# RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

| | |
|---|---|
| **AUTORES** | Yureidy Pinzón Durán<br>María Isabel Guerrero Quintana |
| **FACULTAD** | Facultad de ingeniería |
| **PLAN DE ESTUDIOS** | Ingeniería civil |
| **DIRECTOR** | Agustín Armando Macgregor Torrado |
| **TÍTULO DE LA TESIS** | Evaluación del comportamiento hidrodinámico en un sector del río Algodonal del municipio de Ocaña, Norte de Santander con periodo de retorno de 100 años. |
| **TITULO EN INGLES** | Evaluation of hydrodynamic behavior in a section of the Algodonal River in the municipality of Ocaña, Norte de Santander with a return period of 100 years. |


## RESUMEN

El proyecto de investigación se enfoca en el modelo hidrodinámico de un tramo del río Algodonal, con el objetivo de profundizar en el entendimiento de sus patrones de flujo e inundaciones, este estudio es realizado con el software HEC-RAS el cual simula el comportamiento del río con un periodo de retorno de 100 años. Los resultados obtenidos de este análisis proporcionarán información para la gestión del riesgo de inundaciones.

## RESUMEN EN INGLES

The research project focuses on the hydrodynamic model of a section of the Algodonal River, with the aim of deepening the understanding of its flow and flood patterns. This study is carried out with the HEC-RAS software, which simulates the behavior of the river with a return period of 100 years. The results obtained from this analysis will provide information for flood risk management.



| | |
|---|---|
| **PALABRAS CLAVES** | Caudal, periodo de retorno, modelación hidráulica, inundación, cota. |
| **PALABRAS CLAVES EN INGLES** | Flow, return period, hydraulic modelling, flooding, elevation. |


## CARACTERÍSTICAS

| | | | |
|---|---|---|---|
| PÁGINAS: 105 | PLANOS: | ILUSTRACIONES: 40 | CD-ROM: 1 |

# Evaluación del comportamiento hidrodinámico en un sector del río Algodonal del municipio de Ocaña, Norte de Santander con periodo de retorno de 100 años

**Yureidy Pinzón Durán**

**María Isabel Guerrero Quintana**

**Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña**

**Ingeniería Civil**

**Esp. Agustín Armando Macgregor Torrado**

**02 de agosto de 2024**

# Índice

Capítulo 1. Evaluación del comportamiento hidrodinámico en un sector del río Algodonal del municipio de Ocaña, Norte de Santander con periodo de retorno de 100 años ..... 10

1.1 Planteamiento del problema ..... 10

1.2 Formulación del problema ..... 13

1.3 Objetivos ..... 13

1.3.1 Objetivo general ..... 13

1.3.2 Objetivos específicos ..... 13

1.4 Justificación ..... 14

1.5 Delimitaciones ..... 15

1.5.1 Delimitación operativa ..... 15

1.5.2 Delimitación conceptual ..... 16

1.5.3 Delimitación geográfica ..... 16

1.5.4 Delimitación temporal ..... 17

Capítulo 2. Marco referencial ..... 18

2.1 Marco histórico ..... 18

2.2 Marco contextual ..... 20

2.3 Marco conceptual ..... 20

2.3.1 Cuenca hidrográfica ..... 20

2.3.2 Canales abiertos ..... 21

2.3.3 Flujo permanente y no permanente. ..... 22

2.3.4 Flujo uniforme y variado ..... 23

2.3.5 Estado del flujo ..... 24

2.3.6 Velocidad ..... 26

2.3.7 Curva IDF ..... 27

2.3.8 Transporte de sedimentos ..... 30

2.3.9 Método SCS (Soil Conservation Service) ..... 31

2.3.10 HEC – RAS ..... 31

2.4 Marco teórico ..... 32

2.5 Marco legal ..... 37

2.5.1 Decreto 1076 de 2015 ..... 37

2.5.2 Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia 38

2.5.3 Decreto 1807 de 2014 ..... 38

2.5.4 Decreto 1541 de 1978 ..... 38

2.5.5 Decreto 3930 de 2010 ..... 39

2.5.6 Plan de ordenamiento territorial de Ocaña (POT) ..... 39

Capítulo 3. Diseño metodológico ..... 40

3.1 Tipo de investigación ..... 40

3.2 Población y muestra ..... 40

3.2.1 Población ..... 40

3.2.2 Muestra ..... 40

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información ..... 41

3.4 Análisis de información ..... 41

3.5 Cronograma de actividades ..... 42

Capítulo 4. Resultados ..... 43

4.1 Cuenca del rio Algodonal ..... 43

4.1.1 Climatología ..... 43

4.1.2 Precipitación en la zona ..... 45

4.1.3 Temperatura ..... 46

4.1.4 Hidrología ..... 48

4.2 Curvas IDF-Método Gumbel ..... 51

4.2.1 Información de precipitación ..... 51

4.3 Coeficiente de escorrentía ..... 56

4.3.1 Aspectos hidrológicos de la zona de estudio ..... 59

4.4 Fotogrametría-DEM ..... 61

4.5 Registro de caudales máximos. ..... 64

4.5.1 Caudales máximos por el método de Nash ..... 65

4.6 Batimetría del río ..... 67

4.6.1 Aforo hidrométrico ..... 70

4.7 Coeficiente de Manning ..... 71

4.8 Modelo hidrodinámico en el software Hec-Ras ..... 72

4.8.1 Cota de inundación ..... 76

4.9 Alternativas de solución ante riesgo de inundaciones ..... 93

Capítulo 5. Conclusiones ..... 96

Capítulo 6. Recomendaciones ..... 98

Referencias ..... 99

# Lista de Tablas

Tabla 1 Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia ..... 30

Tabla 2 Cronograma de actividades ..... 42

Tabla 3 Información de estación IDEAM ..... 45

Tabla 4 Valores de CN para número de curva Rio Algodonal ..... 58

Tabla 5 Numero de Curva _ Corrección por humedad sector_ Precipitación efectiva ..... 58

Tabla 6 Caudales máximos método de Nash ..... 66

Tabla 7 Caudal del río método área - velocidad ..... 71

Tabla 8 Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 5 años ..... 88

Tabla 9 Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 10 años ..... 89

Tabla 10 Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 30 años ..... 90

Tabla 11 Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 50 años ..... 91

Tabla 12 Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 100 años ..... 92

Tabla 13 Alternativas de solución ..... 93

## Lista de Figuras

Figura 1 Localización de la zona de estudio ..... 17

Figura 2 Ubicación de las estaciones pluviográficas en las regiones ..... 29

Figura 3 Variación anual de precipitación estación UFPSO ..... 46

Figura 4 Temperatura promedio estación UFPSO ..... 48

Figura 5 Mapa de cuencas hidrográficas de Norte de Santander ..... 50

Figura 6 Precipitación máxima anual 2000 – 2020 Estación Francisco de Paula Santander ..... 51

Figura 7 Variables de entrada ..... 52

Figura 8 Periodos de retorno ..... 52

Figura 9 Precipitación Máxima Probable (P.M.P) ..... 53

Figura 10 Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el periodo de retorno ..... 53

Figura 11 Resumen de aplicación de regresión potencial ..... 54

Figura 12 Ecuación para curvas IDF ..... 54

Figura 13 Cálculo de las curvas IDF ..... 55

Figura 14 Gráfica de curvas IDF ..... 56

Figura 15 Áreas de drenaje de la subcuenca ..... 57

Figura 16 Mapa de amenaza por inundaciones ..... 60

Figura 17 DEM del área de estudio ..... 62

Figura 18 Secciones transversales del rio ..... 63

Figura 19 Pendiente del río ..... 64

Figura 20 Registro de caudales máximos diarios ..... 65

Figura 21Programa HidroEsta ..... 66

Figura 22 Levantamiento topográfico ..... 67

Figura 23 Sección transversal del río con la topografía del dron ..... 68

Figura 24 Sección transversal del rio con nivel ..... 69

Figura 25 Aforo hidrométrico ..... 70

Figura 26 Coeficiente de rugosidad de Manning para corrientes naturales ..... 72

figura 27 Análisis de flujo ..... 73

Figura 28 Resultados Hec-Ras de áreas de inundación en 2D ..... 75

Figura 29 Resultados del modelo Hec-Ras para caudal de 12,17 m3/s ..... 77

Figura 30 Resultados del modelo Hec-Ras para caudal de 43,28 m3/s ..... 78

Figura 31 Resultados del modelo Hec-Ras para caudal de 76,50 m3/s ..... 79

Figura 32 Resultados del modelo Hec-Ras para caudal de 110,22 m3/s ..... 80

Figura 33 Resultados Hec-Ras: Numero de Froude-Velocidad-Cortante para caudal de 12,17 m3/s ..... 81

Figura 34 Resultados Hec-Ras: Numero de Froude-Velocidad-Cortante para caudal de 43,28 m3/s ..... 82

Figura 35 Resultados Hec-Ras: Numero de Froude-Velocidad-Cortante para caudal de 76,50 m3/s ..... 82

Figura 36 Resultados Hec-Ras: Numero de Froude-Velocidad-Cortante para caudal de 110,22 m3/s ..... 83

figura 37 Datos de flujo constante ..... 84

Figura 38 Resultados Hec-Ras de áreas de inundación en 1D ..... 85

Figura 39 Resultados Hec-Ras para diferentes periodos de retorno ..... 86

Figura 40 Resultados Hec-Ras diferentes periodos de retorno ..... 87

# Capítulo 1. Evaluación del comportamiento hidrodinámico en un sector del río Algodonal del municipio de Ocaña, Norte de Santander con periodo de retorno de 100 años

## 1.1 Planteamiento del problema

Para el existir de los seres vivos se hace indispensable el uso del agua, "Líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formad as por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno" (Real Academia Española, 2022), este elemento se emplea para realizar actividades como la agricultura, usos domésticos, industrial, producción animal, navegación fluvial, turismo, producción de energía eléctrica, entre otros. A pesar de que el agua ocupa aproximadamente un 70% de la superficie terrestre, solo un 2,5% de esta corresponde a agua dulce y la otra parte pertenece a los mares, océanos y aguas subterráneas. El porcentaje perteneciente a el agua dulce está compuesto por dos sistemas, el léntico que corresponde a lagunas, lagos y pantanos; y el sistema lótico que comprende a los flujos de agua corriente como los ríos y subsuperficiales como que alimentan los acuíferos entre otros a través de flujos subterráneos.

