122	PF 1	47	382,57	384,1	384,22	384,98	0,002921	4,16	11,3	8,26	1,14
100	PF 1	47	382,22	383,51	383,89	384,85	0,005277	5,12	9,18	7,79	1,51
80,2	PF 1	47	381,97	383,07	383,56	384,69	0,007521	5,65	8,32	8,27	1,8
60	PF 1	47	381,79	383	383,46	384,53	0,006441	5,47	8,6	7,71	1,65
37	PF 1	47	381,54	382,59	383,12	384,33	0,008508	5,85	8,04	8,39	1,91
20	PF 1	47	381,39	382,6	383,07	384,15	0,006596	5,51	8,52	7,69	1,67
Prom							0,008277	5,81			



Ilustración 61. *Perfiles Secciones Transversales modelación Diseño N°2*





SC-CER96940

"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (+57) 3153429495 - 3160244475
www.unipamplona.edu.co



Ilustración 62. Perfil longitudinal modelación Diseño N°2

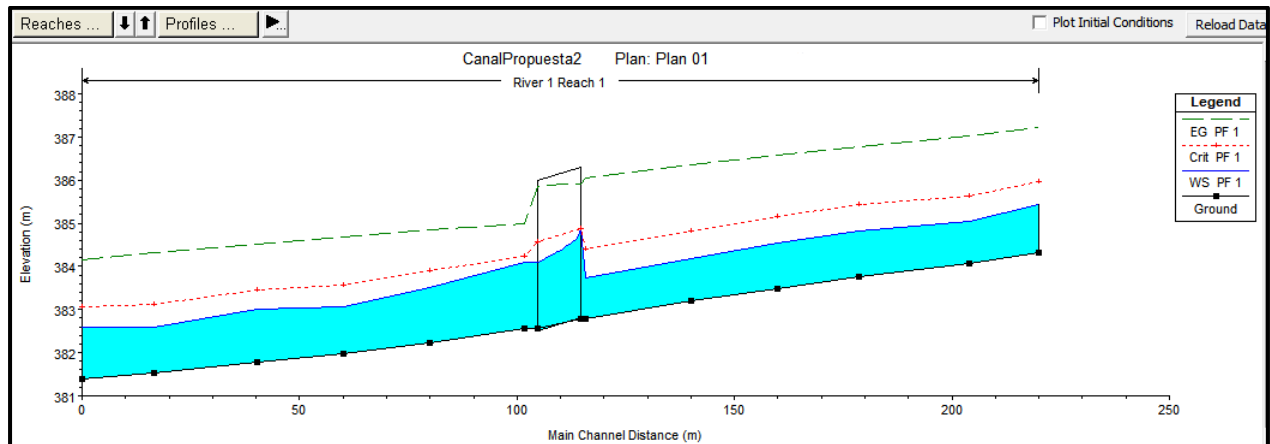
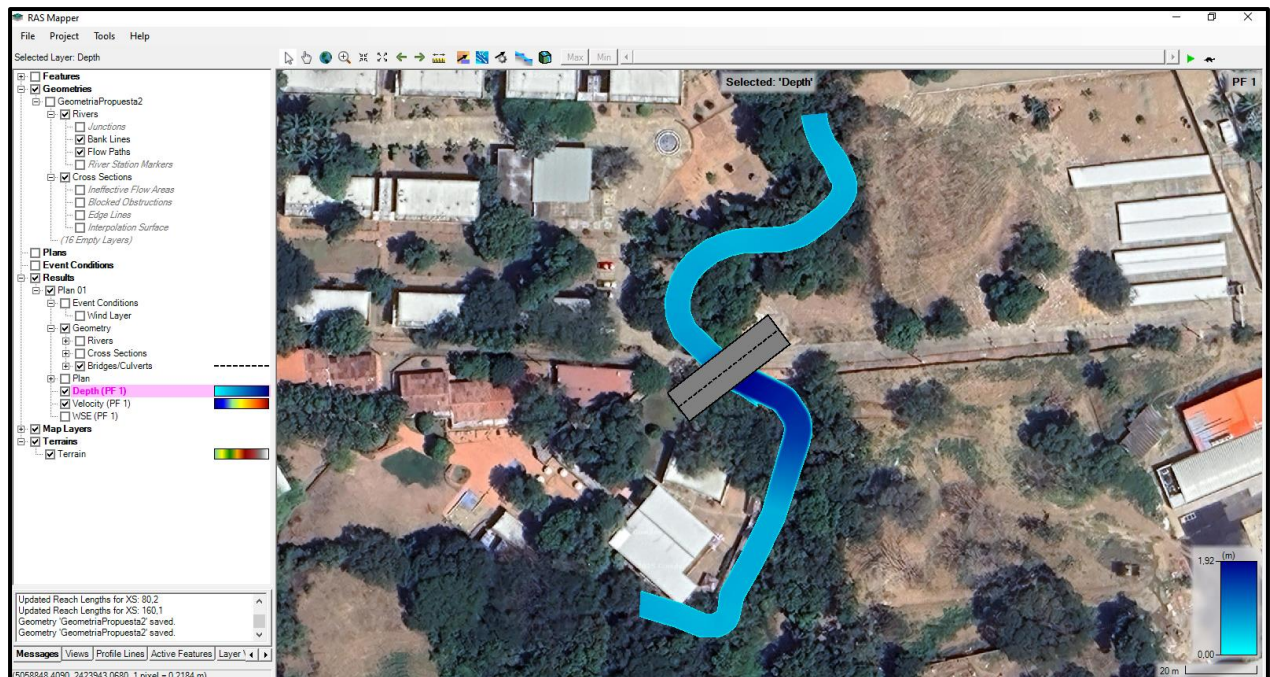


Ilustración 63. Mancha de inundación Diseño N°2



Nota. Se muestra la profundidad de la del flujo representada en color azul, siendo el color azul oscuro mayor profundidad y el color azul claro menor profundidad.



