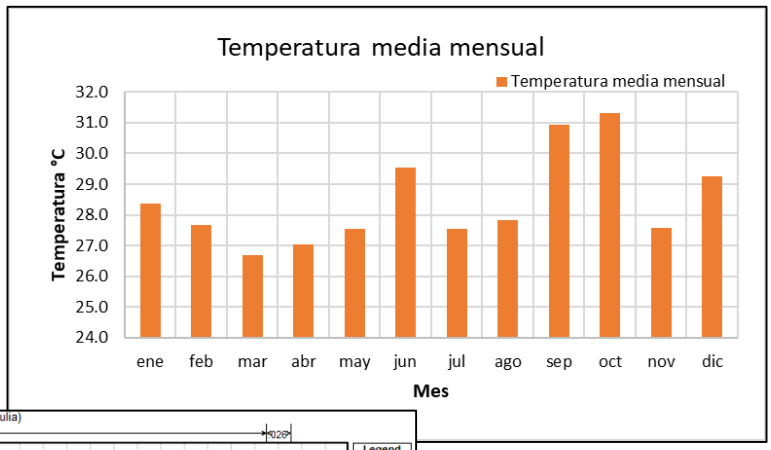
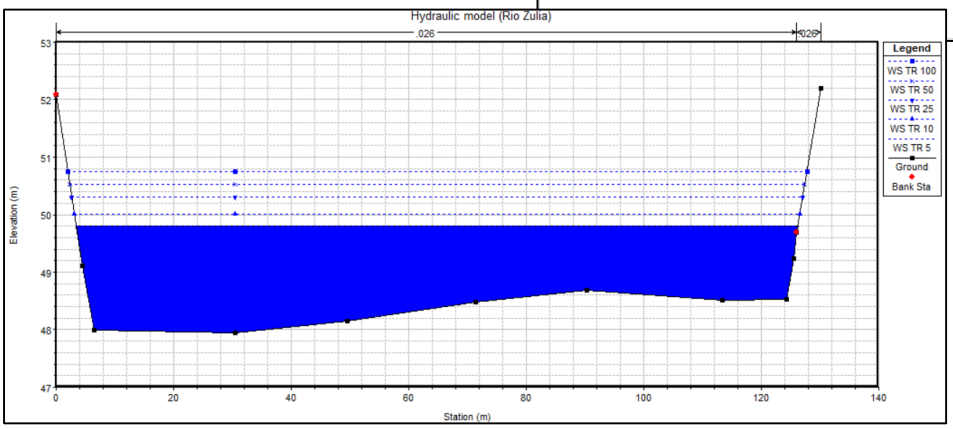




INFORME TÉCNICO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO MUNICIPIO DE PUERTO SANTANDER, DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER.

Abril - 2021

Realizo:
Ing. Brayan Leonardo Arcos Avilez
TP: 15237 - 365425 BYC

TABLA DE CONTENIDO

1 ÁREA DE ESTUDIO 5
1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA 5
1.2 CONDICIÓN CLIMATOLÓGICA 6
1.2.1 Temperatura 6
1.2.2 Precipitación 7
1.2.3 Vientos 10
1.2.4 Humedad Relativa 11
1.2.5 Evaporación 11
2 REVISIÓN DE LITERATURA 13
2.1 MODELO Y REVISIÓN DE SOFTWARE 13
2.1.1 QGIS: GRASS 13
2.1.2 PYTHON 13
2.1.3 HYDROGNOMON 13
2.1.4 MODELO HIDRÁULICO: HEC-RAS 13
2.2 CONCEPTOS HIDROLÓGICOS 14
2.2.1 Simulación de eventos extremos 14
2.2.2 Curva de duración de caudales 14
2.2.3 Índice 7q10 14
3 METODOLOGÍA 15
3.1 ADQUISICIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS 15
3.1.1 Secciones batimétricas 15
3.1.2 Análisis de frecuencia de caudales 15
3.1.3 Información para el desarrollo del modelo hidráulico 15
3.1.4 Delimitación del área de drenaje 16
3.1.5 Tratamiento de la información limnimétrica 16
3.2 DESARROLLO DEL MODELO HIDRÁULICO 18
3.2.1 Preprocesamiento de las secciones batimétricas en RAS MAPPER 18
4 MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO 19
4.1 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN LIMNIMÉTRICA 19
4.1.1 Análisis Caudales máximos multianuales 19
4.1.2 Curva de duración de caudales 21
4.1.3 Capacidad de oferta de la cuenca 22
4.1.4. Cálculo del caudal seguro 24
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 28
6 ANEXOS 29
7 REFERENCIAS 30
8 MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD 32
9 MATRICULA PROFESIONAL 33
10 CERTIFICADO DE VIGENCIA 34

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio 5
Figura 2. Valores medios mensuales de Temperatura (1969-2020) – Estación Puerto Santander. 7
Figura 3. Valores medios mensuales de precipitación (1969-2020) – Estación Puerto Santander. 9
Figura 4. Distribución de temperatura y precipitación para el municipio de Puerto Santander y Cúcuta 10
Figura 5. Valores medios mensuales de Humedad Relativa (1968-2020) – Estación Camilo Daza. 11
Figura 6. Valores medios mensuales de Evaporación (1968-2020) – Estación Universidad de Pamplona - AUT [16015120] 12
Figura 7 Precipitación máxima anual en 24 horas reportada en la estación Puerto León - Puerto Santander 19
Figura 8 Análisis de distribución de frecuencias. 20
Figura 9. Curva de duración de caudales 21
Figura 10. Régimen de temperatura mensual dentro del área de estudio 22
Figura 11 Régimen de precipitación mensual dentro del área de estudio 22
Figura 12 Oferta hídrica de la cuenca a nivel mensual 23
Figura 13 Caudal mínimo anual (por promedio semanal) para la cuenca de estudio 24
Figura 14 Análisis de distribución de frecuencias 25
Figura 15. Topología del modelo hidráulico 26
Figura 16. Calado de la sección aguas arriba de la estructura en los diferentes periodos de retorno 27
Figura 17 Calado de la sección aguas debajo de la estructura en los diferentes periodos de retorno 27

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.

blarcosa@gmail.com
+573212565067

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Promedio anual de la Temperatura en las estaciones aledañas. 6
Tabla 2 Máximos Y Mínimos de Temperaturas Promedios Mensuales. 6
Tabla 3 Información pluviométrica de la estación aledaña 8
Tabla 4 Resultados del análisis de distribución de frecuencias. 20
Tabla 5 Caudales pronosticados para diferentes periodos de retorno. 20
Tabla 6 Percentiles obtenidos de la curva de duración de caudales. 21
Tabla 7 Balance hídrico del cauce 23
Tabla 8 Resultados del análisis de distribución de frecuencias 25
Tabla 9 Resultados hidráulicos en las secciones del cauce 27

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

RESUMEN DEL PROYECTO

Para anticipar el comportamiento de las corrientes de agua, se hace necesario determinar las características morfológicas, geológicas, hidrológicas e hidráulicas y posibles alteraciones de origen natural o antrópico que puedan afectar el presente o futuro del cauce.

El presente estudio se orienta hacia la evaluación hidrológica e hidráulica del rio Zulia, sector en donde se realizará la ampliación de la concesión de agua y se realizaran los respectivos ajustes a la construcción de una estructura hidráulica para la captación de agua de origen fluvial (Bocatoma). Este estudio permitirá evaluar el caudal de concesión para el acueducto, además determinará la existencia de los potenciales riesgos o amenazas de origen hidrológico que puedan afectar la construcción.

Desde este punto de vista, se tiene en cuenta la descripción climatológica regional y local de la zona de estudio, descripción hidrológica local, curvas de duración de caudales, capacidad de oferta, caudal ecológico y caudal seguro. Así mismo, se plantearán diferentes escenarios que emularán eventos de precipitación extremos con el fin de determinar las consecuencias hidráulicas que se ocasionarán sobre la estructura y sobre el cauce. Estas consecuencias se evaluarán de acuerdo a los resultados obtenidos a partir de la simulación de modelos hidráulicos simplificados cuyo objetivo principal es cuantificar las variables hidráulicas tales como el calado y la velocidad de flujo.

Cabe resaltar que, a lo largo del estudio, se realizan diferentes suposiciones debido a la complejidad para la obtención de cierta información, lo que aumenta la incertidumbre estadística de los resultados. No obstante, el estudio brinda herramientas y conceptos claves desde el punto de vista técnico que se deben tener en cuenta al momento de la puesta en marcha de la construcción.
ALCANCE DEL PROYECTO: Consiste en el desarrollo del modelo hidrológico e hidráulico del rio Zulia municipio de Puerto Santander- Norte de Santander.

El proyecto contempla

- Área de estudio.
- Conceptos técnicos
- Metodología.
- Modelo hidrológico e hidráulico.
- Conclusiones y recomendaciones.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

1 ÁREA DE ESTUDIO

1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La cuenca del rio Zulia nace en la Serranía de Santurbán y desemboca en el río Catatumbo. Tiene una extensión de 310 kilómetros, de los cuales 154 se encuentran del lado de Colombia. Recorre los municipios de Arboledas, Cúcuta, Cucutilla, Durania, Mutiscua, El Zulia, San Cayetano, Salazar, Santiago, Puerto Santander y Tibú. Para este caso se tiene en cuenta el área de estudio dentro del municipio de Cúcuta en la zona Rural del corregimiento Casa amarilla a 3 km de la zona rural del municipio de Puerto Santander, específicamente en el punto geográfico definido por las coordenadas 8°19'17.19" N, 72°25'45.19" W con una altitud de 270 metros. El área presenta una temperatura promedio de 29° C, con una precipitación media anual de 234.18 mm. En la Figura 1 se presenta la ubicación de la zona de estudio.