El comportamiento de los fluidos es importante conocerlo, para predecir ciertas acciones que estos generan debido a los cambios climáticos con el paso del tiempo, por esta razón se hace necesario el estudio de la hidrodinámica como la rama encargada. La modelación hidrodinámica de un cuerpo de agua puede ser estudiada mediante los modelos numéricos, estos nos brindan información detallada y cuantitativa, además, nos permiten predecir varios aspectos importantes, como la altura de la lámina de agua, cambios en el flujo, la presión y la concentración de

contaminantes ya sea para flujos constantes o variables a lo largo del tiempo. (Torres-Bejaranoa et al., 2016)

Si bien, es cierto que las modificaciones hidrodinámicas de los ríos dependen básicamente del clima, es decir, de las precipitaciones, la temperatura y cambios climáticos que ha venido atravesando el planeta en los últimos años a causa de las actividades humanas.

El cambio en la forma de los ríos genera incertidumbre en cuanto al futuro, ya que las poblaciones se asientan cerca de ellos, con el fin de facilitarse la vida estando cerca del agua, sin importar el peligro que esta genere; también se ve afectado todo tipo de actividad que se realice cerca a este, según informes de  la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), en lo transcurrido del año 2023 el fenómeno de la niña ha causado la muerte de 205 personas, también se tiene información de 281 heridos, cerca de medio millón de personas afectadas y 53 desaparecidos, así mismo77.816 viviendas averiadas y 5.858 casas asoladas; ahora bien en el año 2020 hubieron 96 fallecidos y 126 en todo el año 2021. (Torrado, 2022).

Las lluvias afectan a gran parte del país, en especial las zonas donde hay vulnerabilidad por lo cercanas que se encuentran las comunidades a los cuerpos de agua. El departamento de Norte de Santander muestra una gran variación en la distribución de la precipitación. Las mayores precipitaciones se registran en la región de Catatumbo, principalmente en el municipio de Tibú con volúmenes cercanos a los 5000 mm al año; estas cantidades también se presentan hacia los límites con Boyacá, en el municipio de Toledo. Las menores se localizan hacia el sur del departamento, en municipios como Silos, Cacota y Labateca, ahora bien, al analizar

municipios como Ocaña, Abrego y La Playa se encuentra que los registros anuales presentes según la información recolectada y analizada en las estaciones del IDEAM, están en el rango de 1000 a 1500 mm anuales. (IDEAM).

Además, la Defensoría del Pueblo mencionó la emergencia que sucedió a finales de abril del año 2022, debido a las fuertes lluvias que se presentaron en gran parte del departamento, puesto que, en los 40 municipios se observaron diversos eventos, como deslizamientos de tierra, deterioro en la malla vial, viviendas colapsadas, inundaciones y seis pérdidas humanas, entre ellas tres niños de una misma familia. (Semana, 2022)

Teniendo en cuenta la información suministrada anteriormente es importante el estudio del rio Algodonal ya que, es tema de consideración para los Ocañeros y municipios vecinos a este, teniendo en cuenta que el rio es fuente socioeconómica para la región, así mismo el estudio de un tramo del río ayudará con información que sirva para evitar posibles daños en el sector que comprende desde el Batallón de Infantería N°15 General Santander hasta la ladrillera Ocaña, esta zona alberga comunidades estudiantiles a su alrededor como lo son la UFPSO, el colegio Artístico y el seminario mayor, igualmente de resaltar la presencia de cultivos agrícolas y ganadería.

Evaluar su comportamiento por medio de la hidrodinámica en el software HEC-RAS a través de diferentes periodos de retorno, con datos: geográficos demográficos, hidrológicos, topográficos del río en la zona de análisis brindara una solución hipotética de cómo se moverá este con el paso del tiempo y así mitigar las causas que pueda ocasionar.

## 1.2 Formulación del problema

¿Qué medidas de prevención brindará a la comunidad ocañera la información de los cambios que sufre el cauce del río en el tramo comprendido entre batallón de infantería N°15 General Santander hasta el sector donde está ubicada la ladrillera Ocaña?

## 1.3 Objetivos

### *1.3.1 Objetivo general*

Evaluar el comportamiento hidrodinámico de un sector del río Algodonal municipio de Ocaña, Norte de Santander.

### *1.3.2 Objetivos específicos*

- Determinar las características morfométricas de la cuenca del río Algodonal por medio de estudios de batimetría para comprender su comportamiento hidráulico.
- Establecer las condiciones de flujo para un periodo de retorno de 100 años, mediante análisis de datos hidrológicos para mitigar el riesgo en la zona.
- Construir un modelo hidrodinámico mediante el software HEC-RAS para generar una zonificación y propuestas de obra en el área de estudio.

## 1.4 Justificación

Es de suma importancia tener un conocimiento detallado de la hidrodinámica de un flujo en cauce con meandros, ya que resulta útil definir la topografía del lecho cercano al río para predecir el daño causado por las crecientes y proponer hipotéticamente diseños de sistemas de prevención y mitigación contra la erosión, que puede evitar la pérdida de material del cauce y a su vez seres vivos.

Los ríos son fuente de abastecimiento de agua y generador de economía para las zonas que estos atraviesan, por lo cual las comunidades se asientan cerca a sus riveras y convierte en vulnerable a la población y la infraestructura que los rodea, este hecho hace necesario estudiarlos, porque se sabe que las inundaciones a causa de los desbordamientos de ríos y quebradas han causado un número de víctimas mortales en lo que va de la historia en Colombia.

Es por ello, que el tramo que comprende al batallón de infantería N°15 General Santander hasta la ladrillera Ocaña, se estudiará porque es de total desconocimiento los datos de la cuenca, además en esta parte de la región se encuentran ubicadas zonas socioeconómicas que le sirven a la población del municipio.

La cercanía de dichas comunidades con el rio representa un riesgo si este desvía su cauce en los próximos años, también para los agricultores que siembran cerca de las laderas del Algodonal, las fincas campestres que por el buen clima de la zona se ha vuelto un buen sitio para construir sus cabañas y el parque solar que se encuentra en construcción en la zona, el cual

realizaron una obra de muro en tierra para mitigar el riesgo de inundación cosa que genera duda acerca de lo que pueda suceder aguas abajo cuando el río aumente su caudal; con el fin de evitar posibles daños se analizara este sector para establecer las partes que se pueden ver más afectadas.

Por este motivo se hace necesario conocer el movimiento del río para diferentes periodos de retorno y por lo tanto determinar las zonas más vulnerables, las cuales se determinará a través de la implementación del software HEC-RAS, para que esta información pueda ser utilizada en las medidas preventivas que busquen mitigar el riesgo en la zona.

## 1.5 Delimitaciones

### *1.5.1 Delimitación operativa*

Para llevar a cabo el proyecto se necesitará información que pueda brindar la Alcaldía de Ocaña Norte de Santander, indagar sobre hechos ocurrido en años anteriores con la comunidad de la zona de análisis que pueda brindar algunas referencias clave para la investigación, además de esto se requiere apoyo por parte de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña para que puedan facilitar los instrumentos y la guía necesaria para realizar los estudios requeridos en la exploración del lugar y no menos importante el uso de la herramienta computacional HEC-RAS para procesar los datos obtenidos e información suministrada por el IDEAM.