A continuación, se muestran los planos para los dos diseños del canal propuestos anteriormente.

Ilustración 64. Planos Diseño #1 Canal

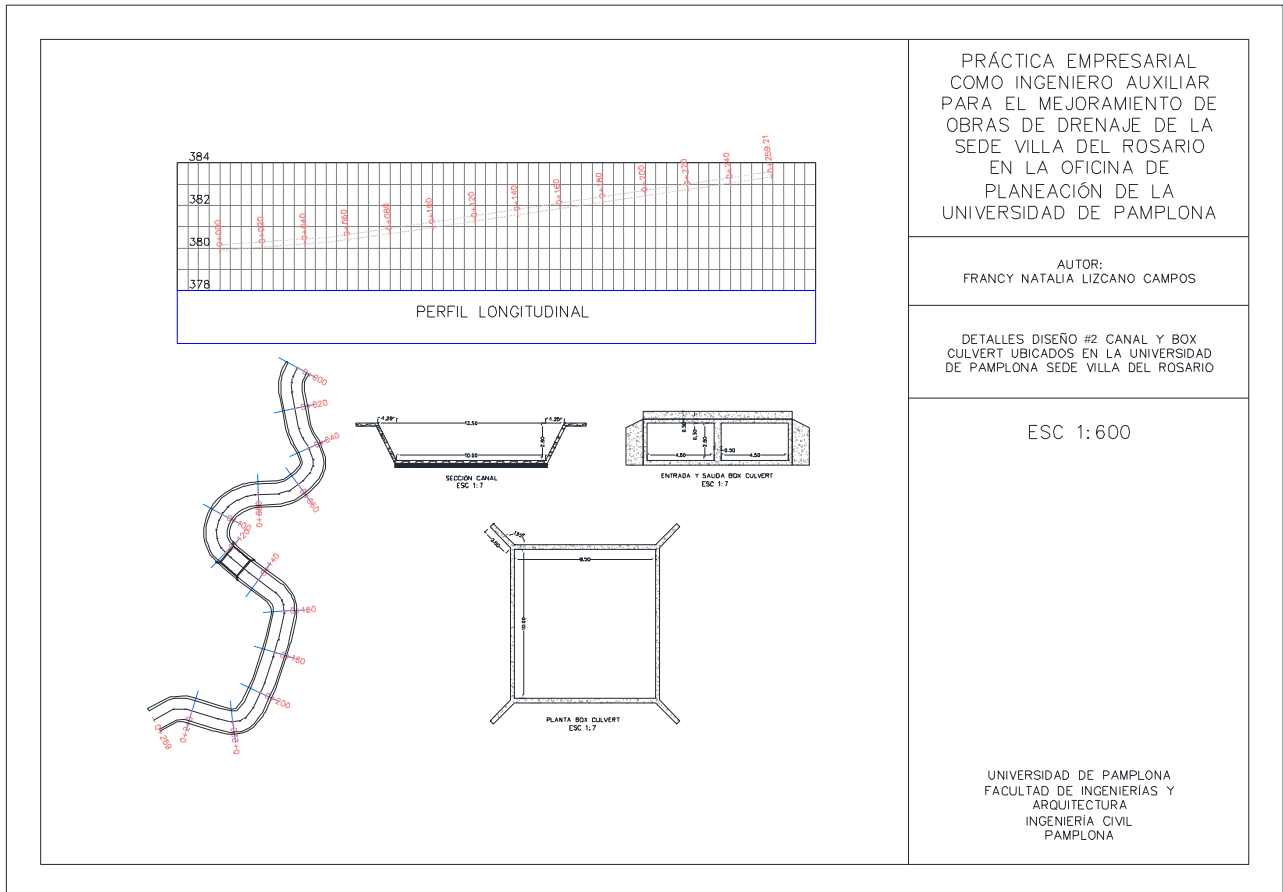
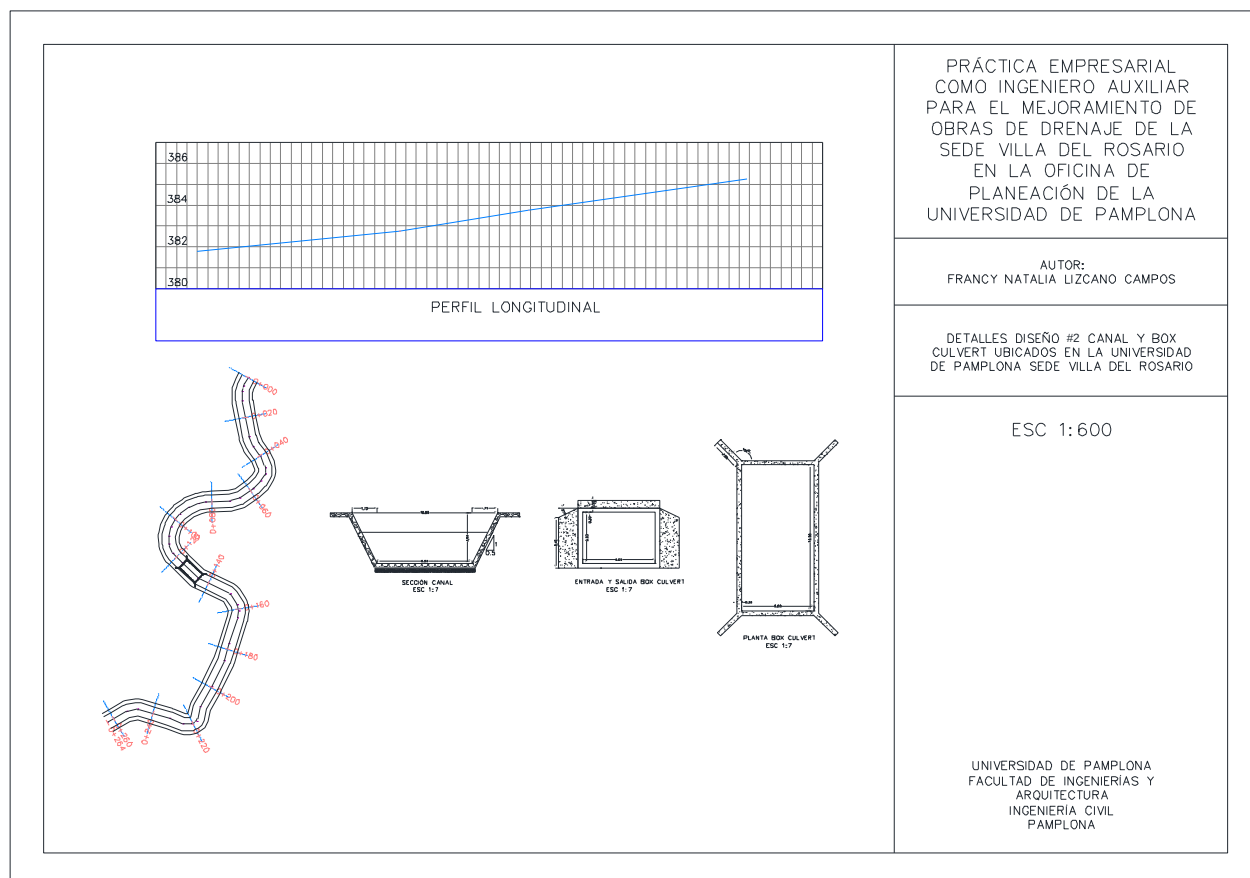