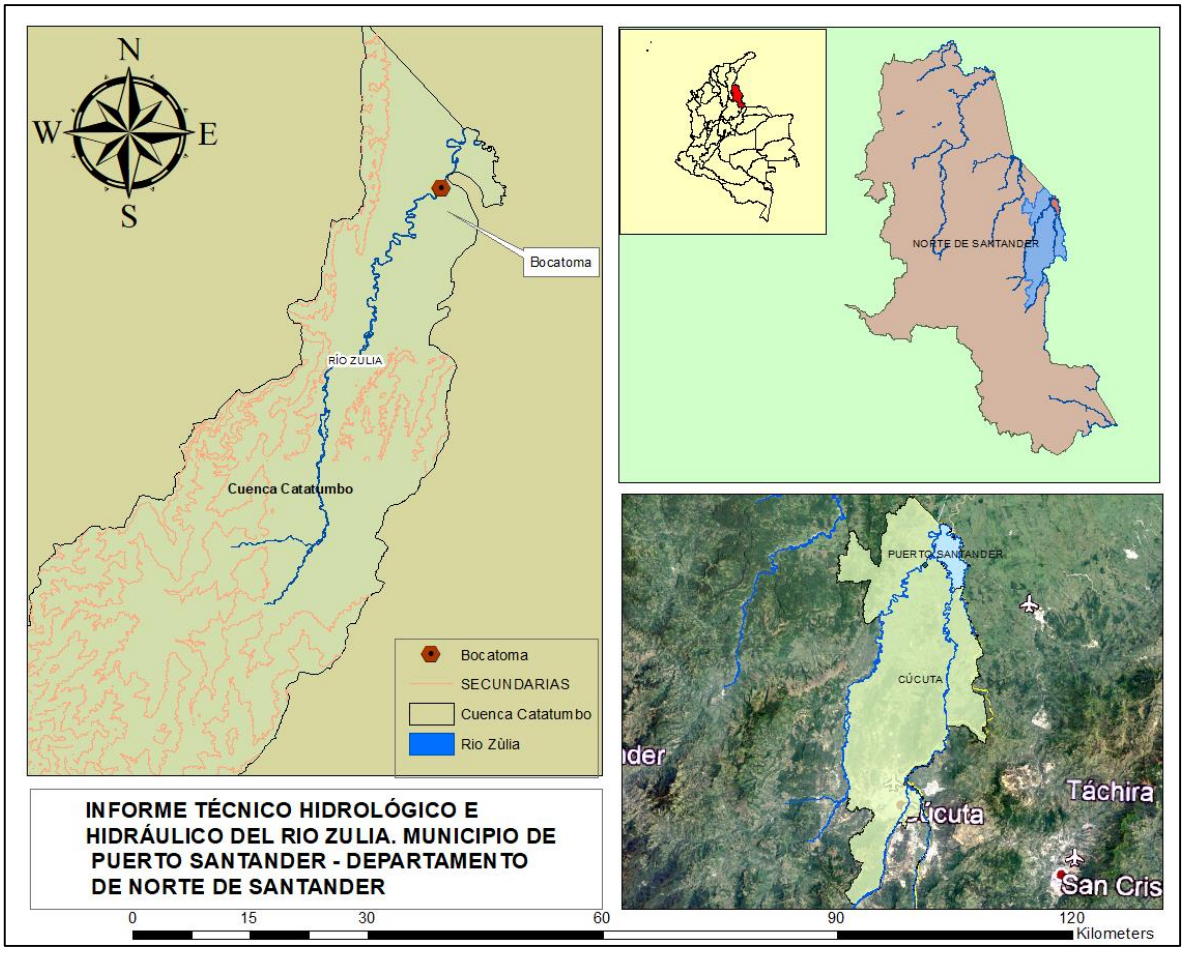


Figura 1. Localización del área de estudio
Referencia: Consultor

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

1.2 CONDICIÓN CLIMATOLÓGICA

En este apartado se evalúan aspectos climáticos como la precipitación, temperatura, humedad relativa y vientos, parámetros que de acuerdo a su distribución e intensidad caracterizan las formas del relieve, las zonas de vida, la estabilidad de los materiales, la cobertura vegetal, entre otros aspectos.

1.2.1 Temperatura

Aunque la temperatura promedio del municipio es de 29.3º C, se presentan dos períodos representativos, las más altas temperaturas en el municipio de Puerto Santander se dan en los cuatro primeros meses del año, alcanzando una temperatura de 38° C, seguido de un período de temperaturas más bajas de junio a agosto que llegan a los 24° C.

Temperatura Promedio Anual

Se cuenta con información de tres Estaciones Meteorológicas de las cuales se puede concluir que la temperatura promedio anual varia con respecto a la altura sobre el nivel del mar en que está localizada la Estación.

Estación	Temperatura promedio anual (°C)	Altura (m.s.n.m.)
DAVE EL [16015080]	27.35	290
CARMEN DE TONCHALA [16025010]	26.54	285
SANTA ISABEL [16015040]	27.4	654

Tabla 1 Promedio anual de la Temperatura en las estaciones aledañas.
Referencia: Consultor

De esta manera se puede decir que el Municipio de Puerto Santander debido a su localización cuenta con una amplia diversidad de temperaturas medias que oscilan entre los 24 ºC y los 39.8 ºC. El promedio de temperatura media es de 29.3 ºC.

Temperatura Promedio Mensual.

Tal como se observa en la Tabla 2 la temperatura promedio mensual muestra una tendencia a ser mayor hacia los primeros y a disminuir hacia mediados del año y algunos últimos meses. Pero la diferencia se puede apreciar en la Tabla 2 donde se reflejan los valores máximos y mínimos de las temperaturas promedios mensuales.

Estación	Meses Temperatura mínima	Valor (ºC)	Meses Temperatura máxima	Valor (ºC)	Diferencia (°C)
DAVE EL [16015080]	Marzo-Abril	25.3	Agosto-octubre-Noviembre	39.8	14..5
CARMEN DE TONCHALA [16025010]	Marzo- Abril	21.3	Septiembre-Octubre	37.5	16.2
SANTA ISABEL [16015040]	Enero- Febrero	23.5	noviembre Diciembre	36.6	13.1

Tabla 2 Máximos Y Mínimos de Temperaturas Promedios Mensuales.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

Referencia: Consultor

Como se aprecia, la diferencia entre el mes más caluroso y el menos caluroso es en promedio 16° C, con lo cual se puede afirmar que la temperatura no es muy constante a través de los meses del año. Esta posición hace que el clima varíe entre los 24° a 39°; siendo el clima promedio de 29° C en el casco urbano; en la zona rural es muy variado ya que cuenta diversos usos de suelo y cobertura vegetal. En la Figura 2 se observa el comportamiento de la temperatura media mensual de la estación DAVE EL [16015080] del municipio de Puerto Santander.

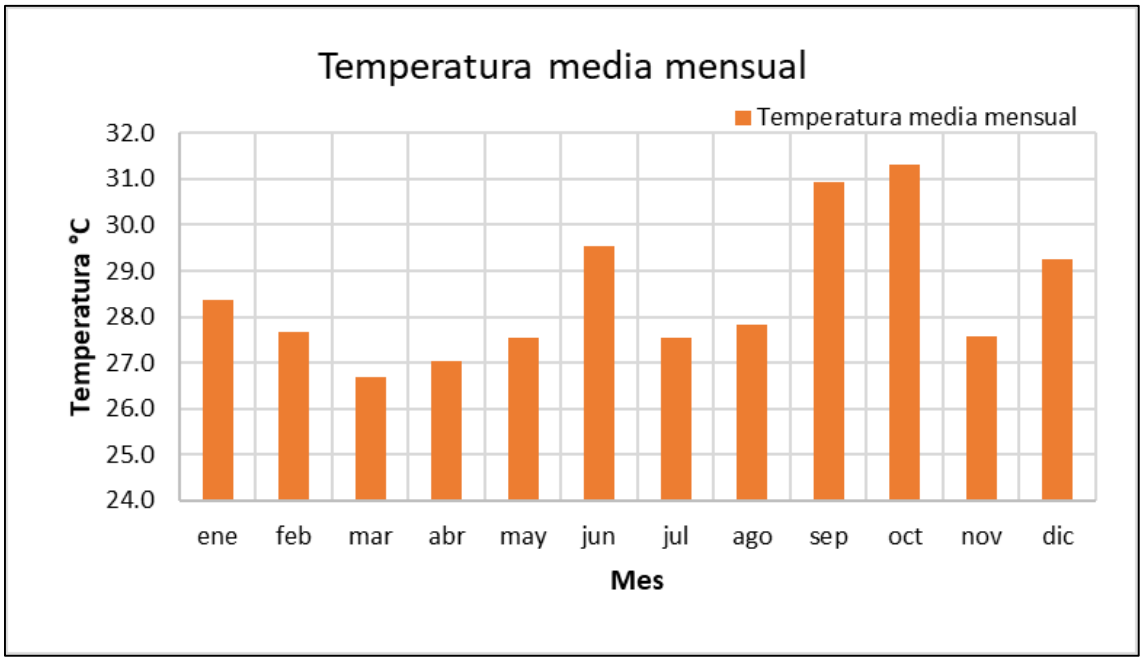


Figura 2. Valores medios mensuales de Temperatura (1969-2020) – Estación Puerto Santander.
Referencia: Consultor

1.2.2 Precipitación

La precipitación es toda forma de agua que se deposita sobre la superficie terrestre y que proviene de la humedad atmosférica". Proviene en los tres estados: líquido, sólido y gaseoso. El estado de precipitación que se analiza es el líquido. Es muy importante establecer, comprender y analizar la medida de la precipitación en un espacio geográfico dado y en un tiempo dado, ya que con base en ella se planifica de una manera más acertada las actuaciones del hombre en aspectos que abarcan desde el agropecuario, industrial, obras civiles y hasta el turismo, muy importante en esta región de Norte de Santander.

Precipitación Anual.

Esta medida indica la cantidad de lluvia que cae en un año, en este caso la medida anual promedio de la precipitación. Como se tienen diferentes estaciones midiendo este elemento se puede decir que la precipitación promedio anual se presenta de una manera claramente diferenciable en el espacio;

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

pues mientras las estaciones que se ubican a mayor altura registran lluvias relativamente altas, las que están cercanas a los mil metros registran poca lluvia; teniendo en cuenta que para esas alturas es más alta la evapotranspiración y por tanto se necesita que haya más agua.

Se cuenta con información de la estación climatológica principal en el municipio de Puerto Santander (PUERTO SANTANDER [16020370]). El Municipio cuenta con territorio que abarca una altura promedio de 290 m.s.n.m., esto quiere decir que la estación se correlaciona en el espacio y son congruentes con la altura, de esta forma se puede observar que para el municipio se puede estimar una pluviometría anual media de 234.13 mm de lluvia, lo cual hace prever que por efectos de cantidad de agua el municipio cuenta con un agua abundante para desarrollar actividades agrícolas, siempre y cuando se realice su manejo adecuado.

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN ANUAL (MM)	ALTURA (M.S.N.M)
PUERTO SANTANDER [16020370]	234.13	60

Tabla 3 Información pluviométrica de la estación aledaña
Referencia: Consultor

Precipitación Mensual.

Es necesario establecer la precipitación que ocurre mensualmente en determinada área y más si es un área donde su principal uso por parte de los habitantes es el agropecuario. Pues con base en la precipitación se sabe en qué meses se debe sembrar los productos agrícolas para que estos aprovechen mejor el agua que se precipita y se almacena en el suelo. Del mismo modo, determinar si se requieren captaciones en la fuente para consumo humano para determinar la cantidad del recurso.