### *1.5.2 Delimitación conceptual*

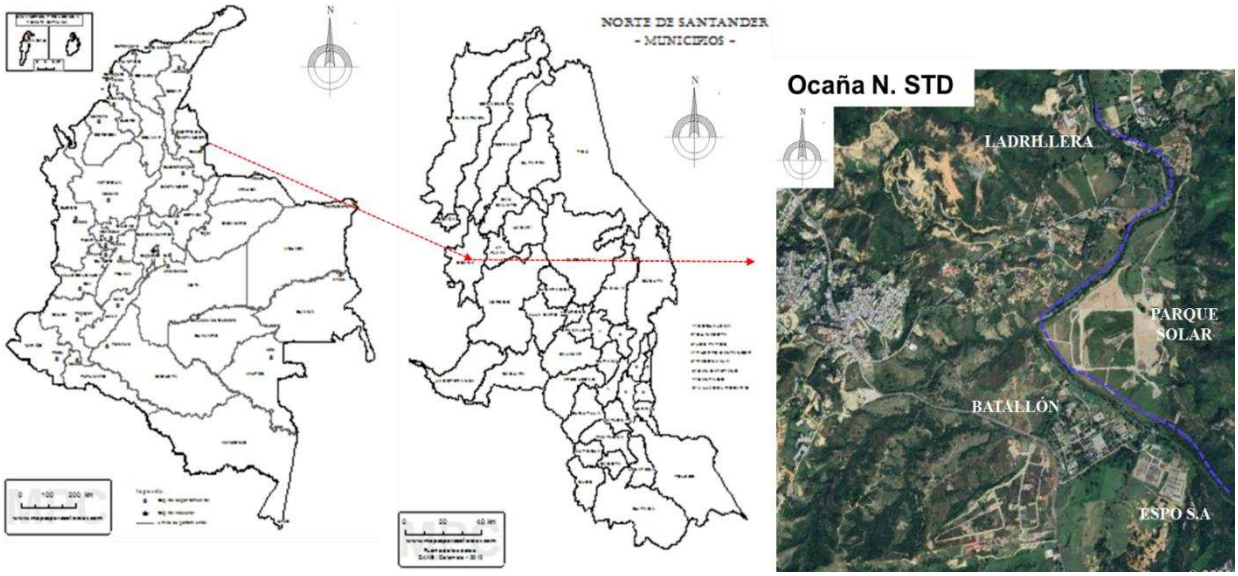
En este estudio se tendrá en cuenta las siguientes palabras clave: Caudal, curvas IDF, hidrograma, periodo de retorno, intensidad, precipitación, modelación hidráulica y evaluación de riesgo.

### *1.5.3 Delimitación geográfica*

El municipio de Ocaña se encuentra ubicado en el departamento de Norte de Santander, al nororiente del país de Colombia y al occidente del departamento, sobre la cordillera oriental y es bañado por dos ríos: el Algodonal (nombre que recibe el río Catatumbo en el municipio) y el Tejo, además de varias quebradas. Este municipio es conocido coloquialmente como la Provincia de Ocaña y cuenta con una extensión de 672,27 km² y una altitud media de 1202 m s. n. m (Ocaña, 2021). El presente estudio se va a realizar en un tramo del río Algodonal que comunica desde el Batallón de Infantería N°15 General Santander hasta la ladrillera Ocaña, como se muerta en la Figura 1.

**Figura 1**

*Localización de la zona de estudio*




*Nota.* Tomado de (Mapas para colorear et al., 2022)

### *1.5.4Delimitación temporal*

El tiempo de duración propuesto para llevar a cabo la presente investigación es de 6 meses.

# Capítulo 2. Marco referencial

## 2.1 Marco histórico

La cuenca del Río Algodonal está definida por los cambios topográficos de algunos lugares del occidente del departamento, por lo que se encuentra limitada con los municipios de Ábrego y Ocaña, cuenta con un total de 74.639,8 hectáreas, de la cual el 0,34 % corresponde al departamento de Norte de Santander; su aspecto es alargada y su longitud tiene 62.7 kilómetros. Está situada sobre los 950 m.s.n.m, en la concurrencia de los Ríos Algodonal y Tejo, y en el extremo sur de la cuenca en 3.680 m.s.n.m. en la zona llamada Páramo de Jurisdicciones.

Previamente, el Cabildo de Pamplona le ordenó al capitán andaluz Francisco Fernández de Contreras en 1.565 explorar todo el amplio territorio del Norte de Santander, con el propósito de encontrar un punto que facilitara la unión para mejorar el comercio entre el interior del país y el Magdalena; sin embargo, por motivos de economía le negaron la fundación del puerto; no obstante, el Gobernador de Santa Marta le concede la licencia en 1.570 para construir y fundar el Puerto Real o Puerto Ocaña.

En esa época, el territorio  estaba conformado por varios grupos indígenas que integraban una misma cultura en los diferentes pueblos que ellos se asentaban; estas comunidades se distribuían entre la alargada cordillera y el Valle, sus días estaban compuestos de cosechar alimentos como batata, ahuyama, frijoles, yuca y maíz que previamente habían sembrado, ya que, en ese entonces vivían de labrar las tierras que los rodeaba, también tenían tiempo libre y se

dedicaban a  la cacería y  la pesca; lo recogido en las cosechas les servía como sustento diario, además, de lo poco que les sobraba lo usaban para realizar la limitada actividad comercial.

Dentro de los pueblos conformados por los grupos indígenas se encontraba la provincia de Ocaña, y vivir en ella se volvió una verdadera franquicia, puesto que, allí eran atraídos los turistas y comerciantes de diferentes regiones del país por el importante comercio que manejaba el pueblo, tan buena era la actividad económica que los visitantes se quedaban a vivir en ella, lo cual se convirtió en un problema para los nativos y residentes del lugar. (CORPONOR, 2010)

Ocaña ha tenido una constante transformación, y hoy en día es uno de los municipios del departamento con mayor actividad económica, ya que sigue siendo el punto de encuentro de varias zonas de la región del Catatumbo; dentro de las actividades que se realizan en ella están la agricultura, la ganadería, la pesca, la explotación de agregados pétreos y el comercio; los dos afluentes que pasan por esta provincia se usan para dichas labores, entre esas servir de fuente hídrica para todos sus habitantes, sin embargo el uso que les dan no es el más apropiado.

A causa de los cambios climáticos que está enfrentando el planeta, el aumento y disminución en las precipitaciones genera desastres naturales cuando el clima es inestable; el Río Algodonal no es la excepción ya que, ha sufrido las alteraciones del clima que lo ha llevado a tener variación en sus caudales en los últimos años, según CORPONOR (2023), en los registros desde el 2018 hasta el 2023 dichos caudales oscilan entre los 3.400 y 4.400 L/seg, sin embargo, en el año 2020 fue una excepción ya que, las fuertes lluvias que se presentaron hicieron que el caudal del río aumentara considerablemente hasta llegar a los 8.073 L/seg.

## 2.2 Marco contextual

Conocer el movimiento de las fuentes hídricas a lo largo del tiempo, es de gran importancia ya que, a su paso se albergan comunidades muy cercanas a estas; el cambio climático que se viene presentando en los últimos años afecta de manera directa los afluentes hídricos de todo el mundo, desde la escasez de agua hasta las inundaciones y desbordamientos que causan desastres naturales.

El estudio analizado trata acerca del modelo hidrodinámico de un sector del Río Algodonal en el municipio de Ocaña Norte de Santander, que busca obtener información significativa para las zonas próximas al río en el tramo de investigación, con respecto al comportamiento de este en futuros periodos.

## 2.3 Marco conceptual

Durante el desarrollo del proyecto Evaluación del comportamiento hidrodinámico en un sector del río Algodonal del municipio de Ocaña, Norte de Santander con periodo de retorno de 100 años, se abordarán conceptos como:

### *2.3.1 Cuenca hidrográfica*

Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o

intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (Presidencia de la República de Colombia, Decreto 1729, 1991, Artículo 1)

### *2.3.2 Canales abiertos*

**2.3.2.1 Canales naturales.** Envuelve todo lo que tiene que ver con los cauces que fluyen de forma natural en la superficie terrestre, estos afluentes varían en tamaños y formas dependiendo de la geografía del lugar donde se encuentren, por ejemplo los mares se encuentran en las zonas más planas y los ríos comienzan a aparecer desde lo más alto de las montañas aumentando su tamaño a medida que se unen más cursos de agua a él como quebradas, arroyos, entre otros que forman parte de los ríos grandes que desembocan en el mar. También son llamados canales naturales a los cuerpos de agua subterránea que fluyen con una superficie libre.

En los canales naturales las características del flujo suelen ser variables a lo largo de todo el afluente hídrico, ya que, el arrastre de sedimentos genero altibajos en el canal lo que hace que las secciones de estos varíen dependiendo del tamaño y la cantidad de agua que ellos trasportan, en ciertas ocasiones cuando los cuerpos de agua son muy grandes se procede a realizar suposiciones empíricas según la hidráulica teórica basadas en hechos reales, de tal forma que el tratamiento analito del flujo se vuelva entendible y controlable. (Chow, 1994)

**2.3.2.2 Canales artificiales.** Son estructuras hidráulicas desarrolladas o construidas por la acción del ser humano para satisfacer necesidades en diferentes campos laborales, los cuales tienen requisitos determinados según la función de la obra. **(Chow, 1994)**

### *2.3.3 Flujo permanente y no permanente.*

Considera el tiempo como criterio

**2.3.3.1 Flujo permanente.** en un canal abierto se considera flujo permanente cuando la profundidad del agua no cambia o se mantiene constante dentro de un espacio de tiempo considerable.

**2.3.3.2 Flujo no permanente.** Se dice que el flujo es no permanente cuando la profundidad del flujo varia rápidamente.

Analizar los cambios de comportamiento de flujo en cauces naturales abiertos resulta complejo cuando se presenta condiciones de flujo no permanente, ya que, lo habitual es que se presente este tipo de caso, pero que en algunas ocasiones esta condición de flujo se estudie como permanente debido a que la variación de alturas es mínima y su análisis es más comprensible; por lo tanto, el estudio bajo condiciones de fujo no permanente es el más confuso y complejo debido al elemento tiempo. (Chow, 1994)

### *2.3.4Flujo uniforme y variado*

Considera el espacio como criterio.

**2.3.4.1 Flujo uniforme.** En canales abiertos se considera flujo uniforme cuando la profundidad del flujo se mantiene constante en casi todas las secciones del canal. Dependiendo del cambio en la profundidad del flujo con relación al tiempo, este tipo de flujo se clasifica en permanente y no permanente.