Ilustración 65. Planos Diseño #2 Canal



4.6 Recomendaciones

Los resultados obtenidos a partir de la modelación hidráulica de los diseños propuestos evidenciaron velocidades de flujo un poco elevadas, lo que puede causar erosión en las estructuras. Por este motivo es recomendable la incorporación de estructuras disipadoras de energía, las estructuras tienen como función principal reducir la velocidad y la energía del flujo de agua, su objetivo es minimizar el impacto erosivo del agua, evitando así un futuro daño en las estructuras.



4.7 Diseño Pozo Séptico

Para el diseño del pozo séptico es necesario primero conocer el número de personas que van a realizar un aporte de caudal de aguas residuales. Para esto se tuvo en cuenta la infraestructura de la Universidad de Pamplona Sede Villa del Rosario. A continuación, se muestra el número de personas que realizará un aporte de caudal al pozo séptico.

Tabla 20. Población aportante de caudal

Bloque	Aulas	Promedio Estudiantes/aula	Nº Estudiantes
Villa del Rosario	8	39,375	315
Toledo	11	40	440
Zulia	14	40	560
Gramalote	2	30	60
Nuevo	16	32,5	520
Número total estudiantes			1895

Una vez definida la población aportante de caudal, debemos calcular el aporte de aguas residuales. Teniendo en cuenta que el consumo diario por persona para instituciones educativas como universidades, según la NTC 1500, es de 50 L/hab*día y tomando un coeficiente de retorno de 85% podemos calcular el aporte de aguas residuales que llegará al pozo. A continuación, se muestra el aporte de aguas residuales para el caso de estudio.

Tabla 21. Aporte de aguas residuales

Aporte de Aguas Residuales		
Parámetro	Unidad	Valor
Población aportante	hab	1895
Consumo promedio diario	L/hab*día	50
Coeficiente de retorno	%	85%
Aporte de aguas residuales	L/hab*día	42,5



Una vez definida la población aportante y el aporte de aguas residuales por persona es posible calcular el volumen útil del pozo séptico, teniendo en cuenta en cuenta la metodología dada por el Título J, presentada en este documento en el ítem 3.6.

A continuación, se muestra el cálculo del volumen útil del pozo séptico.

Tabla 22. *Volumen útil del pozo séptico.*

Volumen de sedimentación		
Parámetro	Unidad	Valor
Tiempo de sedimentación calculado	días	0,03
Tiempo de sedimentación adoptado	días	0,5
Volumen de sedimentación	m3	40,27
Volumen para el almacenamiento de lodos		
Tasa de acumulación de lodos	L/hab*día	40
Frecuencia de limpieza	años	2
Volumen para el almacenamiento de lodos	m3	151,60
Volumen para el almacenamiento de natas o espumas no sumergidas		
Tasa de acumulación de natas	L/hab*año	3,51
Volumen de natas	m3	13,30
Volumen total		
Volumen útil total	m3	205,17

Una vez obtenido el volumen útil del pozo séptico, se dimensiona de manera que cumpla con los requisitos mínimos que nos dice la norma, en este caso tenemos en cuenta la resolución 0799 de 2021. Teniendo en cuenta esto, es necesario que el pozo séptico cuente con dos cámaras, la primera con 2/3 del volumen total.

A continuación, se muestran las dimensiones útiles y las medidas constructivas internas que tendrá el pozo séptico.



Tabla 23. Dimensiones útiles del pozo séptico.

