

Práctica Empresarial como Auxiliar de Proyectos de Ingeniería en la Empresa I.B.G.
Ingeniería E.U. Aplicando los Softwares HEC-RAS y QGIS

Luis Fernando Barajas Guevara

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Mario García Solano

Magister en Informática – Diseño Optimizado de Alcantarillados

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A Dios nuestro Señor por su sempiterna misericordia e inmarcesible amor, quien me ha acompañado en toda mi vida, quien adiestra mis manos para la batalla, a él sean el honor y la gloria por siempre.

A mis padres Norberto Barajas y Marilú Guevara por su apoyo incondicional, por su buen ejemplo y formación.

A mi hermana Milena Barajas, quien siempre ha sido mi modelo a seguir, por su guía y disposición.

A mi novia Carolina Prada por su amor y motivación.

A mi gran amigo Alejandro Parrado por sus buenos consejos.

A mi tía Gladis Guevara por sus siempre efectivas oraciones.

A mis compañeros y amigos Cristian Ramos y Javier Ortiz por su incondicionalidad.

A mis demás familiares y amigos que siempre me han apoyado.

Agradecimientos

*A la Universidad Industrial de Santander por todos los conocimientos impartidos
a lo largo de mi pregrado en el Programa de Ingeniería Civil.*

*A la empresa I.B.G. Ingeniería E.U. por haberme brindado su apoyo y
colaboración durante el transcurso de mi práctica, y a mi Director de Proyecto Msc.*

Mario García por su orientación y dedicación.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Objetivos	18
1.1 Objetivo General	18
1.2 Objetivos Específicos	18
2. Marco Referencial	19
2.1 I.B.G. Ingeniería E.U.	19
2.1.1 Datos Generales de la empresa I.B.G. Ingeniería E.U.	19
2.1.2 Misión de la empresa I.B.G. Ingeniería E.U.	19
2.1.3 Visión de la empresa I.B.G. Ingeniería E.U.	20
2.2 Softwares Utilizados	20
2.3 Metodología.	21
2.3.1 Etapa 1.	21
2.3.2 Etapa 2.	22
2.3.3 Etapa 3.	22
3. Actividades Realizadas	22
3.1. Proyecto “Diseño Acueducto Veredal en el Corregimiento El Centro del municipio de Barrancabermeja departamento de Santander”	23
3.1.1 Análisis de Precios Unitarios	23
3.1.2 Generación de Planos.....	24
3.1.3 Análisis Estructural de un Tanque contenedor de agua	26
3.2 Estudio de riesgo por inundación.....	28

3.2.1 Información topográfica en el software QGIS 3.12.3.....	29
3.2.2 Superficie TIN en el software QGIS 3.12.3.....	31
3.2.3 Curvas de nivel en el software QGIS 3.12.3.....	33
3.2.4 Análisis Hidrológico	35
3.2.5 Análisis Hidráulico	35
3.3 Proyecto de Obras de drenaje vial.	46
3.3.1 Primera Fase indicada por el Manual de Drenaje para Carreteras.....	47
3.3.2 Segunda Fase indicada por el Manual de Drenaje para Carreteras.....	49
3.3.3 Cálculo del Tiempo de Concentración (Tc).....	52
3.3.4 Porcentaje de participación de las estaciones sobre las cuencas.....	55
3.3.5 Tormenta de diseño.....	59
3.3.6 Modelación en HEC-RAS 5.0.5.....	63
3.4 Capacitación en EPANET 2.0 vE e implementación de las plataformas SECOP I y II.	66
3.4.1 Capacitación dictada por miembros de la empresa sobre el software EPANET 2.0 vE.....	66
3.4.2 SECOP I y II.	70
4. Resultados	70
5. Conclusiones	71
Referencias Bibliográficas	73
Apéndices.....	77

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Datos morfométricos de la cuenca, estudios de riesgo por inundación.	35
Tabla 2 Información morfométrica de las cuencas, tiempos de concentración y estaciones que inciden en el proyecto.	55
Tabla 3 Parámetros de ajuste de regresión según la región para el cálculo de la intensidad de la lluvia, proyecto de obras de drenaje vial.	59
Tabla 4 Intensidades de lluvia en [mm/h] según su duración y período de retorno para la estación Saladito.	61

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Creación de capas de archivo shape utilizando el software QGIS 3.12.3.	24
Figura 2 Plano red de distribución acueducto veredal en el corregimiento El Centro del municipio de Barrancabermeja departamento de Santander.	25
Figura 3 Tanque rectangular ubicado en el corregimiento El Centro, municipio de Barrancabermeja, departamento de Santander.	26
Figura 4 Modelación en SAP2000 de un tanque rectangular ubicado en el corregimiento El Centro municipio de Barrancabermeja departamento de Santander.	27
Figura 5 Ventana "Nueva capa de archivo shape" en QGIS 3.12.3.	29
Figura 6 Ventana "Selector de sistema de referencia de coordenadas" en QGIS 3.12.3.	30
Figura 7 Nube de puntos creada en el software QGIS 3.12.3.	31
Figura 8 Ventana "Interpolación TIN" en QGIS 3.12.3.	32
Figura 9 Interpolación TIN en QGIS 3.12.3.	33
Figura 10 Ventana "Curvas de Nivel" en QGIS 3.12.3.	34
Figura 11 Curvas de nivel en QGIS 3.12.3.	34
Figura 12 Canal natural en HEC-RAS 5.0.5.	36
Figura 13 Ventana principal de HEC-RAS 5.0.5.	37
Figura 14 Ventana "Cross Section Data"	38
Figura 15 Valores del número de Manning.	39
Figura 16 Ventana "Steady Flow Data" en HEC-RAS 5.0.5.	40
Figura 17 Ventana "Steady Flow Boundary Conditions" en HEC-RAS 5.0.5.	41

Figura 18 Ventana "Steady Flow Analysis" en HEC-RAS 5.0.5.	42
Figura 19 Ventana "Cross Section" en HEC-RAS 5.0.5.	43
Figura 20 Ventana "Animation Control" en HEC-RAS 5.0.5.	43
Figura 21 Ventanas "Profile Plot" para cada uno de los canales creados en HEC-RAS 5.0.5.	44
Figura 22 Ventana "X-Y-Z Perspective Plot" en HEC-RAS 5.0.5.	44
Figura 23 Ventana "Cross Section Output" en HEC-RAS 5.0.5.	45
Figura 24 Ventana "Profile Output Table" en HEC-RAS 5.0.5.	46
Figura 25 Ubicación del proyecto de diseño de obras de drenaje vial en el departamento del Cauca.	47
Figura 26 IGAC Datos abiertos, Subdirección de Cartografía y Geografía.	48
Figura 27 Consulta de datos hidrometeorológicos del IDEAM.	49
Figura 28 Longitud cauce principal cuenca 41.	51
Figura 29 Plantilla para el cálculo del tiempo de concentración.	54
Figura 30 Plantilla datos pluviométricos de una estación para un año.	56
Figura 31 Distribución normal estación Saladito para un tiempo de retorno de 100 años utilizando el software Hidroesta 2.	57
Figura 32 Polígonos Voronoi en el software QGIS 3.12.3.	58
Figura 33 Curvas IDF de la estación Saladito.	60
Figura 34 Tormenta de diseño estación Saladito.	62
Figura 35 HEC-HMS 4.4. Cálculo de caudal cuenca 41 para un tiempo de retorno equivalente a 10 años.	63
Figura 36 Superficie, vía, drenaje principal y secciones transversales en HEC-RAS 5.0.5.	64
Figura 37 Períodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial.	64

Figura 38 Modelación del comportamiento hidráulico de un canal con puente en HEC-RAS 5.0.5.	65
Figura 39 Modelo hidráulico de una red de distribución en EPANET.....	67
Figura 40 Ventana "Editor de Patrones" en EPANET.....	68
Figura 41 Ventana "Editor de Curva" en EPANET.....	69
Figura 42 Fragmento de la Plataforma SECOP II.	70

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Capas de archivo shape según su vereda.....	77
Apéndice B. Herramientas de EPANET 2.0.....	77
Apéndice C. Implementación de mayor número de secciones transversales en HECAS 5.0.5... 82	82
Apéndice D. Shape de estaciones hidrometeorológicas del IDEAM	84
Apéndice E. Ajuste de los datos de precipitaciones máximas anuales en 24 horas de las estaciones hidrometeorológicas a diferentes distribuciones mediante la implementación del software Hidroesta 2.....	85

Glosario

Amenaza: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523 de 2012).

Canal: El término canal se refiere a un gran conducto abierto de pendiente suave. Estos conductos abiertos pueden ser no revestidos o revestidos o revestidos con concreto, cemento, pasto, madera, materiales bituminosos, o una membrana artificial. (French, 2011).

Cuenca: Área de drenaje de un curso de agua, río o lago. Partiendo del concepto real de cuenca ambiental es aquella área fisiográfica superficial que drena sus aguas, sedimentos y los materiales disueltos hacia una corriente en un punto y tiempo dado; rodeada por una frontera o divisoria de aguas que separa la superficie, una de otra, por donde fluye la escorrentía superficial y subterránea cuyos desagües corren hacia un punto común (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2014).

Distribución: La distribución de agua a la comunidad puede hacerse desde la manera más simple, que sería un suministro único por medio de una pileta de agua, hasta su forma más compleja, por medio de una serie de tuberías o redes de distribución que llevan el agua a cada domicilio (López, 2003, p.23).

Drenaje: Evacuación del agua superficial o subterránea, de una zona determinada, por gravedad o bombeo (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2014).

Estación Pluviométrica: Es una estación meteorológica dotada de un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2014).

Inundación: Es un evento natural que se traduce en el desbordamiento en las corrientes de agua, como resultado de lluvias intensas o continuas que, al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces, inundan en general, aquellos terrenos aledaños a los cursos de agua. Las inundaciones se pueden dividir de acuerdo con el régimen de los cauces en: lenta o de tipo aluvial, súbita o de tipo torrencial y encharcamiento (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2014).

Riesgo de desastres: Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012).

Tiempo de Concentración: Es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma (Manual de Drenaje para Carreteras, 2009).

Válvula de control o de corte: Estas válvulas se deben instalar como mínimo al comienzo y al final de la conducción en un diámetro igual al de la tubería. (López, 2003, p. 211).

Válvula de purga: Son válvulas instaladas lateralmente en todos los puntos bajos del trazado (no deben ubicarse en tramos planos), donde haya posibilidad de obstrucción de la sección de flujo por

acumulación de sedimentos, facilitando así las labores de limpieza de la tubería (López, 2003, p. 209).

Ventosa: Son válvulas de expulsión o admisión del aire, de funcionamiento automático, que deben ubicarse en los puntos altos de la conducción, siempre que la presión en dicho punto no sea muy alta o sea menor que la presión atmosférica (López, 2003, p. 210).

Vulnerabilidad: Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012).

Resumen

Título: PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE PROYECTOS DE INGENIERÍA EN LA EMPRESA I.B.G. INGENIERÍA E.U. APLICANDO LOS SOFTWARES HEC-RAS Y QGIS*

Autor: Luis Fernando Barajas Guevara**

Palabras Clave: Software, Caudal, Distribución, Riesgo, Estaciones.

Descripción: En el presente trabajo se busca dar a conocer las actividades y funciones desempeñadas como auxiliar de proyectos de ingeniería en la empresa I.B.G. Ingeniería E.U. durante el tiempo correspondiente a la práctica empresarial. En este lapso se brindó apoyo a la empresa respecto a los proyectos que se estaban ejecutando, como es el caso del proyecto “Acueducto Veredal en el corregimiento El Centro del municipio de Barrancabermeja, Santander”, y el proyecto “Estudios y diseños para la pavimentación de la vía 25cc12 Timbío – Paispamba – San Pedro - Crucero El Llano – Cruce ruta 25cc15 a La Sierra, tramo pr59+097 al pr61+098, departamento del Cauca”; buscando así dar solución a ciertas necesidades sociales mediante la implementación de softwares, principalmente HEC-RAS 5.0.5 y QGIS 3.12.3, además de estos fueron implementados los softwares EPANET 2.0, HEC-HMS 4.4., Microsoft Excel, SAP 2000, AutoCAD Civil, e Hidroesta 2; y plataformas nacionales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Medio Ambiente - IDEAM, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, y SECOP I y II. Fueron realizadas actividades requeridas en cuanto al diseño, planeación y ejecución, cumpliendo lo establecido en el marco de objetivos, y teniendo como esfera central la normatividad y regulación colombiana. El primero de estos proyectos se encuentra en fase de revisión por la entidad contratante, y el segundo aún está siendo ejecutado por la empresa.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Mario García Solano. Magister en Informática – Diseño Optimizado de Alcantarillados.

Abstract

Title: PRÁCTICA EMPRESARIAL COMO AUXILIAR DE PROYECTOS DE INGENIERÍA EN LA EMPRESA I.B.G. INGENIERÍA E.U. APLICANDO LOS SOFTWARES HEC-RAS Y QGIS*

Author: Luis Fernando Barajas Guevara**

Key Words: Software, Flow, Distribution, Risk, Stations.

Description: The purpose of this paper is to present the activities and functions developed as an assistant of engineering projects in the company I.B.G. Ingeniería E.U. this time corresponds to the working internship. During this period, the assistant supported the company with the projects that were being executed, as is the case of the project “Acueducto Veredal en el corregimiento El Centro del municipio de Barrancabermeja, Santander” and “Estudios y diseños para la pavimentación de la vía 25cc12 Timbío – Paispamba – San Pedro - Crucero El Llano – Cruce ruta 25cc15 a La Sierra, tramo pr59+097 al pr61+098, departamento del Cauca”; thus giving solutions to certain social needs through the implementation of software, mainly HEC-RAS 5.0.5 and QGIS 3.12.3, in addition to these, were implemented the software’s EPANET 2.0, HEC-HMS 4.4., Microsoft Excel SAP 2000, AutoCAD Civil, and Hidroesta 2; and national platforms like Instituto de Hidrología, Meteorología y Medio Ambiente - IDEAM, Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, and SECOP I and II. The assistant has developed the required activities in terms of design, planning and execution carrying out compliance with the provisions of the objective framework and keeping in mind as a central sphere the Colombian regulations. The first of these projects is under review by the contracting entity, and the second is still being executed by the company.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Mario García Solano. Master’s in computer science - Optimized Sewer Design.

Introducción

Una problemática común de la sociedad actual es la falta de oportunidades en el mercado laboral, principalmente para los recién egresados, quienes se enfrentan por primera vez a esta situación y generalmente no cuentan con algún tipo de experiencia laboral significativa. Esta situación se ve reflejada en las cifras que proporcionó el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2020) para el trimestre junio-agosto, con una tasa de desempleo juvenil del 26,6%. Según Echeverri (2019) del diario La República, se evidenció que la principal razón en Colombia por la cual los empleadores no encuentran el talento que necesitan es la falta de experiencia; y en el mundo, esa misma causa ocupa el segundo lugar. Una forma de lograr dicha experiencia es mediante la realización de prácticas empresariales, las cuales además de facilitar al estudiante una posible vinculación al mundo laboral le brindan la oportunidad de llevar a un plano de aplicación los conocimientos adquiridos durante su período de aprendizaje.

Cabe destacar la importancia del papel que cumplen los diferentes establecimientos de educación superior en la formación del profesional como individuo capaz de adoptar las competencias y habilidades necesarias para desarrollar su profesión de forma efectiva; sin embargo, más allá de la base teórica impartida por estos establecimientos educativos es importante contar con la experticia que proporciona el haber estado en contacto directo con el mercado laboral. Siendo las prácticas empresariales complemento mismo de la formación del profesional con el fin principal de fortalecer los conocimientos propios de la profesión y tener una noción más acertada de la industria e innovación técnica mediante la resolución de problemas propios de su carrera en un ámbito práctico que es finalmente para lo que se ha preparado.

La principal importancia de realizar prácticas empresariales radica en la generación de un beneficio social, llevando a la práctica los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, aportando así al desarrollo de una determinada comunidad, lo cual se traduce en una mejor calidad de vida para un grupo de personas, que como todo ser humano requiere abastecimiento constante de agua potable para el normal desarrollo de sus actividades diarias, y un correcto manejo de las aguas residuales; además, de estructuras de drenaje en vías, las cuales son fundamentales para la movilización, el transporte y el crecimiento económico de la población. A su vez, son de gran relevancia los estudios de riesgo por inundación para residentes de sectores contiguos a algún cuerpo de agua. Por todo lo ya mencionado se ha pretendido fortalecer y obtener nuevos conocimientos sobre el modo en que se diseñan las estructuras de drenaje en vías, canales abiertos, acueductos, y alcantarillados, además de la forma en que se llevan a cabo los estudios de riesgo por inundación.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar, ejecutar y resolver problemas prácticos con métodos científicos como auxiliar de ingeniería en la compañía I.B.G. INGENIERÍA E.U. brindando apoyo a esta en los proyectos que se encuentre ejecutando o con miras a ejecutar durante el tiempo que dure la práctica, buscando dar respuesta a ciertas necesidades sociales mediante la implementación de los softwares HEC-RAS y QGIS.

1.2 Objetivos Específicos

1.2.1 Brindar soporte técnico a diseños de acueductos y alcantarillados en la empresa I.B.G. INGENIERÍA E.U.

1.2.2 Apoyar estudios de riesgos por inundación a la empresa I.B.G. INGENIERÍA E.U. mediante los análisis hidrológicos e hidráulicos, y la ejecución del software QGIS.

1.2.3 Diseñar estructuras de drenaje en vías mediante la implementación del software HEC-RAS para la empresa I.B.G. INGENIERÍA E.U.

2. Marco Referencial

2.1 I.B.G. Ingeniería E.U.

Esta compañía es generadora de proyectos y consultoría en el sector de infraestructura y medio ambiente; especialista en las áreas de hidrología, hidrogeología, hidráulica, geología, geotecnia y medio ambiente. Contribuye al desarrollo sostenible mediante la innovación en la planeación, ejecución y seguimiento del servicio con alta confiabilidad y calidad, alcanzando así el desarrollo de excelentes proyectos con óptimos resultados.

2.1.1 Datos Generales de la empresa I.B.G. Ingeniería E.U.

Gerente General: Iban Gustavo Blanco González.

Dirección: Centro empresarial GreenGOLD, oficina 804 - Cra. 27 # 37-33, Bucaramanga.

Teléfonos: (57) 316 708 5163 - (7) 642 3449.

Correo: administracion@ibgingenieria.com

2.1.2 Misión de la empresa I.B.G. Ingeniería E.U.

“ibg Ingeniería es una empresa dedicada a generar proyectos y consultoría en el sector de infraestructura y medio ambiente, en las especialidades de hidrología, hidrogeología, hidráulica, geología, geotecnia y medio ambiente, apoyados en la innovación, estandarización, mejoramiento continuo de sus procesos y competencia técnica del personal, con el fin de cumplir con los requisitos y expectativas de nuestros clientes y partes interesadas, brindar bienestar al equipo de trabajo y contribuir con el desarrollo sostenible”.

2.1.3 Visión de la empresa I.B.G. Ingeniería E.U.

“Para el año 2020, ibg Ingeniería afianzará su presencia en el mercado nacional en las áreas de hidrología, hidráulica y medio ambiente a través de la innovación en la prestación de sus servicios y la competencia técnica y humana de su equipo de trabajo, logrando la sostenibilidad financiera de la empresa y el reconocimiento en la promoción del desarrollo sostenible en las actividades de clientes y partes interesadas”.

2.2 Softwares Utilizados

Entre los softwares utilizados se encuentran QGIS 3.12.3, el cual presenta grandes ventajas en los proyectos en los que se debe representar geográficamente la zona objeto de estudio, como es el caso del trazado de una red de distribución de un acueducto, estudios de riesgo por inundación y obras de drenaje viales. Cuenta con gran cantidad de herramientas de análisis geográfico, entre las más utilizadas en los mencionados proyectos se encuentran: creación y edición de archivos shape, interpolación TIN, y polígonos Voronoi. Además, presenta en forma de tablas diferentes atributos de los elementos, los cuales son editables manualmente o mediante la ejecución de las herramientas de cálculos (Documentación QGIS, s.f); además, el software HEC-RAS 5.0.5, el cual tiene gran relevancia en los proyectos concernientes al análisis hidráulico de algún tipo de canal, bien sea natural o artificial. Utilizados en estudios de riesgo por inundación para determinar la amenaza hidrodinámica de algún cuerpo de agua, y en proyectos de diseño de obras de drenaje viales, ofreciendo la posibilidad de agregar al análisis estructuras como puentes y culverts (Brunner, 2016); el software EPANET 2.0, mediante el cual es posible modelar y diseñar la red de distribución de un acueducto determinado (Rossman, 2002); el software HEC-HMS 4.4, con el cual es posible determinar el caudal del drenaje principal en una cuenca determinada, habiendo

obtenido de ella previamente información referente a sus características morfométricas y una tormenta de diseño para un tiempo de retorno determinado; el software HIDROESTA 2, que ofrece la posibilidad de verificar la idoneidad de los datos hidrometeorológicos de las estaciones, mediante su ajuste a las diferentes distribuciones, teniendo en cuenta que existen estaciones que presentan intermitencia en la toma de datos por lo que sus datos no se ajustan a estas distribuciones, y no deben ser tenidas en cuenta para el proyecto; SAP 2000, el cual es un software de diseño y análisis estructural, en él es posible modelar estructuras como edificaciones, puentes y tanques contenedores de líquido, en diferentes materiales como acero y concreto, teniendo en cuenta para su análisis múltiples normas y combinaciones de carga; el software AutoCAD Civil, mediante el cual es posible generar planos tanto en planta como en perfil y fue utilizado para la red de distribución, adicionando etiquetas, tablas, convenciones y los elementos propios de esta; y el software Microsoft Excel, mediante el cual es posible realizar programaciones y representaciones gráficas utilizando sus hojas de cálculo.

2.3 Metodología.

2.3.1 Etapa 1.

Acoplamiento con el equipo de trabajo, metodología y organización de la empresa, e interiorización en los softwares a implementar (HEC-RAS y ArcGIS) y la normativa que rige los proyectos (Ley 142 de 1994, resolución 0330 de 2017, y el decreto 2014-DEC GGL de 1980 para el diseño de acueductos y alcantarillados; el Manual de drenaje para Carreteras emitido por el Ministerio de Transporte para el diseño de estructuras de drenaje en vías; y la Ley 1523 de 2012, además de la Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación emitida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM en compañía del Centro

Nacional de Modelación-CNM para los estudios de riesgo por inundación). Generación de reportes semanales acerca de cómo se está ejecutando la práctica y qué logros se están teniendo con el fin de realizar una buena sintetización documental sobre las actividades llevadas a cabo, y la manera en la cual se están aplicando los conocimientos propios de la carrera.

2.3.2 Etapa 2.

Planeación, diseño y ejecución de las actividades llevadas a cabo por la empresa en el marco de los estatutos propios de la misma y la normatividad colombiana vigente. Durante este periodo también se generarán reportes semanales sobre el estado de los proyectos.

2.3.3 Etapa 3.

Recopilación de la información obtenida tras los estudios y análisis efectuados durante la etapa de labores propias de la empresa, y conclusiones acerca de los proyectos ejecutados en cuanto a la metodología, organización, costo de procesos, tiempos de ejecución, alternativas de solución, beneficios que trae a la comunidad, entre otros.

3. Actividades Realizadas

Las actividades realizadas en esta práctica empresarial fueron enfocadas principalmente al diseño de la red de distribución de un acueducto veredal, al estudio de riesgo por inundación, y al diseño de estructuras de drenaje vial.

3.1. Proyecto “Diseño Acueducto Veredal en el Corregimiento El Centro del municipio de Barrancabermeja departamento de Santander”.

Para la realización de este proyecto fueron utilizados los softwares QGIS 3.12.3, AutoCAD Civil, Microsoft Excel, y SAP 2000. Entre las actividades realizadas se encuentran el análisis de precios unitarios, el diagnóstico estructural de un tanque rectangular contenedor de agua y la generación de planos de la red de distribución, este último con base en la Ley 142 de 1994, la Resolución 0330 de 2017, las Normas de diseño de sistemas de acueducto de EPM.