***2.3.4.1.1 Flujo uniforme permanente.*** Es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. La profundidad del flujo se considera constante en un periodo de tiempo notable.

***2.3.4.1.2 Flujo uniforme no permanente.*** Para que un flujo sea considerado bajo condición de flujo uniforme no permanente se necesita que la lámina fluya en determinado tiempo de forma paralela al fondo de la sección del canal. Por lo que se estima una condición imposible al estado de flujo uniforme no permanente.

**2.3.4.2 Flujo variado.** Cuando a lo largo del canal la profundidad del flujo varia con el tiempo. Este flujo puede ser permanente o no permanente y además puede clasificarse como rápidamente variado o gradualmente variado.

***2.3.4.2.1 Flujo rápidamente variado.*** el flujo es rápidamente variado cuando la profundidad del flujo varia rápidamente si la profundidad del agua cambia de manera brusca en espacios relativamente cortos.

***2.3.4.2.2 Flujo gradualmente variado.*** Si la profundidad del flujo modifica su forma cuando la profundidad del agua cambia de manera graduada con relación al espacio. ***(Chow, 1994)***

### *2.3.5 Estado del flujo*

El flujo en canales abiertos está principalmente determinado por los efectos de viscosidad y gravedad en relación con las fuerzas inerciales del flujo.

**2.3.5.1 Efecto de viscosidad.** La viscosidad juega un papel importante en el comportamiento del fluido. Al comparar la viscosidad en relación con las fuerzas inerciales el flujo puede ser:

***2.3.5.1.1 Flujo laminar.*** Cuando las fuerzas viscosas son más fuertes que las fuerzas inerciales, el flujo es laminar, en este tipo de flujo, las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves y definidas y las capas del fluido parecen deslizarse una sobre otra con un espesor infinitesimal.

***2.3.5.1.2 Flujo turbulento.*** Al poseer fuerzas viscosas menores en relación con las fuerzas inerciales, se considera que es flujo turbulento. Las partículas del agua se mueven de manera irregular, pues, su trayectoria no es suave ni fija, pero que en conjunto todavía representa el movimiento hacia delante de la corriente entera.

***2.3.5.1.3 Flujo transicional.*** es un estado mixto entre el flujo laminar y turbulento.

Este efecto de viscosidad se puede representarse mediante el número de Reynolds, definido por:

$$R = \frac{VL}{\upsilon}$$

Donde **V** es la velocidad del flujo; **L** es la longitud la cual es considerada igual al radio hidráulico R y **v** es la viscosidad cinemática. (Chow, 1994)

**2.3.5.2 Efecto de la gravedad.** Se considera la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales, en la cual se expresa con el número de Froude, definido como:

$$\boldsymbol{F = \frac{V}{\sqrt{gL}}}$$

Donde **V** es la velocidad media del flujo, **g** es la aceleración de la gravedad y **L** es la longitud, que en canales abiertos se hace igual a la profundidad hidráulica **D.**

Este efecto de la gravedad cuenta con diferentes tipos, los cuales son:

***2.3.5.2.1 Flujo crítico.*** Si F es igual que la unidad y la ecuación se convierte en:

$$V = \sqrt{gD}$$

En este tipo de flujo la corriente no es estable y su energía especifica es mínima, puede experimentar cambios en la profundidad del agua, por esta razón, se debe evitar este flujo al momento de diseñar un canal.

***2.3.5.2.2 Flujo subcrítico.*** Es cuando las fuerzas gravitaciones son más pronunciadas, por lo cual, el flujo presenta baja velocidad siendo este tranquilo y de corriente lenta. En este caso, el número de Froude es menor que la unidad.

***2.3.5.2.3 Flujo supercrítico.*** en esta condición las fuerzas inerciales son dominantes; el flujo muestra alta velocidad y puede ser rápido, ultrarrápido y torrencial. El número de Froude es mayor a 1. ***(Chow, 1994)***

### *2.3.6 Velocidad*

La velocidad del agua en canales naturales abiertos no sigue una distribución uniforme debido a varios factores, como la presencia de la superficie del agua y la fricción a lo largo de las paredes del canal. Además, esta velocidad se ve influenciada por características como la forma y la rugosidad del canal, así como la existencia de curvas en su recorrido; la velocidad se distribuye generalmente en la región central del canal y el flujo se puede considerar como bidimensional.

Cuando se usa el principio de energía en cálculos la altura de la velocidad real puede expresarse como $\alpha\ V^2/2g$ , donde $\alpha$ se conoce como coeficiente de energía o coeficiente de Coriolis y V es la velocidad media. (Chow, 1994)

### *2.3.7 Curva IDF*

La Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) ilustra la intensidad de una lluvia intensa, medida en milímetros por hora (I), para una duración específica (D), que comúnmente puede ser de 30, 60, 90, 120 o 360 minutos, y su relación con la probabilidad de ocurrencia o frecuencia (F), expresada en años y también conocida como periodo de retorno (IDEAM, s.f.). Algunos métodos utilizados para determinar la curva IDF son los siguientes:

**2.3.7.1 Cálculo de curvas IDF con datos históricos de precipitación.** Al tener datos o registros hidrográficos de las estaciones de la zona de estudio, se puede realizar el siguiente procedimiento:

Precisar una estación pluviométrica que sea representativa de la cuenca hidrográfica de estudio.

Seleccionar los registros anuales de los aguaceros de corta duración más intensos.

Para cada año, se establece una duración específica de los aguaceros, generalmente se comienza con 10 min, y se obtiene la máxima precipitación en este periodo.

Con la información recolectada se obtiene los datos de precipitación máxima anual para todos los años analizados.

Se ajusta los datos a una distribución probabilística como Gumbel y Log-Pearson Tipo III y se realizan inferencias estadísticas para calcular los valores de precipitación para diferentes periodos de retorno como 2, 3, 5, 20, 50 y 100 años.

Este procedimiento se hace de nuevo para duraciones totales de lluvia iguales a 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150 y 180 min.

Se calcula o se trazan curvas que se ajusten mejor a los datos obtenidos, lo que permite obtener curvas de intensidad de precipitación para los diferentes periodos y duraciones. Estas curvas tienen una forma similar la cual se puede ajustar a la siguiente ecuación:

$$i = \frac{(k \cdot T^m)}{(t + t_o)^n}$$

Donde, i es la intensidad de la precipitación (mm/h), T es el periodo de retorno en años, t es la duración de la lluvia (min) y las variables k, n, m, $t_o$ son los parámetros de ajuste. (INVIAS, 2009)

**2.3.7.2 Cálculo de curvas IDF por método simplificado.** Este método es utilizado cuando no se cuenta con datos históricos de precipitación de corta duración, debido a la escasez de estaciones por su alto costo de instalación y mantenimiento.

Es por ello, que Vargas y Diaz (1998), en su investigación evaluaron la aplicabilidad de diversas ecuaciones para el país de Colombia considerando las regiones climatológicas. Para llevar esto a cabo, se realizó una recopilación de curvas IDF para diferentes estaciones del país, se seleccionó las curvas IDF reales, es decir, aquellas que registraron datos de por lo menos 10 años, esta información pluviométrica corresponde a resúmenes multianuales de precipitación máxima en 24 horas, el número de días con lluvia y precipitación multianual. Para mayor

confiabilidad dividió el territorio colombiano en varias regiones el cual se puede observar en la Figura 2.

**Figura 2**

*Ubicación de las estaciones pluviográficas en las regiones*




*Nota.* Tomado de: (Rodrigo Vargas M & Mario Diaz Granados, 1998)

La ecuación que obtuvo mejores resultados para la elaboración de las curvas IDF, está dada por:

$$i = \frac{a \cdot T^b \cdot M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Donde, i es la intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h), T es el periodo de retorno, en años, M es la precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual, t

es la duración de la lluvia, en minutos (min) y las variables a, b, c, d son los parámetros de ajuste. (INVIAS, 2009)

**Tabla 1**

*Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia*

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

*Nota.* Información obtenida de (INVIAS, 2009)

### *2.3.8 Transporte de sedimentos*

La presencia de partículas en el flujo afecta el comportamiento hidráulico debido a que los sedimentos que se encuentran en el cuerpo de agua pueden tener diversas formas como dunas, superficies planas, entre otras. Es por ello, que el transporte de sedimentos se puede clasificar según los siguientes criterios:

**2.3.8.1 Según el modo de transporte.** Los sedimentos son transportados de dos maneras, en suspensión, donde sus partículas se mantienen en el flujo debido a la turbulencia, o por el fondo, en el cual el material es rodado o arrastrado. En un río, ambos tipos de transporte ocurren simultáneamente y las proporciones entre ellos dependen de las condiciones geográficas, geológicas, climáticas y forestales de la cuenca.

**2.3.8.2 Según el origen del material transportado.** El material transportado puede originarse dentro del propio cauce o venir de otras áreas en la cuenca, este material puede ser fino que se encuentra en suspensión o grueso que está en el fondo. Por otro lado, los sedimentos que viene de una cuenca hidrográfica se le considera material de lavado por ser muy fino. (Jiménez, 2006)

### *2.3.9 Método SCS (Soil Conservation Service)*

Es un método desarrollado en Estados Unidos que se utiliza para estimar el escurrimiento en cuencas en el que tiene en cuenta las características de ella y los efectos de las prácticas conservacionistas, además, sirve para calcular el volumen medio de escurrimiento de una cuenca y el pico de descarga. Este método utiliza la cantidad total de lluvia que cae durante un período de 24 horas en lugar de la intensidad de lluvia por hora, lo permite tener en cuenta las variaciones en la precipitación durante todo el día.