Dimensiones útiles internas		
Parámetro	Unidad	Valor
Profundidad útil	m	2,8
Área	m ²	73,28
Ancho	m	5
Largo	m	14,66
Cámara 1		
Ancho	m	5
Largo	m	9,77
Cámara 2		
Ancho	m	5
Largo	m	4,89

Tabla 24. Medidas constructivas internas

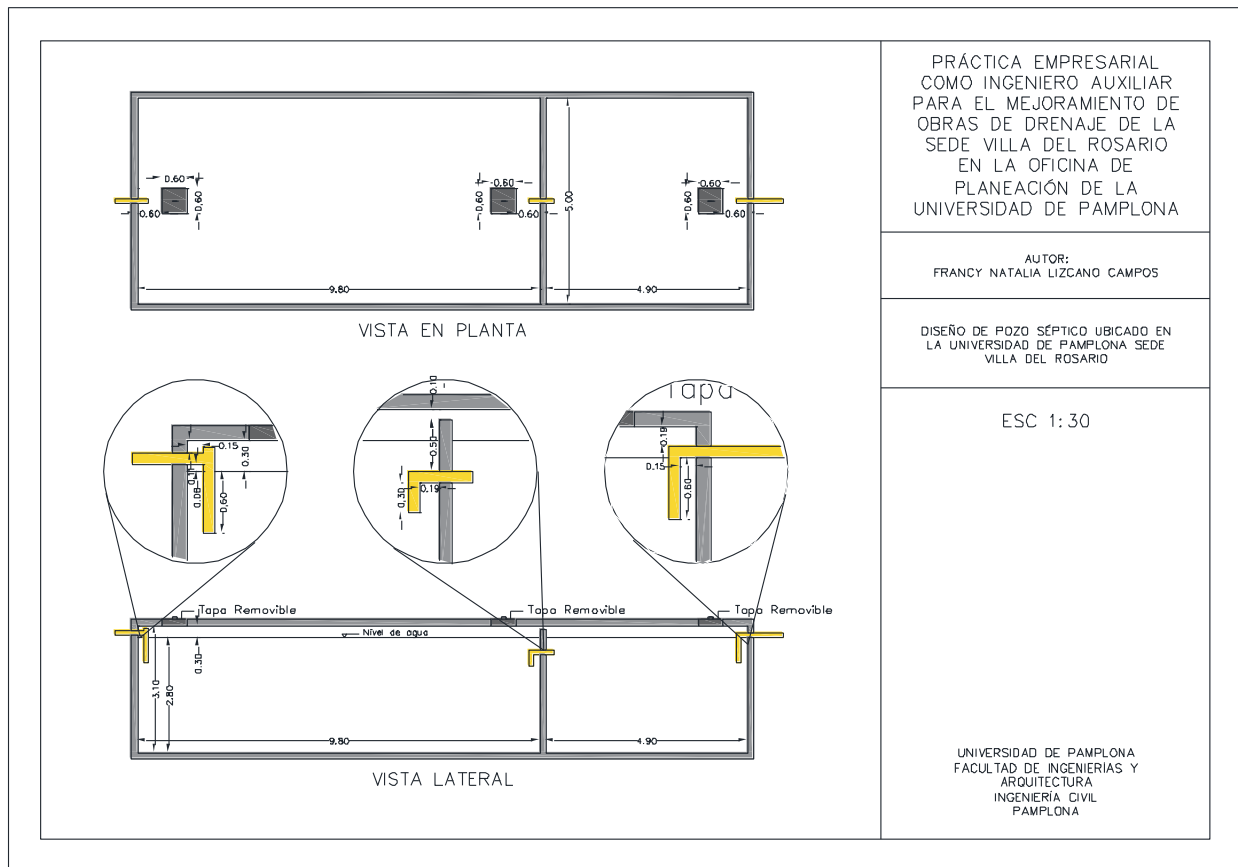
Medidas constructivas internas		
Cámara 1		
Parámetro	Unidad	Valor
Profundidad	m	2,95
Ancho	m	5
Largo	m	9,8
Cámara 2		
Profundidad	m	2,95
Ancho	m	5
Largo	m	4,9

Es importante tener en cuenta que la ubicación del pozo séptico debe estar ubicado a una distancia mínima de 1.5m de construcciones y límites de propiedad, a mínimo 3m de árboles y puntos de redes de acueducto y a mínimo 15m de distancia de pozos subterráneos y cuerpos de agua.



A continuación, se muestra los planos del pozo séptico con las medidas propuestas en el diseño mostrado.

Ilustración 66. Planos Pozo Séptico





5 Apoyo Oficina de Planeación

Además de la evaluación y diseño del canal ubicado en la sede Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona, se realizó un acompañamiento en el seguimiento de diferentes adecuaciones que se realizaron dentro del campus principal de la universidad. Estas adecuaciones están bajo el Contrato de Obra No. BS-029 de 2024, cuyo objeto es: “Contratar las adecuaciones de los espacios físicos académicos de las Sedes pamplona, Cúcuta y Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona.”

Como parte del apoyo brindado a la Oficina de Planeación, se realizó un seguimiento diario del avance de cada una de las obras de adecuación en el campus principal. Estas obras incluyen: Adecuaciones en los baños del edificio Eduardo Cote Lamus (EC) y del edificio Camino Daza (CD), adecuaciones locativas edificio Eduardo Cote Lamus (EC), adecuaciones en el bloque de cárnicos, adecuaciones de consultorios de fonoaudiología, nutrición y dietética.

A continuación, se presentan los informes de obra realizados:



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA			
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024 - CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA					
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.	ACTIVIDAD	Muro en bloque No- 5, demolición manual de muros, desmontaje de puertas	SUPERVISOR	
LOCALIZACIÓN	CAMPUS PRINCIPAL				
FECHA	20/05/24	FRENTE	Consultorios y cárnicos	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS					
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN		CANT	UNIDAD
Cárnicos	4.1.2	Demolición manual de muros		8,98	m2
	7.3.3	Suministro e instalación de correa metálica 3x1/2" cal 18		3,2	m
Consultorios	5.2.2	Muro en bloque No. 5 12x20x15 E=0,15		10,51	m2
	5.1.3	Desmontaje de puertas metálicas, incluye marco		1	und
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS					
OBSERVACIONES					
SUPERVISOR DE OBRA			REALIZADO POR		
Firma _____			Firma _____		
Carlos Alexis Bonilla Granados			Francy Natalia Lizcano Campos		