3.1.1 Análisis de Precios Unitarios

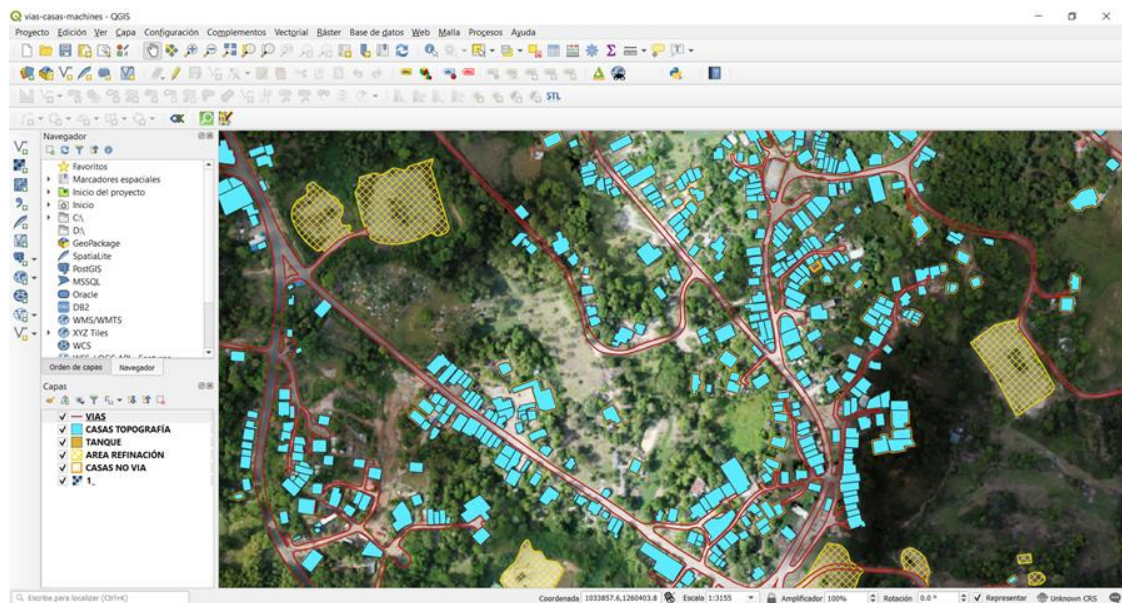
En primera instancia, se aportó en la búsqueda de precios correspondientes a cada uno de los elementos necesarios para la construcción de este acueducto veredal, compuestos por equipo (por ejemplo guadañadora, equipo de topografía, motoniveladora, retroexcavadora E-200 con martillo neumático, Bulldozer D6, etc.), materiales de obra (entre los que se encuentran por ejemplo collar de derivación en H.D. para PVC D=3”X1”, hidrante H.D. D=3” tipo Milán, tee 10”X3” H.D. J.H., válvula de purga 3”, bomba 10 HP 70 m, uniones PVC 6”, soldadura, medidor de agua tipo electromagnético 3”, esferas reflectivas, poste para defensa metálica, concreto de 3000 psi, entre muchos otros más), transporte (como transporte de material excavado, transporte de tubería, etc.) y mano de obra (entre los que se encuentra el jornal de oficiales, maestros, ayudantes, obreros, soldadores, rastrilleros, cadeneros, residentes, consultores, auxiliares y conductores). Para ello, se digitalizó en una hoja de cálculo de Microsoft Excel la información obtenida en bases de datos como Construdata (la cual es de acceso gratuito para todos los estudiantes de la Universidad Industrial de Santander), y catálogos como Apolo y Pavco.

3.1.2 Generación de Planos

Se dibujó en el software QGIS 3.12.3 capas de archivos shape de las vías, las casas (las que se encuentran sobre la vía y las que no), el tanque de almacenamiento, y las áreas industriales de Ecopetrol S.A. (Figura 1) sobre la fotogrametría de la zona, suministrada por el equipo topográfico, la cual se logró gracias a la implementación de drones, completando en la tabla de atributos de la capa “Casas” la información correspondiente a los datos topográficos y de censo poblacional que previamente los miembros de la empresa junto con el equipo topográfico habían tomado en campo. Todo esto con el fin de obtener información precisa y detallada de los puntos a los cuales debía ser suministrado el recurso y como complemento para los planos que posteriormente se realizarían.

Figura 1

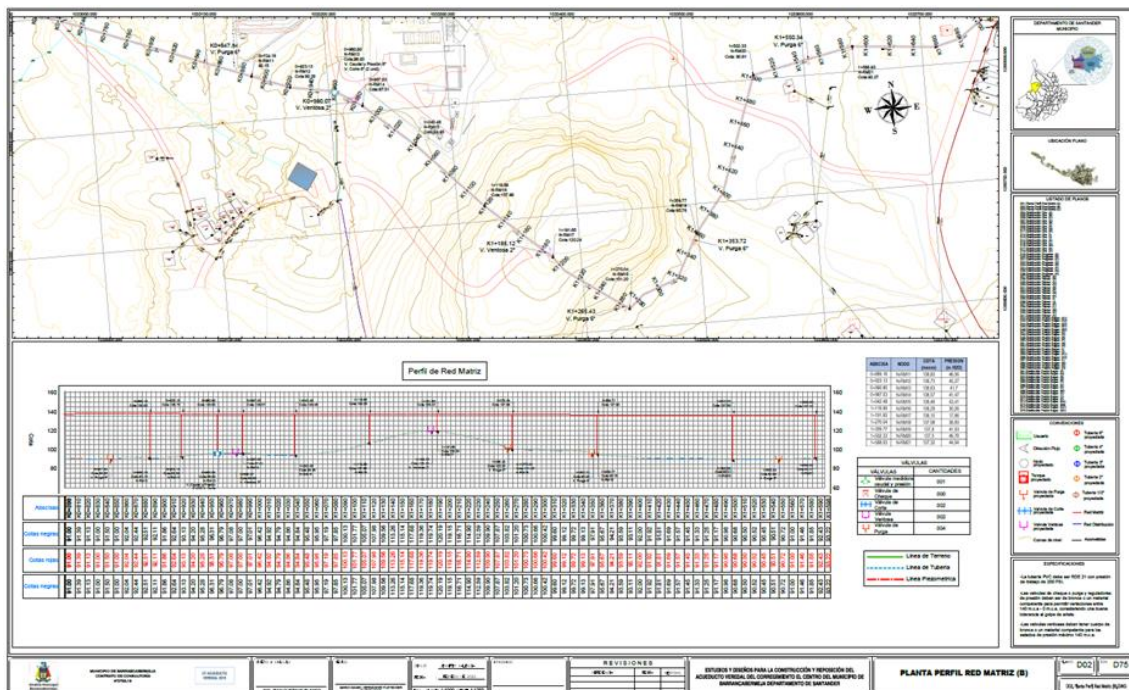
Creación de capas de archivo shape utilizando el software QGIS 3.12.3.



Se brindó apoyo en la realización de los planos de la red de distribución mediante la implementación del software AutoCAD Civil 3D 2017, siendo exportada a este la información anteriormente expuesta, a la cual más adelante se le adicionó más información relevante como la disposición de la tubería y sus respectivos diámetros y longitudes, la ubicación de las válvulas de ventosa, purga, corte, cheque y medidoras de caudal y presión, las etiquetas de cotas, abscisas, presión, ubicación precisa de los usuarios y demás información relevante para cada una de las veredas a las cuales se les suministró este recurso, entre las que se encuentran Pueblo Regao, La Cira, El Palmar, y El Progreso.

Figura 2

Plano red de distribución acueducto veredal en el corregimiento El Centro del municipio de Barrancabermeja departamento de Santander.



3.1.3 Análisis Estructural de un Tanque contenedor de agua

Se brindó apoyo a la empresa en el diagnóstico estructural de un tanque contenedor de agua en este mismo proyecto (Figura 3), utilizando el software SAP2000 (Figura 4) y basado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente Título C (NSR-10), y el Código Americano de Diseño Sísmico de Estructuras de Concreto Contenedoras de Líquido y Comentarios (ACI 350.3-06). Fue necesario tener en cuenta factores estáticos como el empuje de tierra, la sobrecarga y la presión del líquido contenido; además de los factores dinámicos como las cargas impulsiva y convectiva causadas por los sismos que pueden incidir en la estructura. Tuvo gran relevancia para este análisis la consideración de las características físicas de los materiales utilizados y las dimensiones de la estructura. Se analizaron las paredes del tanque con base en su comportamiento estructural que depende de las características geométricas y tipos de apoyos.

Figura 3

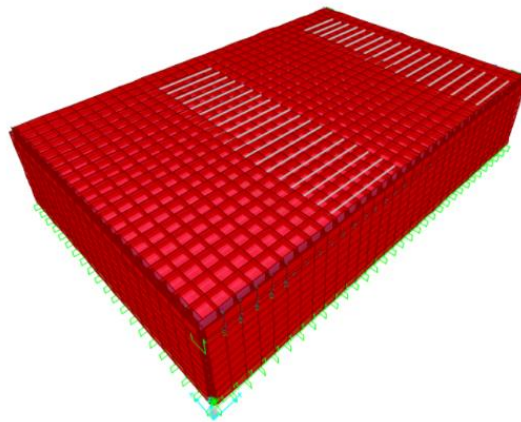
Tanque rectangular ubicado en el corregimiento El Centro, municipio de Barrancabermeja, departamento de Santander.



El tanque está construido en concreto de 3000 psi y acero grado 60; y sus dimensiones correspondían a una longitud (L) de 12.75 m, una base (B) de 8.50 m, una altura de las paredes del tanque (H_W) de 2.50 m, una altura de diseño del líquido (H_L) de 2.15 m, y un espesor (t_W) de 0.20 m. Con base en los pocos datos que se poseían, y suponiendo que las condiciones de la cimentación de la estructura no eran las óptimas, se concluyó que el tanque no satisfacía a cabalidad las especificaciones de diseño expuestas por la normativa vigente pudiendo presentar problemas estructurales graves. Se obtuvo un cortante basal de 634.815 kN por lo que la estructura debería tener una cimentación robusta para soportar esta carga. Además, el espesor de las paredes del tanque es insuficiente para la cantidad de litros de fluido que debe contener pudiendo fallar ante un evento sísmico.

Figura 4

Modelación en SAP2000 de un tanque rectangular ubicado en el corregimiento El Centro municipio de Barrancabermeja departamento de Santander.



3.2 Estudio de riesgo por inundación.

Según la Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación expedida por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM y el Centro Nacional de Modelación CNM (2017):

Durante los años 2010, 2011 y 2012 Colombia experimentó unas condiciones de inundación asociadas con la ocurrencia del evento La Niña. Este evento aceleró el proceso de promulgación de la Ley 1523 en el mes de abril de 2012, por la cual se adoptó la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se estableció el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en donde el IDEAM hace parte del Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, el cual es una instancia interinstitucional del sistema nacional que asesora y planifica la implementación permanente del proceso de conocimiento del riesgo.

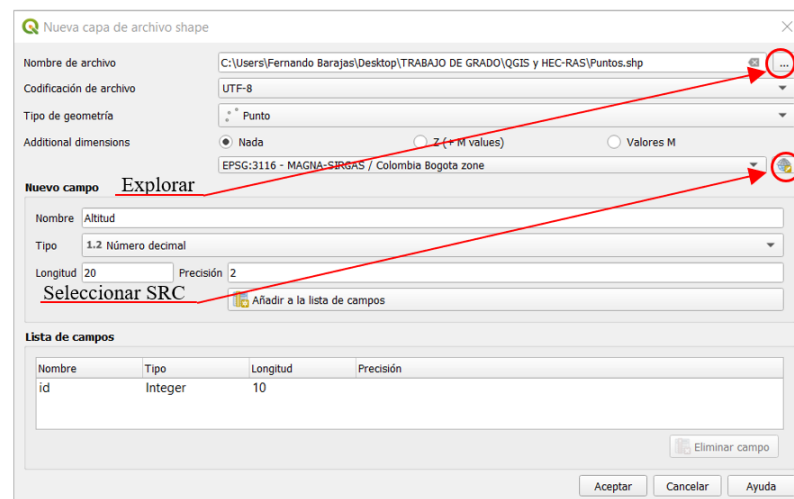
Uno de los objetivos con los que se promulgó la Ley 388 de 1997 fue establecer los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes (IDEAM, 2017, p.10). Para llevar a cabo este estudio fue necesaria la utilización de los softwares QGIS 3.12.3, y HEC-RAS 5.0.5. El riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012), en ese contexto se buscó explicar de forma sencilla cómo se modela el comportamiento de un canal natural determinando las zonas en las que se puede presentar amenaza hidrodinámica por inundación, teniendo como información base la topografía del terreno, y el curso y caudal de dicho cuerpo de agua.

3.2.1 Información topográfica en el software QGIS 3.12.3

Inicialmente, mediante el software QGIS 3.12.3 es posible realizar la modelación del relieve de la zona, para ello es necesario contar con la información suministrada por el grupo de topógrafos referente al levantamiento hecho en campo. Para este estudio en particular, dicha información fue idealizada, esto debido a que durante el transcurso de la práctica la empresa no realizó ningún proyecto de este tipo. Fue creada entonces una nube de puntos en el software QGIS 3.12.3 utilizando la herramienta “Nueva capa de archivo shape”, la cual abre la ventana mostrada en la Figura 5. A continuación se presenta cómo fue realizado este procedimiento.

Figura 5

Ventana "Nueva capa de archivo shape" en QGIS 3.12.3.

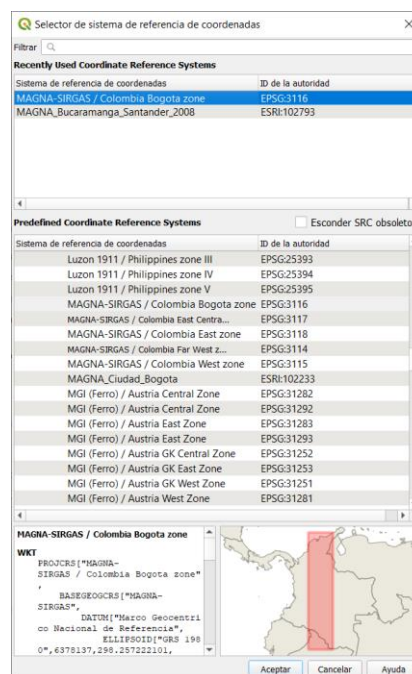


Pulsando en el botón “Explorar” (tres puntos), indicado en la Figura 5, se seleccionó el nombre y la ubicación del nuevo archivo shape, en “Tipo de geometría” se seleccionó “Punto”, pues es la geometría deseada para este caso, se asignó el Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) pulsando el botón “Seleccionar SRC” como se aprecia en la Figura 5, el cual abre la ventana denominada “Selector de sistema de referencia de coordenadas” mostrada en la Figura 6, para este

ejercicio se utilizó “MAGNA-SIRGAS/Colombia Bogota zone” la cual es recomendada para la franja central del territorio nacional incluyendo la zona de Santander (asumiendo que estos puntos idealizados pertenecen a un lugar ubicado en el departamento de Santander), posteriormente, en la ventana “Nueva capa de archivo shape” (Figura 5) se asignó un nuevo campo denominado “Altitud”, el cual debe ser de “Tipo” número decimal, de “Longitud” y “Precisión” equivalentes a 20 y 2 respectivamente, y se seleccionó “Añadir a la lista de campos”. Finalmente se seleccionó “Aceptar”.

Figura 6

Ventana "Selector de sistema de referencia de coordenadas" en QGIS 3.12.3.

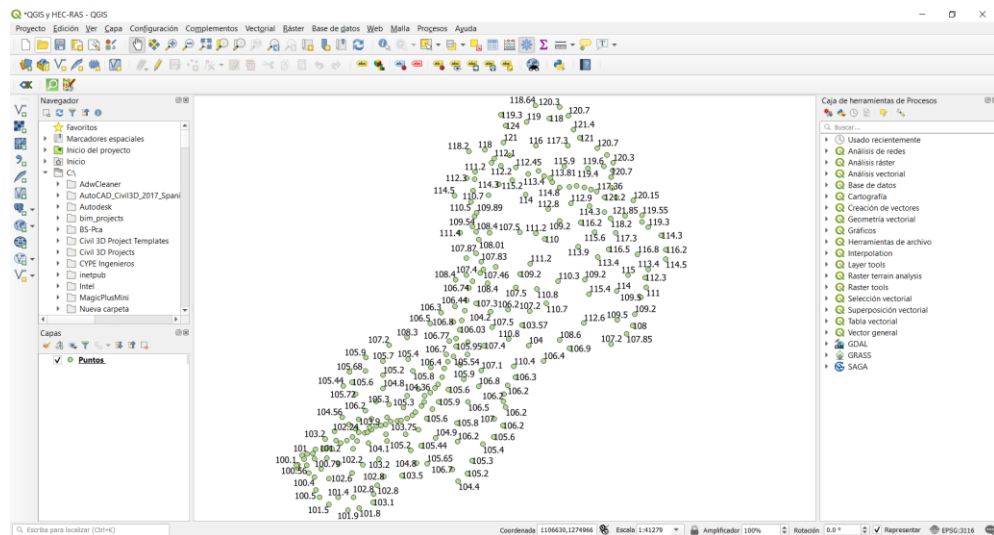


Se verificó la creación del nuevo archivo shape en la ventana “Capas”, el cual fue denominado “Puntos”. Se procedió a guardar el archivo dando clic en el botón “Proyecto” (ubicado en la parte superior izquierda de la pantalla) y posteriormente seleccionando “Guardar como...”. Para dibujar los puntos se seleccionó el botón “Conmutar edición” seguido de “Añadir punto”.

Luego se clicó sobre el área de trabajo. Con lo cual se abrió la ventana “Puntos – Atributos del objeto espacial” en la cual fueron definidos los atributos “Id” y “Altitud”, y finalmente se seleccionó “Aceptar”. Este procedimiento se repitió para cada uno de los puntos. Al haber finalizado el dibujo de la nube de puntos, se debe observar de manera similar a lo mostrado a continuación.

Figura 7

Nube de puntos creada en el software QGIS 3.12.3.



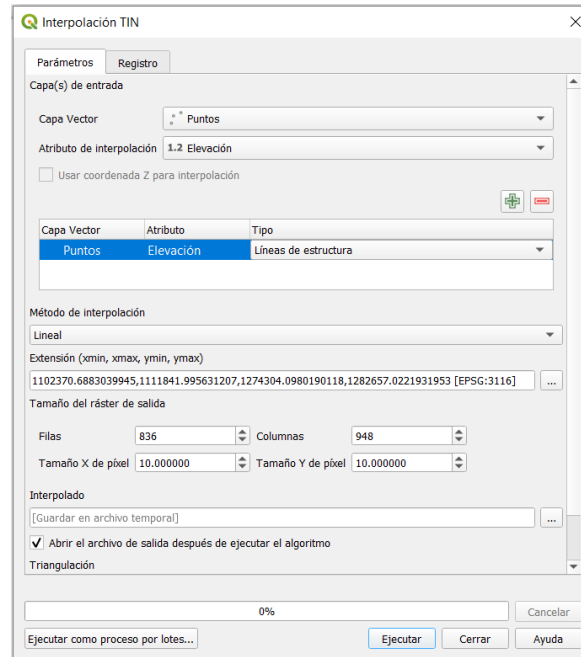
3.2.2 Superficie TIN en el software QGIS 3.12.3

El software QGIS 3.12.3 ofrece la posibilidad de realizar una interpolación tipo TIN de los puntos topográficos con el fin de crear una superficie, la cual es exportada posteriormente al software HEC-RAS 5.0.5 con el fin de efectuar el estudio de inundación mediante la modelación del comportamiento del cuerpo de agua. Esto, implementando la herramienta “Interpolación TIN” ubicada en la “Caja de herramientas de Procesos” (si no se encuentra habilitada esta, se debe

seleccionar la opción “Procesos” ubicada en la “Barra de Herramientas” y luego “Caja de herramientas de Procesos”), de la que se despliega una ventana con el mismo nombre (Figura 8).

Figura 8

Ventana "Interpolación TIN" en QGIS 3.12.3.

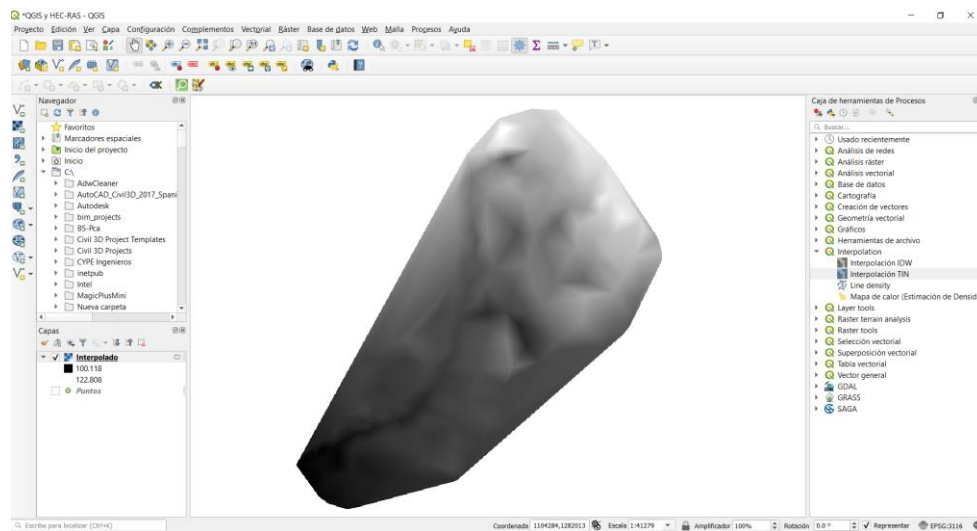


A continuación, se presenta cómo debió ser ingresada la información en la ventana “Interpolación TIN”. En la “Capa Vector” seleccionó el shape creado, denominado “Puntos”, en “Atributo de Interpolación” el atributo asignado al shape, denominado “Elevación”, luego se clicó en la opción “Capas de Entrada” (signo más) y en “Tipo” se seleccionó “Líneas de Estructura”, en “Método de Interpolación” se seleccionó “Lineal”, en “Extensión” (tres puntos) “Seleccionar extensión sobre el lienzo” y se dibujó sobre el área de trabajo una figura que contuviera todos los puntos, y en “Tamaño X de píxel” (que se correlaciona con el “Tamaño Y de píxel”, con las “Filas” y con las “Columnas”) se seleccionó un tamaño cercano a 10 (Figura 9) que garantizara que la interpolación tendría la suficiente resolución sin que esta generara un archivo

demasiado pesado (si para este campo se hubiera escogido un valor muy pequeño como 1 el programa se demoraría mucho más tiempo en generar el archivo ya que éste sería muy pesado, en cambio, si se hubiera escogido un valor demasiado alto, por ejemplo 300, se generaría un archivo TIN muy pixelado). Finalmente se dio clic “Ejecutar”.

Figura 9

Interpolación TIN en QGIS 3.12.3.

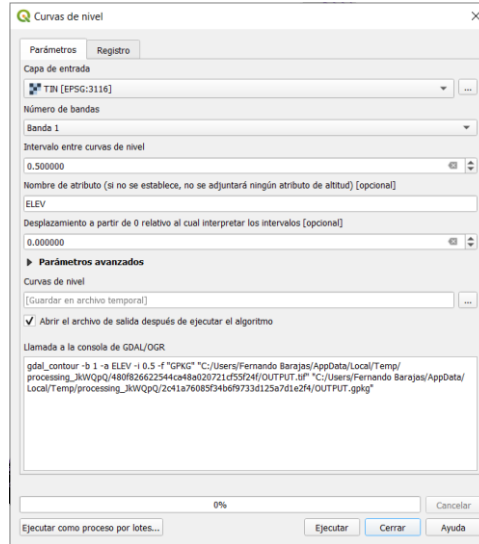


3.2.3 Curvas de nivel en el software QGIS 3.12.3

Es posible también generar curvas de nivel en el software QGIS 3.12.3 a partir de la “Interpolación TIN” creada anteriormente, para ello se seleccionó la herramienta “Ráster” ubicada en la “Barra de herramientas”, seguidamente se seleccionó “Extracción” y a continuación “Curvas de nivel”, lo que despliega una ventana de mismo nombre (Figura 10), en la opción “Capa de entrada” de esta ventana se seleccionó la interpolación TIN creada anteriormente, y en “Intervalo entre curvas de nivel” el valor que más convenga al usuario (para este caso fue seleccionado 0.5 m).