Para el municipio de Puerto Santander el régimen de lluvias local presenta un período lluvioso máximo en los meses de abril, octubre y noviembre. La precipitación media total anual tiene un valor de 1324.56 mm/año para los registros del año 1969 -2020, con una oscilación media mensual entre los 150 mm/mes y 355 mm/mes para la estación Puerto Santander.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

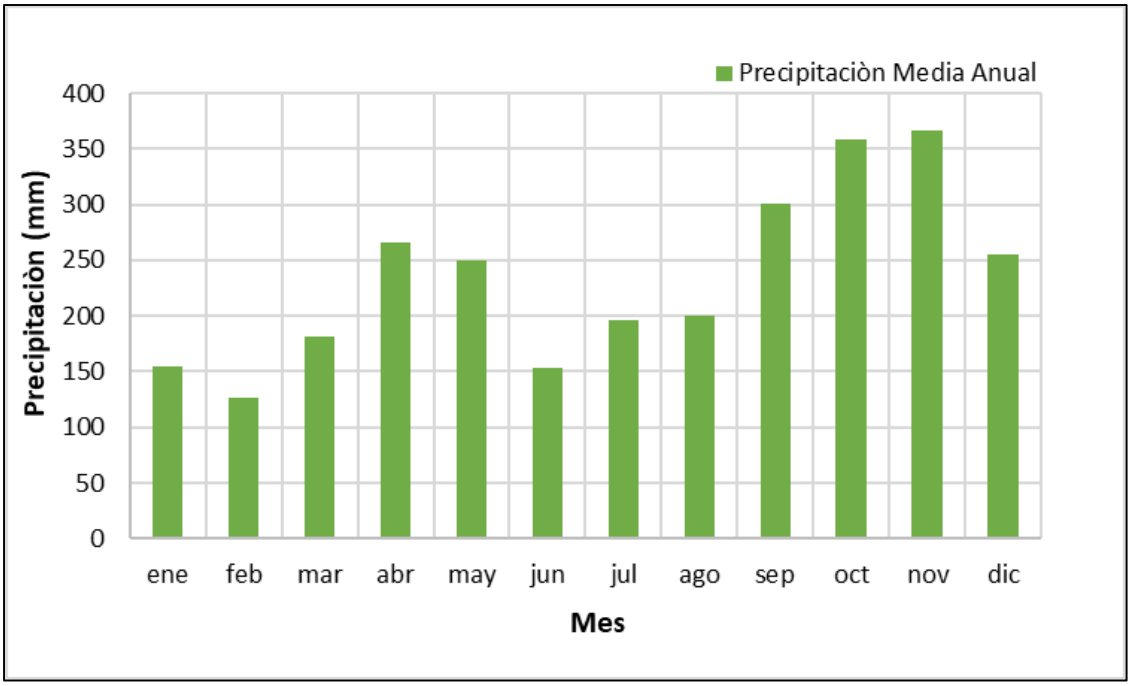


Figura 3. Valores medios mensuales de precipitación (1969-2020) – Estación Puerto Santander. Referencia: Consultor

Esta variación de la precipitación, como se muestra en la Figura 3 para la estación de Puerto Santander, indica que tanto los periodos de sequía como los lluvioso la ocurrencia del evento es moderada, es decir, los veranos no son muy secos y los inviernos no son muy lluviosos.

En la Figura 4 se presenta la distribución de temperatura y precipitación en los municipios de Puerto Santander y Cúcuta teniendo en cuenta las estaciones cercanas al área de influencia y la Cuenca del Catatumbo. Para el caso de la precipitación se tuvo en cuenta doce estaciones cercanas a los municipios, y para temperatura se trabajaron seis estaciones. Se uso la metodología de interpolación IDW para hacer el respectivo cálculo. Se puede observar que la distribución de precipitación y temperatura presenta un comportamiento uniforme de acuerdo al régimen de lluvia, y al área de la cuenca.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

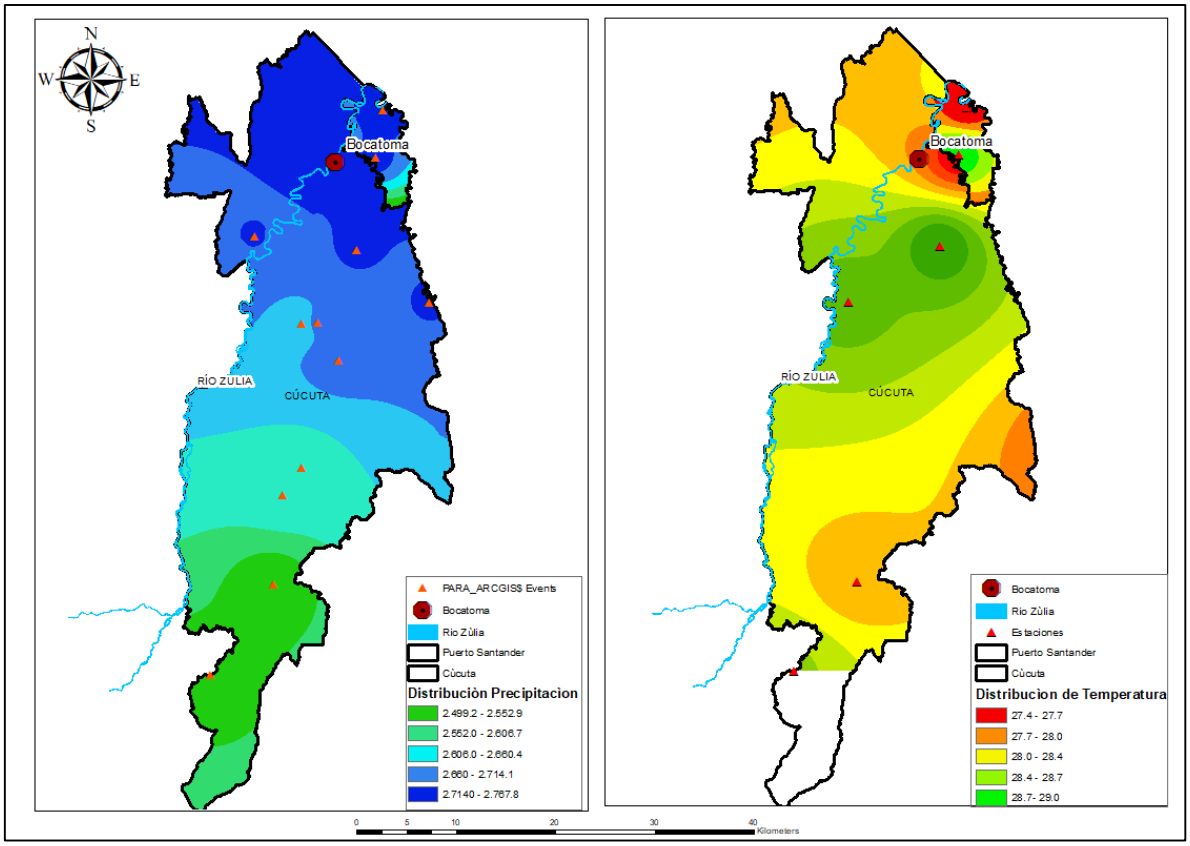


Figura 4. Distribución de temperatura y precipitación para el municipio de Puerto Santander y Cúcuta
Referencia: Consultor

1.2.3 Vientos

Velocidad Promedio Anual del Viento.

La velocidad promedio del viento anual varia con respecto a la altura sobre el nivel del mar donde está ubicada la Estación: “A mayor altura, más velocidad del viento”.

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La información relacionada a vientos es escasa por ello se asume información de áreas próximas como es la velocidad promedio del viento por hora en Puerto Santander tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año. La parte más ventosa del año dura 2,5 meses, del 16 de julio al 20 de octubre, con velocidades promedio del viento de más de 6 kilómetros por hora. El día más ventoso del año en el 29 de julio, con una velocidad promedio del viento de 8,5 kilómetros por hora. El tiempo más calmado del año dura 8,5 meses. El día más calmado del año es el 15 de enero, con una velocidad promedio del viento de 4,7 kilómetros por hora.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

1.2.4 Humedad Relativa

La humedad relativa multianual es 79,5% con mayor valor en el mes de noviembre y menor valor en el mes de diciembre.

Representa el contenido de vapor de agua en la atmósfera siendo este un elemento importante para que se presenten precipitaciones y además controla la evapotranspiración del suelo y la cobertura vegetal. Los valores de humedad relativa son altos y esto condiciona en la mayoría del territorio un ambiente húmedo y por consiguiente una baja evapotranspiración. En casi todos los meses la humedad relativa es superior al 79,5%; la cual alcanza un valor máximo del 85% en el mes de julio y un valor mínimo del 76,5% en los meses de enero, febrero y marzo y con una humedad relativa media anual del 83%.

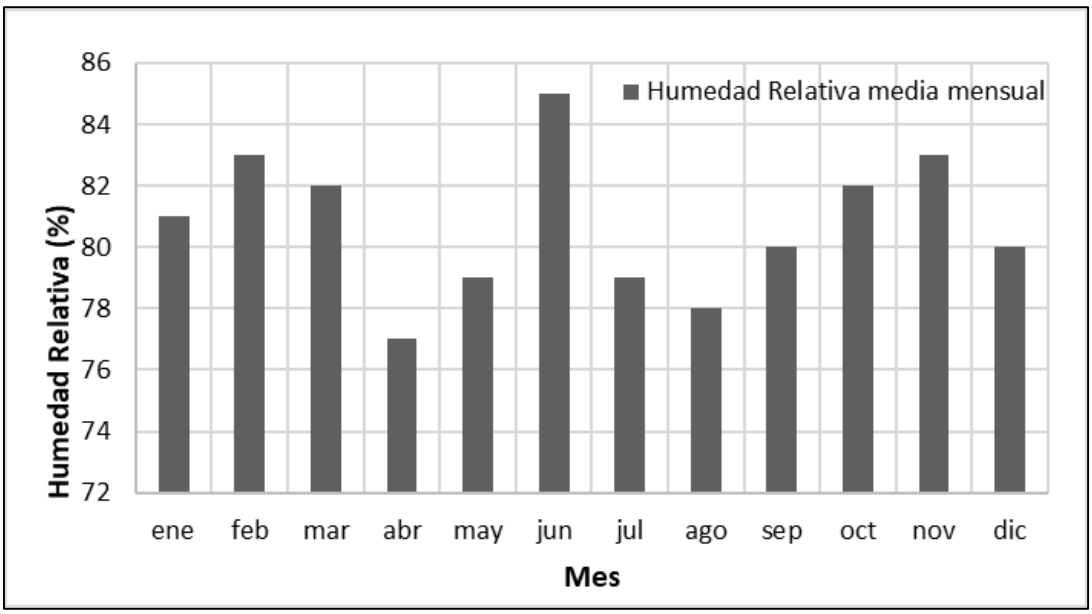


Figura 5. Valores medios mensuales de Humedad Relativa (1968-2020) – Estación Camilo Daza. Referencia: Consultor