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA			
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA					
CONTRATISTA		CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	
LOCALIZACION		CAMPUS PRINCIPAL		Demolicion de muros, pañete, armado de acero y fundida de columneta	
FECHA		21/05/24		Supervisor	
		FRENTE		Consultorio	
				CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS					
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN		CANT	UNIDAD
Consultorio	5.1.10	Demolicion de muro en bloque		1,60	m2
	5.1.7	Demolicion de piso existente		2,86	m2
	5.2.4	Pañete liso 1:4		1,20	m2
	7.4.3	Columnetas incluye acero de refuerzo		2,90	m
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS					
					
OBSERVACIONES					
Al realizar la demolicion de muro en bloque en uno de los baños de los consultorios se encontro una tubería de ventilacion de 2", debido a la demolicion se presentaron algunas fisuras, por tanto es necesario realizar su cambio para evitar futuras filtraciones y humedades. Igualmente, en este baño se encontro la union entre tubería antigua y nueva, es necesario realizar el cambio de esta línea de tubería para garantizar su optimo funcionamiento.					
SUPERVISOR DE OBRA		REALIZADO POR			
Firma _____		Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados		Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA					
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA							
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Pañete de muros, demolición de piso y armado de acero para vigueta	SUPERVISOR	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL						
FECHA	22/05/24		FRENTE	Consultorio			
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS							
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN			CANT	UNIDAD	
Consultorio	5.2.4	Pañete liso 1:4			23,05	m2	
	5.1.8	Demolición de ante piso existente			2,86	m2	
	7.4.4	Vigueta incluye acero de refuerzo			6,90	m	
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS							
							
OBSERVACIONES							
SUPERVISOR DE OBRA			REALIZADO POR				
Firma _____			Firma _____				
Carlos Alexis Bonilla Granados			Francy Natalia Lizcano Campos				



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA			
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA					
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.	ACTIVIDAD		SUPERVISOR	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL				
FECHA	23/05/24	FRENTE		CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS					
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD	
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS					
OBSERVACIONES					
Organización del area de trabajo y capacitación por parte del personal en curso de alturas.					
SUPERVISOR DE OBRA		REALIZADO POR			
Firma_____		Firma_____			
Carlos Alexis Bonilla Granados		Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA				
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA						
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.	ACTIVIDAD	Instalación de sanitarios y lavamanos, muro en bloque No. 5 y pañete liso	SUPERVISOR		
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA	24/05/24	FRENTE	Consultorio y Baños EC	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS		
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS						
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN			CANT	UNIDAD
Baños EC	1.6.3	Suministro e instalacion de sanitario			8,00	und
	1.6.4	Suministro e instalacion de lavamanos			10,00	und
	5.2.2	Muro en bloque No. 5 12x20x15 E=0,15			3,39	m2
	5.2.4	Pañete liso 1:4			8,27	m2
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS						
						
OBSERVACIONES						
		SUPERVISOR DE OBRA		REALIZADO POR		
		Firma _____ Carlos Alexis Bonilla Granados		Firma _____ Francy Natalia Lizcano Campos		



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA				
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA						
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Regata para tubería sanitaria, pañete liso e instalación de divisiones baños EC	SUPERVISOR	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA	27/05/24		FRENTE	Consultorio y Baños	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS						
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN			CANT	UNIDAD
Consultorios	5.2.4	Pañete liso 1:4			7,97	m2
Baños EC	1.4.1	Suministro e instalación de division de baño en PVC incluye puerta principal, anclajes, bisagras y demás elementos de fijación.			19,32	m2
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS						
OBSERVACIONES						
Se realizó la regata para la tubería sanitaria en uno de los baños de Fonoaudiología, Nutrición y Dietética						
SUPERVISOR DE OBRA			REALIZADO POR			
Firma _____			Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados			Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA				
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA						
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.	ACTIVIDAD	Instalación de tubería sanitaria, pañete liso, fundida de columneta, instalación de divisiones baños EC y muro en bloque	SUPERVISOR	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
LOCALIZACIÓN	CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA	28/05/24	FRENTE	Consultorios, Baños EC y Bloque de Cárnicos			
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS						
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD		
Consultorios	5.2.4	Pañete liso 1:4	5,02	m2		
	5.4.1	Suministro e instalación de tubería sanitaria D=3"				
		Suministro e instalación de tubería sanitaria D=1 1/2"				
	5.4.4	Suministro e instalación tubería de agua presión D=1/2"				
	7.4.3	Columnetas incluye acero de refuerzo	2,90	m		
Baños EC	1.4.1	Suministro e instalación de división de baño en PVC incluye puerta principal, anclajes, bisagras y demás elementos de fijación	23,04	m2		
	1.4.2	Suministro e instalación de ventanería en aluminio y vidrio, incluye papel esmerilado	5,73	m2		
Bloque de cárnicos	4.2.2	Muro en bloque No. 5 e=0,15	6,06	m2		
REGISTRO FOTOGRÁFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS						
						
OBSERVACIONES						
		SUPERVISOR DE OBRA		REALIZADO POR		
		Firma _____		Firma _____		
		Carlos Alexis Bonilla Granados		Francy Natalia Lizcano Campos		



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA				 OFICINA DE PLANEACIÓN	
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA							
CONTRATISTA		CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Muro en bloque No 5, Peñete liso y fundida de columneta	SUPERVISOR	
LOCALIZACIÓN		CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA		29/05/24		FRENTE	Consultorios y bloque de cárnicos	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS							
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN				CANT	UNIDAD
Consultorios	5.2.2	Muro en bloque No. 5 12x20x15 E=0,15				2,33	m2
	5.2.4	Pañete liso 1:4				1,04	m2
	7.4.3	Columnetas incluye acero de refuerzo				2,90	m
Bloque cárnicos	4.2.2	Muro en bloque No. 5 12x20x15 E=0,15				9,66	m2
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS							
							