Figura 10

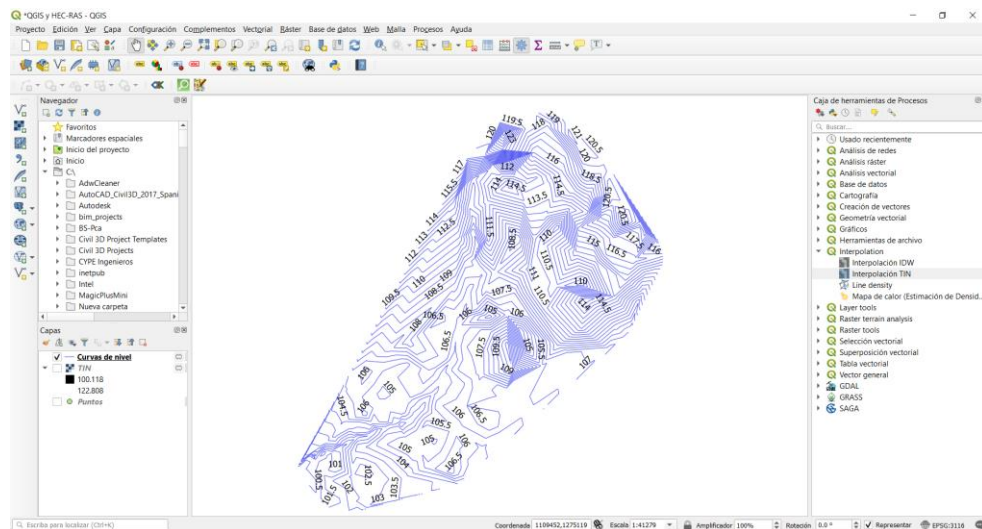
Ventana "Curvas de Nivel" en QGIS 3.12.3.



Se generan las curvas de nivel como se muestra a continuación.

Figura 11

Curvas de nivel en QGIS 3.12.3.



Los archivos shapes creados anteriormente son archivos temporales, para que permanezcan en el proyecto es necesario guardarlos dando clic derecho sobre cada uno de ellos y seleccionando

la opción “Exportar”, seguida de “Guardar objetos como...” o “Guardar como...” en el caso de la superficie TIN. Para concluir el trabajo en QGIS 3.12.3 se guarda el proyecto, esto se puede hacer con la combinación (Ctrl+G), y se debe verificar esta acción en la parte inferior de la pantalla.

3.2.4 Análisis Hidrológico

Este análisis fue basado en la información anteriormente expuesta en el software QGIS 3.12.3, de la cual se extrajeron datos morfométricos como el área de la cuenca (A) en [km²], la longitud del cauce (L) en [km], la diferencia entre cotas máxima y mínima (H) en [m], su pendiente (S) en [%], el tiempo de concentración (Tc) en [min], la longitud axial (La) en [km], y el factor de forma de Horton (Rf) que es adimensional. Este procedimiento se explica de forma detallada en las secciones 3.3.2 y 3.3.3. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1

Datos morfométricos de la cuenca, estudios de riesgo por inundación.

A [km ²]	L [km]	H [m]	S [%]	Tc [min]	La [km]	Rf
18,54	9,43	23,00	0,24	282,28	7,43	0,34

Según el factor de forma de Horton esta cuenca es ligeramente alargada.

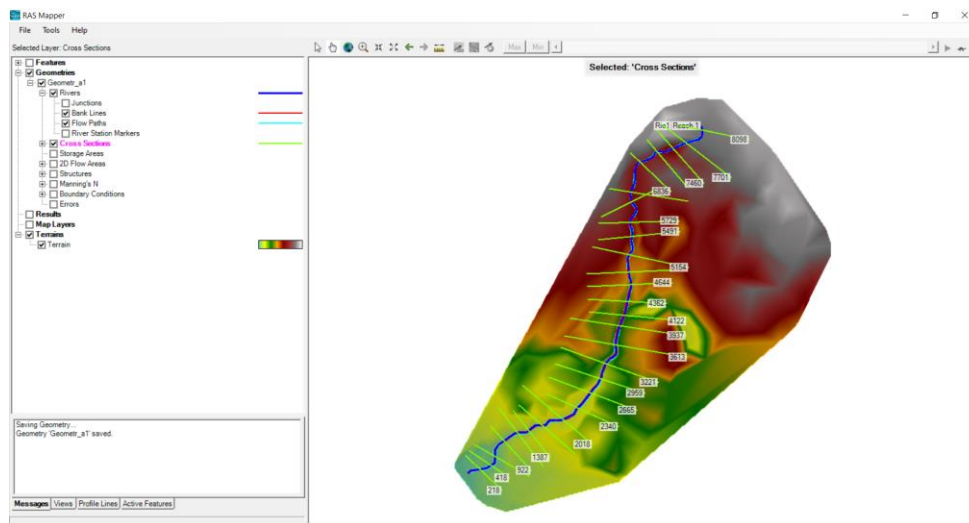
3.2.5 Análisis Hidráulico

Implementando el software HEC-RAS 5.0.5 es posible llevar a cabo el estudio del comportamiento hidráulico que tendrá este canal natural en su paso por la superficie anteriormente creada. Inicialmente se abrió un nuevo proyecto seleccionando la opción “File”, seguido de “New Project...”, se asignó la ubicación deseada y se nombró, luego se cliqueó en “OK”. Se procedió a seleccionar la opción “Open RAS Mapper to view maps and data spatially” con el fin de importar

la superficie creada en QGIS 3.12.3, se desplegó una nueva ventana llamada “RAS Mapper” en la cual se le cliqueó con el botón derecho del mouse la opción “Terrains” y luego “Create a New RAS Terrain”, se abrió la ventana “New Terrain Layer”, en esta se cargó el archivo creado anteriormente, y se seleccionó “Create”. En la opción “Geometries” que aparece en la ventana “RAS Mapper” se dio clic derecho y se seleccionó la opción “Add New Geometry”, luego se ingresó el nombre deseado para la nueva geometría. De las opciones desplegadas con base a la geometría creada se debió dar clic derecho en “River”, y a continuación seleccionar la opción “Edit Geometry (BETA)”, luego se dibujó el cuerpo de agua sobre el “RAS Mapper” en dirección aguas abajo, de igual manera se procedió con “Bank Lines” y “Flow Paths”, las cuales se deben dibujar a lado y lado del “River. Se generaron las secciones transversales seleccionando la opción “Cross Sections”, estas se deben dibujar en dirección aguas abajo y en sentido derecha a izquierda con relación al flujo, como se observa en la Figura 12. Finalmente se guardó y se cerró esta ventana.

Figura 12

Canal natural en HEC-RAS 5.0.5.

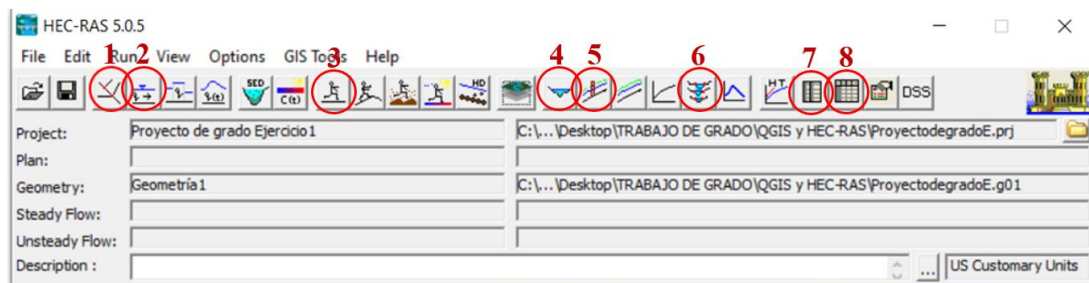


Se verificó que el sistema de unidades en el que se estaba trabajando fuera el adecuado, este ejercicio se realizó en unidades del Sistema Internacional, para ello se debió dar clic en “Options”, a continuación, en “Unit system (US Customary/SI) ...”, y posteriormente escoger “System International (Metric System)”.

Con el fin de presentar algunas herramientas del software HEC-RAS 5.0.5, en la su ventana principal, expuesta en la Figura 13, ha sido señalado un conjunto de estas, a cada una de las cuales le ha sido asignado un número para facilitar su descripción.

Figura 13

Ventana principal de HEC-RAS 5.0.5.



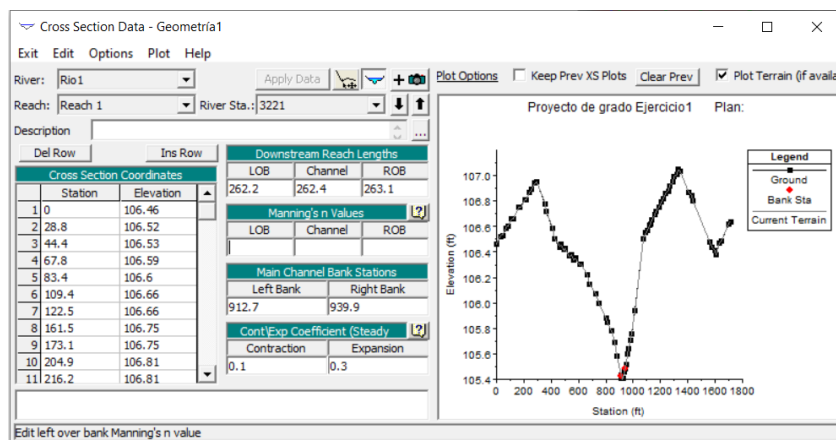
1. View/Edit geometric data: con la cual es posible ver y editar los datos geométricos del canal.
2. View/Edit steady flow data: con la cual es posible ver y editar los datos de flujo estable.
3. Perform a steady flow simulation: con la cual se puede realizar una simulación de tipo estable.
4. View cross sections: con la cual se pueden ver las secciones del canal.
5. View profiles: con la cual se pueden ver los perfiles del canal.
6. View 3D multiple cross section plot: con la cual se pueden ver las múltiples secciones transversales en imagen 3D.

7. View detailed output at XS, Culverts, Bridges, Weirs, etc...: con la cual se pueden ver mediante tablas los detalles del canal como alcantarillas, puentes, vertederos, entre otros.
8. View summary output tables by profile: con la cual se puede ver el resumen de tablas de salida por perfil.

Para editar la geometría se debe abrir la ventana “Geometric Data”, en la cual se pueden visualizar las secciones dando clic a la opción “Cross Section”. Se abre la ventana “Cross Section Data” (Figura 14), la cual contiene información concerniente a cada una de las secciones del canal que han sido creadas, a excepción del número de Manning, el cual debe ser introducido manualmente. En cuanto a Left Over Bank (LOB) y Right Over Bank (ROB) se refieren a los bancos izquierdo y derecho del cauce, respectivamente.

Figura 14

Ventana "Cross Section Data".



Para este ejercicio fueron introducidos valores de Manning correspondientes a 0.032 para los bancos izquierdo y derecho del cauce y 0.030 para el centro del canal, ya que según la Tabla “Valores del coeficiente de rugosidad n” de French (2011), la cual se observa en la Figura 15, para cursos naturales, menores (ancho superior al nivel de crecida < 100 ft), de características limpio,

recto, nivel lleno o sin fallas o pozos profundos, su número de Manning varía entre 0.025 y 0.035, siendo 0.030 el valor normal.

Figura 15

Valores del número de Manning.

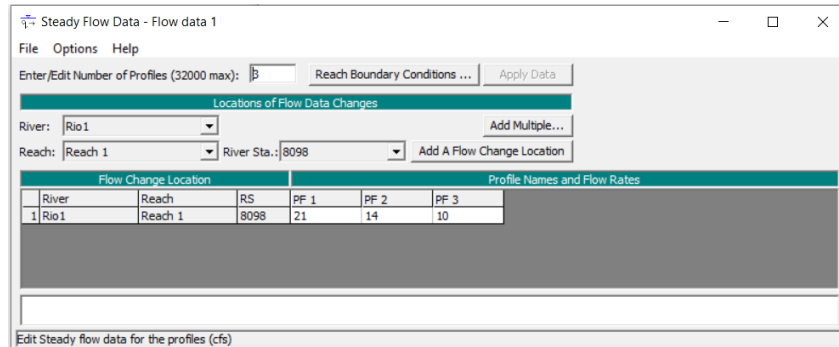
D. Cursos naturales			
D-1. Cursos menores (ancho superior al nivel de crecida <100 ft).			
a. Cursos en planicie			
1. Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual que arriba, pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4. Igual que arriba, pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual que arriba, nivel inferiores, más pendiente y sección inefectivas.	0.040	0.048	0.055

Nota: Tomado de *Hidráulica de Canales Abiertos* (p. 130) por French, 2011.

Una vez creadas las secciones es posible continuar con el ingreso de los datos referentes al flujo de este canal natural, para esto se debe dar clic en la opción “View/Edit steady flow data” mostrada en la Figura 13, la cual abre la ventana denominada “Steady Flow Data” la cual se observa en la Figura 16. Una vez abierta esta ventana se puede introducir el valor del caudal, para este ejercicio se introdujeron los valores correspondientes a tres caudales diferentes: 21, 14 y 10 [m^3/s]. Seleccionando la opción “Reach Boundary Conditions...” de la ventana “Steady Flow Data” mostrada en la Figura 16 es posible acceder a la ventana “Steady Flow Boundary Conditions” mostrada en la Figura 17.

Figura 16

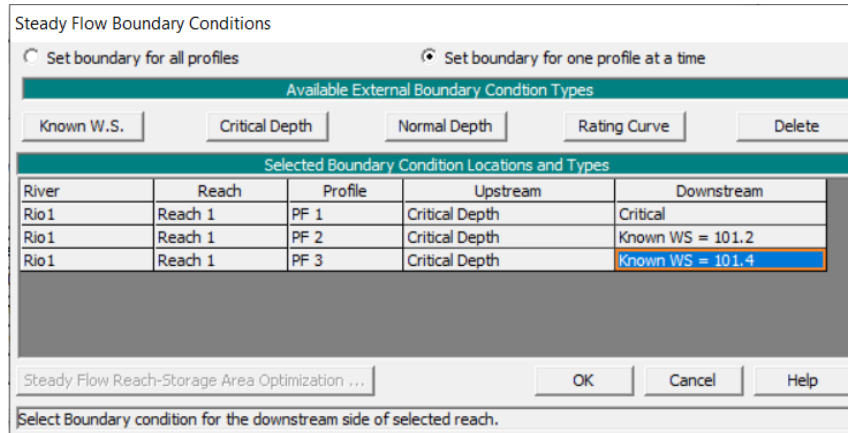
Ventana "Steady Flow Data" en HEC-RAS 5.0.5.



En la esta ventana se puede definir una condición de flujo aguas arriba y aguas abajo para cada uno de los caudales presentes en el canal, y existen cuatro opciones para hacerlo. La opción “Known W.S.”, en la que W.S. significa Water Surface y hace referencia al nivel del agua, para usar esta condición perimetral el usuario debe conocer el nivel del agua en cada uno de los perfiles que serán computados; la opción “Critical Depth”, cuando este tipo de condición perimetral es seleccionada, el usuario no requiere ingresar ninguna información adicional, el programa calculará la profundidad crítica para cada uno de los perfiles y las usará como las condiciones perimetrales; la opción “Normal Depth” para esta condición perimetral el usuario requiere ingresar una pendiente de energía que será usada en los cálculos de la profundidad normal (ecuación de Manning) en la ubicación, una profundidad normal será calculada para cada perfil basada en la pendiente introducida por el usuario, si la pendiente de energía es desconocida, el usuario podrá aproximarla ingresando ya sea la pendiente de la superficie de agua o la pendiente de la parte inferior del canal; y por último, la opción “Rating Curve”, cuando este tipo de condición perimetral es seleccionada, aparece una ventana emergente que permite al usuario ingresar una elevación versus una curva de índice de flujo. Para cada perfil, la elevación es interpolada dando el flujo para cada curva índice (Brunner, 2016).

Figura 17

Ventana "Steady Flow Boundary Conditions" en HEC-RAS 5.0.5.

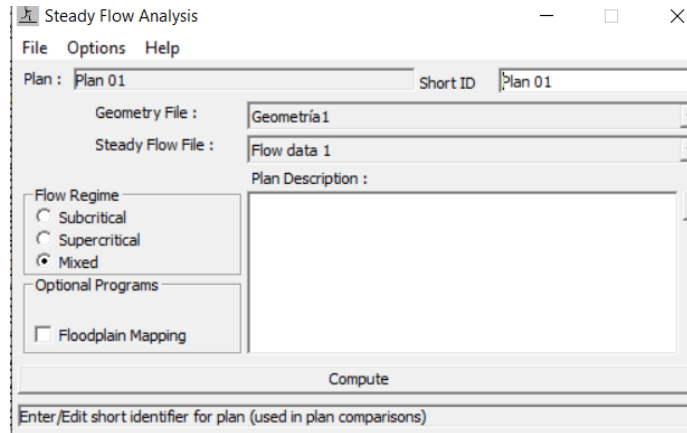


Para este ejercicio fueron creadas diferentes condiciones de flujo como se observa en la Figura 17. Finalmente se selecciona “OK” en la ventana “Steady Flow Boundary Conditions” y se guardan cambios en la ventana “Steady Flow Data”.

En la ventana principal de HEC-RAS 5.0.5, mostrada en la Figura 13 es posible seleccionar la tercera opción “Perform a steady flow simulation”, en la que como ya se mencionó se puede realizar una simulación de tipo estable, se abre la ventana llamada “Steady Flow Analysis” (Figura 18), en esta se seleccionó un régimen de flujo mixto con el fin de no condicionar el comportamiento del fluido a un régimen subcrítico o supercrítico. Se da clic en “Compute” para realizar el cálculo computacional, se guardan los cambios y se cierra la ventana.

Figura 18

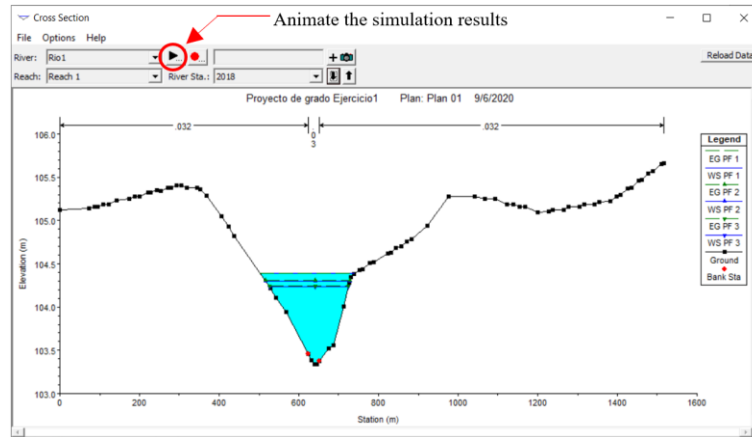
Ventana "Steady Flow Analysis" en HEC-RAS 5.0.5.



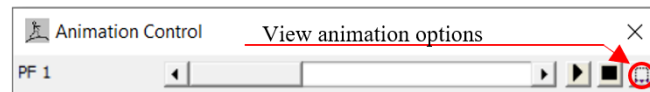
En la ventana principal de HEC-RAS 5.0.5, mostrada en la Figura 13 se puede seleccionar la cuarta opción, denominada "View cross sections" en la que como ya se mencionó es posible observar las secciones del canal, se abre una ventana llamada "Cross Section" (mostrada en la Figura 19), en esta se puede seleccionar la sección del canal que se desea visualizar y observa en la leyenda, la discretización entre el comportamiento del flujo con cada uno de los tres caudales creados. Además, es posible observar una secuencia del comportamiento variando los caudales de los que se hizo mención y las condiciones asignadas a cada uno, esto dando clic en la opción "Animate the simulation results", la cual abre la ventana "Animation Control" (Figura 20) y es posible configurar también la velocidad dando clic en la opción "View animation options" indicada en la Figura 20.

Figura 19

Ventana "Cross Section" en HEC-RAS 5.0.5.

**Figura 20**

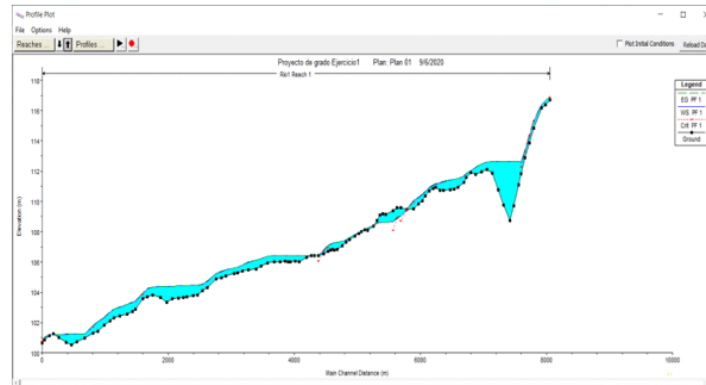
Ventana "Animation Control" en HEC-RAS 5.0.5.



En la ventana principal de HEC-RAS 5.0.5, mostrada en la Figura 13 se puede seleccionar la quinta opción, denominada "View profiles", en esta, como ya se mencionó es posible observar los perfiles del canal, se abre una ventana llamada "Profile Plot" (mostrada en la Figura 21), en la que de forma similar a las secciones transversales puede visualizarse el comportamiento del flujo para los diferentes caudales y las condiciones de flujo estable asignadas a los mismos.

Figura 21

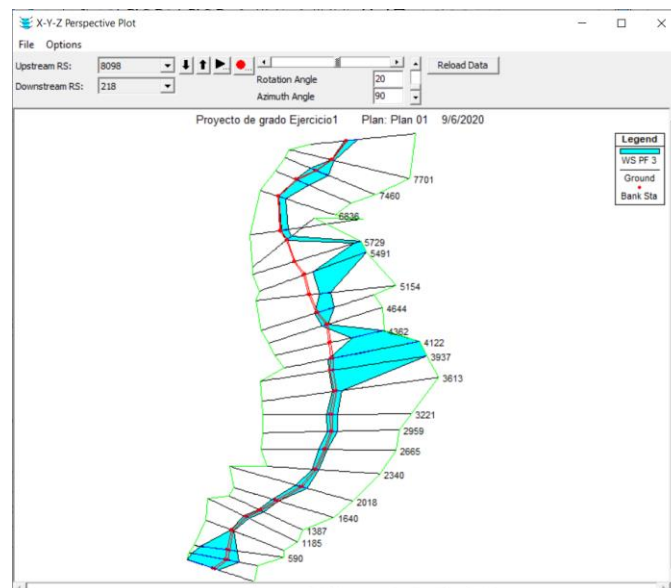
Ventanas "Profile Plot" para cada uno de los canales creados en HEC-RAS 5.0.5.



En la ventana principal de HEC-RAS 5.0.5, mostrada en la Figura 13 es posible seleccionar la sexta opción, llamada "View 3D multiple cross section plot" que abre una ventana llamada "X-Y-Z Perspective Plot" (mostrada en la Figura 22), en la que como ya se mencionó se pueden ver las múltiples secciones transversales en imagen 3D.

Figura 22

Ventana "X-Y-Z Perspective Plot" en HEC-RAS 5.0.5.



En la ventana principal de HEC-RAS 5.0.5, mostrada en la Figura 13 es posible seleccionar la séptima opción “View detailed output at XS, Culverts, Bridges, Weirs, etc...” que abre una ventana llamada “Cross Section Output” (Figura 23), en la que como ya se mencionó se pueden conocer mediante tablas los detalles del canal como alcantarillas, puentes, vertederos, entre otros. Como aprecia en la Figura 23, se está ejecutando sólo para los valores del caudal 3 (PF 3) equivalente a $10 [m^3/s]$ y la sección transversal 8098.

Figura 23

Ventana "Cross Section Output" en HEC-RAS 5.0.5.