1.2.5 Evaporación

Los meses donde se presenta mayor evaporación son los meses de diciembre, enero, junio y julio, llegando a un máximo valor de 1980.0 mm, en el mes de julio y un valor mínimo de 1110 mm, en el mes de abril. En la estación Universidad de Pamplona - AUT [16015120], se registra una evaporación anual de 1524.3 mm. La distribución de evaporación en el municipio de Puerto Santander oscila entre 1.550 y 1.960 mm/año, presentándose la mayor época de humedad entre los meses de marzo hasta septiembre y un período menos lluvioso entre octubre y noviembre, seguidos de una única época seca en los meses de diciembre, enero y febrero.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

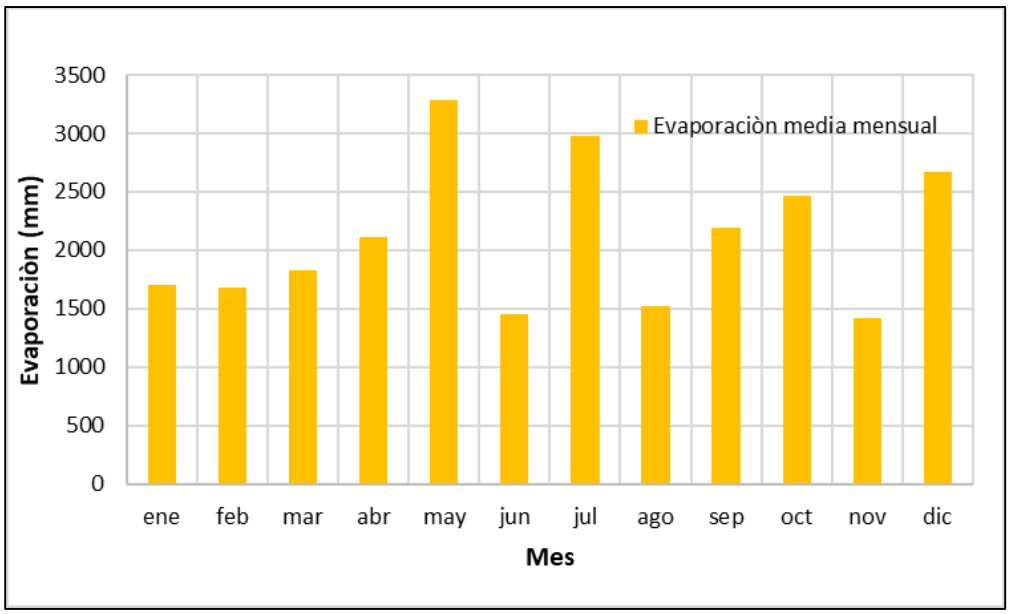


Figura 6. Valores medios mensuales de Evaporación (1968-2020) – Estación Universidad de Pamplona - AUT [16015120]. Referencia: Consultor

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.

blarcosa@gmail.com
+573212565067

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MODELO Y REVISIÓN DE SOFTWARE

2.1.1 QGIS: GRASS

QGIS es un Sistema de Información Geográfica de software libre, el cual proporciona una gran gama de herramientas por medio de funciones básicas y complementos, como lo es la visualización y superposición de diversos tipos de datos, la gestión, la edición y el análisis de datos con la finalidad de diseñas mapas. En la categoría de complementos (plugins) que forman parte de este software, los más comunes son los GDALTools, GRASS, administrador de BBDD, entre muchos otros. GRASS por su parte proporciona acceso a las bases de datos y funcionalidad de GRASS GUS, lo que incluye, la visualización de capas vectoriales y ráster de GRASS, la digitalización de capas vectoriales, la edición de los atributos vectoriales y el análisis de datos GRASS 3-D y 3-D.

2.1.2 PYTHON

Este es un lenguaje de programación gratuito, que se caracteriza en ser amigable con el usuario, debido a que permite el uso de herramientas como el Python Package Index, la cual cuenta con más de quince mil paquetes listados. En el campo de la hidrología se ha venido extendido su utilización debido al desarrollo de nuevos paquetes hidrológicos, además de permitir el acceso a una gran variedad de herramientas GIS, matemáticas, estadísticas, entre otras. Entre las ventajas de este lenguaje de programación es que cuenta con una sintaxis clara y legible, además de adicionar fácilmente códigos escritos en C, C++ y Fortran (Tomer, 2011).

2.1.3 HYDROGNOMON

Este corresponde a una herramienta de software libre con fines de procesamiento de datos hidrológicos, el cual incluye técnicas estándar como la agregación y regularización de pasos de tiempo, interpolación, análisis de regresión, llenado de valores perdidos, visualización geográfica, entre otras, además de incluir aplicaciones hidrológicas comunes como el modelado de evapotranspiración, análisis de descarga por etapas, pruebas de homogeneidad, procesamiento de datos hidrométricos. A parte, este cuenta con un módulo estadístico, en donde se incluyen herramientas como ajustes de distribución, predicción estadística, simulación de Montecarlo, construcción de curvas Intensidad-duración-frecuencia, entre otras (Kozanis et al., 2010).

2.1.4 MODELO HIDRÁULICO: HEC-RAS

La herramienta HEC-RAS tiene la capacidad de realizar un modelado de flujo constante y un enrutamiento dinámico del hidrograma de inundación, con este es posible definir varias características

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

del rio como depósitos, desvíos, puentes y cualquier estructura hidráulica de este (ShahiriParsa et al., 2016).

Caballos-Lopéz, 2011 define esta herramienta como un programa integrado para el cálculo de los perfiles de la superficie del agua mediante el uso de la ecuación energética, en la cual las pérdidas de energía por fricción se calculan por medio de la ecuación de Manning y las pérdidas locales por contracción y expansión del flujo se calculan como la fracción del cambio en la cabeza de velocidad entre dos secciones. La herramienta HEC-RAS se basa el Método de Paso Estándar, el cual consiste en determinar la altura del escurrimiento de cada sección a partir de la altura del escurrimiento de una sección adyacente.

2.2 CONCEPTOS HIDROLÓGICOS

2.2.1 Simulación de eventos extremos

Un evento extremo se caracteriza por tener condiciones de clima que se presentan con determinada frecuencia en una región geográfica, estos pueden acarrear intensidades de precipitaciones muy altas y baja frecuencia provocando desastres como inundaciones, generadas principalmente por colapsos en los sistemas de drenaje urbano y desbordamiento de los ríos, o al contrario un evento extremo puede traer consigo intensidades de precipitaciones muy bajas generando sequias (Ávila Parra & Martín Vide, 2013).

2.2.2 Curva de duración de caudales

Las curvas de duración de caudales son una de las herramientas más utilizadas en el modelado hidrológico debido a que proveen información acerca del porcentaje de tiempo que el caudal en un cauce excede determinado valor, estas son representadas en escala Log normal y en orden decreciente de los caudales observados (Mosahab et al., 2011), es utilizada en estudios de disponibilidad hídrica, diseño hidráulico, estudio de crecientes, caudales ecológicos y factibilidad de proyectos hidráulicos (Gallego Arias & Carvajal Serna, 2017), por otro lado, cabe destacar que en la curva de duración de caudales los caudales más bajos se encuentran en percentiles mayores al 70%, siendo el percentil 95%, un valor de caudal que estará presente el 95% del tiempo o, también llamado, caudal seguro (Álvarez, 2013).

2.2.3 Índice 7q10

El método 7Q10, propuesto por Chiang y Johnson (1976), es calculado con la finalidad de realizar la determinación del caudal ambiental mensual, este consiste en aplicar un promedio móvil de ventana de 7 días a los caudales mínimos diarios, o en caso de no presentarse la información, los caudales medios diarios, para poder así construir una serie anual con la finalidad de realizar un análisis de frecuencias de eventos mínimos extremos para la distribución de probabilidad de mejor ajuste y poder seleccionar el caudal correspondiente al periodo de retorno de 10 años, lo que resulta siendo en el 7Q10 (ANLA, 2013).

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

3 METODOLOGÍA

3.1 ADQUISICIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS

Información para el desarrollo del modelo hidráulico

Dada la existencia de una estación liminimétrica sobre el cauce de estudio, no se hace necesario el desarrollo de un modelo hidrológico, pues, la estación contiene la información espacio-temporal de la corriente. En este sentido, se requieren principalmente dos insumos para la elaboración del modelo hidráulico: secciones batimétricas y caudales de eventos extremos.

3.1.1 Secciones batimétricas

El desarrollo del modelo hidráulico requiere como insumo el levantamiento de secciones transversales que describan la morfología de la corriente con el objetivo de establecer la dinámica del flujo a través del cauce. En este sentido, se proporcionaron siete secciones transversales las cuales fueron tratadas y georreferenciadas dentro de la herramienta RAS MAPPER, posteriormente, se interpolaron cada 20 metros con el objetivo de minimizar los errores relacionados con las ecuaciones de balance de energía dentro del modelo.

3.1.2 Análisis de frecuencia de caudales

En el ámbito de la hidrología, numerosos fenómenos extremos no pueden pronosticarse con base a una información determinística, con la suficiente destreza y tiempo de antelación, para poder tomar las decisiones pertinentes a su ocurrencia.

En dichos casos, se requiere un enfoque probabilístico con el fin de incorporar los efectos de esos fenómenos en las decisiones. Si se puede suponer que las ocurrencias son temporalmente independientes, es decir, el tiempo y la magnitud de un evento no tiene relación con los eventos anteriores, entonces se puede usar el análisis de frecuencias para describir la probabilidad de cualquier evento o de una combinación de ellos, durante el intervalo necesario para una decisión. Los fenómenos hidrológicos que se describen en general mediante el análisis de frecuencias son las precipitaciones y las crecidas anuales máximas.

El enfoque matemático para el análisis de frecuencias se basa en la suposición de una descripción matemática específica, conocida como distribución de probabilidades. Los parámetros de la distribución de probabilidades se definen como funciones de las estadísticas de las observaciones hidrológicas.

3.1.3 INFORMACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL MODELO HIDRÁULICO

Secciones batimétricas

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

El desarrollo del modelo hidráulico requiere como insumo el levantamiento de secciones transversales que describan la morfología del cauce con el objetivo de establecer la dinámica del flujo a través del cauce. En este sentido, se proporcionaron cuatro secciones transversales las cuales fueron tratadas y georreferenciadas dentro de la herramienta RAS MAPPER, posteriormente, se interpolaron cada 2 metros con el objetivo de minimizar los errores relacionados con las ecuaciones de balance de energía dentro del modelo.

3.1.4 Delimitación del área de drenaje

La delimitación del área de drenaje, se realizó empleando la información del modelo de elevación digital referenciado previamente. Consecutivamente, empleando el complemento GRASS presente en QGIS se llevó a cabo la delimitación. Cabe resaltar que se realizó un quemado del raster empleando información vectorial extraída de la base de datos geográfica de Open Street Maps (OSM). Con esta delimitación, se obtuvo información relacionada con el cauce principal, el área de la zona de drenaje y las características topográficas.