Funciona al analizar los diferentes tipos de suelo en la cuenca, cómo se usan esos suelos y qué prácticas de conservación se aplican en la zona. Luego, se integran estos factores para calcular la cantidad de agua que se escurre superficialmente. (Murillo, 2010)

### *2.3.10 HEC – RAS*

Hec-Ras significa (Hydrological Engineering Center – River Analysis System), en este programa se puede modelar 4 tipos de análisis en ríos, los cuales son análisis de calidad de

aguas, modelización de flujo en régimen no permanente, modelización de flujo en régimen permanente y Modelización del trasporte de sedimentos. Con esta herramienta informática podemos modelar el movimiento del agua en ríos naturales o canales construidos, lo que nos permite determinar el nivel del agua. Además, podemos integrar en la simulación la presencia de estructuras hidráulicas como puentes, conductos y represas. Su propósito principal radica en llevar a cabo análisis de riesgo de inundaciones y delimitar las áreas susceptibles a inundarse.

Este software posibilita la simulación de diversos flujos de agua y estructuras hidráulicas, ofreciendo una amplia gama de resultados, que van desde datos por secciones y tablas hasta representaciones gráficas y visualización en imágenes georreferenciadas. (GEASIG, 2016)

## 2.4 Marco teórico

Los daños ocasionados por las inundaciones son cada día más habituales en todo el mundo, al igual que en la zona Occidental de América del Norte y Sur, debido al Fenómeno del Niño, lo cual incrementa las lluvias y los caudales de los afluentes hídricos en todo el mundo.

Este estudio realizado por Álvarez y Carlos (2021) simula cómo serían las inundaciones en estos eventos extremos para reducir su impacto, utilizando datos hidrológicos en un lapso de 40 años y un modelo de elevación del terreno para caracterizar la zona de forma morfológica. Se empleó el método de Gumbel para calcular los caudales de simulación en los siguientes periodos de retorno: 2, 5, 10, 50, 100 y 500 años. Se utilizó el software HEC-RAS para la modelación numérica y se validó el modelo con imágenes satelitales. Se destacan los eventos extremos con periodos de retorno superiores a 10 años para identificar áreas vulnerables y se implementaron

obras de protección ribereña para mitigar el impacto de las inundaciones, reduciendo el área inundada desde la represa "Los Ejidos" hasta el puente Bolognesi en la provincia de Piura.

El proyecto de Guzman, et al. (2016) estudia la vulnerabilidad a inundaciones en el río La Estrella, debido al cambio morfológico de la cuenca causado a partir de un terremoto en el año 1991 en Limón, situación que motivó a investigar sobre la capacidad de la cuenca para retener agua por el arrastre y retención de sedimentos e impactos de inundación y desbordamiento del rio, donde se ve afectada la comunidad y las actividades socioeconómicas. Para ello, se hizo un trabajo de campo y modelación hidráulica en una y dos dimensiones por medio de los softwares HEC-RAS e IBER en el cual se identificó el comportamiento, puntos críticos de flujo y transporte de sedimentos para diferentes periodos de retorno, concluyendo así obras de infraestructuras para mitigar los riesgos considerando el costo/beneficio y su importancia, además, se analizó las obras ya existentes el cual cumplen con las condiciones.

En el informe elaborado por Espinoza (2018), se estudió el comportamiento hidrodinámico del río Las Palmas y un sector de Rio Tempisque en la provincia de Guanacaste. Su objetivo principal fue identificar las manchas de inundación causadas por el desbordamiento de estos ríos que puede afectar las algunas secciones de los canales del proyecto Paacume. Para esto, se hizo un estudio técnico en el cual se simuló las inundaciones provocadas por la tormenta Nate en octubre del 2017 con los datos de dicho evento; posteriormente, se desarrolló los hidrogramas con los registros hidrológicos de la zona para hacer el modelo hidrodinámico utilizando el software IBER en donde se determinó que, bajo las condiciones hidrológicas y el comportamiento de inundaciones, sus niveles eran semejantes al producido por la tormenta Nate.

En el proyecto realizado por Ceballos (2011), estudia el comportamiento del cauce, los procesos de erosión y sedimentación, con la finalidad de planificar las actividades humanas. Esto se hizo por medio de un modelo hidrodinámico CCHE2D en el cual se puede simular como se modifica el río. Se hizo un trabajo de campo que consistió en el levantamiento topográfico de varias secciones del tramo que con ayuda del programa HEC-RAS se interpolaron los cortes de una manera más detallada y se determinó los niveles de flujo; además, se llevó a cabo un estudio para identificar los perfiles del suelo a lo largo del sector, se realizaron aforos y se consideró las obras ya existentes en la zona para calibrar el modelo. Con los resultados obtenidos se evidenció que el puente La Ramada ya construido reduce la capacidad de la quebrada para transportar agua y actúa como una barrera que limita su capacidad para cambiar de forma natural con el tiempo, de igual manera, estos datos sirven para intervenciones futuras del cauce u obras de infraestructura para evitar inundaciones.

La investigación de López y Gómez (2019) se hizo con el propósito de establecer la cota de inundación en las áreas propensas a inundaciones en el río Arauca, situado en la cuenca de la Orinoquia del municipio de Arauca, (Colombia) para una correcta zonificación que presente amenaza, exactamente en el sector rural de Barrancones. Se utiliza modelación hidrodinámica para entender cómo las variables geométricas e hidráulicas afectan las crecidas en esta zona del país. Se realiza un análisis hidrológico inicialmente utilizando información sobre topografía, condiciones hidrológicas y demografía. Luego, para estudiar el flujo del río además de otros factores relevantes de la hidráulica fluvial se desarrolla la modelación hidrodinámica con base en la batimetría del rio utilizando el programa HEC-RAS 2-D. Los resultados ayudan a identificar la

vulnerabilidad del área a inundaciones y orientan la toma de decisiones para medidas preventivas y correctivas.

Según Bogotá y Castellanos (2020), la cuenca media y baja del río Magdalena es vital en la región del caribe Colombia para drenar el exceso de agua durante las temporadas de lluvia. Sin embargo, los cambios en las condiciones alrededor de este pueden provocar desbordamientos que afectan tanto al río como a la región circundante. El canal del Dique, una desviación artificial, experimenta un aumento en el flujo de agua durante las temporadas de lluvia, lo que ha llevado a desbordamientos en áreas urbanas y rurales, causando graves daños a la infraestructura. Se está desarrollando un modelo hidrológico a gran escala utilizando datos de estaciones pluviométricas y la intensidad de las lluvias para los últimos 30 años, con el objetivo de identificar las zonas con mayor riesgo de inundación. Este modelo ayudará a visualizar cómo el canal del Dique afecta a los municipios por los que pasa y a comprender mejor el riesgo de inundación debido a la escorrentía y la infiltración directa de las lluvias en el terreno.

El estudio de Agudelo (2021) analiza las amenazas naturales ocasionadas por inundaciones debido a las frecuentes y altas magnitudes de precipitaciones que producen desbordamientos en la zona. La cuenca seleccionada para este estudio fue el rio Lebrija debido a que en los últimos años se presentaron inundaciones en el Departamento de Santander. Para llevar a cabo este proyecto se hizo la recolección de datos estadísticos de caudales para así determinar los caudales de inundación, utilizando software de modelación hidráulica HEC-RAS y HEC-GeoRAS para diferentes periodos de retorno. Se determinó los niveles de riesgos para los

habitantes aledaños a la zona e infraestructuras, pues un sector del rio esta propenso a inundación por cual se debe tomar las medidas preventivas.

Las inundaciones ocurren cuando una tormenta produce una gran cantidad de agua que supera la capacidad de los ríos, haciendo que se desborden y cubran las áreas aledañas a ellos. Utilizar el modelo hidráulico llamado HEC-RAS junto con GeoRAS permite analizar la topografía de la zona y representar diferentes escenarios de inundación, proporcionando información útil para la predisposición y mitigación de desastres. Flores (2019) hizo un estudio en la zona de la margen izquierda del rio Huallaga, localidad de San José, el cual utilizó esta tecnología para diseñar defensas contra las inundaciones, basándose en datos de topografía, estudios de suelo y determinación de caudales máximos. se identificó las áreas críticas de inundación para una correcta modelación hidráulica en Hec-RAS y así guiar el diseño de las estructuras de protección ribereñas mediante estudios realizados en el lugar.

El trabajo de grado de Ibarra y Díaz (2021) evalúa la hidrología e hidráulica del rio Culagá en el area cercana al puente PR2+500 via Toledo-Labateca. Para cumplir con este objetivo se hizo la recopilación de información de las estaciones meteorológicas y trabajo de campo con lo cual se realizó la modelación hidrológica para estimar los caudales máximos en diferentes periodos de retorno, luego, se hizo el modelo hidráulico por medio del programa HEC-RAS para encontrar los niveles del rio Culagá y con esto examinar la capacidad hidráulica del puente existente. Al analizar las zonas propensas a inundaciones, se encontró que, para un periodo de retorno de 100 años, hay una alta probabilidad de que las estructuras cercanas a la zona derecha de un sector del rio sean afectadas, además, la sección hidráulica del puente no

cumple con lo establecido en la normatividad de INVIAS para el periodo de diseño. Por otro lado, este estudio también proporciona información sobre el comportamiento del flujo, lo cual es importante para gestionar, planificar y administrar la cuenca.