Plan: Plan 01 Rio1 Reach 1 RS: 8098 Profile: PF 1					
Element	Left OB	Channel	Right OB		
E.G. Elev (ft)	116.90				
Vel Head (ft)	0.01	0.032	0.030	0.032	
W.S. Elev (ft)	116.89	399.00	397.20	394.20	
Crit W.S. (ft)	116.82	20.67	1.53	3.04	
E.G. Slope (ft/ft)	0.004753	20.67	1.53	3.04	
Q Total (cfs)	21.00	17.37	1.70	1.93	
Top Width (ft)	196.30	153.65	8.30	34.35	
Vel Total (ft/s)	0.83	0.84	1.11	0.64	
Max Chl Dpth (ft)	0.24	0.13	0.18	0.09	
Conv. Total (cfs)	304.6	251.9	24.6	28.0	
Length Wtd. (ft)	398.50	153.65	8.30	34.35	
Min Ch El (ft)	116.69	0.04	0.05	0.03	
Alpha	1.04	0.03	0.06	0.02	
Frictn Loss (ft)	3.59	9.11	1.20	2.33	
C & E Loss (ft)	0.01	20.87	3.10	8.43	

En la ventana principal de HEC-RAS 5.0.5, mostrada en la Figura 13 es posible seleccionar la octava opción, denominada “View summary output tables by profile” que despliega una ventana llamada “Profile Output Table” (Figura 24), en la que como ya se mencionó se puede ver el resumen de tablas de salida por perfil. Como se observa en la Figura 24, se está analizando sólo el último caudal creado, equivalente a $10 [m^3/s]$, esto se puede modificar dando clic en “Options” seguido de “Profiles” donde se abrirá una ventana denominada “Select Profiles” en la que se podrá escoger a conveniencia del usuario los tipos de caudales a ser visualizados, de forma similar pueden ser modificados el plan y el afluente.

Figura 24

Ventana "Profile Output Table" en HEC-RAS 5.0.5.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (cfs)	Min Ch El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)	Top Width (ft)	Froude # Chl
Reach 1	8098	PF 3	10.00	116.69	116.83	116.77	116.84	0.004755	0.87	14.98	163.31	0.43
Reach 1	7701	PF 3	10.00	112.88	113.07	113.07	113.15	0.024989	1.86	4.51	28.40	0.96
Reach 1	7460	PF 3	10.00	108.75	112.15	109.08	112.15	0.000000	0.04	413.24	240.24	0.00
Reach 1	7182	PF 3	10.00	111.88	112.15		112.15	0.000467	0.28	31.22	173.93	0.14
Reach 1	6836	PF 3	10.00	111.90	111.90		111.91	0.001226	0.03	17.42	83.21	0.11
Reach 1	6282	PF 3	10.00	110.94	110.90		110.91	0.003045		12.94	78.06	0.00
Reach 1	6118	PF 3	10.00	110.34	110.54	110.41	110.55	0.001832	0.47	15.60	88.45	0.26
Reach 1	5729	PF 3	10.00	109.59	108.56	108.56	108.60	0.036935		6.08	76.84	0.00
Reach 1	5491	PF 3	10.00	109.16	108.25	107.86	108.25	0.000232		31.20	114.45	0.00
Reach 1	5154	PF 3	10.00	108.13	107.99		108.00	0.014114		10.06	131.57	0.00
Reach 1	4863	PF 3	10.00	107.31	107.43		107.44	0.000724	0.33	30.76	239.94	0.17
Reach 1	4644	PF 3	10.00	106.82	106.91	106.91	106.96	0.030682	1.20	5.88	66.33	0.93
Reach 1	4362	PF 3	10.00	106.44	106.25	105.32	106.25	0.000002		204.80	362.88	0.00
Reach 1	4122	PF 3	10.00	106.00	106.25		106.25	0.000000	0.01	470.17	732.67	0.00
Reach 1	3937	PF 3	10.00	106.03	106.25		106.25	0.000021	0.06	63.02	152.57	0.03
Reach 1	3613	PF 3	10.00	105.94	106.22		106.23	0.002049	0.75	15.73	108.38	0.30
Reach 1	3221	PF 3	10.00	105.41	105.72		105.72	0.000897	0.64	21.14	124.14	0.21
Reach 1	2959	PF 3	10.00	105.06	105.28		105.29	0.003924	1.02	13.22	113.56	0.41
Reach 1	2665	PF 3	10.00	104.32	104.63		104.64	0.001418	0.66	16.97	95.10	0.25
Reach 1	2340	PF 3	10.00	103.69	103.98		103.99	0.002954	1.01	12.63	85.68	0.37
Reach 1	2018	PF 3	10.00	103.34	103.90		103.90	0.000086	0.30	44.46	133.93	0.07
Reach 1	1640	PF 3	10.00	103.58	103.77		103.80	0.011125	1.18	7.97	64.25	0.63
Reach 1	1387	PF 3	10.00	102.57	102.97		102.98	0.001509	0.96	13.05	59.26	0.28
Reach 1	1185	PF 3	10.00	102.30	102.67		102.68	0.001417	0.87	14.92	75.18	0.27
Reach 1	922	PF 3	10.00	101.44	101.69	101.69	101.76	0.018833	2.18	5.20	41.44	0.90
Reach 1	590	PF 3	10.00	100.72	101.40	100.59	101.40	0.000002	0.05	228.52	426.08	0.01
Reach 1	418	PF 3	10.00	100.70	101.40		101.40	0.000004	0.07	206.36	533.36	0.02
Reach 1	218	PF 3	10.00	101.24	101.40	100.79	101.40	0.000006	0.03	152.86	395.85	0.02

3.3 Proyecto de Obras de drenaje vial.

Se está llevando a cabo por la empresa el proyecto denominado “Estudios y diseños para la pavimentación de la vía “25cc12 Timbio – Paispamba – San Pedro - Crucero El Llano – Cruce ruta 25cc15 a La Sierra” tramo pr59+097 al pr61+098, departamento del Cauca”, para el cual fueron utilizados los softwares QGIS 3.12.3, HEC-RAS 5.0.5, HEC-HMS 4.4, e Hidroesta 2. Este proyecto consiste en la realización de estudio sobre hidrología, hidráulica y socavación. Se pretende localizar y dimensionar las obras de drenaje mayores y menores (puentes, pontones, alcantarillas, cunetas, etc.), para lo cual se debe determinar cualitativa y cuantitativamente la cantidad de agua superficial y sub- superficial del área de influencia directa e indirecta del

proyecto. Entre sus alcances se contempla actualizar el estudio hidrológico de acuerdo con los registros de las estaciones hidrometeorológicas existentes en el área del proyecto para los últimos años, revisar la capacidad hidráulica de las obras de drenaje utilizando los caudales definidos en la revisión del estudio hidrológico, determinar la localización de las obras de drenaje, como resultado del análisis de las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidráulicas y de diseño geométrico. Para esto ha sido necesario el apoyo en el Manual de Drenaje para Carreteras emitido por el Instituto Nacional de Vías en el año 2009, el cual se ha concebido como una guía para uso en el análisis hidrológico de las cuencas y áreas aferentes al corredor vial y en el diseño hidráulico de las estructuras componentes del sistema de drenaje superficial y subsuperficial.

Figura 25

Ubicación del proyecto de diseño de obras de drenaje vial en el departamento del Cauca.



3.3.1 Primera Fase indicada por el Manual de Drenaje para Carreteras

Esta consiste en la prefactibilidad del proyecto, se indican entre otras cosas la importancia de obtener la cartografía IGAC de la zona, a escala 1:100,000 y/o 1:25,000, e identificar en ella las cuencas de las corrientes de tipo perenne (y/o identificables en los planos a escala 1:25,000 o a mayor escala si los hubiere) que sean atravesadas por cada corredor vial en estudio (Manual de Drenaje para Carreteras, 2009). En el geoportal “Datos abiertos” de la plataforma IGAC – Instituto

Geográfico Agustín Codazzi, es posible descargar la información anteriormente mencionada (IGAC s.f).

Figura 26

IGAC Datos abiertos, Subdirección de Cartografía y Geografía.

Cartografía Básica

Descarga Información Integrada

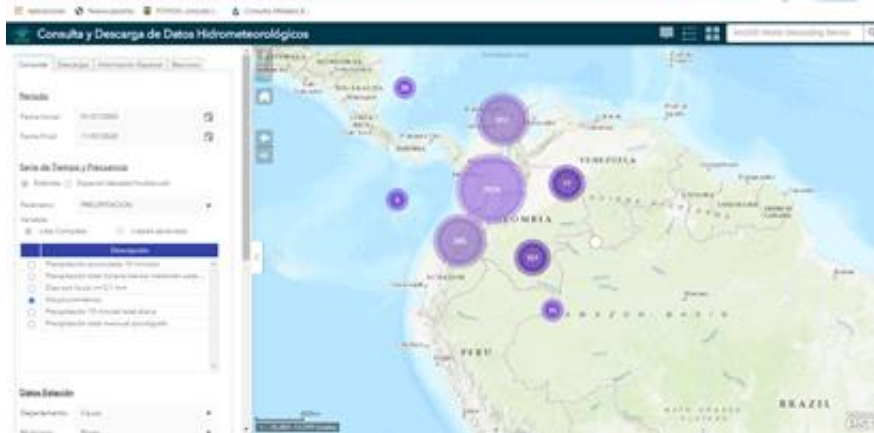
Conjunto de datos	Shapefile	File Geodatabase	PostGis	GeoPackage	Geoservicios	Históricos	Metadato
Cartografía Base Escala 1:500.000							
Cartografía Base Escala 1:100.000							
Cartografía Base Escala 1:25.000							
Cartografía Básica escala 1:10.000 (Cubrimiento Cundinamarca)							
Cartografía Básica escala 1:2000 (Soacha, Bamanquilla)							

El Manual de Drenaje para Carreteras recomienda, además, en esta primera fase del proyecto, identificar y recopilar la información de las estaciones climatológicas e hidrométricas del área aferente a cada corredor vial, operadas por el IDEAM o por entidades gubernamentales o privadas. Para lo cual en la plataforma del IDEAM se debe seleccionar la opción “Solicitud de Información” contenida en el recuadro “OTROS SERVICIOS”, con lo que se despliega otra ventana en el buscador, en esta se debe dar clic en la opción “Catálogo Shape del IDEAM” del bloque de ayuda, allí se puede consultar de estas la información necesaria para el proyecto como su posición geográfica, estado de actividad, altitud, latitud y longitud (IDEAM, 2014).

También, en la plataforma del IDEAM es posible obtener los datos hidrometeorológicos de las estaciones relevantes para el proyecto en “Consulta y Descarga Datos Hidrometeorológicos”, donde se debe completar la información como se observa a continuación.

Figura 27

Consulta de datos hidrometeorológicos del IDEAM.



3.3.2 Segunda Fase indicada por el Manual de Drenaje para Carreteras

En la fase 2, denominada Factibilidad es necesario entre otras cosas analizar a nivel de detalle el patrón de drenaje, el número de cauces y ponederos. Se debe también, definir las características de las cuencas, estableciendo con precisión los límites y el tamaño del área aferente de cada una, las áreas de drenaje, la pendiente del curso de agua más importante y la pendiente media de cada cuenca y demás características geométricas de las mismas, el uso actual y previsto de la tierra, e identificar los tipos de suelos y su clasificación. Para ello, mediante el software QGIS se delimitaron las cuencas con base en la información obtenida en las plataformas oficiales del IDEAM y el IGAC referentes a drenajes (sencillos y dobles), curvas de nivel, y posición geográfica de la vía. Como la información descargada en formato shape es concerniente a todo el país es recomendable eliminar la información irrelevante mediante un corte, para esto en primera instancia se debe delimitar un área de trabajo (en este proyecto se generó un círculo de 60 km de diámetro), se procedió a cortar con este los archivos shape de drenajes, curvas de nivel, curva número y estaciones; para ello se debió dar clic en la herramienta “Vectorial”, luego “Herramientas de

geoproceso” y “Cortar...”, al abrirse la ventana “Cortar”, dentro de la pestaña “Parámetros” se seleccionó en “Capa de entrada” los archivos shape a cortar, y en “Capa de superposición” el círculo creado. Es posible cambiar el nombre de las capas dando clic derecho sobre ellas, seguido de la opción “Cambiar nombre de la capa”.

Para determinar el área de cada cuenca es necesario abrir la tabla de atributos dando clic derecho en la capa “Cuencas” y posteriormente en “Abrir tabla de atributos”, ya en la nueva ventana, se debe dar clic en la opción “Conmutar el modo edición”, seguido de “Abrir calculadora de campos”. En esta se debe escribir el nombre del nuevo atributo en la opción “Nombre del campo de salida”, inicialmente será “Área [km^2]”, seleccionando en “Tipo de campo de salida” la opción “Número decimal (real)”, en “Longitud del campo de salida” dejar 10 y en “Precisión” 3, en el cuadro de búsqueda se escribe área y se selecciona la opción “\$area” después se escribe “/1000000” en el cuadro de “Expresión” con el fin de cambiar las unidades (de m^2 a km^2), finalmente se da clic en “Aceptar”. Se creó en la tabla de atributos este nuevo campo, el cual contiene los valores de área [km^2] correspondientes a cada cuenca. A continuación, se presenta el área de la cuenca 41, la cual es objeto de estudio y detalla el procedimiento que se debe realizar con cada una de las cuencas involucradas.

$$A = 13.183 [km^2]$$

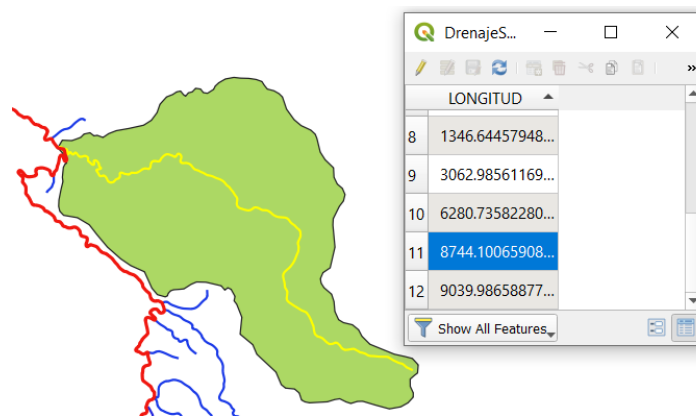
Se debió realizar el cálculo de la longitud del cauce principal de cada cuenca “L”, para ello se compararon los diferentes tramos de drenaje en busca de conocer el de mayor albergadura y su correspondiente valor. Con el fin de comparar los diferentes tramos se modificaron los drenajes cortándolos y uniéndolos a conveniencia, para lo cual se debió dar clic derecho en el archivo shape correspondiente al drenaje ubicado en el cuadro “Capas”, y luego seleccionar “Abrir tabla de atributos”, ya en esta nueva ventana se debió seleccionar “Conmutar el modo edición”, fue

necesario seleccionar los tramos del drenaje que no correspondían al cauce principal y después seleccionar la opción “Borrar objetos seleccionados”. Se usaron algunas herramientas de “Digitalización avanzada” para dividir y unir los diferentes tramos del canal a conveniencia buscando generar un solo elemento que representara el tramo más largo del mismo, si esta opción no estuviese activa sería necesario dar clic derecho en cualquier espacio en blanco de la barra de herramientas y luego activarla dando clic en el recuadro de la opción “Digitalización avanzada”, una vez activa aparecería una serie de nuevas herramientas como “Dividir partes” y “Combinar objetos espaciales seleccionados” con las que es posible conocer el cauce principal de cada cuenca.

Para hallar el valor longitudinal de dicho cauce principal se procede de forma similar a la anteriormente expuesta para el área, esta vez realizando el procedimiento para la capa de drenajes y seleccionando como atributo de análisis “\$length”.

Figura 28

Longitud cauce principal cuenca 41.



$$L = 8744.10 [m] = 8.744 [km]$$

Según los datos topográficos esta cuenca posee una cota máxima de 3080 m.s.n.m. y una cota mínima de 2140 m.s.n.m., por ende, H es equivalente a:

$$H = Cota_{m\acute{a}x.} - Cota_{m\acute{i}n.} \quad (1)$$

$$H = 3080 - 2140 = 940 [m]$$

Y, la pendiente S a:

$$S = H/L \quad (2)$$

$$S = \frac{940 [m]}{8744.10 [m]} = 0.1075 [m/m]$$

$$S = 10.75 \%$$

3.3.3 Cálculo del Tiempo de Concentración (T_c)

Estos datos morfométricos son necesarios para conocer el tiempo de concentración y posteriormente su caudal mediante la implementación del software HEC-HMS. El tiempo de concentración es definido por el Manual de Drenaje para Carreteras como el tiempo necesario desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de esta. En general, el tiempo de concentración se calcula por medio de ecuaciones empíricas, dentro de las cuales se cuentan las siguientes:

1) Ecuación de Kirpich

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \quad (3)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración, en horas [h].

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros [km].

S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metros por metro [m/m].

$$T_c = 0.06628 \left(\frac{8.744}{0.1075^{0.5}} \right)^{0.77}$$

$$T_c = 0.831 [h]$$

2) Ecuación de Témez

$$T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (4)$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración, en horas [h].

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros [km].

S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje [%].

$$T_c = 0.30 \left(\frac{8.744}{10.75^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$T_c = 0.993 [h]$$

3) Ecuación de Giandotti

$$T_c = \frac{4A^{0.5} + 1.50L}{25.3 (L S)^{0.5}} \quad (5)$$

Donde:

T_c: Tiempo de concentración, en horas [h].

A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados [km²].

L: Longitud del cauce principal, en kilómetros [km].

S: Pendiente del cauce principal, en metros por metro [m/m].

$$T_c = \frac{(4)(13.182)^{0.5} + (1.50)(8.744)}{25.3 [(8.744) (0.1075)]^{0.5}}$$

$$T_c = 1.127 [h]$$

$$T_{c_{prom.}} = \frac{(T_{c_{prom.}} + T_{c_{prom.}} + T_{c_{prom.}})}{3} \quad (6)$$

$$T_{c_{prom.}} = \frac{(0.831 + 0.993 + 1.127)}{3} = 0.984 [h] = 59.020 [min]$$

Este procedimiento ha sido realizado para cada una de las 35 cuencas mediante hojas de cálculo de Microsoft Excel como se muestra en la Figura 29.

Figura 29

Plantilla para el cálculo del tiempo de concentración.

Cálculo de TC																					
<p>EXISTEN DIFERENTES MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE TC</p> <p>Ecuación de Kirpich: $TC = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$</p> <p>Dónde: Tc: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima del cauce principal, en (m/m).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">DATOS DEL PROYECTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cota Mayor (m)</td> <td>2640</td> <td>Longitud (Km)</td> <td>1.710834308</td> </tr> <tr> <td>Cota Menor (m)</td> <td>2220</td> <td>Longitud (m)</td> <td>1710.834308</td> </tr> <tr> <td>Pendiente (m/m)</td> <td>0.245494259</td> <td>TC según Kirpich:</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>Tc (Minutos)</td> <td>10.33</td> <td>Lag Time</td> <td>6.20</td> </tr> </tbody> </table>		DATOS DEL PROYECTO				Cota Mayor (m)	2640	Longitud (Km)	1.710834308	Cota Menor (m)	2220	Longitud (m)	1710.834308	Pendiente (m/m)	0.245494259	TC según Kirpich:	0.17	Tc (Minutos)	10.33	Lag Time	6.20
DATOS DEL PROYECTO																					
Cota Mayor (m)	2640	Longitud (Km)	1.710834308																		
Cota Menor (m)	2220	Longitud (m)	1710.834308																		
Pendiente (m/m)	0.245494259	TC según Kirpich:	0.17																		
Tc (Minutos)	10.33	Lag Time	6.20																		
<p>Ecuación de Temez: $TC = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$</p> <p>Dónde: Tc: Tiempo de concentración, en horas (h). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). S: Pendiente total del cauce principal, en porcentaje (%).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">DATOS DEL PROYECTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cota Mayor (m)</td> <td>2640</td> <td>Longitud (Km)</td> <td>1.710834308</td> </tr> <tr> <td>Cota Menor (m)</td> <td>2220</td> <td>Longitud (m)</td> <td>1710.834308</td> </tr> <tr> <td>Pendiente (%)</td> <td>24.54942586</td> <td>TC según Temez:</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>Tc (Minutos)</td> <td>14.74</td> <td>Lag Time</td> <td>8.84</td> </tr> </tbody> </table>		DATOS DEL PROYECTO				Cota Mayor (m)	2640	Longitud (Km)	1.710834308	Cota Menor (m)	2220	Longitud (m)	1710.834308	Pendiente (%)	24.54942586	TC según Temez:	0.25	Tc (Minutos)	14.74	Lag Time	8.84
DATOS DEL PROYECTO																					
Cota Mayor (m)	2640	Longitud (Km)	1.710834308																		
Cota Menor (m)	2220	Longitud (m)	1710.834308																		
Pendiente (%)	24.54942586	TC según Temez:	0.25																		
Tc (Minutos)	14.74	Lag Time	8.84																		
<p>Ecuación de Giandotti: $TC = \frac{4.4^{0.5} + 1.50L}{0.8(H)^{0.5}}$</p> <p>Dónde: Tc: Tiempo de concentración, en horas (h). A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km²). L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km). H: Diferencia de cotas (m).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">DATOS DEL PROYECTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cota Mayor (m)</td> <td>2640</td> <td>Longitud (Km)</td> <td>1.710834308</td> </tr> <tr> <td>Cota Menor (m)</td> <td>2220</td> <td>Longitud (m)</td> <td>1710.834308</td> </tr> <tr> <td>Área (km²)</td> <td>0.883045306</td> <td>TC según Giandotti:</td> <td>0.39</td> </tr> <tr> <td>Tc (Minutos)</td> <td>23.15</td> <td>Lag Time</td> <td>13.89</td> </tr> </tbody> </table>		DATOS DEL PROYECTO				Cota Mayor (m)	2640	Longitud (Km)	1.710834308	Cota Menor (m)	2220	Longitud (m)	1710.834308	Área (km ²)	0.883045306	TC según Giandotti:	0.39	Tc (Minutos)	23.15	Lag Time	13.89
DATOS DEL PROYECTO																					
Cota Mayor (m)	2640	Longitud (Km)	1.710834308																		
Cota Menor (m)	2220	Longitud (m)	1710.834308																		
Área (km ²)	0.883045306	TC según Giandotti:	0.39																		
Tc (Minutos)	23.15	Lag Time	13.89																		

Nota: El Consultor evalúa el método a utilizar de acuerdo a las características del proyecto

Este conjunto de resultados ha sido anexado a la tabla 2 junto con la información morfométrica de las cuencas y las estaciones relevantes para cada una de ellas.

Tabla 2

Información morfométrica de las cuencas, tiempos de concentración y estaciones que inciden en el proyecto.