OBSERVACIONES							
SUPERVISOR DE OBRA				REALIZADO POR			
Firma _____				Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados				Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA				
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA						
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Peñete liso, antepiso de invelacion y regata para instalacion eléctrica	SUPERVISOR	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA	30/05/24		FRENTE	Consultorios y bloque	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS						
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN			CANT	UNIDAD
Consultorios	5.2.4	Pañete liso 1:4			14,66	m2
	5.3.1	Antepiso de nivelacion con mortero de 1:4 e=0,05m			2,54	m2
	4.2.3	Pañete liso muros 1:4			2,86	m2
	4.1.5	Desmontaje de ventanería existente			1,50	m2
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS						
						
OBSERVACIONES						
Se realizó la regata para instalación eléctrica						
SUPERVISOR DE OBRA			REALIZADO POR			
Firma _____			Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados			Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA			
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA					
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.	ACTIVIDAD	Estuco, pañete, demolición de muros y levantamiento de muro en bloque No 5	SUPERVISOR	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL				
FECHA	31/05/24	FRENTE	Consultorios y bloque	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS					
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD	
Consultorios	5.1.10	Estuco	13,01	m2	
	5.1.10	Demolición de muro en bloque	10,04	m2	
	5.2.4	Pañete liso 1:4	10,01	m2	
Bloque cármicos	4.2.2	Muro en bloque No 5 12x20x15 e=0,15	1,50	m2	
	4.2.3	Pañete liso muros 1:4	10,71	m2	
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS					
					
OBSERVACIONES					
Se realizó la demolición de muros que continuaban por encima del cielo raso en los consultorios de Fonoaudiología, Nutrición y Dietética					
SUPERVISOR DE OBRA		REALIZADO POR			
Firma _____		Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados		Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA				
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA						
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Fundida de viga de confinamiento y estuco	SUPERVISOR	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA	4/06/24		FRENTE	Consultorios	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS						
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN			CANT	UNIDAD
Consultorios	7.4.4	Vigueta incluye acero de refuerzo			6.90	m
		Estuco			2.58	m2
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS						
						
SUPERVISOR DE OBRA			REALIZADO POR			
Firma _____			Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados			Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA					
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA							
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Desmonte de cielo raso y pañete liso	SUPERVISOR		
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL						
FECHA	5/06/24		FRENTE	Consultorios y bloque de cárnicos	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS		
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS							
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN				CANT	UNIDAD
Bloque Cárnicos	4.2.3	Peñete liso muros 1:4				5,52	m2
Consultorios	5.1.6	Desmonte de cielo raso existente				32,90	m2
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS							
							
SUPERVISOR DE OBRA				REALIZADO POR			
Firma _____				Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados				Fancy Natalia Lizcano Campos			



SC-CER96940

"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (+57) 3153429495 - 3160244475
www.unipamplona.edu.co



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA				
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA						
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Peñete liso en muros	SUPERVISOR	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA	6/06/24		FRENTE	Consultorios y bloque de cárnicos	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS						
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN			CANT	UNIDAD
Bloque de Cárnicos	4.2.3	Peñete liso muros 1:4			15,66	m2
Consultorios	5.2.4	Pañete liso 1:4			11,04	m2
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS						
						
Se realizó regata para instalación eléctrica en el bloque de cárnicos. En los consultorios de Fonoaudiología, nutrición y dietética, debido a que se fundieron las columnas y la vida de confinamiento, fue necesario realizar nuevamente el pañete en una parte del muro que se vio afectada por los amarres para sostener las formaleas.						
SUPERVISOR DE OBRA			REALIZADO POR			
Firma _____ Carlos Alexis Bonilla Granados			Firma _____ Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA				
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA						
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.	ACTIVIDAD	Estuco, instalación de tablero eléctrico, base de pintura y regata para tubería eléctrica e hidrosanitaria	SUPERVISOR	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA	7/06/24	FRENTE	Consultorios y bloque de cárnicos			
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS						
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN			CANT	UNIDAD
Consultorios	4.2.4	Estuco			3,22	m2
	7.4.2	Suministro e instalación tablero bifásico enchufable 8 circuitos, incluye acometida eléctrica 8AWG-FFNT, y			1,00	und
		Estuco			34,42	m2
		Base para pintura			28,91	m2
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS						
						
Se realizó regata para instalación eléctrica y regata para instalación de tubería hidrosanitaria en los consultorios de Fonoaudiología, Nutrición y Dietética						
		SUPERVISOR DE OBRA		REALIZADO POR		
		Firma _____ Carlos Alexis Bonilla Granados		Firma _____ Francy Natalia Lizcano Campos		



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA					
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA							
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Cerramiento en lona verde, estuco y base para pintura	SUPERVISOR		
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL						
FECHA	11/06/24		FRENTE	Consultorios, bloque de cárnicos, Cambio de tubería	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS		
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS							
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN			CANT	UNIDAD	
Cambio de tubería		Cerramiento en lona verde			33,50	m	
Bloque de cárnicos	4.2.4	Estuco			24,46	m2	
Consultorios		Base para pintura			11,02	m2	
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS							
							
SUPERVISOR DE OBRA				REALIZADO POR			
Firma _____				Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados				Francy Natalia Lizcano Campos			



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA		OFICINA DE PLANEACIÓN	
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA					
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.	ACTIVIDAD	Regata, base para pintura, demolición de enchape y excavación	SUPERVISOR	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL				
FECHA	12/06/24	FRENTE	Consultorios, bloque de cárnicos, Cambio de tubería	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS					
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD	
Bloque de cárnicos	4.2.4	Pasta	4,00	m2	
		Base para pintura	16,55	m2	
Consultorios	5.1.9	Demolición de enchape de baños	11,02	m2	
		Base para pintura	2,17	m2	
Cambio tubería	7.5.2	Excavación manual de material sin clasificar	2,67	m3	
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS					
					