3.1.5 Tratamiento de la información limnimétrica

Obtención de los caudales para eventos extremos

Los sistemas hidrológicos son afectados de manera eventual por eventos extremos, tales como: tormentas, inundaciones y sequías. La magnitud de un evento extremo está relacionado inversamente a la frecuencia de ocurrencia, por lo que eventos extremos ocurren en menor frecuencia que los eventos moderados (Chow et al., 1988). En el caso de las obras hidráulicas es necesario conocer el comportamiento de las variables climatológicas en eventos extremos, pues de su conocimiento depende el dimensionamiento de las estructuras. Para el presente caso, tal y como se mencionó previamente, la información de los eventos extremos se calculó con base en los registros históricos de la estación.
En este sentido, con ayuda de la elaboración de un código en Python se realizó un preprocesamiento de la información limnimétrica proveniente del DHIME, específicamente la estación Puerto León [16027060], posteriormente, se obtuvieron los caudales máximos en 24 horas para cada uno de los años, y se eliminaron los datos anómalos mediante la metodología del Water Resources Council. Consecuentemente, en el software Hydrognomon, se realizó el ajuste a las diferentes funciones de probabilidad y con el test de Kolmogorov – Smirnov se verificó aquella que mejor ajuste presentaba.
Una vez obtenida la función de distribución de probabilidad que mejor se ajustaba a los datos, se realizó un pronóstico a diferentes periodos de retorno (5, 10, 25, 50, 100 años).

Elaboración de la curva de duración de caudales

La curva de duración de caudales es una herramienta empleada para indicar la distribución de la ocurrencia de caudales a lo largo del tiempo en función de un porcentaje (Gallego Arias & Carvajal Serna, 2017). La elaboración de la curva es relativamente sencilla pues, se ordenan los caudales registrados de mayor a menor y se asigna a cada valor la probabilidad de excedencia (calculada mediante la función de probabilidad empírica de Weibull). Posteriormente, se grafican los datos de caudal en el eje de las ordenadas y sus respectivos valores de probabilidad en el eje de las abscisas.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

La función de probabilidad empírica de Weibull se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F(x) = \frac{m}{N+1}$$

Donde m es la posición ordenada de mayor a menor del valor x, N es el número total de datos y F(x) es la probabilidad de excedencia del valor x.
La elaboración de la curva se desarrolló empleando el lenguaje de programación de Python, mediante la codificación de una función que permitía ordenar los caudales obtenidos mediante el modelo de simulación continuo y aplicar posteriormente la rutina para estimar los valores de la curva de duración de caudales. Finalmente, mediante el empleo de otra función, se graficó la curva en escala logarítmica.

Cálculo del caudal seguro y del caudal ecológico

El caudal ecológico se define como aquel caudal que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que el cauce contiene en condiciones naturales, preservando los valores ecológicos, el hábitat natural (que cobija una riqueza de flora y fauna) y funciones ambientales tales como purificación del agua, amortiguación de extremos hidrológicos, recreación, pesca, entre otros. (Castro, Carvajal, & Monsalve, 2006).
Por otra parte, el caudal seguro se refiere al caudal que se puede exceder el 95 % del tiempo teniendo en cuenta la curva de duración de caudales propia de la corriente.
En el caso del caudal ecológico, se empleó la metodología propuesta por Chiang y Johnson (1976) denominada 7Q10. Esta metodología considera la totalidad del registro diario de caudales homogéneos y consistentes, posteriormente, se aplica un promedio móvil de ventana 7 días para estimar el caudal promedio semanal, y luego se construye la serie anual de excedencias con los registros mínimos semanales de cada año. Seguidamente, se realiza el análisis de frecuencias de eventos mínimos extremos para la serie anual antes construida, para la distribución de probabilidad de mejor ajuste y se selecciona el caudal correspondiente al período de retorno de 10 años, que resulta ser el 7Q10.
La metodología descrita previamente fue elaborada mediante la generación de una serie de funciones en Python las cuales permitían calcular los promedios semanales de la serie temporal, y posteriormente generar una matriz con los caudales mínimos semanales por año. Consecutivamente se exportó la matriz de datos en formato xlsx y se empleó el software Hydrognomon para realizar el ajuste a las diferentes distribuciones de probabilidad. Allí, a través del test de Kolmogorov - Smirnov se estableció aquella que presentará mejor ajuste y se realizó el pronóstico a un periodo de retorno de 10 años.
Por otra parte, el cálculo del caudal seguro se realizó mediante la curva de duración de caudales, verificando aquel que tuviera una probabilidad de excedencia del 95%.

Capacidad de oferta de la cuenca

La capacidad de oferta de la cuenca corresponde al volumen total de agua que fluye por la fuente abastecedora después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema. Es por esto que, para el cálculo de la capacidad de oferta de la cuenca, se empleó la información obtenida mediante los datos reportados por la estación limnimétrica. Con base en la información de caudales, se estimó la escorrentía media mensual en metros cúbicos.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

3.2 DESARROLLO DEL MODELO HIDRÁULICO

Posterior a la obtención de los hidrogramas de respuesta de la cuenca a cada uno de los eventos de precipitación, se realiza el modelo hidráulico con el objetivo de conocer la dinámica de los niveles sometidos a diferentes caudales de entrada para cada uno de los periodos de retorno.

3.2.1 Preprocesamiento de las secciones batimétricas en RAS MAPPER

Inicialmente, se georreferencian las secciones levantadas en campo, con ayuda de la herramienta RAS MAPPER, la cual funciona como un sistema de información geográfico dentro de HEC-RAS. Una vez georreferenciadas las secciones, se realiza el ingreso de la información batimétrica, junto con los coeficientes de Manning respectivos para cada sección. Finalmente, se interpolan las secciones cada 2 metros con el fin de evitar problemas de balance de energía entre secciones.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

4 MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

4.1 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN LIMNIMÉTRICA

4.1.1 Análisis Caudales máximos multianuales

Frecuencia de caudal

Acorde a lo planteado dentro de la metodología, se determinó el caudal máximo por año, reportado por la estación limnimétrica PUERTO LEÓN [16027060], obteniendo el comportamiento ilustrado en la Figura 7.

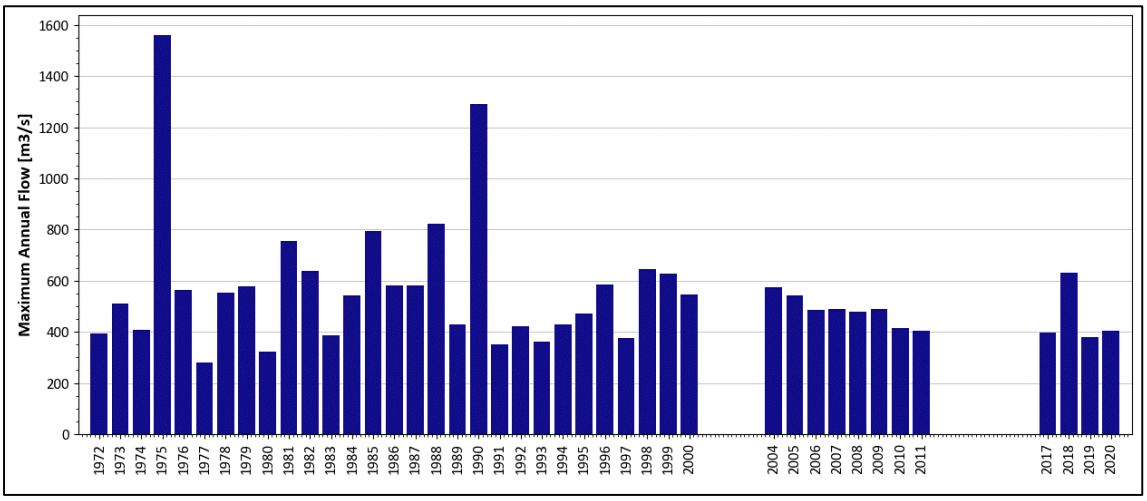


Figura 7 Precipitación máxima anual en 24 horas reportada en la estación Puerto León - Puerto Santander
Referencia: Consultor

Ajuste de distribución de probabilidades

Posteriormente, se exportaron los resultados obtenidos y se importaron en el software Hydrognomon, en donde se realizó el respectivo ajuste a cinco funciones de distribución de probabilidad: Galton, Gamma, Pearson III y LogPearson III, obteniendo los resultados presentados en la Figura 8.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

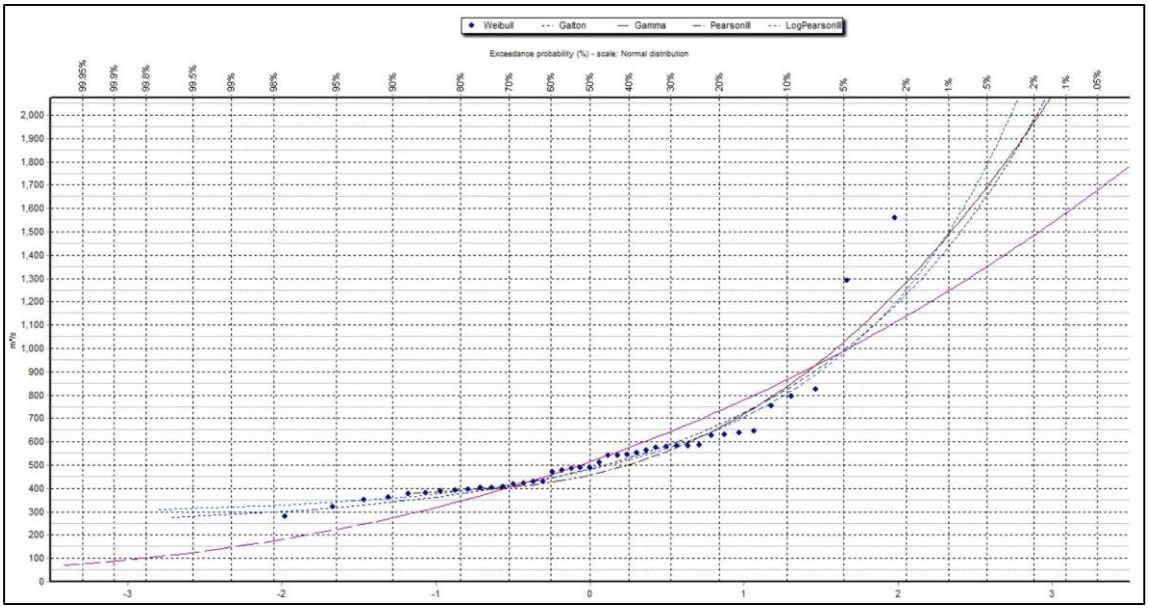


Figura 8 Análisis de distribución de frecuencias.
Referencia: Consultor

Consecutivamente, se realizó la prueba de ajuste de bondad mediante el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para cada una de las funciones de distribución de probabilidad. Cabe resaltar que para un nivel de significancia del 95 % todas las pruebas fueron aceptadas, no obstante, la que mejor ajuste presento fue la distribución Log Pearson III, puesto que el valor absoluto de la diferencia.