ID	N.	LONGITUD [m]	LONGITUD [Km]	PERÍMETRO [m]	ÁREA [m ²]	ÁREA [Km ²]	COTA MENOR [m.s.n.m.]	COTA MAYOR [m.s.n.m.]	Tc Promedio[min]	ESTACIONES
2	1	1756,617816	1,756617816	4370,823247	769728,9021	0,769728902	1980	2450	15,41420112	Las Estrellas
3	2	3972,817418	3,972817418	9625,831744	3112855,186	3,112855186	2140	2240	62,73200481	Las Estrellas
4	3	3100,942509	3,100942509	6980,96798	862205,7672	0,862205767	1920	2590	21,7041278	Las Estrellas
5	4	1493,470742	1,493470742	3776,890361	491996,5572	0,491996557	1870	2140	15,8602332	Las Estrellas y Rosas
6	5	4185,422339	4,185422339	9502,173593	1954938,699	1,954938699	1690	2160	34,20111802	Parranga, Las Estrellas y Rosas
7	6	4020,402475	4,020402475	9564,94216	1886133,596	1,886133596	1880	2720	26,70773998	Las Estrellas y Rosas
9	7	1132,75593	1,13275593	3163,500037	480744,3819	0,480744382	2050	2380	11,97694346	Las Estrellas
10	8	3699,379326	3,699379326	9841,004237	4919533,843	4,919533843	2190	3300	25,08783903	Las Estrellas
11	9	1114,173389	1,114173389	4907,677498	1442866,531	1,442866531	2400	3940	7,95050982	Las Estrellas
12	10	1710,834308	1,710834308	4586,452812	883045,3059	0,883045306	2220	2640	16,07010396	Las Estrellas
13	11	1521,798312	1,521798312	3982,626229	1015395,315	1,015395315	2380	2870	14,23191868	Las Estrellas
14	12	9883,241709	9,883241709	23524,61483	21755330,13	21,75533013	2280	3860	56,93685899	Las Estrellas
15	13	10011,47013	10,01147013	31967,91423	43395495,21	43,39549521	2350	3780	64,72502439	Las Estrellas
16	14	1448,445171	1,448445171	3817,653692	1060176,671	1,060176671	2300	2870	13,06992708	Las Estrellas
17	15	1430,324072	1,430324072	4329,626997	814363,6284	0,814363628	2350	2710	14,82008557	Las Estrellas
18	16	1774,588499	1,774588499	6878,837022	2330125,967	2,330125967	2280	3030	15,43156213	Las Estrellas
19	17	13863,06262	13,86306262	34761,74981	48357858,1	48,3578581	1640	3300	80,16514902	Parranga, Las Estrellas y Rosas
20	18	1675,986505	1,675986505	3057,353494	471973,1599	0,47197316	2360	2880	10,39443522	Paispamba
21	19	2414,913065	2,414913065	4621,529155	826206,6127	0,826206613	2405	3010	18,18934713	Paispamba
22	20	5782,752357	5,782752357	17625,94887	16974813,18	16,97481318	2320	3530	40,20589104	Las Estrellas y Paispamba
23	21	4582,059867	4,582059867	6958,03056	1758516,274	1,758516274	2460	3130	32,19413054	Paispamba
25	22	1869,622873	1,869622873	2749,060058	436008,7515	0,436008751	2480	2780	17,89846064	Paispamba
26	23	1149,749948	1,149749948	2986,746988	432251,5731	0,432251573	2450	2850	11,05816935	Paispamba
27	24	1632,491555	1,632491555	3643,472277	556190,1267	0,556190127	2450	2940	13,77013808	Paispamba
28	25	166,184815	0,166184815	421,424345	6941,566821	0,006941567	2390	2405	5,610370562	Paispamba
30	26	6986,585616	6,986585616	16082,69172	7704777,559	7,704777559	2380	3550	42,94869012	Paispamba
33	27	3062,985612	3,062985612	5816,912825	717058,9018	0,717058902	2380	2720	27,03010386	Paispamba
34	28	1346,644579	1,346644579	3020,971693	392668,9726	0,392668973	2380	2530	17,87898357	Paispamba
35	29	469,413195	0,469413195	1491,713764	115633,7831	0,115633783	2380	2460	9,203708693	Paispamba
36	30	900,009397	0,900009397	1929,215235	136214,9177	0,136214918	2370	2460	13,98991674	Paispamba
37	31	9039,986589	9,039986589	18405,36038	11714590,61	11,71459061	2370	3370	58,65472717	Paispamba
38	32	867,026166	0,867026166	2259,816788	300616,95	0,30061695	2370	2510	12,95161164	Paispamba
39	33	291,755826	0,291755826	956,022096	59080,7751	0,059080775	2180	2250	6,388869697	Saladito
40	34	605,300996	0,605300996	1481,610172	100291,6095	0,100291609	2120	2160	14,02131658	Saladito
41	35	8744,100659	8,744100659	18277,88856	13182992,45	13,18299245	2140	3080	59,00594912	Paispamba y Saladito
42	36	43,869333	0,043869333	185,31243	2488,52485	0,002488525	2170	2180	2,616402056	Saladito

3.3.4 Porcentaje de participación de las estaciones sobre las cuencas

Seguidamente, se analizó la participación de cada una de las estaciones y su incidencia en las cuencas objeto de estudio. Para ello se debió realizar un análisis pluviométrico de cada cuenca según la información previamente descargada de la plataforma del IDEAM. Se ingresó dicha información en la plantilla mostrada en la Figura 30 con el fin de obtener el valor máximo en 24 horas para cada uno de los últimos quince años. El anterior procedimiento se debió realizar para las estaciones de Aeropuerto G. L. Valencia, Coconuco, Las Estrellas, La Vega, La Sierra,

Guachicono, Paispamba, Párraga, PNN Puracé, Puente Aragón, Puracé, Quilcase, Rosas, Saladito, y Terminales Pilimbala.

Figura 30

Plantilla datos pluviométricos de una estación para un año.

FECHA DE F.CESO: 201 6/7/2020		AÑO 2005						ESTACION 5,2E-07 LA SIERRA				
LATITUD	2,193833 N	TIPO EST	PG	DEP	TO S	ANTANDER	FECHA INSTALACION 1978 JUNIO					
LONGITUD	-76,75033 W	ENTIDAD	03 FN	C. MUN	ICIPIO B	UCARAMA A	FECH A-SUSPEN: ON					
ELEVACION	1870 m.s.n.m.	REGIONAL	08 SA	NTANDER	E COR	RIENTE Q	DA DE LA	IGLESI				
DIA	ENERO *	FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO *	JUNIO *	JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE *	DICIE *
1	0	0	4	0	0	0	0	0,8	0	6	1,8	10,9
2	0	0	2	0	34,6	0	0	0	0	0	0	0,5
3	0	0	7,7	0	20,2	0	0	0	0	0	0	20,5
4	4,1	0	17,5	0	11,8	0	0	0	0	0	0	32,1
5	0	0	1,7	0	0	1	9,2	0	0	0	2,3	57,7
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,7	7,3	9,8
7	0	0	8	0	0	0,7	0	0	0	0	0	17,2
8	3,1	11,3	3,8	1,6	0	0	0	0	0	0	0	8,8
9	0	0	7	0	0	0	0	0	0	1,1	7,3	0,6
10	0	1,2	6	0	0	0	0	0	0	11,3	7	0
11	0,6	54	0	0	0	0,3	0	0	0	14	20	1,6
12	1,3	22	0,8	0	0	0	0	0	0	0,5	24	5,8
13	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0,8	3,2	23,5
14	15,3	16,8	0	0	6,2	0	4,7	0	0	34,2	11,8	14,8
15	8	35,1	0	0,2	25,7	0	0	0,5	0	0	10	10,7
16	9,2	28	2,2	0,2	0	0	2,5	1,1	0	45,5	14,5	6,3
17	11,5	2,3	1,6	2,6	3,3	0	0,8	0	0	16,4	18,6	17
18	3,2	0	21	0	8,5	0	0	0	0	0	4,9	23,5
19	17,1	0	0	2,2	0	0	1,2	0	0	0	17,3	33,2
20	18	0	10,8	32,3	0,7	0	0	0	0	3,7	38	16,3
21	6,9	0	0	0,4	0	0	0	0	0	30,5	56,8	7,2
22	4,5	0	0	0,3	0	0,1	0	0	0	26,2	9,6	12,6
23	18	0	0	42	11,5	0	0	3	24,9	36,1	0	8,3
24	29	0	1,5	1,2	0	0	0	0	14	28,1	0	9,1
25	0	0	0	7,9	5,4	0	0	0	24,7	25,5	0	12
26	0	0	7	9,8	0	0	0	0	4,2	43,6	3	7,2
27	0	13	2,8	1,3	0,9	7,6	0	0	6,9	31,7	0,8	13,8
28	0	24	3,9	6,5	0	3,6	0	0,8	40,8	4	3,5	6,8
29	30,5		13,2	17	0	2,4	0	0	27	45,2	18,6	8,4
30	1,2		0,5	0	0,8	0,3	0,2	1,3	0	30	12	0,7
31	0		2,9		0		0	0		2		7,5
TOTAL	181,5	207,7	125,9	125,5	129,6	16	18,6	7,8	142,5	440,1	292,3	404,4
No DE DIA	17	10	21	15	12	8	6	7	7	22	22	30
MAXIMA E	30,5	54	21	42	34,6	7,6	9,2	3	40,8	45,5	56,8	57,7

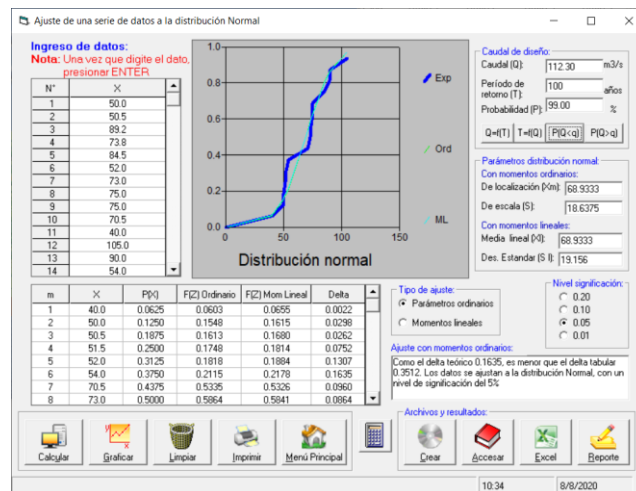
*** VALORES ANUALES	
TOTAL	2091,9
No DE DIA LLUVIA	177
MAXIMA EN 24 Hrs	57,7

De las quince estaciones mencionadas anteriormente las que se encuentran activas y además aportan la cantidad de datos suficientes, es decir, no tienen intermitencia en la toma de datos ajustándose así a las diferentes distribuciones (entre las que se encuentran Normal, LogNormal 2 parámetros, LogNormal 3 parámetros, Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros, LogPearson tipo III, Gumbel y LogGumbel) según el software Hidroesta 2 como se muestra en la

Figura 31, son las estaciones de Coconuco, Puracé, Guachicono, Las Estrellas, Paispamba, Quilcase, Rosas, Saladito y Párraga; por lo que fueron utilizadas en éste proyecto.

Figura 31

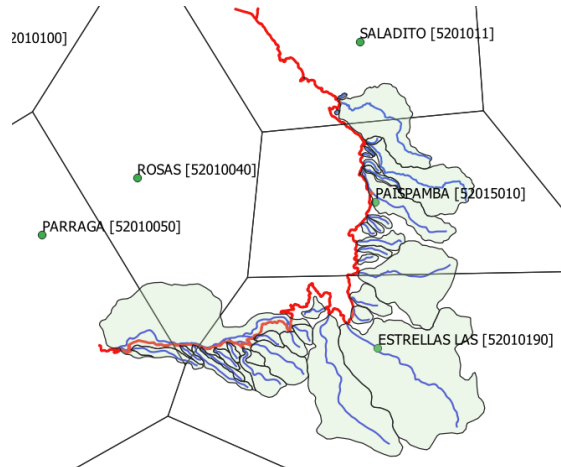
Distribución normal estación Saladito para un tiempo de retorno de 100 años utilizando el software Hidroesta 2.



Se determinó el área de influencia de cada una de ellas sobre las cuencas y posteriormente su porcentaje de participación mediante la herramienta polígonos Voronoi que presenta de forma gráfica dicha participación y se encuentra en “Vectorial” “Herramientas de geometría” y finalmente “Polígonos Voronoi...”. A continuación, se abre la ventana llamada “Polígonos Voronoi”, en la cual se debe seleccionar la capa que contiene las estaciones en el campo “Capa de entrada” de la pestaña “Parámetros”. Finalmente se da clic en “Ejecutar”.

Figura 32

Polígonos Voronoi en el software QGIS 3.12.3.



En la Figura 32 se observa que las estaciones que tienen influencia sobre las cuencas son: Las Estrellas, Paispamba, Párraga, Rosas y Saladito. Mediante la herramienta “Cortar...”, se realizó el corte de los polígonos Voronoi con las cuencas; y fueron creados nuevos archivos shape de las cuencas correspondientes a más de una estación con el fin de obtener el porcentaje de influencia de cada una de ellas sobre las cuencas. Para realizar el cálculo del porcentaje de participación de cada estación, representado en la Ecuación (8), se procedió en forma similar al cálculo del área de la cuenca.

$$\% \text{ Partic. Est. } i = \frac{\text{Área}_{\text{Partic. Est. } i}}{\text{Área}_{\text{Cuenca}}} \times 100 \quad (7)$$

Este procedimiento se debió realizar para las seis cuencas que se encuentran influenciadas por más de una estación según los polígonos Voronoi.

3.3.5 Tormenta de diseño

Con los datos de precipitaciones máximas anuales en 24 horas para los últimos quince años de cada estación es posible realizar las curvas IDF que relacionan intensidad [mm/h], duración [min] y frecuencia (tiempo de retorno) [años] de una precipitación, como se observa en la Figura 33. Estas curvas resultan de graficar la Ecuación (9) variando el tiempo de duración de la lluvia y el tiempo de retorno. Como se muestra en la tabla 4 han sido utilizados en este cálculo 2.33, 10, 15, 25, 50, 100, y 500 como valores de tiempo de retorno.

$$i = \frac{a T_r^b M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c} \quad (8)$$

Donde

i = Intensidad [mm/h].

T_r = Tiempo de retorno [años].

t = Duración de la lluvia [min].

M = Precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual.

a, b, c, d = Parámetros de ajuste de la regresión según la región, de acuerdo con la Tabla 3.

Tabla 3

Parámetros de ajuste de regresión según la región para el cálculo de la intensidad de la lluvia, proyecto de obras de drenaje vial.

REGION	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

A continuación, se presenta el cálculo para la estación de Saladito asumiendo un tiempo de retorno de 2.33 años y una duración de lluvia equivalente a 40 minutos, el promedio en los últimos quince años de las precipitaciones máximas en 24 horas tiene un valor de 68.93 para esta estación y reemplazando los parámetros de ajuste de regresión para la región andina (R1) según el mapa de regiones expuesto por el INVIAS.

$$i = \frac{(0.94)(2.33)^{0.18}(68.93)^{0.83}}{\left(\frac{40}{60}\right)^{0.66}} = 48.01$$

Se obtuvo la intensidad de la lluvia en [mm/h] para cada una de las estaciones modificando los valores de período de retorno según los ya mencionados, y los valores de duración de la lluvia entre 5 y 180 minutos como se observa en la Tabla 4, en la cual se realizó para la estación Saladito. Con la anterior información es posible graficar las curvas IDF, como se aprecia en la Figura 33 para la estación Saladito.

Figura 33

Curvas IDF de la estación Saladito.



Tabla 4

Intensidades de lluvia en [mm/h] según su duración y período de retorno para la estación

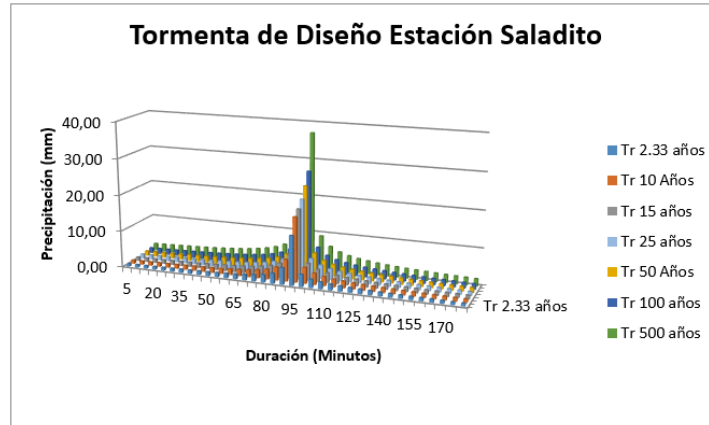
Saladito.

INTENSIDADES DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO - ESTACION							
MINUTOS	2,33	10	15	25	50	100	500
5	189,41	246,2	264,84	290,34	328,93	372,64	497,84985
10	119,87	155,81	167,61	183,75	208,17	235,83	315,07836
15	91,729	119,23	128,26	140,61	159,29	180,46	241,10063
20	75,866	98,611	106,08	116,29	131,75	149,25	199,40626
25	65,477	85,107	91,55	100,37	113,7	128,81	172,09893
30	58,053	75,458	81,171	88,988	100,81	114,21	152,58736
35	52,438	68,158	73,319	80,38	91,061	103,16	137,8268
40	48,014	62,409	67,134	73,599	83,379	94,459	126,19989
45	44,423	57,741	62,113	68,095	77,143	87,394	116,76114
50	41,439	53,862	57,94	63,52	71,961	81,524	108,91768
55	38,912	50,578	54,408	59,648	67,574	76,553	102,27729
60	36,741	47,756	51,371	56,319	63,803	72,281	96,569227
65	34,85	45,298	48,728	53,421	60,52	68,562	91,600062
70	33,187	43,136	46,402	50,871	57,631	65,289	87,22759
75	31,709	41,216	44,336	48,606	55,065	62,383	83,344731
80	30,387	39,497	42,487	46,579	52,769	59,781	79,869174
85	29,195	37,948	40,821	44,752	50,699	57,436	76,736518
90	28,114	36,543	39,31	43,096	48,822	55,31	73,895591
95	27,129	35,262	37,932	41,585	47,111	53,371	71,305167
100	26,226	34,088	36,669	40,201	45,543	51,595	68,931635
105	25,395	33,008	35,507	38,927	44,099	49,96	66,747291
110	24,627	32,01	34,434	37,75	42,766	48,449	64,729076
115	23,915	31,084	33,438	36,658	41,53	47,048	62,857631
120	23,252	30,223	32,512	35,643	40,379	45,745	61,116568
125	22,634	29,42	31,648	34,695	39,306	44,529	59,491918
130	22,056	28,668	30,839	33,809	38,302	43,391	57,971691
135	21,513	27,963	30,08	32,977	37,359	42,324	56,545532
140	21,003	27,3	29,367	32,195	36,473	41,32	55,204449
145	20,522	26,675	28,694	31,458	35,638	40,374	53,940591
150	20,068	26,085	28,06	30,762	34,85	39,481	52,747071
155	19,639	25,526	27,459	30,103	34,104	38,635	51,61782
160	19,231	24,997	26,889	29,479	33,396	37,834	50,547467
165	18,845	24,494	26,349	28,886	32,725	37,074	49,531237
170	18,477	24,016	25,835	28,323	32,086	36,35	48,564877
175	18,127	23,561	25,345	27,786	31,478	35,661	47,644576
180	17,793	23,127	24,878	27,274	30,899	35,005	46,766916

Con base en los datos de intensidad de la lluvia para los diferentes tiempos de retorno presentados en la Tabla 4 es posible conocer los valores correspondientes a los incrementos de lluvia de la estación y obtener así una tormenta de diseño (Figura 34).

Figura 34

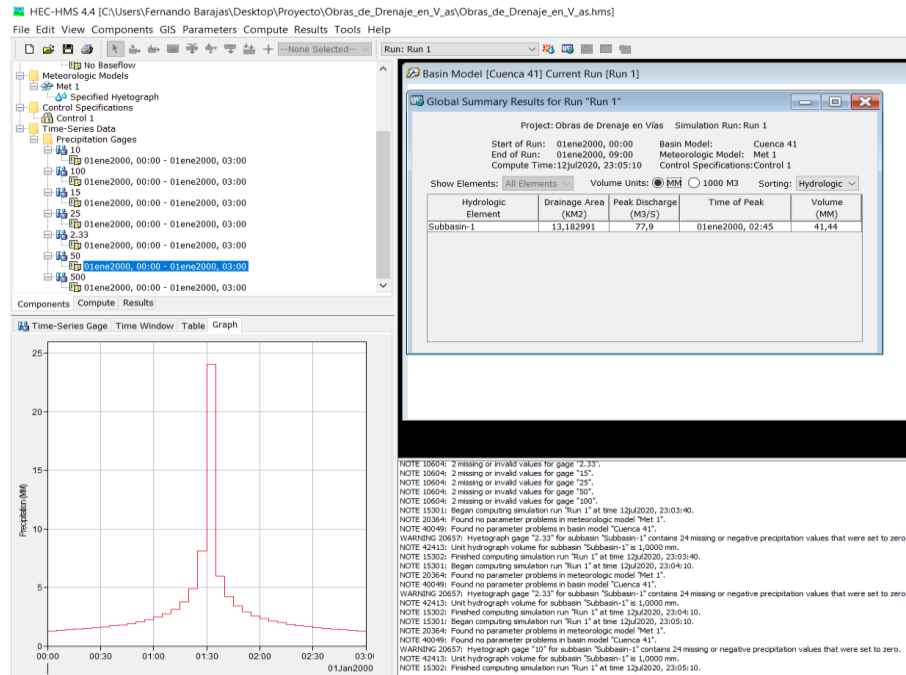
Tormenta de diseño estación Saladito.



Para aquellas cuencas cuyo comportamiento es representado por más de una estación fue necesario determinar las tormentas de diseño de cada una de ellas y con base en los porcentajes de participación, según la Ecuación 8 determinar una única tormenta de diseño representativa de la cuenca, la cual se ingresó en el software HEC-HMS 4.4 junto con información propia de la cuenca como su área y tiempo de concentración, con el propósito de hallar su caudal, el cual es requerido para el diseño de las estructuras de drenaje de la vía objeto de estudio. Este procedimiento se debió realizar para todas las cuencas. Mediante este software fue posible efectuar el cálculo de caudales para cada cuenca, ingresando además de la tormenta de diseño, información propia de esta como su área, y tiempo de concentración. Dicho caudal es requerido para realizar el diseño de las estructuras de drenaje de la vía objeto de estudio.

Figura 35

HEC-HMS 4.4. Cálculo de caudal cuenca 41 para un tiempo de retorno equivalente a 10 años.



3.3.6 Modelación en HEC-RAS 5.0.5.

Se presentó la modelación en el software HEC-RAS 5.0.5 del drenaje en la cuenca del río San Pedro atravesando un puente de 65.40 m a la altura de la vía, para lo cual se procedió en forma similar a lo ya mencionado en la sección 3.2, pero en este caso adicionando dicha estructura. Se exportó la superficie de la zona de estudio desde el software QGIS 3.12.3 hasta el software HECRAS 5.0.5 junto con la vía y el drenaje de estudio, posteriormente se trazó el cauce del río y las secciones transversales del mismo (Figura 36). Para el cálculo del caudal mediante el software HEC-HMS 4.4 se debió ingresar una tormenta de diseño correspondiente a un período de retorno de 100 años según la Figura 37, el cual correspondió a un valor de $616.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 36

Superficie, vía, drenaje principal y secciones transversales en HEC-RAS 5.0.5.

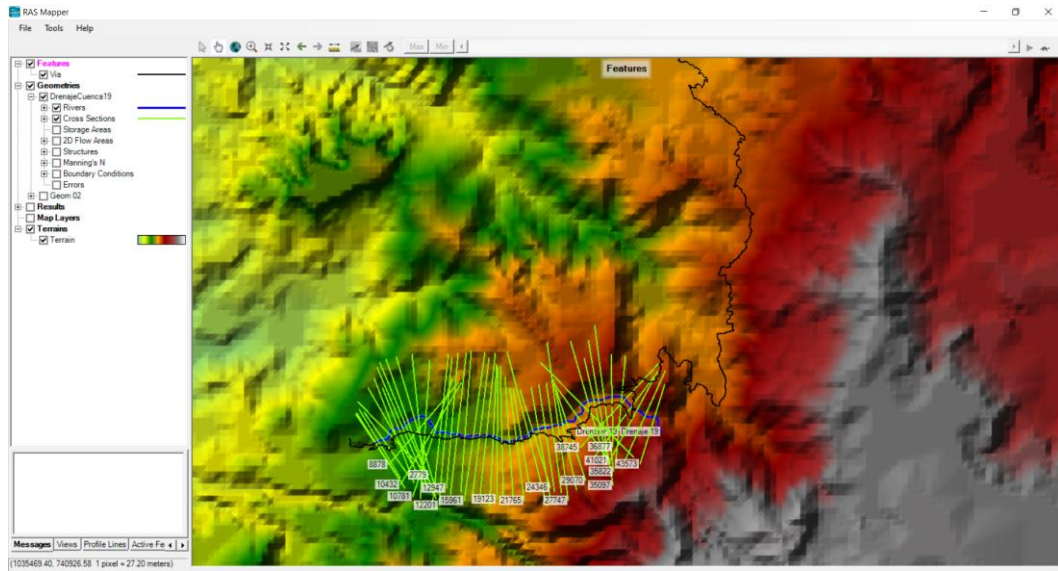


Figura 37

Períodos 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

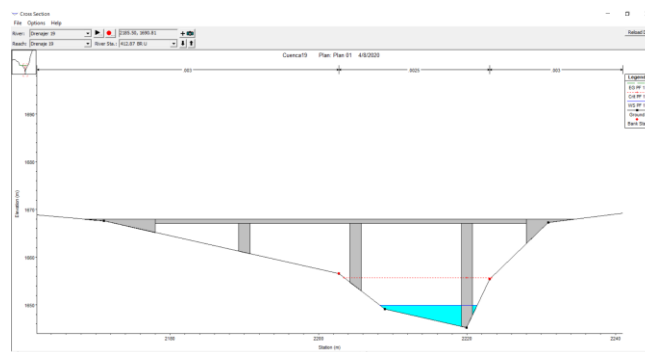
Nota: Tomado del Manual de Drenaje para Carreteras de INVIAS (p. 2-31).