La investigación de Parra y Flórez (2022) se centró en implementar el software HEC-RAS de acuerdo con la información recolectada en la cuenca del río Tejo, específicamente en el barrio La Gloria de Ocaña, Norte de Santander. Para determinar la cota de inundación en periodos de retorno de 10,20,50 y 100 años se llevó a cabo un trabajo de campo para obtener un correcto diagnóstico. Este estudio ayudo a proponer una solución al problema identificado en el lugar. Se sugiere construir una estructura duradera, como un canal rectangular de concreto, diseñado para resistir eventos extremos, especialmente aquellos con un periodo de retorno de 100 años. Esta inversión se considera viable, ya que los costos adicionales son mínimos en comparación con el presupuesto total de la obra.

## 2.5 Marco legal

### *2.5.1 Decreto 1076 de 2015*

El ministerio de ambiente y desarrollo sostenible es el que rige y ordena la gestión con el ambiente y los recursos naturales renovables, este decreto está sujeto a normas de ordenamiento, protección, recuperación, conservación, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y ambientales del país. (Presidencia de la República de Colombia, 2015, Decreto 1076).

### *2.5.2 Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia*

En esta guía se definen los requisitos para ordenar de manera prioritaria la acotación de las rondas hídricas en cumplimiento de lo estipulado por el Decreto 2245 de 2017; En ella se expone los reglamentos para delimitar físicamente la ronda hídrica y determina las pautas para su manejo por parte de las Autoridades Ambientales competentes. (Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia, 2018)

### *2.5.3 Decreto 1807 de 2014*

Las reglas presentes en este decreto fijan los niveles específicos para integrar progresivamente la gestión del riesgo en la evaluación de los contenidos a largo y mediano plazo de los planes de ordenamiento territorial municipales y distritales, además en este decreto se incorpora la ley 1523 de 2012 que ayuda a prevenir, atender, mitigar y presentar un buen manejo ante desastres naturales; con esto aporta a una mejor calidad de vida y bienestar de las personas por medio de estrategias, programas, seguimiento y ejecución del plan previsto para el desarrollo sostenible. (Presidencia de la República de Colombia, 2014, Decreto 1807)

### *2.5.4 Decreto 1541 de 1978*

El presente decreto cuenta con un objetivo principal que es la regulación de leyes en relación con el recurso hídrico y todos los estados del agua; a su vez este objetivo trata temas como: normativas específicas para condiciones especiales de algunos cuerpos de agua; también

el dominio, reglamentación, restricciones y limitaciones para lograr un correcto uso del agua sin afectar el bienestar que este elemento brinda a las personas. (Presidencia de la República de Colombia, 1978)

### *2.5.5 Decreto 3930 de 2010*

Este decreto fija las normativas referentes a la utilización del agua, donde establece ciertas normativas que protegen el correcto uso del recurso hídrico; la planificación del agua y la descarga de residuos en ella, en el suelo y en los sistemas de alcantarillado, en resumen, este reglamento busca regular un correcto uso del agua y proteger todos los recursos hídricos del país. (Presidencia de la República de Colombia, 2010, Decreto 3930)

### *2.5.6 Plan de ordenamiento territorial de Ocaña (POT)*

Este documento es una herramienta básica, decretado por la Ley 388 de 1997, es una guía en la planificación de todo el territorio. Este plan incluye una serie de estrategias, objetivos, políticas y normativas que orientan el desarrollo físico del medio y la gestión del suelo. Basado en la legislación Nacional establece proyectos y programas a ejecutar en los próximos 12 años, tanto en zonas urbanas como rurales. (Alcaldía Municipal de Ocaña, 2023)

# Capítulo 3. Diseño metodológico

## 3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación del proyecto tiene un enfoque descriptivo porque analiza de forma directa un caso real con características y comportamientos que proporcionan una representación detallada y precisa del problema; esta descripción se puede realizar por los métodos cuantitativo y cualitativo utilizando la recolección de datos por medio de estudios desarrollados en la zona e identificar propiedades físicas del tramo de cuenca en estudio.

## 3.2 Población y muestra

### *3.2.1 Población*

Toda la Cuenca del río Algodonal que comprende un área de 74.639,8 hectáreas y al Norte limita con las cuencas del Rio Catatumbo y Rio de Oro (departamento del Cesar), al Sur y Occidente con las cuencas del Río Lebrija, y al Oriente limita con la Cuenca del Rio el Tarra.

### *3.2.2 Muestra*

Esta investigación se va a realizar en un sector del río Algodonal que comunica desde el Batallón de Infantería N°15 General Santander hasta la ladrillera Ocaña.

### 3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Las técnicas e instrumentos de recolección de información que se implementa en el proyecto de investigación son: levantamiento topográfico con la ayuda del equipo de nivel y herramientas complementarias para trazar algunos cortes de la sección transversal del río; fotografías áreas por medio del programa Google Earth con el propósito de definir de manera detallada la zona de estudio y un modelo de elevación digital utilizando un dron para obtener la morfología; procesamiento de datos con el software HEC-RAS para determinar el comportamiento hidrodinámico de este y además, sitios web como el IDEAM.

### 3.4 Análisis de información

En esta fase se analiza la información recolectada en campo, como base principal se procede a hacer los estudios de batimetría, topografía y fotogrametría para la obtención de los datos a utilizar en el programa, además se usa los registros de precipitación del IDEAM.

Dentro del trabajo desarrollado en el lugar, se pronóstica el comportamiento del río en diferentes condiciones con un periodo de retorno de 100 años; Con los datos finalmente procesados se concluye a dar alternativas que ayuda a prevenir el riesgo ocasionado por el fenómeno del niño y fenómeno de la niña.

## 3.5 Cronograma de actividades

**Tabla 2**

*Cronograma de actividades*

| Objetivo | Actividad | Mes 1 | | | | Mes 2 | | | | Mes 3 | | | | Mes 4 | | | | Mes 5 | | | | Mes 6 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Determinar las características morfométricas de la cuenca del río Algodonal por medio de estudios de batimetría para comprender su comportamiento hidrológico. | Levantamiento topográfico | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Procesamiento de fotografías aéreas con vuelo de dron | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Medición de caudales | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Establecer las condiciones de flujo para un periodo de retorno de 100 años, mediante análisis de datos hidrológicos y establecer medidas preventivas para mitigar el riesgo en la zona. | Recolección de datos hidrológicos del IDEAM | | | | | | X | X | X | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Análisis de curvas IDF | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | Comparación del comportamiento del río con el programa Google Earth en los últimos años | | | | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | | | | |
| | Definir hipotéticamente alternativas de solución al riesgo que presentará el rio a la zona | | | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | |
| Construir un modelo hidrodinámico mediante el software HEC-RAS para generar una zonificación y propuestas de obra en el área de estudio. | Procesar los datos de campo en el sotfware HEC-RAS | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | | | | | | |
| | Calibración del modelo hidrodinámico | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X | | | |
| | Análisis de resultados y propuestas de obra como solución al problema | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | X | X |

# Capítulo 4. Resultados

## 4.1 Cuenca del rio Algodonal

Para el análisis detallado del comportamiento hidrodinámico de una cuenca se deben determinar las características morfométricas de esta, que abarcan aspectos como la longitud del curso fluvial, la extensión y configuración de la cuenca hidrográfica, el perfil longitudinal que describe las variaciones de pendiente a lo largo del río, la red de drenaje que define la estructura de afluentes y tributarios, así como el perfil transversal que revela la forma y dimensiones del canal natural en las diversas secciones transversales.

### *4.1.1 Climatología*

La ubicación de Colombia por estar en la región ecuatorial la expone a la influencia de corrientes de aire húmedo, como los vientos alisios, que convergen en el territorio y generan nubes con un alto potencial de lluvia; esta área de intenso desarrollo nuboso se conoce como la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), la cual se desplaza por todo el país, moviéndose desde la frontera con Ecuador, pasando por la Costa Atlántica y luego regresando hacia el sur (IDEAM, s.f.).

Un modificador temporal del clima en nuestro país es el fenómeno de “La Niña”. Este evento tiene una naturaleza exclusivamente oceánica y atmosférica, resultante de la interacción

dinámica entre estos elementos, los cuales influyen y regulan el clima global, en nuestro territorio, su impacto espacial y temporal ha sido analizado de forma sectorial.

**4.1.1.1Elementos del clima.** Los componentes del clima incluyen temperatura, presión, vientos, humedad y precipitaciones, de estos cinco componentes, los más importantes son la temperatura y las precipitaciones, ya que los otros tres elementos del clima están estrechamente vinculados con estos dos, lo cual significa que una mayor o menor temperatura genera una menor o mayor presión atmosférica, respectivamente, ya que el aire caliente es menos denso y asciende (ciclón o zona de baja presión), mientras que el aire frío es más denso y tiende a descender (zona de alta presión o anticiclón).