Se realizó regata para instalación electrica en los consultorios de Fonoaudiología, Nutrición y Dietética					
SUPERVISOR DE OBRA		REALIZADO POR			
Firma _____		Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados		Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA			 OFICINA DE PLANEACIÓN		
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA							
CONTRATISTA LOCALIZACIÓN		CONSTRUARQ DESING S.A.S. CAMPUS PRINCIPAL		ACTIVIDAD	Excavación, base en pasta		
FECHA		13/06/24		FRENTE	Bloque de cárnicos, Cambio de tubería, Consultorios		
					SUPERVISOR CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS		
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS							
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN				CANT	UNIDAD
Bloque de cárnicos	4.2.4	Pasta				25,65	m2
Cambio tubería	7.5.2	Excavación manual de material sin clasificar				2,69	m3
Consultorios		Base para pintura				1,90	m2
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS							
							
SUPERVISOR DE OBRA				REALIZADO POR			
Firma _____				Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados				Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA			
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA					
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.	ACTIVIDAD	Instalacion tubería 16", relleno, antepiso, pintura	SUPERVISOR	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL				
FECHA	14/06/24	FRENTE	Cambio de tubería, Consultorios	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS					
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN		CANT	UNIDAD
Consultorios	5.3.1	Antepiso de nivelación con mortero de 1:4 E=0,05m		18,35	m2
		Pintura		21,68	m2
Cambio tubería	7.5.8	Suministro e instalación tubería corrugada de 16"		6,00	m2
	7.5.9	Relleno y compactado de material seleccionado de la misma excavación		0,34	m3
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS					
					
Después de haber colocado la pasta y la pintura, se evidencio la presencia de humedad en una de las paredes laterales del salón que se encuentra ubicado en el bloque de cárnicos, por tanto se requiere realizar la revision del terreno natural adyacente.					
SUPERVISOR DE OBRA		REALIZADO POR			
Firma _____		Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados		Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA			 OFICINA DE PLANEACIÓN	
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA						
CONTRATISTA	CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Demolicion de muro, regata, demolicion de piso, excavación	SUPERVISOR	
LOCALIZACION	CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA	17/06/24		FRENTE	Cambio de tubería, Bloque de cárnicos	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS						
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN			CANT	UNIDAD
Bloque de cárnicos	4.1.2	Demolición manual de muros			2,10	m2
		Demolición de piso en granito			3,85	m2
	7.5.2	Excavación manual de material sin clasificar			3,33	m3
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS						
						
Se realizó regata para instalación eléctrica en el bloque de cárnicos						
SUPERVISOR DE OBRA			REALIZADO POR			
Firma _____			Firma _____			
Carlos Alexis Bonilla Granados			Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA					
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA							
CONTRATISTA		CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Excavación	SUPERVISOR	
LOCALIZACION		CAMPUS PRINCIPAL					
FECHA		18/06/24		FRENTE	Cambio de tubería	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS	
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS							
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN				CANT	UNIDAD
Cambio tubería	7.5.2	Excavación manual de material sin clasificar				9,80	m3
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS							
							
SUPERVISOR DE OBRA				REALIZADO POR			
Firma_____				Firma_____			
Carlos Alexis Bonilla Granados				Francy Natalia Lizcano Campos			



		INFORME DE ACTIVIDADES DE OBRA			
PROYECTO: CONTRATO DE OBRA No. BS-029 DE 2024: CONTRATAR LAS ADECUACIONES DE LOS ESPACIOS FÍSICOS ACADÉMICOS DE LAS SEDES PAMPLONA, CÚCUTA Y VILLA DEL ROSARIO DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA					
CONTRATISTA		CONSTRUARQ DESING S.A.S.		ACTIVIDAD	Instalacion tubería, relleno
LOCALIZACION		CAMPUS PRINCIPAL		SUPERVISOR	
FECHA		19/06/24		Cambio de tubería	CARLOS ALEXIS BONILLA GRANADOS
DESCRIPCION Y DETALLE DE LABORES EJECUTADAS					
FRENTE	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	UNIDAD	
Cambio tubería	7.5.8	Suministro e instalación tubería corrugada de 16"	12,00	m2	
	7.5.9	Relleno y compactado de material seleccionado de la misma excavación	1,20	m3	
REGISTRO FOTOGRAFICOS Y / O ESQUEMA DE OBRAS REALIZADAS					
SUPERVISOR DE OBRA			REALIZADO POR		
Firma _____			Firma _____		
Carlos Alexis Bonilla Granados			Francy Natalia Lizcano Campos		



6 Conclusiones

La recopilación, procesamiento y análisis de los datos hidrológicos fue primordial para caracterizar el comportamiento del cuerpo de agua localizado en el campus Villa del Rosario de la Universidad de Pamplona. Esta caracterización fue la base para el desarrollo de un estudio hidrológico, permitiendo obtener los parámetros necesarios para formulación y ejecución de un modelo hidráulico. La elaboración del modelo hidráulico facilitó la comprensión detallada de la dinámica del flujo en condiciones actuales y permitió identificar las zonas de inundación dentro del campus. Teniendo en cuenta que el caudal obtenido para un periodo de retorno de 25 años fue de 43 m³/s, observó que efectivamente el canal actual no tiene las medidas adecuadas para el correcto flujo de este caudal y por este motivo se generan inundaciones.

El uso de herramientas TIC, específicamente los softwares HEC-HMS y HEC-RAS, permitió llevar a cabo el cálculo de los caudales máximos asociados a eventos hidrológicos en la zona de estudio, así como la modelación hidráulica del canal y box culvert existentes en el sitio. Asimismo, estas herramientas facilitaron la simulación de los diseños propuestos, con el fin de evaluar su comportamiento bajo condiciones de caudal máximo. Los resultados obtenidos destacan la importancia de la simulación como recurso fundamental en la evaluación del riesgo hidrológico y en la proyección de obras de mitigación. La aplicación de estos modelos permite anticipar el desempeño hidráulico que tendrán los diseños propuestos, optimizando el proceso de toma de decisiones y contribuyendo a la gestión del riesgo en sectores urbanos. Los resultados obtenidos de los diferentes métodos de evaluación de caudal máximo nos permitieron ver cómo pueden existir



diferencias entre unos y otros, por esto es importante saber elegir el método a usar. En este caso, los caudales obtenidos para los diferentes periodos de retorno fueron muy parecidos con el Método Racional Modificado y el software HE-HMS. Se optó por el resultado obtenido del software debido a que este realiza simulaciones sobre los procesos hidrológicos.