Para crear el puente, se debe seleccionar la opción “Edit and/or create bridges and culverts” que se encuentra en la ventana “Geometric Data”, lo cual abre una nueva ventana denominada “Bridge Culvert Data”.

En esta nueva ventana es posible crear la estructura mediante las diferentes herramientas que proporciona este software como “Bridge Design” donde se puede realizar el diseño en general de la estructura, ingresando la altura de las dimensiones superior e inferior del tablero, el número de pilas, su ubicación inicial de izquierda a derecha tanto aguas arriba como aguas abajo, la separación entre estas, y su espesor. Seleccionando la opción “Deck/Roadway” es posible editar el tablero del puente, ingresando la información concerniente al ancho de este, la altura en sus extremos tanto aguas arriba como aguas abajo representando además su espesor, y su longitud y ubicación. Seleccionando la opción “Pier” es posible editar las pilas del puente, ingresando los datos referentes a número de pilas, elevación, espesor y posición tanto aguas arriba como aguas abajo. Mediante la herramienta “Sloping Abutments” es posible editarlos estribos del puente, ingresando la información referente a número de estribos, elevación y posición inicial y final de cada uno de ellos tanto aguas arriba como aguas abajo. Una vez creada la estructura se simula el comportamiento hidráulico del canal.

Figura 38

Modelación del comportamiento hidráulico de un canal con puente en HEC-RAS 5.0.5.



3.4 Capacitación en EPANET 2.0 vE e implementación de las plataformas SECOP I y II.

3.4.1 Capacitación dictada por miembros de la empresa sobre el software EPANET 2.0 vE.

Se conoció la aplicabilidad que tiene el software EPANET en cuanto a la ejecución de los proyectos concernientes al diseño de la red de distribución en acueductos. Este es un software orientado al análisis del comportamiento de los sistemas de distribución de agua y el seguimiento de la calidad del agua en los mismos. Entre la multitud de sus aplicaciones cabe destacar la planificación de mejoras en las redes, el trazado y selección de nuevos elementos, la regulación de las presiones en la red, la reducción de los costes de operación, la previsión de la respuesta de la red ante la clausura de un punto de alimentación o la incorporación de nuevas urbanizaciones, etc. Es por todas estas razones que la empresa I.B.G. Ingeniería E.U. adopta la utilización de este software en muchos de sus proyectos.

Se crea la red de distribución agregando a ella las conexiones, las tuberías, el depósito, además del tanque, válvulas, y bombas. Es de suma importancia definir las características hidráulicas del proyecto, para ello se debe seleccionar la opción “Proyecto” de la barra de herramientas, y a continuación “Opciones de Cálculo...” que abre la ventana denominada “Opciones Hidráulicas”. Unas de las características más importantes que se deben definir son las unidades de caudal, la ecuación de pérdidas (Ecuación 1) y el peso específico del fluido. A continuación, se presenta la ecuación de pérdidas utilizada, ecuación de Hazen-Williams (López, 2003):

Ecuación de Hazen-Williams:

$$Q = 0.2785CD^{2.63}J^{0.54} \quad (9)$$

Donde:

Q: Caudal [m^3/s].

C: Coeficiente de rugosidad relativa de Hazen-Williams.

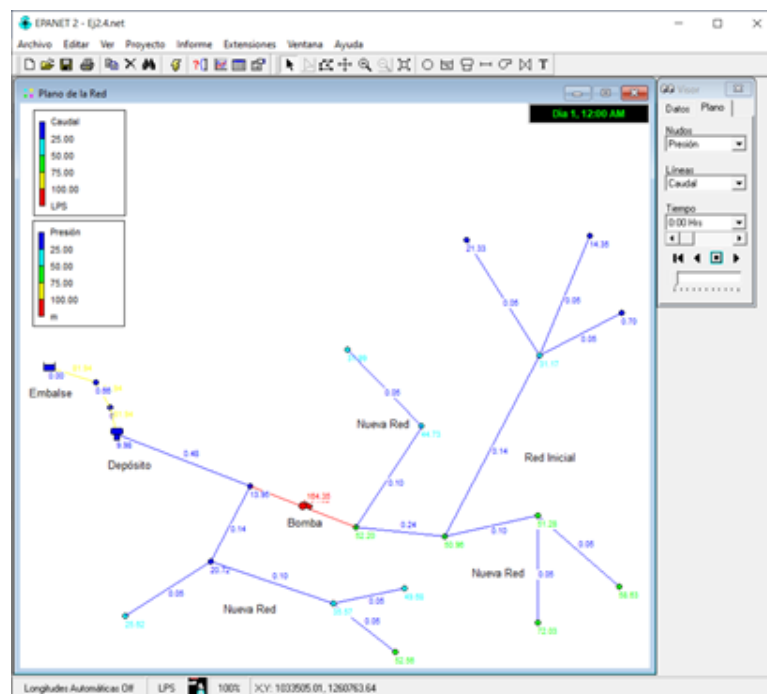
D: Diámetro interno de la tubería [m].

J: Pérdida de carga unitaria o pendiente de la línea de energía [m/m de tubería].

En la Figura 39 se observa un modelo hidráulico de una red de distribución, el cual cuenta con un embalse, un depósito, y una bomba; en primera instancia se debe dibujar los nodos utilizando la herramienta “Añadir Conexión”, luego la tubería mediante el uso de la herramienta “Añadir Tubería”, para un correcto ensamble de estas es necesario definir las condiciones de “Nodo Inicial” y “Nodo Final”, que aparecen dando doble clic sobre la tubería, junto a ellas se encuentran características que se deben tener en cuenta como la longitud, el diámetro, y el coeficiente de rugosidad. Su análisis se ejecuta mediante la herramienta “Iniciar Análisis”.

Figura 39

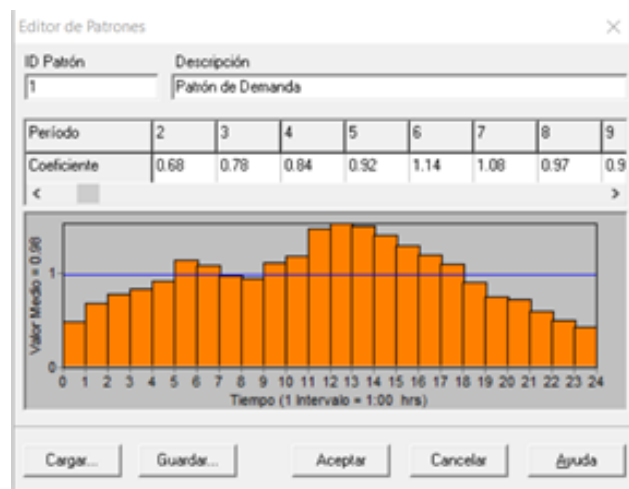
Modelo hidráulico de una red de distribución en EPANET.



Utilizando la ventana “Visor” mostrada al costado derecho en la Figura 39, es posible entre otras muchas cosas, realizar un patrón de demanda del agua que se pretende suministrar, con el fin de hacer más precisa y realista la modelación. Para ello, en la sección “Datos” se debe seleccionar “Opciones” de la lista desplegable, seguido de “Tiempo”, a continuación, en la parte inferior de la ventana se debe seleccionar “Añadir”. Se abre una nueva ventana denominada “Opciones de Tiempo”, donde se puede asignar en “Duración Total” el tiempo total de análisis de la modelación, además, del “Intervalo Patrones” el cual hace referencia al intervalo de tiempo en la asignación de la demanda, visible en la ventana “Editor de Patrones” de la Figura 40 como el ancho de barra, incluso es posible asignar “Tiempo Inicio Reloj”, el cual hace referencia a la hora exacta de inicio del análisis computarizado, que para este caso corresponde a 12 a.m. (Figura 39).

Figura 40

Ventana "Editor de Patrones" en EPANET.

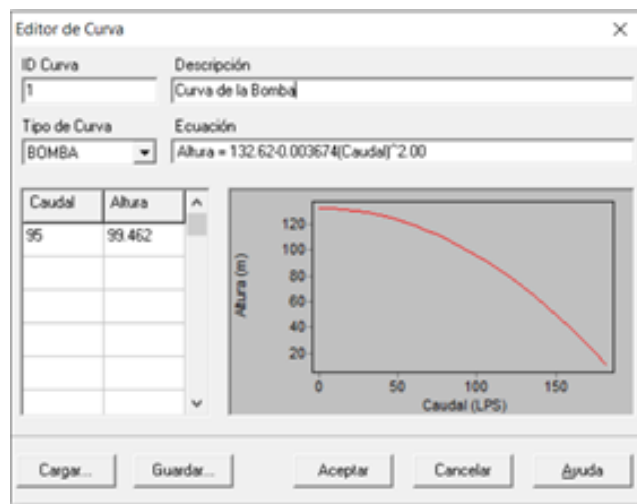


Con el fin de asignar el patrón de demanda a los nodos correspondientes a los usuarios se deben seleccionar estos de forma individual dando doble clic y en la ventana de condiciones, seleccionar para “Patrón de Demanda” el anteriormente creado. Para asignar las propiedades de la

bomba se debe proceder en forma similar a la asignación del patrón de demanda, se debe seleccionar “Curvas” de la lista desplegable de la ventana “Visor” en la pestaña “Datos” y en zona inferior seleccionar “Añadir”, se abre una nueva ventana denominada “Editor de Curva”, la cual se observa en la Figura 41. En esta ventana se definen los parámetros de caudal nominal (L/s) y altura (m), con lo que se construye la curva tipo correspondiente a la bomba.

Figura 41

Ventana "Editor de Curva" en EPANET.



En la pestaña “Plano” de la ventana “Visor” es posible generar una visualización de las características de la red tanto para los nodos como para las líneas, y observar según la demanda en tiempo extendido creada anteriormente, las variaciones de ellas en el tiempo. Entre las características de los nodos se encuentran: Cota, Demanda base, Demanda, Calidad Inicial, Altura y Presión. A su vez, entre las características de las líneas se encuentran entre otras: Longitud, Diámetro, Rugosidad, y Caudal. En la modelación expuesta en la Figura 39 se aprecia la activación de la característica Presión en los nodos y Caudal en las líneas.

3.4.2 SECOP I y II.

Se buscó futuros proyectos que pudiera asumir la empresa I.B.G. Ingeniería E.U. mediante la implementación de estas plataformas, lastimosamente, pese a la ardua búsqueda no fue posible encontrar uno acorde al perfil de la empresa (). Y se propuso su vinculación a la base de datos de la plataforma SECOP II, para lo cual es necesario seleccionar la opción “REGISTRESE EN EL SECOP II” (Figura 42) y suministrar la información y documentación requerida.

Figura 42

Fragmento de la Plataforma SECOP II.



4. Resultados

En cuanto al proyecto “Acueducto veredal del corregimiento El Centro del municipio de Barrancabermeja departamento de Santander”, se generaron 75 planos de planta y perfil de la red de distribución, los cuales contienen toda la información necesaria para llevar a cabo su construcción (Figura 2), en este proyecto además se aportó en la realización del Análisis de Precios Unitarios y el análisis estructural de un tanque contenedor de agua ya existente, con lo cual se recomendó a la empresa su demolición y la construcción de uno nuevo que cumpla a cabalidad las especificaciones técnicas de diseño sísmico para estructuras, actualmente este proyecto ha sido entregado por la empresa a la entidad contratante Alcaldía de Barrancabermeja y se encuentra en

fase de liquidación por revisión. En cuanto al proyecto de obras de drenaje vial en el departamento del Cauca se realizó la ubicación de la vía, delimitación de cuencas, estudio morfométrico de estas, cálculo de tiempos de concentración, recopilación de datos pluviométricos de las estaciones que incidían en el proyecto, generación de curvas IDF, hietogramas, tormentas de diseño, cálculo de caudales, y modelación de un canal natural adicionando una estructura tipo puente, este proyecto aún se encuentra siendo ejecutado por la empresa. En cuanto a estudios de riesgo por inundación se realizó el análisis hidrodinámico de un canal natural idealizado determinando de forma gráfica las zonas en las que puede generar amenazas por desbordamiento. Se conoció algunos softwares utilizados en estos proyectos como EPANET 2.0, Hidroesta 2, y HEC-HMS 4.4, y se profundizó en otros que ya eran conocidos como QGIS 3.12.3, HEC-RAS 5.0.5, y SAP 2000.

5. Conclusiones

Se brindó apoyo a la empresa I.B.G Ingeniería E.U. en la ejecución de diferentes proyectos, en los cuales se logró poner en práctica y fortalecer los conocimientos obtenidos desde la academia, complementando esta base teórica con el manejo de herramientas computacionales. Entre los softwares más relevantes para la ejecución de este tipo de proyectos se encuentra QGIS 3.12.3, el cual fue utilizado en el proyecto “Acueducto Veredal en el corregimiento El Centro del municipio de Barrancabermeja departamento de Santander” para al diseño de la red de distribución mediante la creación de capas en formato shape de los usuarios, la vía, entre otros, georreferenciándolos para así definir el trazado de esta, lo que además aportaría posteriormente en la realización de los planos. Este software también fue utilizado en el proyecto denominado “Estudios y diseños para la pavimentación de la vía 25cc12 Timbío – Paispamba – San Pedro - Crucero El Llano – Cruce

ruta 25cc15 a La Sierra, tramo pr59+097 al pr61+098, departamento del Cauca”, en la delimitación de las cuencas y su posterior análisis morfométrico, además, en la determinación del porcentaje de participación de las estaciones sobre cada cuenca. Cabe destacar la importancia del software HEC-RAS 5.0.5 en proyectos de estudio de riesgo por inundación y obras de drenaje en vías. También se deben mencionar los softwares EPANET 2.0, y HEC-HMS 4.4 el primero siendo implementado en el diseño de la red de distribución de un acueducto determinado, mediante su modelación; y el segundo utilizado para el cálculo del caudal de diseño en el ya mencionado proyecto de diseño de obras de drenaje vial.

Referencias Bibliográficas

American Concrete Institute. *Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary (ACI 350.3-06)*. <http://docshare01.docshare.tips/files/30685/306853030.pdf>

Brunner, G. W. (2016). *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual, Version 5.0. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center*. pp. (3-14, 3-23,3-24).
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. Información para todos. Mercado laboral de la juventud. Información marzo 2020 – mayo 2020.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ech/juventud/Bol_eje_juventud_mar20_may20.pdf

Documentación QGIS 3.10. Guía/Manual de Usuario QGIS.
https://docs.qgis.org/3.10/es/docs/user_manual/

Echeverri, J. (2019, febrero). La paradoja de la falta de experiencia. Diario La República.
<https://www.larepublica.co/alta-gerencia/la-paradoja-de-la-falta-de-experiencia-2824392>

Empresas Públicas de Medellín E.S.P (2009). “Normas de diseño de sistemas de acueductos de EPM”. Medellín: Impreso en Colombia. Primera Edición.

https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf

French, R. (junio de 2011). *Hidráulica de canales abiertos*. pp. 120-131.
https://www.academia.edu/40055308/FRENCH_R._Hidr%C3%A1ulica_de_Canales_Abiertos

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2014). *Catálogo Shape del IDEAM & Catálogo Nacional de estaciones del IDEAM – Definiciones del Catálogo Nacional de Estaciones*. <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2014). *Glosario*.
<http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM; Centro Nacional de Modelación – CNM. (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Bogotá, D. C. pp. 1-110.
http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/guia_metodologica_mapas_inundacion.pdf

Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Geoportal. *Datos Abiertos Subdirección de Cartografía y Geografía.*

<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>

López, R. (2003). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*, Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. pp. 171-199.

https://www.academia.edu/38610655/Elementos_de_Dise%C3%B1o_para_Acueductos_y_Alcantarillados_Ing._Ricardo_Alfredo_L%C3%B3pez_Cualla._

República de Colombia, Congreso de la República. (2012). Ley 1523 de 2012. “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2012. No. 48411. pp. 1-48.

https://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-3713_documento.pdf

República de Colombia, Departamento Administrativo de la Función Pública. Ley 142. (1994). “Por la cual se establece el régimen de servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones”. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1994. No. 41.433.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>

República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación. Colombia Compra Eficiente. *SECOP I*. <https://www.colombiacompra.gov.co/secop/secop-i>

República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación. Colombia Compra Eficiente.

SECOP II. <https://www.colombiacompra.gov.co/secop-ii>

República de Colombia, Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías – INVIAS.

Subdirección de Apoyo Técnico. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*.

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos->

[tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file](https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file)

República de Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. *Reglamento Colombiano de*

Construcción Sismo Resistente. Tomo 2. Título C – Concreto estructural. Bogotá, D.C.

República de Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Resolución 0330. (2017).

“Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector del agua potable y saneamiento básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”

<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>

Rossmann, L. (2002). *EPANET 2.0 en español. Análisis Hidráulico y de Calidad en Redes de*

Distribución de Agua. Manual de Usuario v 2.00.12. pp. 15-21.

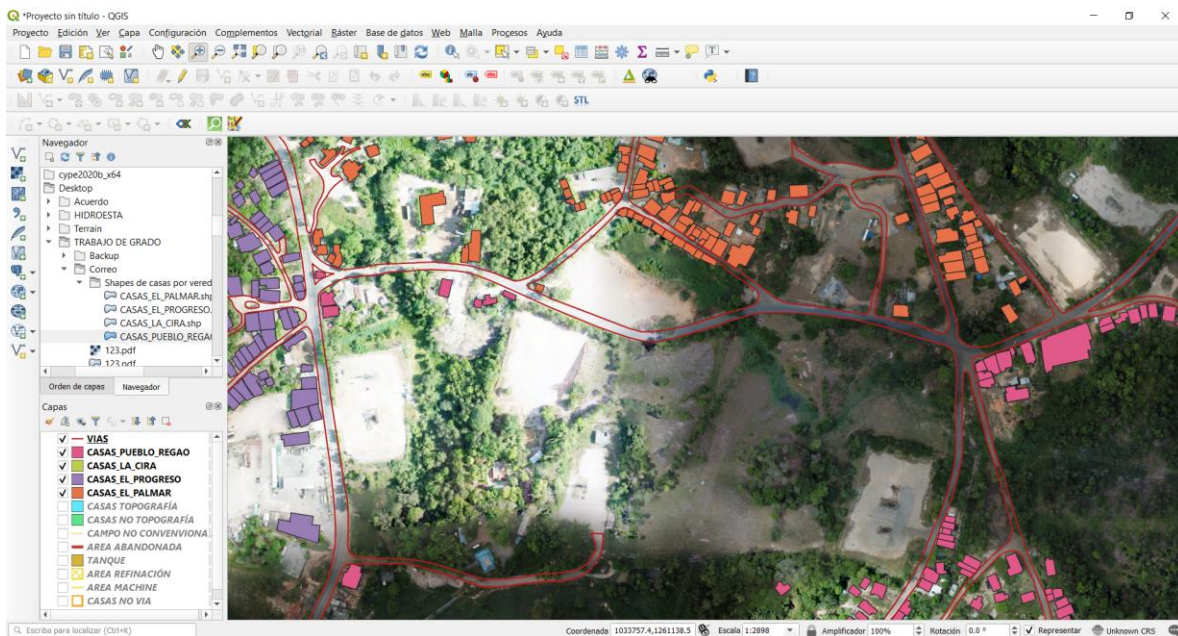
https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_esp_v200

[12_ext.pdf](https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_esp_v200_12_ext.pdf)

Apéndices

Apéndice A. Capas de archivo shape de casas según su vereda

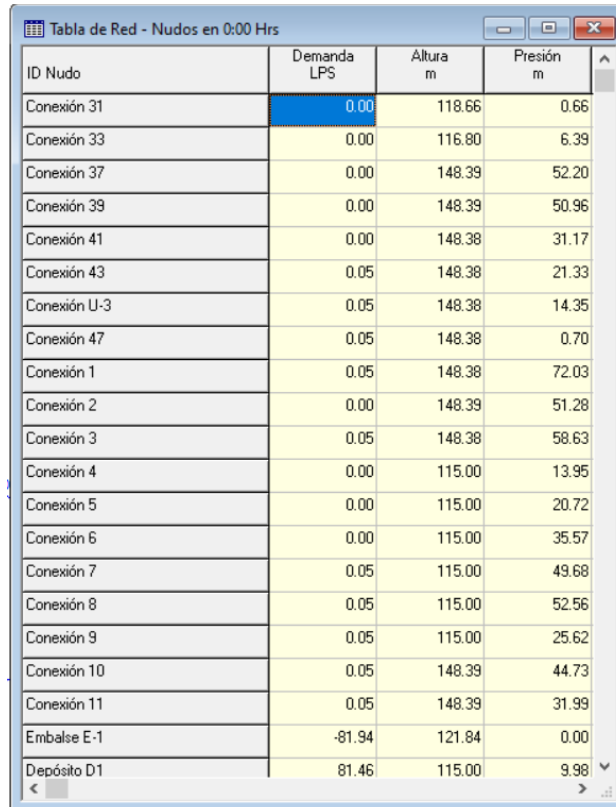
Mediante la implementación de las herramientas del software QGIS 3.12.3 se realizó la categorización de las casas del corregimiento El Centro por veredas. En color morado se observan las casas pertenecientes a la vereda El Progreso, en color naranja se observan las casas de la vereda El Palmar, y en color rosado se observan las pertenecientes a Pueblo Regao.