**4.1.1.2 Parámetros climáticos en la zona de estudio.** El municipio de Ocaña está situado en la parte noroccidental del departamento de Norte de Santander, con coordenadas de 8° 14' 15" N y 73° 2' 26" O, está conectado por carretera con Bucaramanga, Cúcuta y Santa Marta, se encuentra ubicada en la cordillera oriental de los Andes, rodeada de montañas que llegan hasta los 2.600 metros sobre el nivel del mar, su altitud varía entre 761 y 1.202 metros, la temperatura media en Ocaña es de 22 ºC ,es una zona de clima templado, con temperaturas que oscilan entre 8 ºC y 25 ºC y las precipitaciones anuales oscilan entre 1.000 y 2.000 mm, por lo que es notable que las lluvias son relativamente escasas en el primer semestre del años (Rodigrez Osorio, 2018).

Para llevar a cabo el estudio, se recopiló la información climatológica disponible de la estación UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER [16055100], que es propiedad del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), ver

tabla 3, esta estación fue elegida para el análisis de la precipitación en la zona, debido a su ubicación estratégica y su proximidad a la cuenca del rio Algodonal, además, el periodo de datos disponibles proporciona una mayor confiabilidad, ya que abarca un marco de tiempo adecuado para el análisis del proyecto. Los datos de la estación se analizaron considerando que esta cobertura es representativa de las diferentes altitudes y características climatológicas de la región.

**Tabla 3**

*Información de estación IDEAM*

| Estación | Código | Municipio | Tipo | Coordenadas geográficas | Elevación (m.s.n.m) | Años de registro |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER | 16055100 | Ocaña | C | 8.2377 7778 N<br>-7.332.222.2 E | 1150 | 1992-2020 |

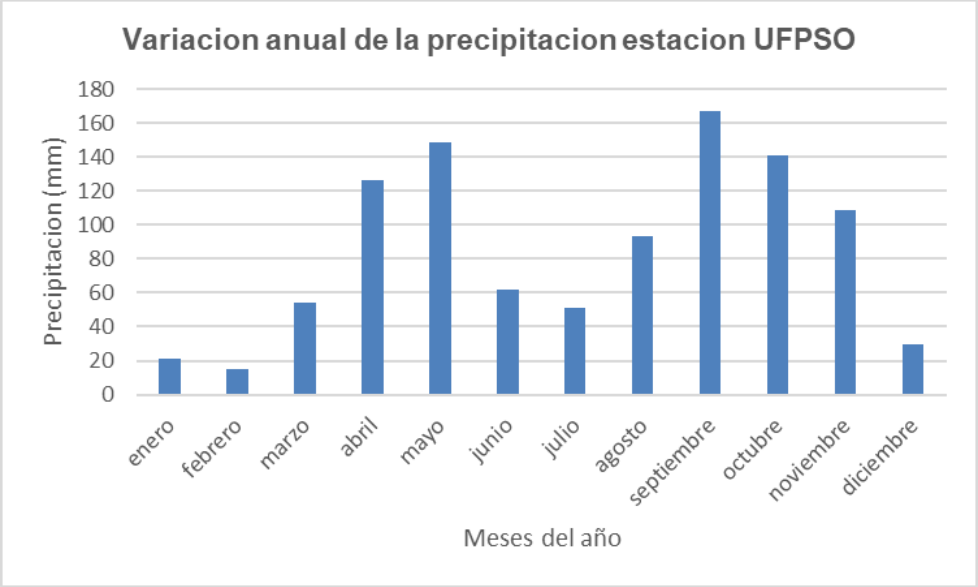
*Nota:* Información obtenida de (IDEAM, s.f.)

### *4.1.2 Precipitación en la zona*

En la figura 3 se ilustra el comportamiento de la precipitación en la estación Universidad Francisco de Paula Santander, mostrando el promedio mensual de los meses del año a lo largo de un período de 25 años de análisis.

**Figura 3**

*Variación anual de precipitación estación UFPSO*




*Nota:* Información obtenida de (IDEAM, s.f.)

La precipitación sigue un patrón bimodal, con dos períodos de lluvias intensas: uno de marzo a mayo y otro de septiembre a noviembre, siendo mayo y septiembre los meses con mayor intensidad; por otro lado, las lluvias disminuyen en enero y febrero, y también se observa una notable reducción en junio y julio.

### *4.1.3 Temperatura*

La variación de la temperatura en el trópico se debe a la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas diarias, en la región de Ocaña, los cambios de temperatura están estrechamente vinculados con la altitud, puesto que el trópico se distingue por tener temperaturas relativamente constantes en cada lugar a lo largo del año.

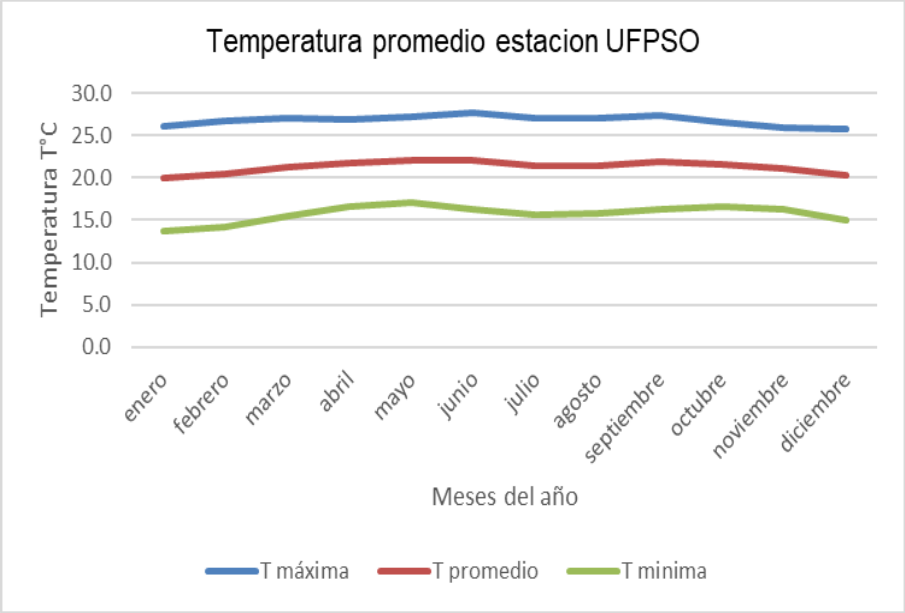
La diferencia principal en la temperatura está influenciada por la presión barométrica y las variaciones ocurren prácticamente a lo largo del día, durante el verano, la temperatura del aire sube rápidamente durante las horas diurnas, lo que provoca que la superficie del suelo reciba más calor, ya que, la capa superior, que tiene una temperatura más alta, es desplazada por las masas superiores, generando un movimiento de masas de aire locales, conocido como brisa.

La temperatura se calculó basándose en la información de la estación de la Universidad Francisco de Paula Santander, ajustando según las recomendaciones de la OMM, con un promedio multianual de 21.258 ºC, de los datos obtenidos, el valor máximo registrado fue en agosto de 2002 con 33.2 °C y el mínimo en enero de 1994 con 9 °C.

En la siguiente figura 4 se ilustra cómo varía la temperatura en la estación Universidad Francisco de Paula Santander, mostrando el promedio mensual para cada mes del año a lo largo de un periodo de análisis de 25 años.

**Figura 4**

*Temperatura promedio estación UFPSO*




*Nota:* Información obtenida de (IDEAM, s.f.).

### *4.1.4 Hidrología*

**4.1.4.1 Vertientes hidrográficas de Colombia.** Las vertientes hidrográficas son grandes regiones que agrupan los sistemas de drenaje, como ríos, que convergen en un mismo punto final, ya sea en un océano, mar, lago o río.

En Colombia, la diversidad del relieve hace que los ríos fluyan en varias direcciones: algunos se dirigen hacia el Pacífico, otros hacia el Caribe, y algunos pocos hacia el golfo de Maracaibo en Venezuela, los ríos más extensos atraviesan las llanuras orientales y desembocan en el Orinoco y el Amazonas.

Esta distribución hace posible identificar cinco grandes vertientes: el mar Caribe, el océano Pacífico, el río Amazonas, el río Orinoco y la vertiente del Catatumbo, cada una de estas vertientes se distingue por sus características particulares, como el área que cubren, la dirección en la que sus aguas fluyen, el clima, la vegetación, así como la longitud y el caudal de los ríos que las conforman.

En términos generales, estas vertientes producen un flujo medio de 66,440 $m^3/s$, lo que equivale a un volumen anual de 2,113 $km^3$. De este total, el 23% proviene de la vertiente del Caribe; el 10% de la vertiente del Pacífico; el 34% de la vertiente de la Amazonía; el 32% de la vertiente de la Orinoquía; y únicamente el 1% de la vertiente del Catatumbo (García, 2019).