En el análisis del pozo séptico, fue necesario en primer lugar hacer una estimación de la población aportante de caudal, esta población fue de aproximadamente 1895 personas por día. Este dato permitió establecer la base para el diseño del pozo séptico, junto con los consumos unitarios por persona, que en nuestro caso fue de 50 L/hab*día según la NTC 1500. Con estos datos fue posible calcular el volumen útil del pozo, este volumen incluye la sedimentación de los sólidos, el volumen para el almacenamiento de lodos y de natas, teniendo en cuenta que la limpieza del pozo debe ser cada 2 años.

El acompañamiento en la supervisión de las obras que se encontraban en ejecución en el campus principal de la Universidad de Pamplona fue una experiencia que aportó al fortalecimiento tanto formativo como profesional. Esta participación permitió aplicar y consolidar conocimientos en la gestión de obra, y la verificación del cumplimiento de planos, especificaciones técnicas normativas vigentes. Asimismo, el estudio del canal y box culvert permitió la ampliación de los conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas durante la carrera.



Bibliografía

- Bayona, M. A. Á., & Torrado, A. A. M. (2023). Determinación de los periodos de retorno utilizando el ajuste de distribución de probabilidad para la estación meteorológica de La Playa Norte de Santander. *Revista Ingenio*, 20(1), 59-65.
- Coeficiente de pérdida de entrada*. (s. f.). Recuperado 19 de septiembre de 2025, de <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/6.1/modeling-culverts/culvert-data-and-coefficients/entrance-loss-coefficient>
- CURVAS IDF - CURVAS IDF - IDEAM*. (s. f.). Recuperado 5 de febrero de 2024, de <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>
- Estrada-Gómez, Y. A., & Rojas-Herrera, D. A. (2013). *Comparación entre el método racional y el método de número de curva para la estimación de caudales, caso de estudio puente vehicular del proyecto Refugio de Bassedonia I*. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/e2eb6548-0436-49ab-aa28-749a51a1b986>
- Fuentes Hamburger, D. M. (2017). *Análisis comparativo del funcionamiento hidráulico de la tubería metálica corrugada y la tubería en concreto reforzado utilizadas para drenaje vial*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16913>
- HEC-HMS*. (s. f.). Recuperado 5 de febrero de 2024, de <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>



HEC-RAS. (s. f.). Recuperado 5 de febrero de 2024, de

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

Modelo de hidrograma unitario SCS. (s. f.). Recuperado 16 de septiembre de 2025, de

<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/transform/scs-unit-hydrograph-model>

Moncada, D. A. J., & Ballesteros, Y. B. A. (s. f.). *De Canales Revestidos. Estudio De Caso: Tramo Del Box Culvert Del Barrio Betania En.*

Morassutti F., G. F. (s. f.). *OBRAS DE CONTROL DE TORRENTES EN EL ESTADO VARGAS SEGUNDA PARTE EL PNA DE VARGAS 2005.*

Orellana Cabello, R. E. (2021). *Modelamiento hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS.*
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/18304>

Pérez López, J. A. (2015). *Cálculo del caudal de creciente por el método racional en el Caño Pavas en la Vereda de Velásquez en el Municipio de Puerto Boyacá.*
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4956>

Pozo séptico qué es: Características y funcionamiento | Pozos Sépticos | Pozos sépticos en Medellín – Pozo séptico de plástico – Pozo séptico fibra de vidrio. (s. f.). Recuperado 28 de noviembre de 2025, de <https://www.pozossepticos.com.co/blog/pozo-septico-que-es/>

¿Qué es la distribución de probabilidad? (s. f.). Recuperado 25 de abril de 2024, de <https://www.pragma.co/es/blog/que-es-la-distribucion-de-probabilidad>



- Quimbayo Ortiz, L. F., & Molina Diaz, Y. L. (2015). *Análisis y Comparación del Cálculo de Caudales Máximos Mediante Aplicación de los Métodos Racional y Estadístico para Diferentes Estaciones Hidrometereológicas en Colombia*.
<http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/2099>
- Rojas, P. (2015, octubre 18). Valores de rugosidad “n” de Manning en canales. *Ingeciv*.
<https://ingeciv.com/valores-de-rugosidad-n-de-manning-en-canales/>
- Telwesa. (2024, septiembre 10). Aguas residuales: ¿Qué son y cómo se clasifican? *Telwesa*.
<https://telwesa.com/aguas-residuales/>
- Trazona Monsalva, L. E., & Arocha Jimenez, J. S. (2018). Estudio hidrológico e hidráulico para determinar las zonas de inundación en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, mediante el uso del modelo hecras 5.03 y sistemas de información geográfico.
<http://alejandria.ufps.edu.co/descargas/tesis/1112713.pdf>.
<http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/2274>
- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, & Parra Huertas, R. A. (2015). Digestión anaeróbica: Mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 10(2), 142-159.
<https://doi.org/10.22507/pml.v10n2a13>
- Vargas Garaya, L., Torres Goyeneche, O. D., & Carrillo, G. A. (2019). Evaluación del modelo de hidrograma unitario SCS en la determinación de caudales máximos en cuencas de Norte de Santander. *Respuestas*, 24(1), 6-13.



Ven te Chow, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGRAW-HILL.

Villate Corredor, J. J., Gualdron Alfonso, D. F., & Rodríguez Baquero, A. P. (2023). *Empleo de Herramientas SIG en el Desarrollo de Proyectos Civiles*. Editorial UPTC.