Apéndice B. Herramientas de EPANET 2.0

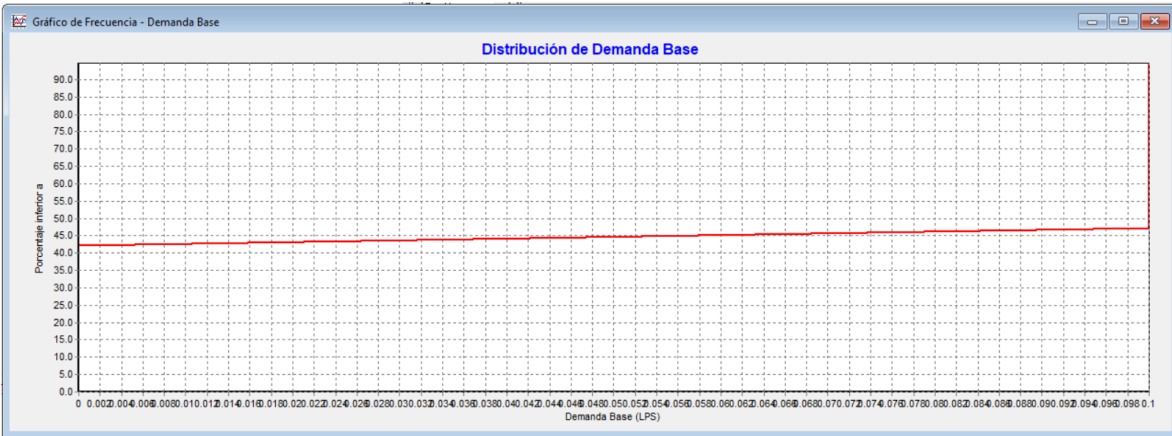
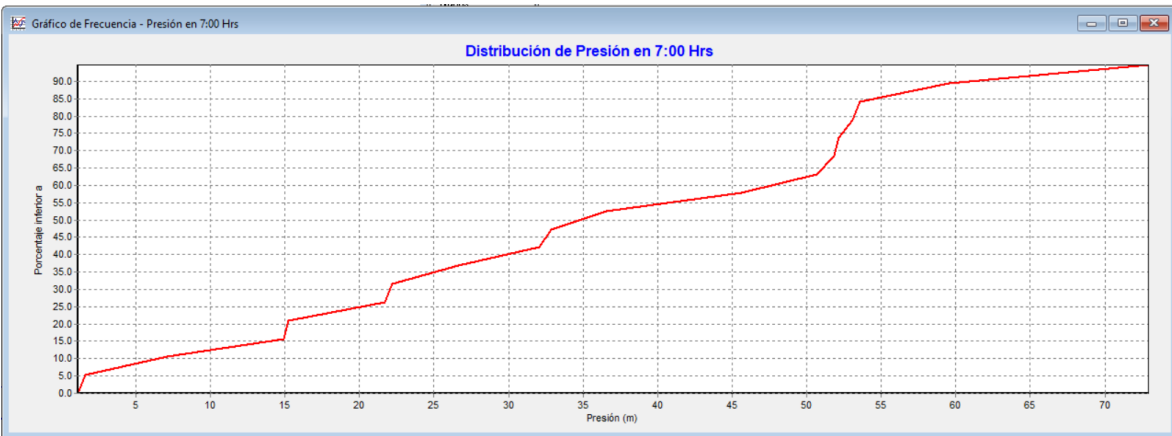
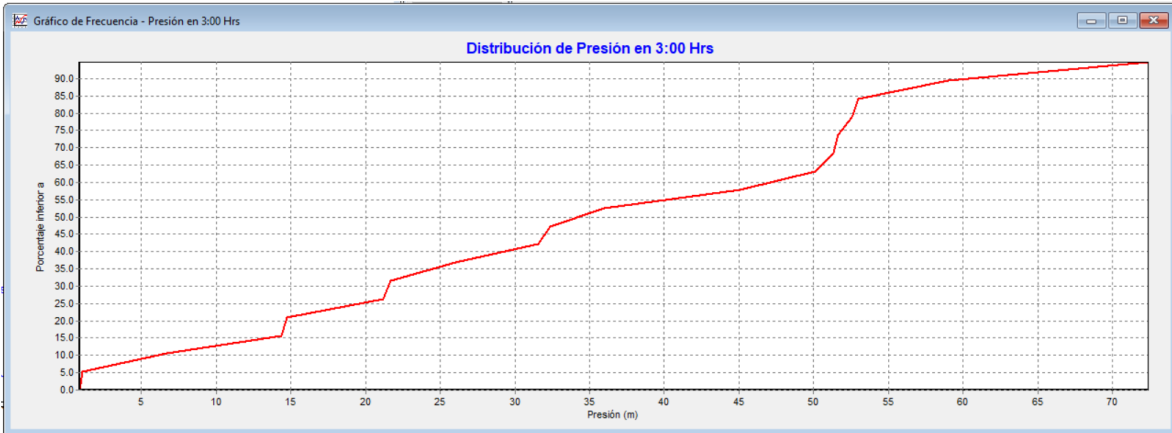
El software EPANET 2.0 presenta grandes posibilidades en cuanto al análisis y la modelación de una red de distribución, entre las que se encuentra la presentación de la información en tablas, para ello es preciso dirigirse a la opción “Tablas” de la Barra de Herramientas Estándar y seleccionar en esta ventana la hora del día del modelo creado en la que se quiere realizar el análisis, los atributos que se desean visualizar, como por ejemplo cota, demanda, presión; además,

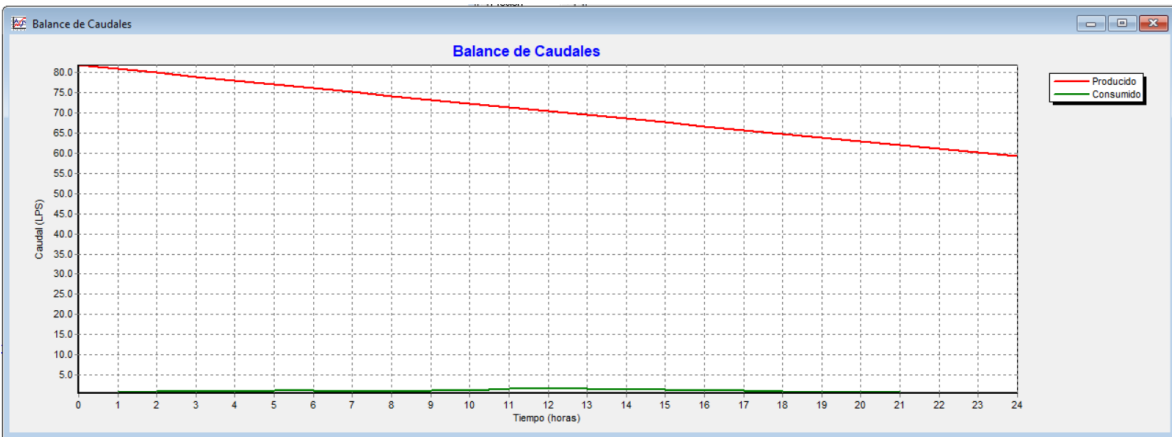
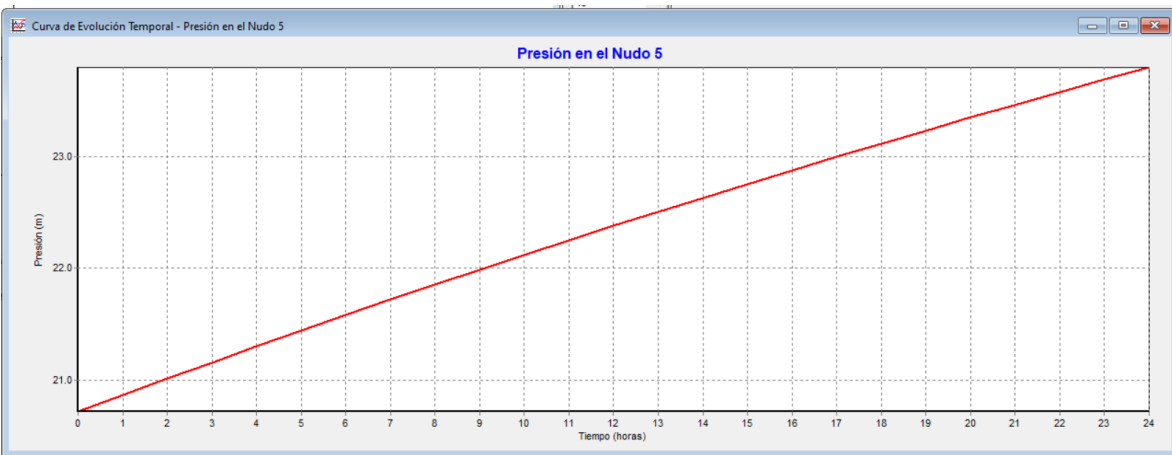
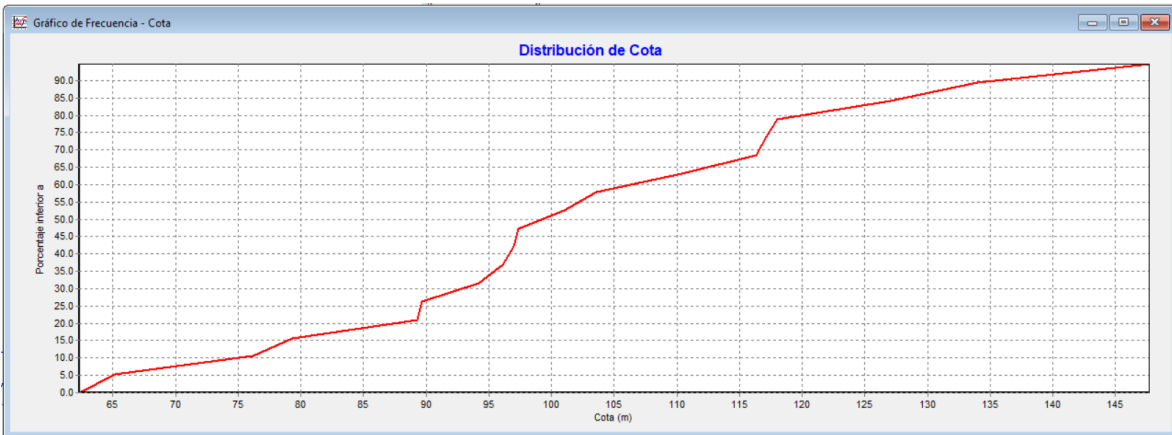
es posible realizar un filtro de la información. A continuación, se aprecia la tabla de datos de la red de los nodos para la hora 0:00.



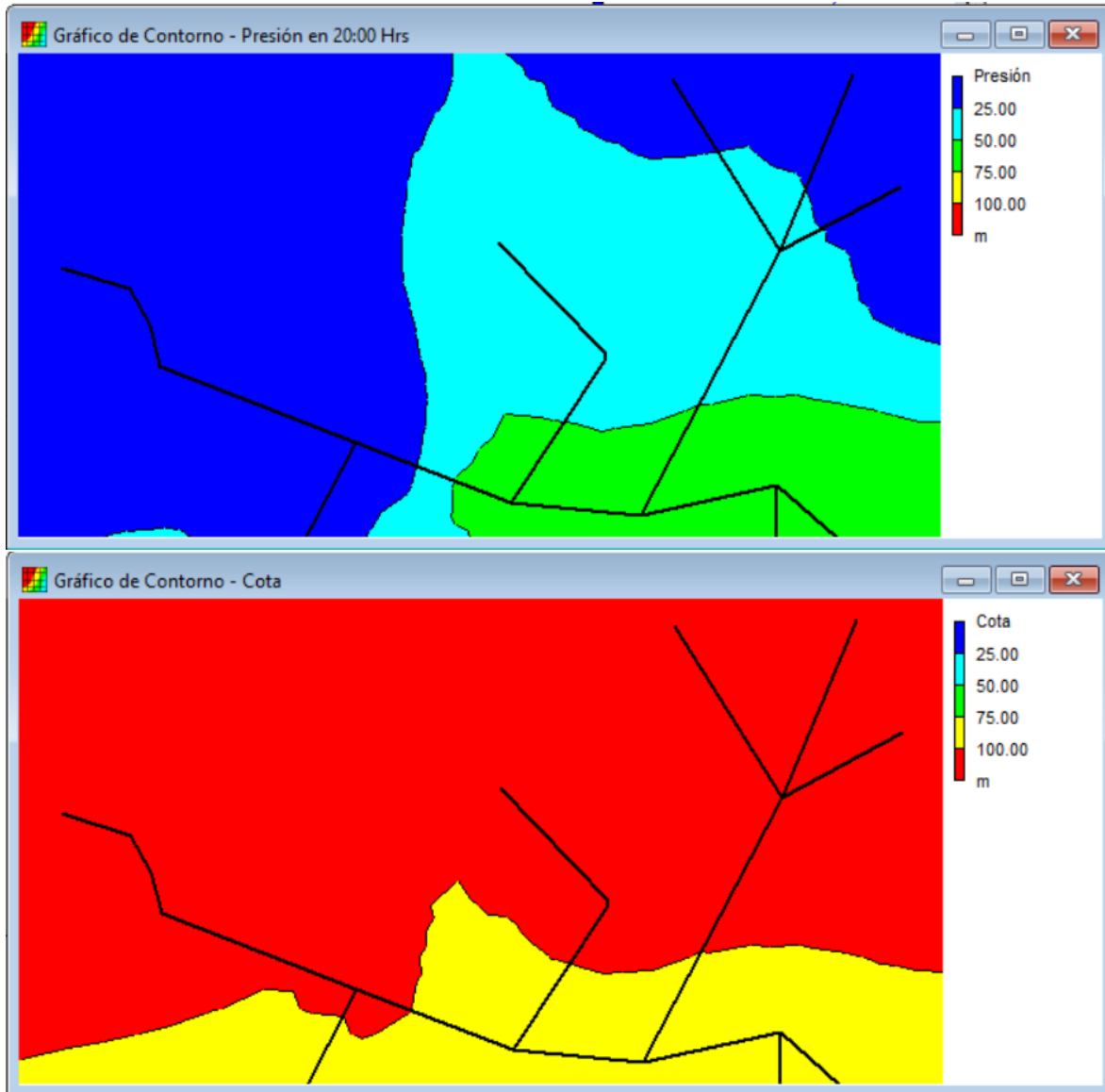
ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión 31	0.00	118.66	0.66
Conexión 33	0.00	116.80	6.39
Conexión 37	0.00	148.39	52.20
Conexión 39	0.00	148.39	50.96
Conexión 41	0.00	148.38	31.17
Conexión 43	0.05	148.38	21.33
Conexión U-3	0.05	148.38	14.35
Conexión 47	0.05	148.38	0.70
Conexión 1	0.05	148.38	72.03
Conexión 2	0.00	148.39	51.28
Conexión 3	0.05	148.38	58.63
Conexión 4	0.00	115.00	13.95
Conexión 5	0.00	115.00	20.72
Conexión 6	0.00	115.00	35.57
Conexión 7	0.05	115.00	49.68
Conexión 8	0.05	115.00	52.56
Conexión 9	0.05	115.00	25.62
Conexión 10	0.05	148.39	44.73
Conexión 11	0.05	148.39	31.99
Embalse E-1	-81.94	121.84	0.00
Depósito D1	81.46	115.00	9.98

Entre estas opciones de análisis se encuentra, además, la generación de gráficos, para la cual habiendo seleccionado previamente el elemento a graficar (ya sea nodo o línea), se procede a dar clic en la opción “Gráfico” de la Barra de Herramientas Estándar, en ella se puede seleccionar el tipo de gráfico, entre los que se encuentran curvas de evolución, perfiles longitudinales, mapas de contorno, gráficos de frecuencia y balance de caudales; también es posible seleccionar la magnitud a representar, bien sea caudal, pérdidas unitarias, velocidad, entre otras. Se presentan los gráficos de frecuencia de toda la red (no se selecciona ningún nodo o línea) para la presión a dos diferentes horas del día gráficos de la distribución en la demanda base, de la distribución de cota, de la presión en el nodo 5, y el balance de caudales.

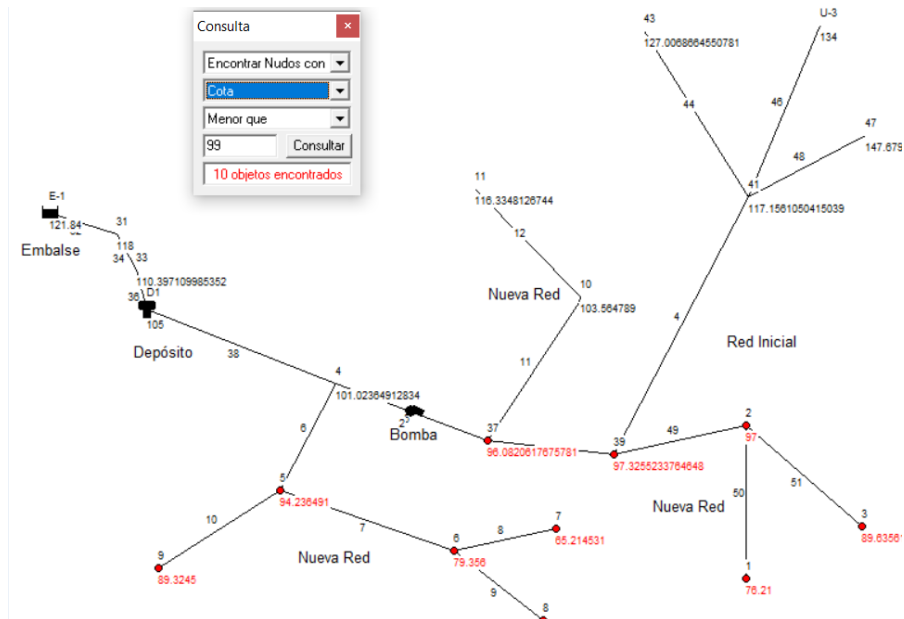




Como ya se mencionó es posible generar mapas de contorno, de cota, demanda base, calidad inicial, demanda, altura y presión.



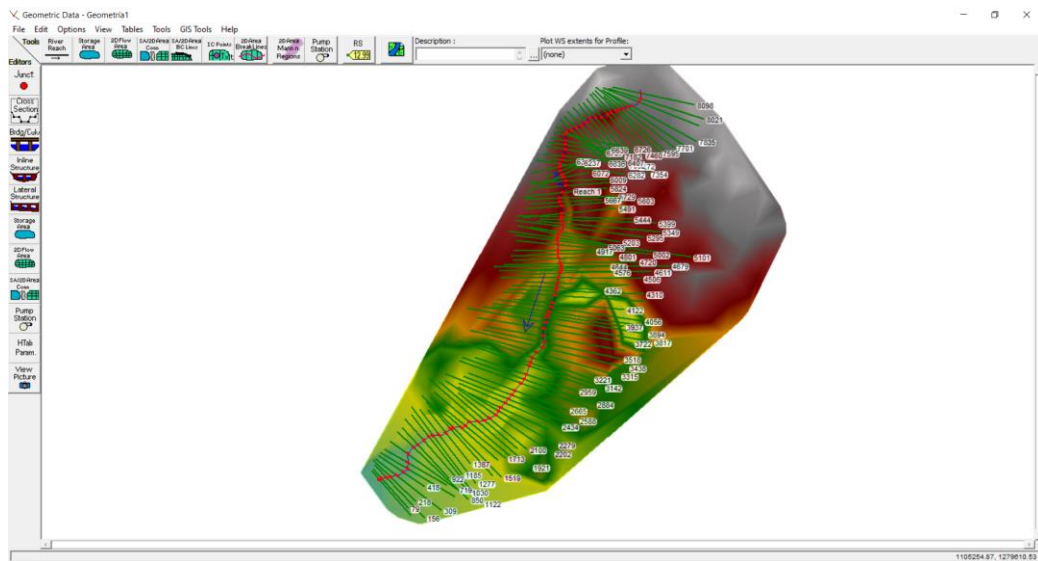
Además, es posible realizar consultas mediante la herramienta "Consulta" de la Barra de Herramientas Estándar como se presenta a continuación, donde se buscaron los nodos cuya cota fuera menor que 99 m.



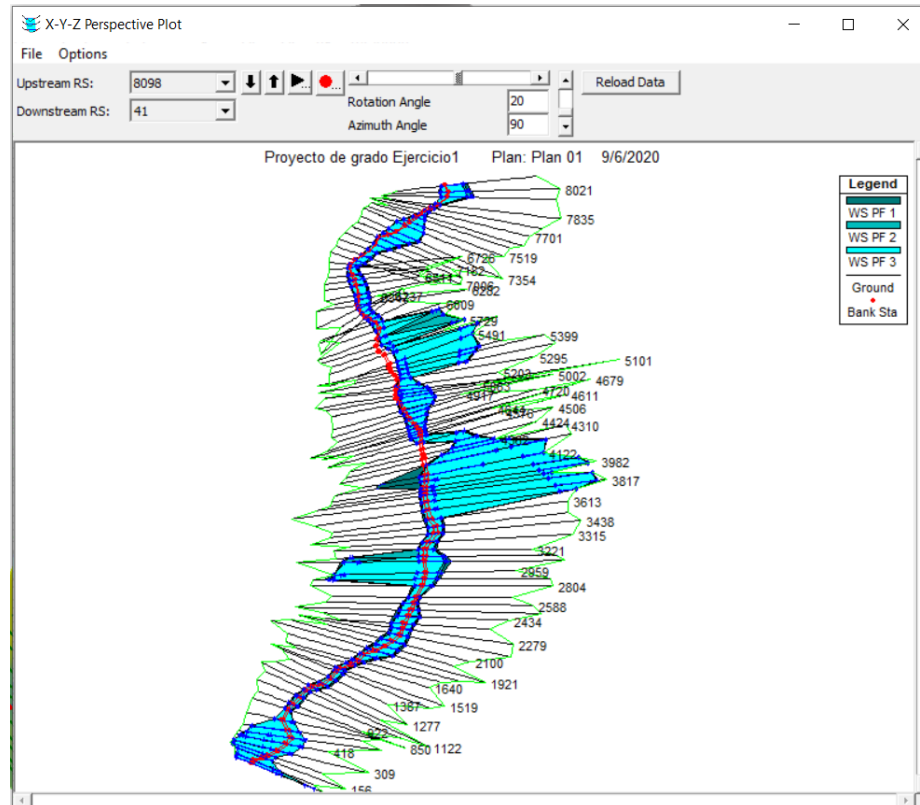
Apéndice C. Implementación de mayor número de secciones transversales en HEC-RAS

5.0.5.

Se ha aumentado el número de secciones transversales con el fin de hacer más real la modelación y con el fin de tener mayor precisión en los cálculos, como se observa a continuación.



A su vez esto se ve reflejado en los diferentes diagramas y representaciones visuales, tal es el caso de la ventana “X-Y-Z Perspective Plot” o gráfico de perspectiva 3D.



Como se mencionó anteriormente, en la octava de las opciones expuestas en la figura 13, la denominada “Ventana Profile Output Table” se puede modificar la tabla aumentando los caudales de análisis, los planes o afluentes. Para este ejercicio no fueron creados varios tipos de planes ni afluentes, pero sí tres tipos diferentes de caudales, la siguiente figura presenta la información de los tres caudales al mismo tiempo.

Profile Output Table - Standard Table 1

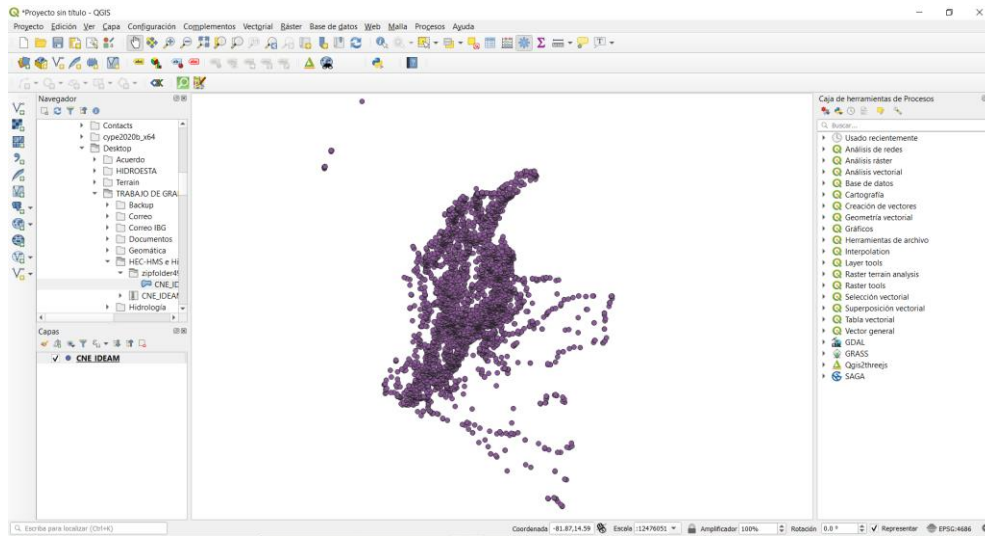
File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Rio1 Reach: Reach 1 Reload Data

Reach	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
Reach 1	8098	PF 1	21.00	116.69	116.94	116.86	116.96	0.004274	0.82	35.59	234.99	0.55
Reach 1	8098	PF 2	14.00	116.69	116.89	116.83	116.91	0.004373	0.72	25.83	198.01	0.53
Reach 1	8098	PF 3	10.00	116.69	116.86	116.81	116.88	0.004422	0.65	20.27	181.06	0.52
Reach 1	8021	PF 1	21.00	116.38	116.65		116.67	0.003346	0.80	40.70	276.77	0.49
Reach 1	8021	PF 2	14.00	116.38	116.61		116.62	0.003118	0.70	30.69	243.07	0.47
Reach 1	8021	PF 3	10.00	116.38	116.58		116.59	0.003091	0.64	24.13	216.95	0.45
Reach 1	7961	PF 1	21.00	116.16	116.39		116.41	0.005547	0.90	35.63	293.37	0.61
Reach 1	7961	PF 2	14.00	116.16	116.35	116.32	116.37	0.005883	0.82	25.82	259.24	0.61
Reach 1	7961	PF 3	10.00	116.16	116.33		116.34	0.006015	0.75	19.55	214.04	0.61
Reach 1	7835	PF 1	21.00	114.82	115.28	115.28	115.43	0.011332	1.97	13.36	47.42	0.98
Reach 1	7835	PF 2	14.00	114.82	115.19	115.19	115.32	0.012308	1.76	9.62	41.14	0.98
Reach 1	7835	PF 3	10.00	114.82	115.14	115.14	115.24	0.013378	1.60	7.30	36.48	0.99
Reach 1	7767	PF 1	21.00	113.85	114.28	114.32	114.49	0.017578	2.32	11.20	42.35	1.20
Reach 1	7767	PF 2	14.00	113.85	114.21	114.24	114.37	0.016406	1.97	8.55	37.60	1.12
Reach 1	7767	PF 3	10.00	113.85	114.17	114.18	114.29	0.015198	1.71	6.89	34.28	1.05
Reach 1	7701	PF 1	21.00	112.88	113.29	113.29	113.44	0.014348	1.81	12.47	44.40	1.05
Reach 1	7701	PF 2	14.00	112.88	113.21	113.21	113.33	0.015348	1.52	9.09	38.32	1.03
Reach 1	7701	PF 3	10.00	112.88	113.13	113.15	113.26	0.023468	1.43	6.15	32.18	1.19
Reach 1	7640	PF 1	21.00	111.83	112.62	112.29	112.64	0.001246	0.88	30.31	65.79	0.35
Reach 1	7640	PF 2	14.00	111.83	112.53	112.20	112.55	0.000917	0.69	25.13	60.14	0.29
Reach 1	7640	PF 3	10.00	111.83	112.47	112.15	112.48	0.000707	0.56	21.56	55.92	0.25
Reach 1	7595	PF 1	21.00	111.07	112.63		112.63	0.000052	0.31	100.27	120.13	0.08
Reach 1	7595	PF 2	14.00	111.07	112.54		112.54	0.000030	0.23	90.26	113.66	0.06
Reach 1	7595	PF 3	10.00	111.07	112.48		112.48	0.000019	0.18	83.20	108.87	0.05
Reach 1	7519	PF 1	21.00	109.72	112.63		112.63	0.000003	0.11	302.67	206.16	0.02
Reach 1	7519	PF 2	14.00	109.72	112.54		112.54	0.000001	0.08	285.18	200.37	0.02
Reach 1	7519	PF 3	10.00	109.72	112.48		112.48	0.000001	0.06	272.55	196.09	0.01
Reach 1	7460	PF 1	21.00	108.75	112.63		112.63	0.000001	0.06	536.41	273.11	0.01
Reach 1	7460	PF 2	14.00	108.75	112.54		112.54	0.000000	0.04	513.14	267.15	0.01
Reach 1	7460	PF 3	10.00	108.75	112.48		112.48	0.000000	0.03	496.26	262.74	0.01
Reach 1	7354	PF 1	21.00	109.74	112.63		112.63	0.000001	0.06	530.49	317.67	0.01
Reach 1	7354	PF 2	14.00	109.74	112.54		112.54	0.000000	0.04	503.61	306.96	0.01

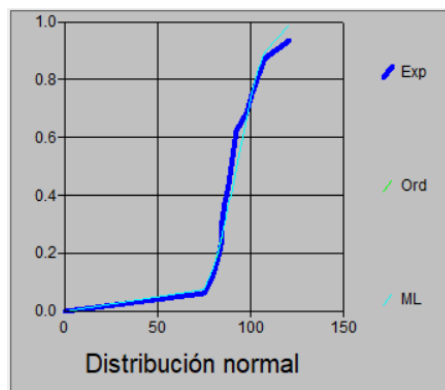
Total flow in cross section.