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	89.53%	0.08702
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	25.60%	0.15545
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	49.91%	0.12653
Log Pearson III	**ACCEPT**	**ACCEPT**	**ACCEPT**	**87.24%**	**0.08992**

Tabla 4 Resultados del análisis de distribución de frecuencias.
Referencia: Consultor

Finalmente, se realizó el pronóstico del caudal empleando los parámetros de la distribución Log Normal de los diferentes periodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años), obteniendo los resultados presentados en la Tabla 5.

T	Dist Log-Normal
5	675.166
10	827.374
25	1048.4
50	1233.47
100	1435.76

Tabla 5 Caudales pronosticados para diferentes periodos de retorno.
Referencia: Consultor

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

4.1.2 Curva de duración de caudales

Empleando como base la información obtenida de los caudales provenientes de la información limnimétrica, se elaboró la curva de duración de caudales. La Figura 9 muestra la forma natural de un CDC en escala logarítmica, además, la Tabla 6 muestra algunos resultados extraídos de la curva.

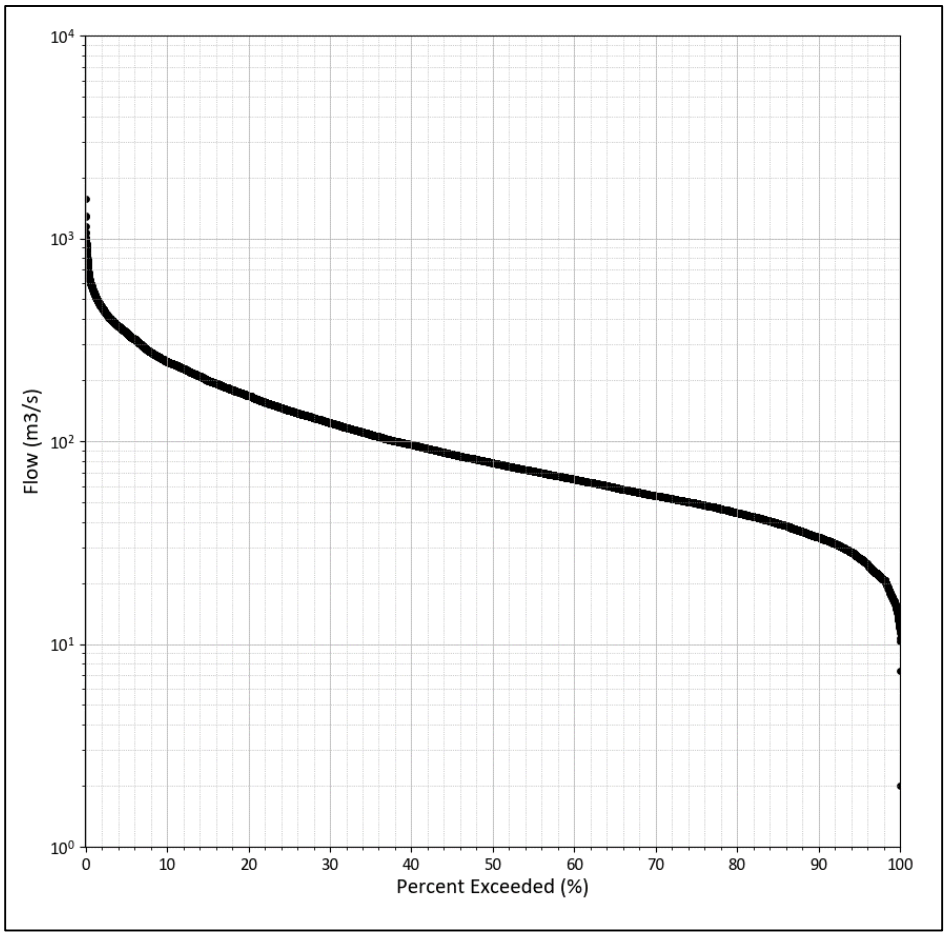


Figura 9. Curva de duración de caudales
Referencia: Consultor

Percentil	Caudal [m³/s]
50 %	78.2
95 %	26.5
97.5 %	21.6

Tabla 6 Percentiles obtenidos de la curva de duración de caudales.
Referencia: Consultor

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

4.1.3 Capacidad de oferta de la cuenca

La capacidad de oferta tal y como se explicó en secciones previas se determinó de acuerdo a los caudales provenientes de la información limnimétrica, mediante el volumen promedio transportado por el cauce. Este volumen es el que oferta la cuenca posterior de haber satisfecho las demandas relacionadas con la evapotranspiración y la filtración de la zona.

Las Figuras 10 y 11 ilustran las variables claves al momento de explicar el balance hídrico de la cuenca. En primera instancia, la Figura 11 muestra el régimen de temperatura dentro de la zona, detallando una temperatura mensual casi constante presentando un leve incremento en su magnitud entre los meses de mayo y septiembre.

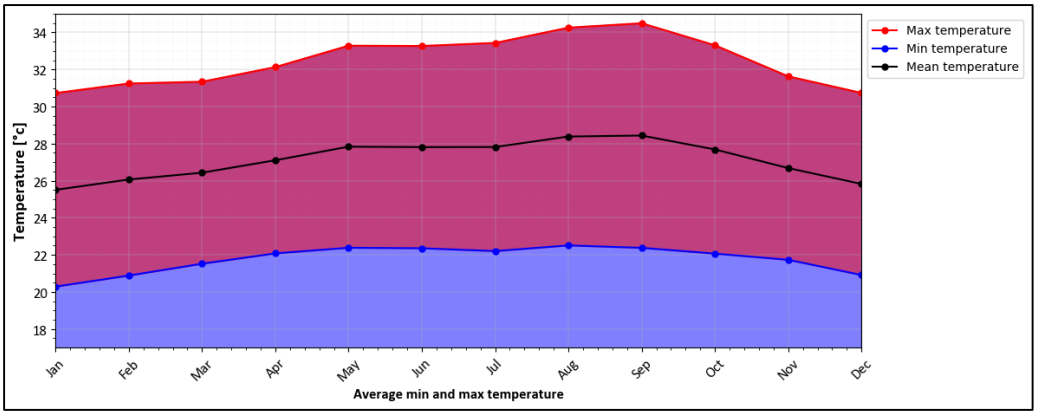


Figura 10. Régimen de temperatura mensual dentro del área de estudio
Referencia: Consultor

Por otra parte, la Figura 11, detalla el comportamiento mensual de la precipitación dentro de la zona, presentando un característico régimen bimodal, en donde los picos de precipitación se presentan entre los meses de marzo y mayo – septiembre y noviembre.

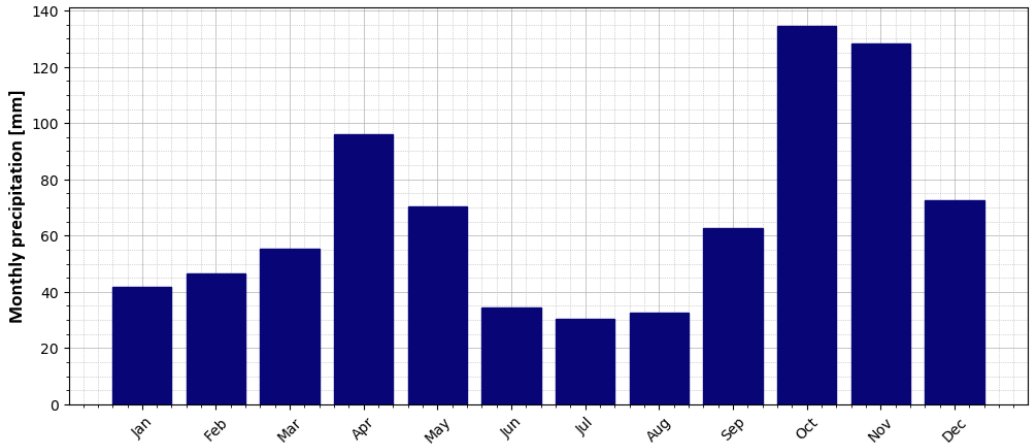


Figura 11 Régimen de precipitación mensual dentro del área de estudio
Referencia: Consultor

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

Finalmente, la Figura 12 muestra la oferta mensual de la cuenca en términos de volumen. En la figura se observa que la mayor oferta se presenta en los meses de alta pluviosidad; no obstante, en los meses de baja pluviosidad también se reporta una oferta por parte de la cuenca.
La cantidad de escurrimiento anual generado, es de 787.05 mm, el cual, considerando que se distribuye de manera homogénea en la cuenca cuya área es de 3427.4 km^2, contribuye a un caudal ofertado de 2697.56 Mm3.

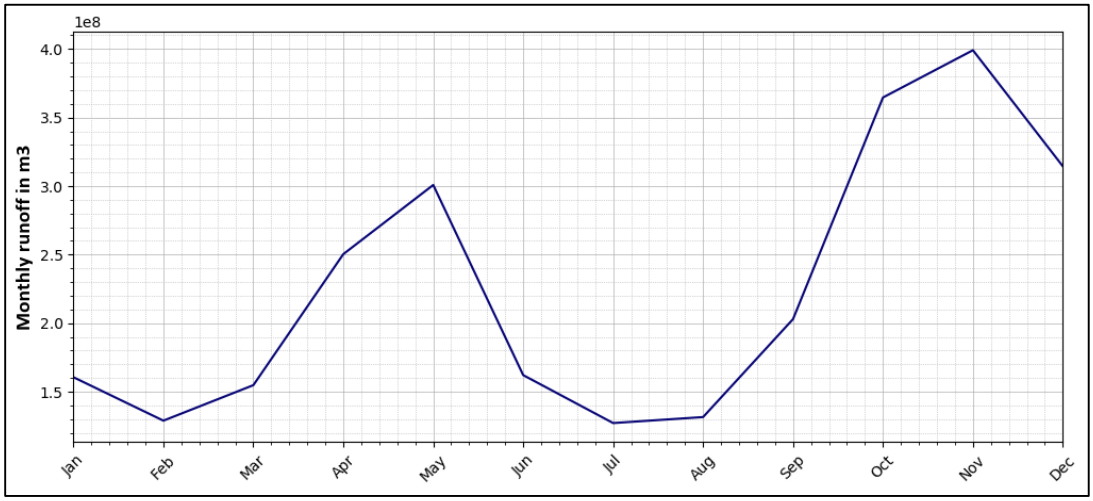


Figura 12 Oferta hídrica de la cuenca a nivel mensual
Referencia: Consultor

Volumen mensual (m3)	Caudal medio mensual total (m3/s)	Caudal ambiental mensual (m3/s)	Caudal descontado el caudal ambiental (m3/s)
160616019.8	1858.982	1388.8	470.182
128952092.3	1492.501	1254.4	238.101
154828596.7	1791.998	1388.8	403.198
250366028.8	2897.755	1344	1553.755
300819124.5	3481.703	1388.8	2092.903
162159281.2	1876.844	1344	532.844
127200627	1472.229	1388.8	83.429
131563996.5	1522.731	1388.8	133.931
203001536.5	2349.555	1344	1005.555
364615053.5	4220.082	1388.8	2831.282
399069947.4	4618.865	1344	3274.865
314374897.4	3638.598	1388.8	2249.798

Tabla 7 Balance hídrico del cauce
Referencia: Consultor

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

4.1.4. Cálculo del caudal seguro

Como se mencionó en secciones previas, el caudal seguro se estableció como el percentil 95 % de la curva de duración de caudales, por lo tanto, de acuerdo a la Tabla 6, el caudal seguro es equivalente a 26.5 m3s-1.