Apéndice D. Shape de estaciones hidrometeorológicas del IDEAM.

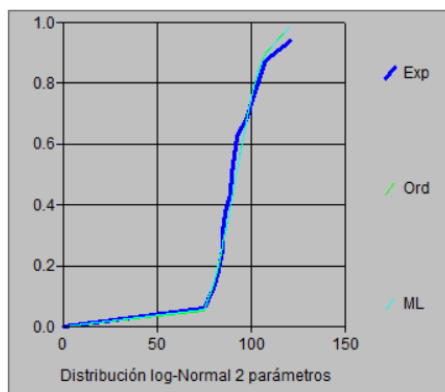


Apéndice E. Ajuste de los datos de precipitaciones máximas anuales en 24 horas de las estaciones hidrometeorológicas a diferentes distribuciones mediante la implementación del software Hidroesta 2.

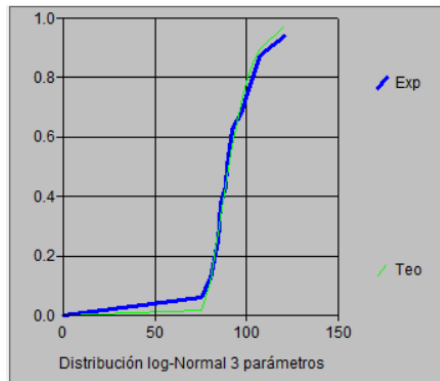
Ajuste de los datos de la estación Rosas a una distribución Normal. Como el delta teórico 0.1333, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



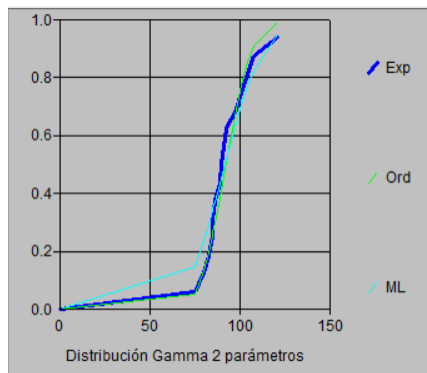
Ajuste de los datos de la estación Rosas a una distribución log-Normal de 2 parámetros. Como el delta teórico 0.1099, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



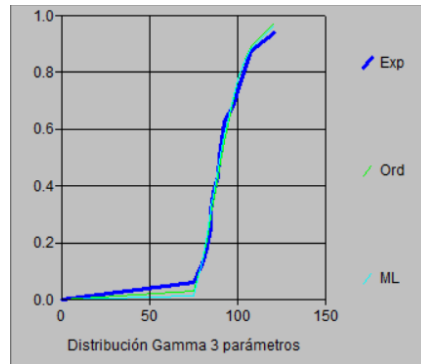
Ajuste de los datos de la estación Rosas a una distribución log-Normal de 3 parámetros. Como el delta teórico 0.0575, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



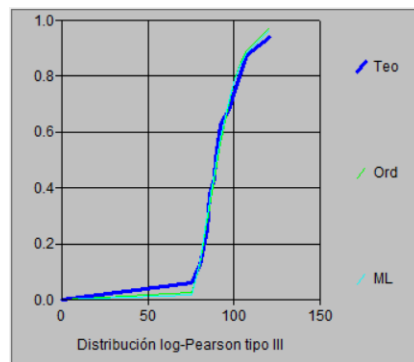
Ajuste de los datos de la estación Rosas a una distribución Gamma de 2 parámetros. Como el delta teórico 0.1177, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



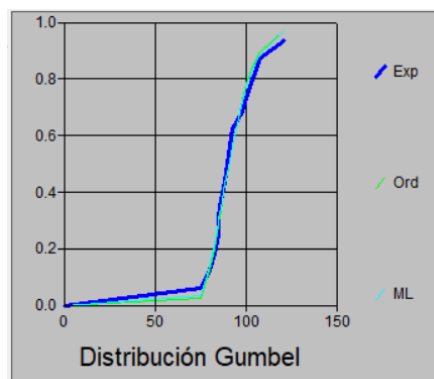
Ajuste de los datos de la estación Rosas a una distribución Gamma de 3 parámetros. Como el delta teórico 0.07002, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



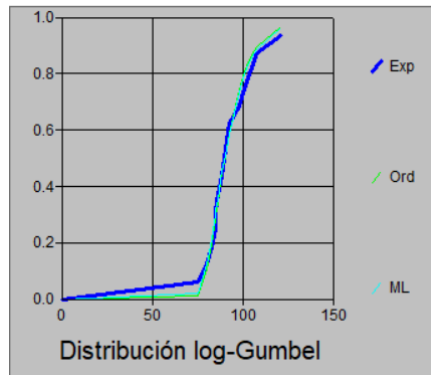
Ajuste de los datos de la estación Rosas a una distribución log-Pearson tipo III. Como el delta teórico 0.06678, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



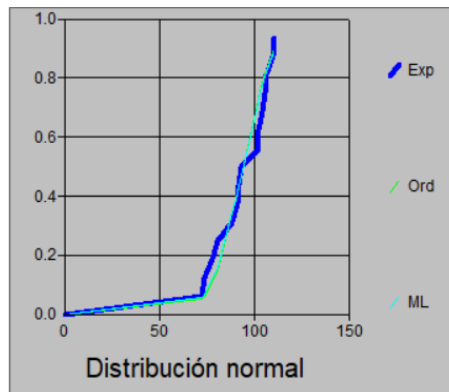
Ajuste de los datos de la estación Rosas a una distribución Gumbel. Como el delta teórico 0.0632, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



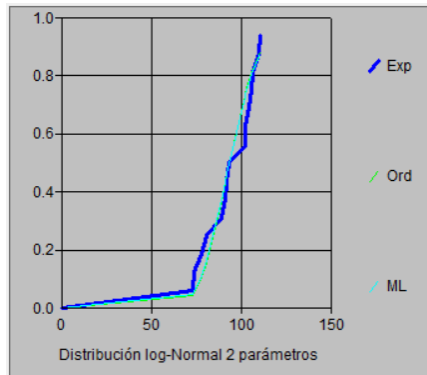
Ajuste de los datos de la estación Rosas a una distribución log-Gumbel. Como el delta teórico 0.0583, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



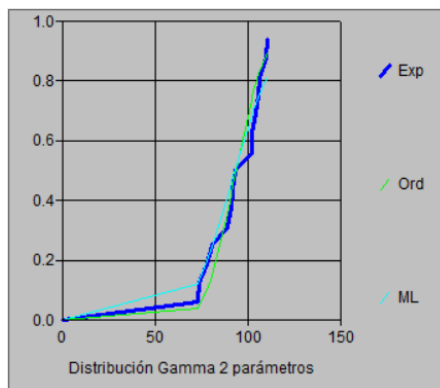
Ajuste de los datos de la estación Párraga a una distribución Normal. Como el delta teórico 0.1642, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



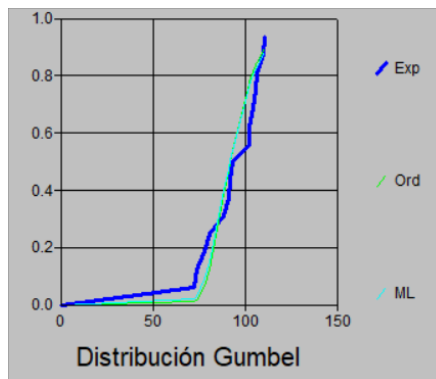
Ajuste de los datos de la estación Párraga a una distribución log-Normal 2 parámetros. Como el delta teórico 0.1712, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



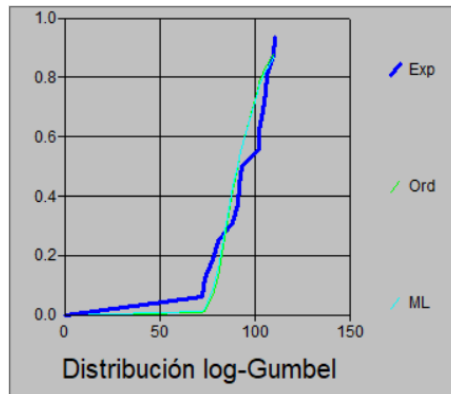
Ajuste de los datos de la estación Párraga a una distribución Gamma 2 parámetros. Como el delta teórico 0.1763, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



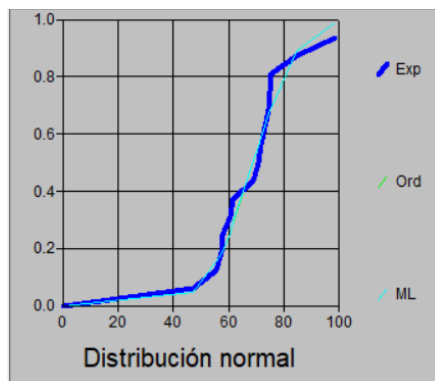
Ajuste de los datos de la estación Párraga a una distribución Gumbel. Como el delta teórico 0.2093, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



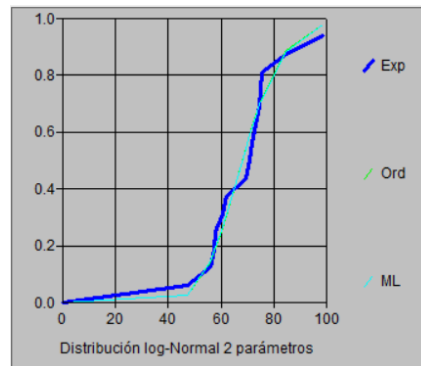
Ajuste de los datos de la estación Párraga a una distribución log-Gumbel. Como el delta teórico 0.2146, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



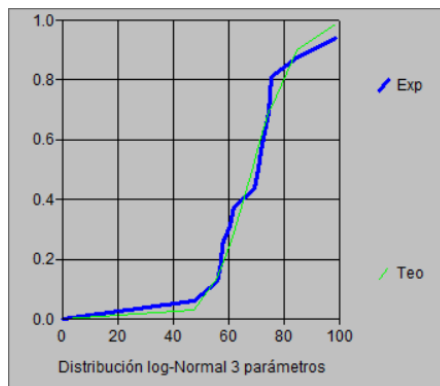
Ajuste de los datos de la estación Paispamba a una distribución Normal. Como el delta teórico 0.1223, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



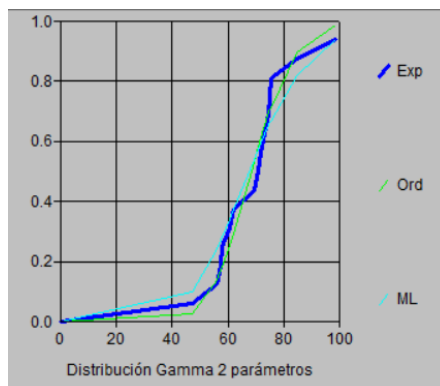
Ajuste de los datos de la estación Paispamba a una distribución log-Normal 2 parámetros. Como el delta teórico 0.1042, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



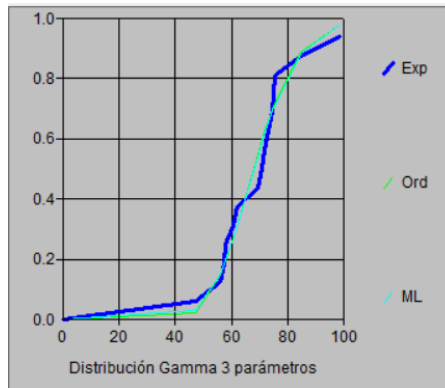
Ajuste de los datos de la estación Paispamba a una distribución log-Normal 3 parámetros. Como el delta teórico 0.1031, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



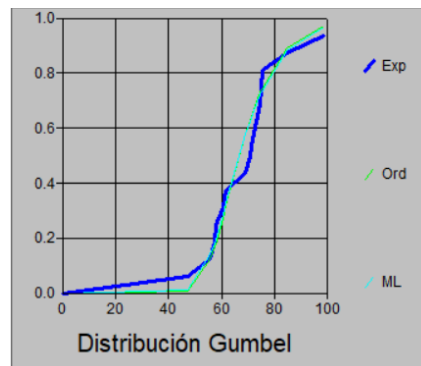
Ajuste de los datos de la estación Paispamba a una distribución Gamma 2 parámetros. Como el delta teórico 0.0993, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



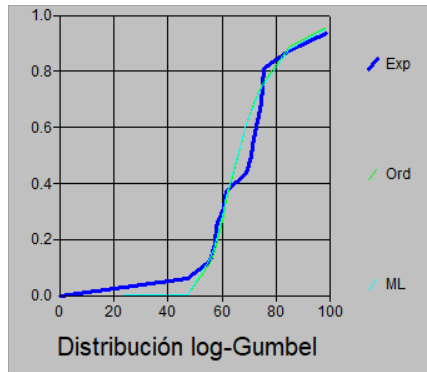
Ajuste de los datos de la estación Paispamba a una distribución Gamma 3 parámetros. Como el delta teórico 0.10845, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



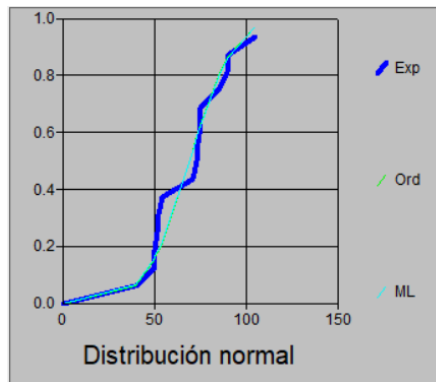
Ajuste de los datos de la estación Paispamba a una distribución Gumbel. Como el delta teórico 0.1406, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



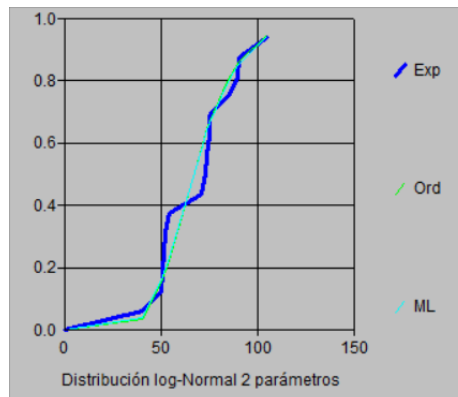
Ajuste de los datos de la estación Paispamba a una distribución log-Gumbel. Como el delta teórico 0.1746, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



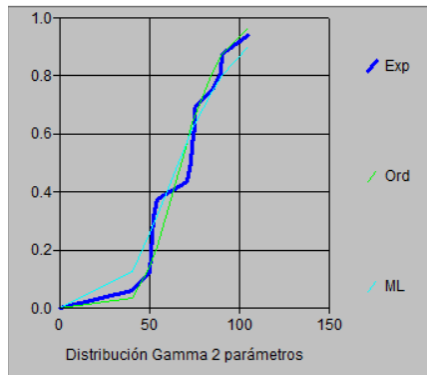
Ajuste de los datos de la estación Saladito a una distribución Normal. Como el delta teórico 0.1635, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



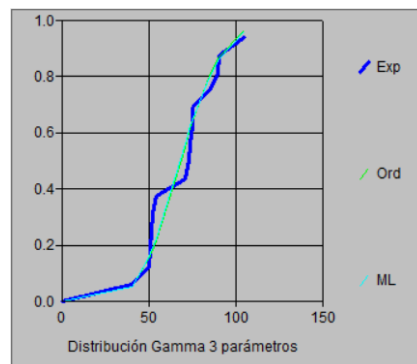
Ajuste de los datos de la estación Saladito a una distribución log-Normal 2 parámetros. Como el delta teórico 0.1490, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



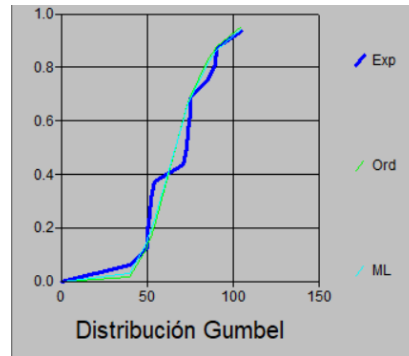
Ajuste de los datos de la estación Saladito a una distribución Gamma 2 parámetros. Como el delta teórico 0.1629, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



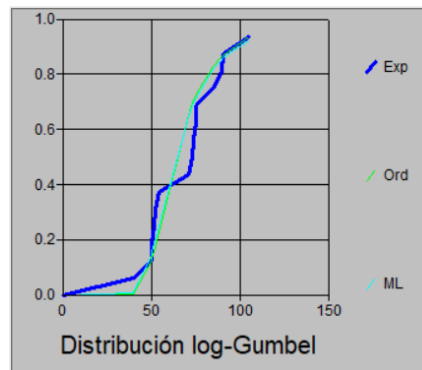
Ajuste de los datos de la estación Saladito a una distribución Gamma 3 parámetros. Como el delta teórico 0.1598, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



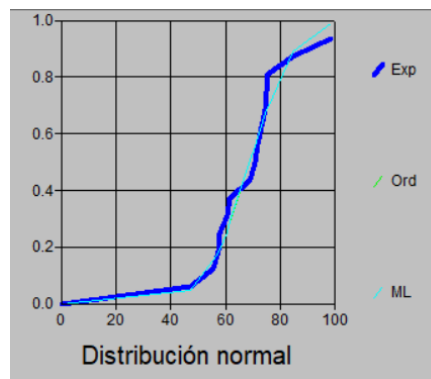
Ajuste de los datos de la estación Saladito a una distribución Gumbel. Como el delta teórico 0.1667, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



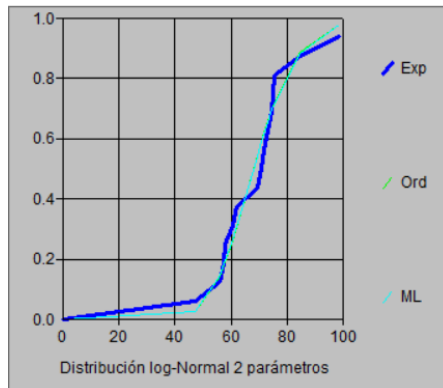
Ajuste de los datos de la estación Saladito a una distribución log-Gumbel. Como el delta teórico 0.2129, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



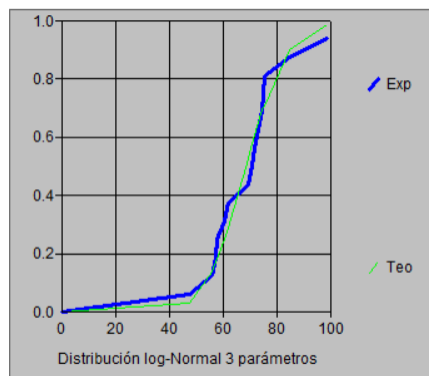
Ajuste de los datos de la estación Las Estrellas a una distribución Normal. Como el delta teórico 0.1223, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



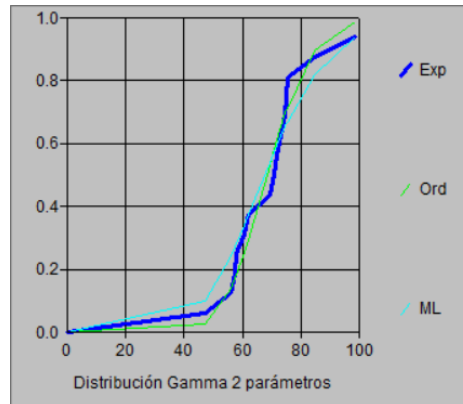
Ajuste de los datos de la estación Las Estrellas a una distribución log-Normal 2 parámetros. Como el delta teórico 0.1042, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



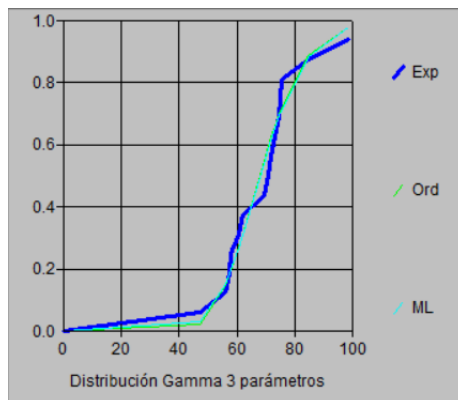
Ajuste de los datos de la estación Las Estrellas a una distribución log-Normal 3 parámetros. Como el delta teórico 0.1031, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



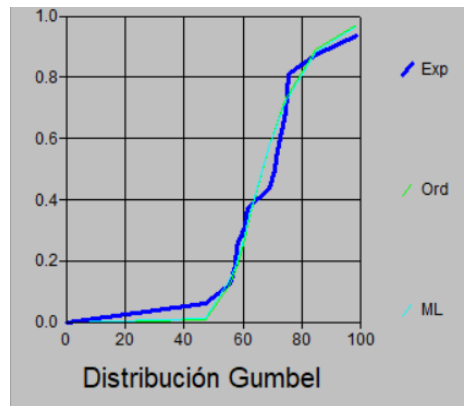
Ajuste de los datos de la estación Las Estrellas a una distribución Gamma 2 parámetros. Como el delta teórico 0.0993, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



Ajuste de los datos de la estación Las Estrellas a una distribución Gamma 3 parámetros. Como el delta teórico 0.10845, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



Ajuste de los datos de la estación Las Estrellas a una distribución Gumbel. Como el delta teórico 0.1406, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.



Ajuste de los datos de la estación Las Estrellas a una distribución log-Gumbel. Como el delta teórico 0.1736, es menor que el delta tabular 0.3512, los datos se ajustan a esta con un nivel de significancia de 5 %.