Cálculo del caudal ecológico

Acorde a la metodología planteada, se calculó el promedio semanal de los caudales medios a lo largo de la serie temporal, y se filtraron de acuerdo al criterio del mínimo anual, reportando los resultados presentados en la Figura 13.

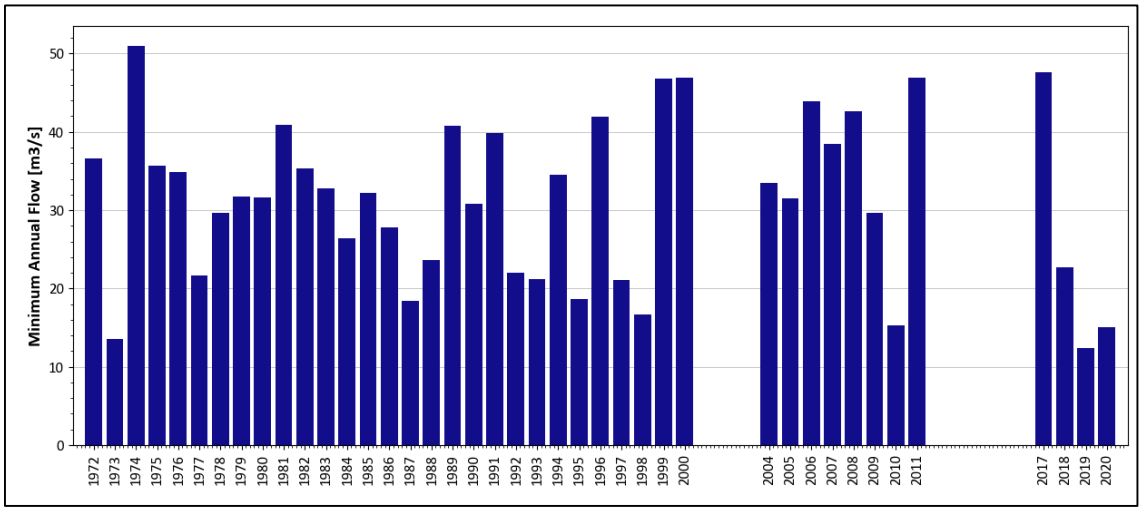


Figura 13 Caudal mínimo anual (por promedio semanal) para la cuenca de estudio
Referencia: Consultor

Posteriormente, se exportaron los resultados obtenidos y se importaron en el software Hydrognomon, en donde se realizó el respectivo ajuste a cinco funciones de distribución de probabilidad: Normal, LogNormal, Gamma, Pearson III y LogPearson III, obteniendo los resultados presentados en la Figura 14.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

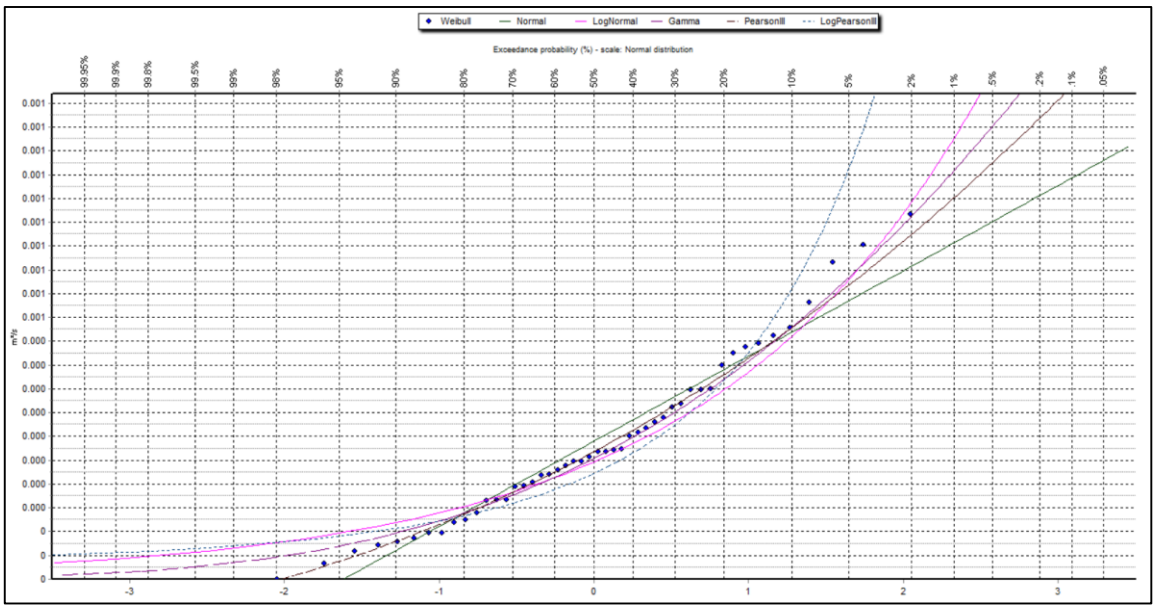


Figura 14 Análisis de distribución de frecuencias
Referencia: Consultor

Consecutivamente, se realizó la prueba de ajuste de bondad mediante el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para cada una de las funciones de distribución de probabilidad. Cabe resaltar que para un nivel de significancia del 95 % todas las pruebas fueron aceptadas, no obstante, la que mejor ajuste presento fue la distribución Pearson III, puesto que el valor absoluto de la diferencia entre la función de distribución de probabilidad observada y la estimada fue la menor de todas las distribuciones.

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.50%	0.07931
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	56.42%	0.12021
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.55%	0.10035
Pearson III	**ACCEPT**	**ACCEPT**	**ACCEPT**	**94.50%**	**0.07931**
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	16.62%	0.17135

Tabla 8 Resultados del análisis de distribución de frecuencias
Referencia: Consultor

Finalmente, se realizó el pronóstico del caudal empleando los parámetros de la distribución Pearson III con un periodo de retorno de 10 años, obteniendo un caudal de 44.88 m3s-1, el cual es equivalente al caudal ecológico del cauce.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

4.3. RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO

Resultados de la simulación hidráulica por eventos

Finalmente, con la información obtenida a partir de los hidrogramas de respuesta para cada uno de los periodos de retorno, se realiza el modelo hidráulico del cauce. Este modelo se realiza por tandas en estado estacionario considerando un flujo subcrítico en la corriente. En este sentido, se plantea la topología ilustrada en la Figura 15. Con esta topología, se ingresan los caudales para cada periodo de retorno con el objetivo de establecer las condiciones hidráulicas sobre cada sección.



Figura 15. Topología del modelo hidráulico
Referencia: Consultor

A partir de esta información de partida se calculan los niveles en la sección aguas arriba y aguas abajo de la zona de construcción de la estructura hidráulica. La Tabla 9 muestra algunos de los resultados hidráulicos obtenidos mediante la simulación.

Sección	Periodo de retorno	Q Total (m3/s)	Elevación mínima (m)	Elevación (m)	Velocidad (m/s)	Área de flujo (m2)	Ancho superior (m)
Aguas arriba	TR 5	675.17	47.95	49.80	3.78	178.47	122.82
	TR 10	827.37	47.95	50.01	4.06	203.96	123.47
	TR 25	1048.40	47.95	50.30	4.37	240.40	124.40
	TR 50	1233.47	47.95	50.52	4.60	268.29	125.10
	TR 100	1435.76	47.95	50.75	4.85	296.60	125.81
Aguas abajo	TR 5	675.17	47.24	49.65	4.01	168.40	102.90

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

	TR 10	827.37	47.24	49.89	4.28	193.12	103.35
	TR 25	1048.40	47.24	50.21	4.63	226.37	103.70
	TR 50	1233.47	47.24	50.45	4.89	252.01	103.85
	TR 100	1435.76	47.24	50.71	5.15	279.02	104.00

Tabla 9 Resultados hidráulicos en las secciones del cauce
Referencia: Consultor

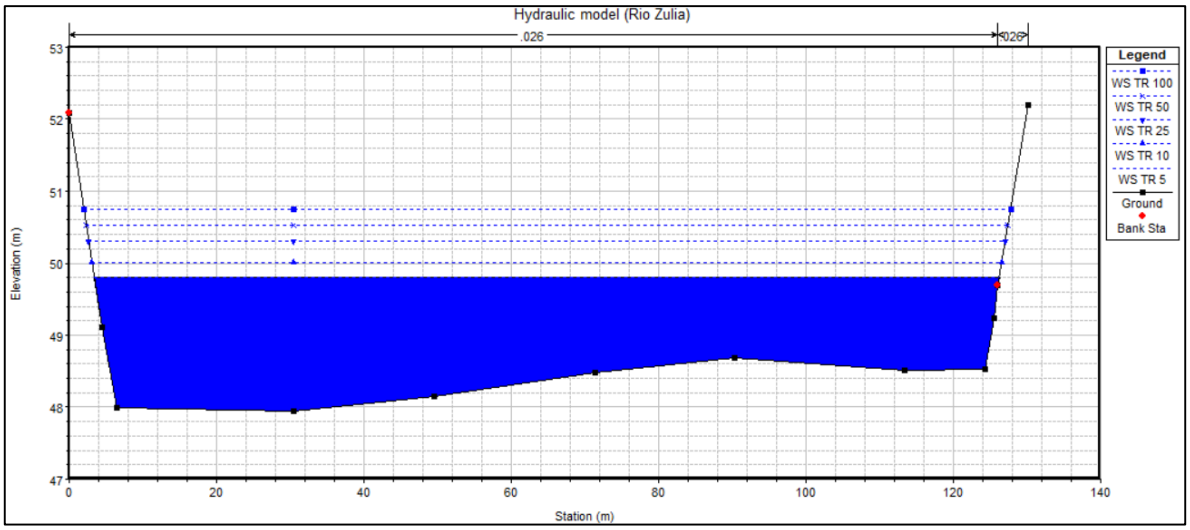


Figura 16. Calado de la sección aguas arriba de la estructura en los diferentes periodos de retorno
Referencia: Consultor

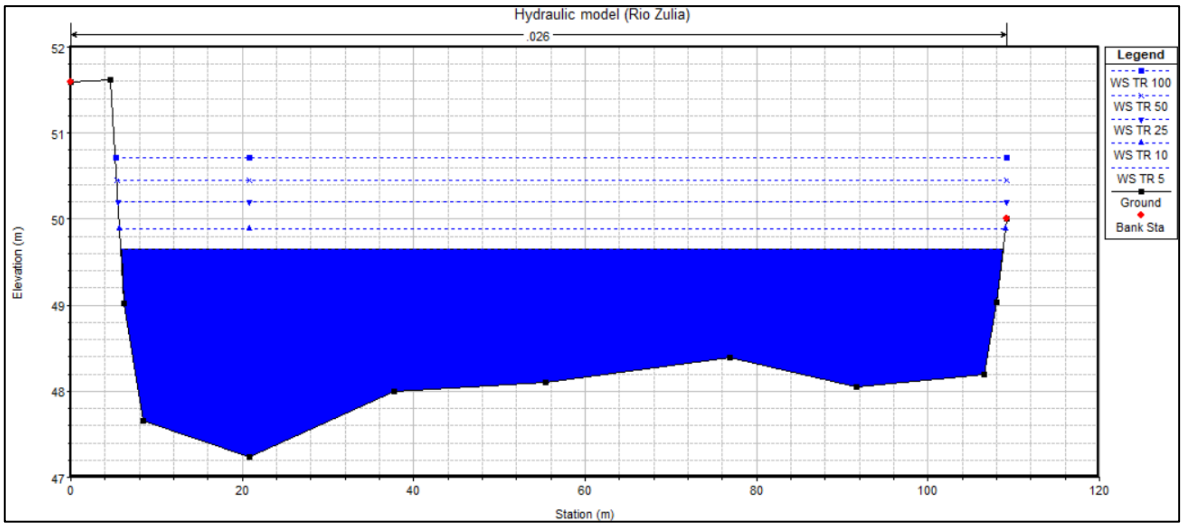


Figura 17 Calado de la sección aguas debajo de la estructura en los diferentes periodos de retorno
Referencia: Consultor

Considerando los resultados anteriores, se establece que existe riesgo por inundación en la sección aguas abajo de la estructura hidráulica en los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Por lo tanto, se recomienda tomar precauciones constructivas al momento del diseño y la construcción de la obra.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se llevó a cabo el estudio hidrológico e hidráulico para el rio Zulia ante diferentes eventos extremos, con el fin de evaluar la existencia de riesgos potenciales o amenazas de origen hidrológico y/o hidráulico que puedan afectar la construcción de una estructura hidráulica (bocatoma).

El estudio tuvo como resultados la obtención de la curva de duración de caudales del cauce, el caudal seguro de la corriente, el caudal ambiental, la oferta de la cuenca, la simulación hidrológica ante eventos extremos reflejado en diferentes periodos de retorno y finalmente, la simulación hidráulica de cada uno de estos escenarios. Estos resultados se realizaron teniendo en cuenta metodologías avaladas por el ANLA, y respaldados con diferente tipo de literatura científica y softwares especializados en cada temática.

En el caso del caudal ofertado por la corriente es necesario establecer que, para conservar el equilibrio ecológico del cauce, se requiere un flujo de por lo menos 44.8 m3/s pues este es el caudal ecológico con el cual se podría autorregular el sistema. Así mismo, al realizar este estudio se determinó que el caudal de oferta cumple con la demanda como fuente de abastecimiento a la población beneficiada.

Estas simulaciones permitieron evaluar el comportamiento del cauce ante diferentes eventos extremos Mostrando que existe riesgo de inundación ante eventos extremos de caudal en la sección aguas abajo de la estructura, por lo que es necesario para tomar medidas preventivas ante fenómenos de socavación y arrastre de sedimentos producto del aumento de la velocidad en la zona donde ocurre el cambio de sección.

Cuenca	Q max diario (l/s)	Q ecológico (97.5%) (m3/S)	Q seguro (95%) (m3/S)	Q max diario + Q ecologico (m3/S)	Cumple (SI/NO)	Observación
Rio Zulia	Año (2021) 32.23	44.88	26.5	71.38	SI	CUMPLE PARA LA CONCESIÓN
Rio Zulia	Año (2049) 29.79	44.88	26.5	71.38	SI	CUMPLE PARA LA CONCESIÓN

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067

6 ANEXOS

Como respaldo técnico del presente reporte hidrológico e hidráulico, se proporcionarán la información climática y de caudal cruda, las funciones empleadas en Python en formato *.py*, el script desarrollado en Rstudio y los ejecutables de modelo hidráulico desarrollado en HEC-RAS.

Anexo A. Datos climáticos y de caudal crudos
Anexo B. Funciones desarrolladas en Python en formato *.py*
Anexo C. Ejecutable del modelo HEC-RAS.

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.

blarcosa@gmail.com
+573212565067

7 REFERENCIAS

Álvarez, G. (2013). Análisis de los Criterios Físicos de la Metodología para la Estimación de Caudales Ambientales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: Casos Proyectos Hidroeléctricos Mayba y Santo Domingo. (Issue C) [Escuela de Ingeniería de Antioquia]. https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/269/AlvarezGabriel_2013_AnalisisCriteriosFisicos.pdf;jsessionid=A7D6B839045837266B5C830F587D51C3?sequence=7

ANLA. (2013). Metodología para la estimación y evaluación del caudal ambiental en proyectos que requieren Licencia Ambiental. 66.

Ávila Parra, K., & Martín Vide, J. (2013). Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental. Cuadernos Geograficos, 52(1), 69–83.

Caballos-Lopez, J. D. (2011). Modelación Hidráulica y morfodinámica de cauces sinuosos. Aplicación a la Quebrada La Marinilla. Boletín de Ciencias de la Tierra, 30, 107-118.

Castro, L., & Carvajal, Yesid (2010). ANÁLISIS DE TENDENCIA Y HOMOGENEIDAD DE SERIES CLIMATOLÓGICAS. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 9, pp. 15-25

Castro, L., Carvajal, Y., & Monsalve, E. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. Revista Javeriana.

Crissci, Magdalena; Chreties, Christian; Silveira, L. (2015). Simulación hidrológica continua en la cuenca del río Cuareim con el modelo MGB-IPH. 10, 40–48.

Ferrero, V. O. (2004). Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno. 365. http://www.gabrielortiz.com/index.asp?Info=099

Gallego Arias, S., & Carvajal Serna, L. F. (2017). Regionalización de curvas de duración de caudales en el Departamento de Antioquia-Colombia. Revista EIA, 14(27), 21–30. https://doi.org/10.24050/reia.v14i27.1158

Hernández-Romero, P., & Patiño-Gómez, C. (2018). Manual para el uso del Modelo Hidrológico HEC-HMS. Aplicaciones del Modelo en Simulación Hidrológica a la Cuenca del Río Conchos. Universidad de las Américas Puebla.

Gallego Arias, S., & Carvajal Serna, L. F. (2017). Regionalización de curvas de duración de caudales en el Departamento de Antioquia-Colombia. Revista EIA, 14(27), 21–30. https://doi.org/10.24050/reia.v14i27.1158

Kozanis, S., Christofides, A., Mamassis, N., Efstratiadis, A., & Koutsoyiannis, D. (2010). Hydrognomon – open source software for the analysis of hydrological data. 12(May), 12419. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21350.83527

Lee, T. K., & Ho, J. Y. (2008). Design Hyetograph for Typhoon Rainstorms in Taiwan. Journal of Hydrologic Engineering, 13(7), 647–651. https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:7(647)

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.

blarcosa@gmail.com
+573212565067

Mosahab, R., Mahamad, O., Ramayah, T., RA Nur Amalina, Ekonomi, F., Diponegoro, U., Citraluki, J., Studi, P., Fakultas, A., Dan, E., Surakarta, U. M., Efendi, P.,

Akuntansi, J. R. (2011). Determinación de Cruva de Duración de Caudal para Cuencas Intermitentes. In Universidad de Los Andes (Vol. 4, Issue 3).

Rawls, W., Brakensiek, D., & Miller, N. (1983). Green-ampt Infiltration Parameters from Soils Data. Journal of Hydraulic Engineering. 109(1). https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:1(62)

ShahiriParsa, A., Noori, M., Heydari, M., & Rashidi, M. (2016). Floodplain zoning simulation by using HEC-RAS and CCHE2D models in the Sungai Maka river. Air, Soil and Water Research, 9(April), 55–62. https://doi.org/10.4137/ASWR.S36089

Slater, L. J., Thirel, G., Harrigan, S., Delaigue, O., Hurley, A., Khouakhi, A., Prosdocimi, I., Vitolo, C., & Smith, K. (2019). Using R in hydrology: A review of recent developments and future directions. Hydrology and Earth System Sciences, 23(7), 2939–2963. https://doi.org/10.5194/hess-23-2939-2019

Team, R. D. C. (2000). Introducción a R. Notas sobre R: Un entorno de programación para Análisis de Datos y Gráficos. Venables Copyright c R. Gentleman & R. Ihaka Copyright C, 1, 100.

Tomer, S. K. (2011). Python in Hydrology. Book, 1–157.

Tonon, G. (2014). Simulación de Sistemas Continuos. Journal de Ciencias Sociales, 0(2). https://doi.org/10.18682/jcs.v0i2.249

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.

blarcosa@gmail.com
+573212565067

8 MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Brayan Leonardo Arcos Avilez**, identificado con C.C. **1.049.636.402** de la ciudad de **Tunja**, en mi calidad de ingeniero sanitario, con Matricula profesional No. **15237-365425 BYC**, certifico que realicé la ***HIDROLÓGICA DE LA ACTUALIZACIÓN DE ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO MUNICIPIO DE PUERTO SANTANDER, DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER.*** de conformidad con lo establecido en la normatividad vigente y literatura aplicable.

Atentamente.

Brayan Leonardo Arcos Avilez

Brayan Leonardo Arcos Avilez
MAT. **15237-365425 BYC**
CC. 1.049.636.402 de Tunja - Boyacá

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.

blarcosa@gmail.com
+573212565067

9 MATRICULA PROFESIONAL



Brayan Leonardo Arcos Avilez

BRAYAN LEONARDO ARCOS AVILEZ
Ingeniero Sanitario
Ingeniero Ambiental
Especialista en Diseño Urbano
Diseñador

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.

blarcosa@gmail.com
+573212565067

10 CERTIFICADO DE VIGENCIA

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2021-582375

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que BRAYAN LEONARDO ARCOS AVILEZ, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1049636402, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA SANITARIA con MATRICULA PROFESIONAL 15237-365425 desde el 11 de Agosto de 2017, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 1105.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los uno (01) días del mes de Febrero del año dos mil veintiuno (2021).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Brayan Leonardo Arcos Avilez
Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA – COPNIA
Calle 78 Nº 9 - 57 - Teléfono: 322 0191 - Bogotá D.C.
e-mail: contactenos@copnia.gov.co
www.copnia.gov.co

Leonardo Arcos Avilez
Ingeniero Sanitario, Ingeniero Ambiental.
Especialista en Diseño Urbano.
Diseñador.
blarcosa@gmail.com
+573212565067