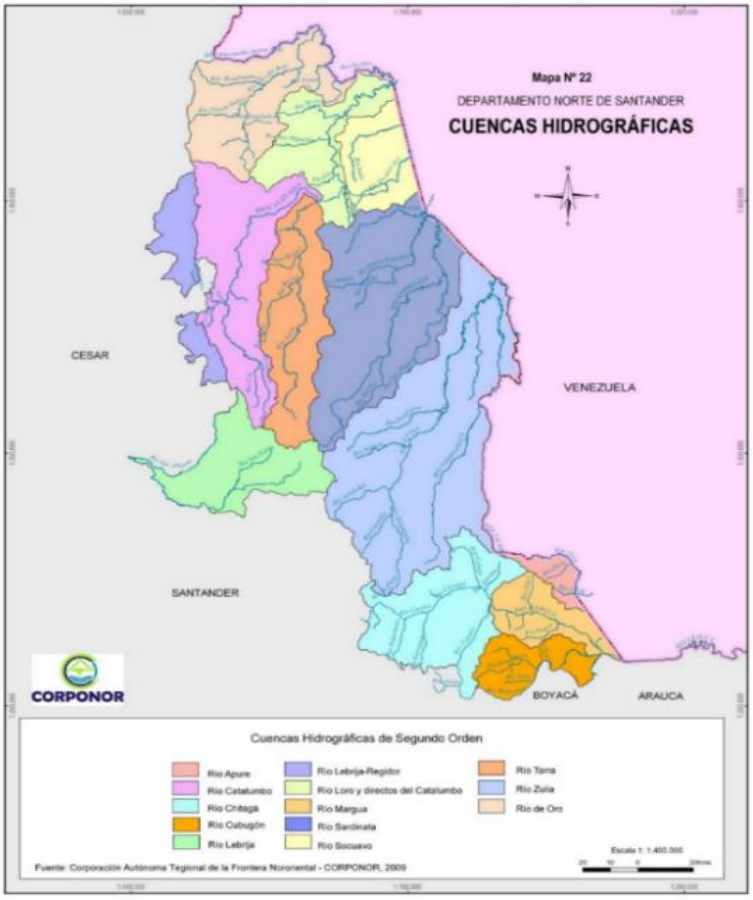
**4.1.4.2 Vertiente del Catatumbo.** Es la más pequeña de las cinco vertientes colombianas y está atravesada por ríos cortos que desembocan principalmente en el lago de Maracaibo, en Venezuela. Los ríos que la componen recorren solo una breve parte del territorio colombiano, destacando el Catatumbo, que nace en Colombia y llega hasta Venezuela. Su cuenca está cubierta de selva y es muy rica en flora y fauna. Entre los ríos más destacados de esta vertiente se encuentran el Zulia, río de Oro, Tarra, Sardinata, Táchira, Cucutilla, San Miguel y Presidente**,** ver figura 5.

La vertiente del Catatumbo con 18.700 $km^2$, vierte en el lago Maracaibo, con las siguientes cuencas:

- Cuenca del río Catatumbo (7.300 km²)
- Cuenca del río Zulia (4.800 km²)
- Cuenca del río Sardinata (3.400 km²)
- Otras menores (3.200 km²)

**Figura 5**

*Mapa de cuencas hidrográficas de Norte de Santander*




Nota: Información obtenida de (PLANEAR).

## 4.2 Curvas IDF-Método Gumbel

### *4.2.1 Información de precipitación*

A continuación, se presentan los datos de precipitación anual en milímetros de la estación denominada “Francisco de Paula Santander”, ubicada en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Esta información facilita un análisis más preciso y confiable para los cálculos que se realizarán en este documento. Es importante destacar que los datos corresponden a los últimos veinte años para los cuales se cuentan con registros oficiales, es decir, desde el año 2000 hasta 2020, ver figura 6.

**Figura 6**

*Precipitación máxima anual 2000 – 2020 Estación Francisco de Paula Santander*

| Estacion Francisco de Paula Santander Ocaña (2000-2020) | |
|---|---|
| Años | Precipitacion(mm) |
| 2000 | 88,6 |
| 2001 | 43,5 |
| 2002 | 50,5 |
| 2003 | 54,8 |
| 2004 | 44,7 |
| 2005 | 60 |
| 2006 | 45,2 |
| 2007 | 51,2 |
| 2008 | 69,6 |
| 2009 | 48,2 |
| 2010 | 76,8 |
| 2011 | 80,1 |
| 2012 | 44,4 |
| 2013 | 85,1 |
| 2014 | 121,5 |
| 2015 | 44,8 |
| 2016 | 42,9 |
| 2017 | 58,7 |
| 2018 | 78,7 |
| 2019 | 63,9 |
| 2020 | 48,7 |

En la investigación se planificó la construcción de las curvas IDF, para utilizarlas con un periodo de retorno de 100 años a partir del cálculo de cada uno de los tiempos de concentración definidos con el objetivo de estimar las intensidades en la zona de análisis, ver figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

**Figura 7**

*Variables de entrada*

| Datos | | | |
|---|---|---|---|
| **Pi** | **Beta** | **Euler mascheroni** | **μ** |
| 3,1415 | 15,83 | 0,577 | 52,85 |
| | | | |
| **Desviacion estandar** | | | 20,298 |
| **Media** | | | 61,984 |

**Figura 8**

*Periodos de retorno*

| Periodo de retorno | $X_I = ln\left(ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right)$ | $\bar{X} = \mu + Y_i * \beta$ | $F_{(\gamma,\mu,\beta)} = e^{-e^{\left(\frac{1*\mu}{\beta}\right)}}$ | $X = 1{,}13 * X_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 0,367 | 58,654 | 0,5 | 66,3 |
| 5 | 1,5 | 76,601 | 0,8 | 86,6 |
| 10 | 2,25 | 88,483 | 0,9 | 100 |
| 25 | 3,199 | 103,497 | 0,96 | 117 |
| 50 | 3,902 | 114,634 | 0,98 | 129,5 |
| 75 | 4,311 | 121,108 | 0,987 | 136,9 |
| 100 | 4,6 | 125,69 | 0,99 | 142 |

**Figura 9**

*Precipitación Máxima Probable (P.M.P)*

| Duracion (hr) | Factor | P.M.P(mm)Para diferenrtes periodos de retorno (años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| 24 | 1 | 66,28 | 86,56 | 99,99 | 116,95 | 129,54 | 136,85 | 142,03 |
| 18 | 0,91 | 60,31 | 78,77 | 90,99 | 106,43 | 117,88 | 124,54 | 129,25 |
| 12 | 0,8 | 53,02 | 69,25 | 79,99 | 93,56 | 103,63 | 109,48 | 113,62 |
| 8 | 0,68 | 45,07 | 58,86 | 67,99 | 79,53 | 88,08 | 93,06 | 96,58 |
| 6 | 0,61 | 40,43 | 52,8 | 60,99 | 71,34 | 79,02 | 83,48 | 86,64 |
| 5 | 0,57 | 37,78 | 49,34 | 56,99 | 66,66 | 73,84 | 78,01 | 80,96 |
| 4 | 0,52 | 34,47 | 45,01 | 51,99 | 60,81 | 67,36 | 71,16 | 73,86 |
| 3 | 0,46 | 30,49 | 39,82 | 45,99 | 53,8 | 59,59 | 62,95 | 65,33 |
| 2 | 0,39 | 25,85 | 33,76 | 38,99 | 45,62 | 50,52 | 55,39 | 55,39 |
| 1 | 0,3 | 19,88 | 25,97 | 30 | 35,09 | 38,86 | 42,61 | 42,61 |

**Figura 10**

*Intensidad de la lluvia (mm/hr) según el periodo de retorno*

| Tiempo de duracion | | Intensidad de la lluvia (mm/hr) Para diferenrtes periodos de retorno (años) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | min | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| 24 | 1440 | 2,762 | 3,607 | 4,166 | 4,873 | 5,397 | 5,702 | 5,918 |
| 18 | 1080 | 3,356 | 4,376 | 5,055 | 5,914 | 6,549 | 6,919 | 7,18 |
| 12 | 720 | 4,419 | 5,771 | 6,666 | 7,797 | 8,636 | 9,133 | 9,469 |
| 8 | 480 | 5,634 | 7,358 | 8,499 | 9,941 | 11,011 | 11,632 | 12,072 |
| 6 | 360 | 6,738 | 8,8 | 10,175 | 11,89 | 15,7654 | 13,913 | 14,44 |
| 5 | 300 | 7,556 | 9,869 | 11,345 | 13,,332 | 16,84 | 15,601 | 16,191 |
| 4 | 240 | 8,616 | 11,253 | 12,898 | 15,204 | 19,864 | 17,791 | 18,464 |
| 3 | 180 | 10,163 | 13,272 | 15,343 | 17,932 | 35,269 | 20,984 | 21,778 |
| 2 | 120 | 12,924 | 16,879 | 19,497 | 22,805 | 25,26 | 26,686 | 27,696 |
| 1 | 60 | 19,884 | 25,789 | 29,996 | 35,085 | 38,862 | 41,056 | 42,609 |

**Figura 11**

*Resumen de aplicación de regresión potencial*

| Formulas de regresion potencial | | |
|---|---|---|
| $Y = \alpha * X^{\beta}$ | | |
| $\sum logY = Log\alpha * N + \beta * \sum logX$ | | |
| $\sum logX * logY = Log\alpha * \sum logX + \beta * \sum (logX)^2$ | | |
| Periodo de retorno | Coef de Regresion | Exp de regresion |
| 2 | 255,49 | -0,616 |
| 5 | 330,8 | -0,616 |
| 10 | 380,67 | -0,616 |
| 25 | 443,677 | -0,616 |
| 50 | 490,41 | -0,616 |
| 75 | 517,58 | -0,616 |
| 100 | 536,81 | -0,616 |
| Promedio | 422,2052857 | -0,616 |

**Figura 12**

*Ecuación para curvas IDF*

$$I = \frac{249{,}84T^{0{,}1642}}{t^{0{,}616}}$$

Con la ecuación anterior se determina la Intensidad de lluvia para los diferentes periodos de retorno al reemplazar los datos de duración en minutos y la frecuencia en años.

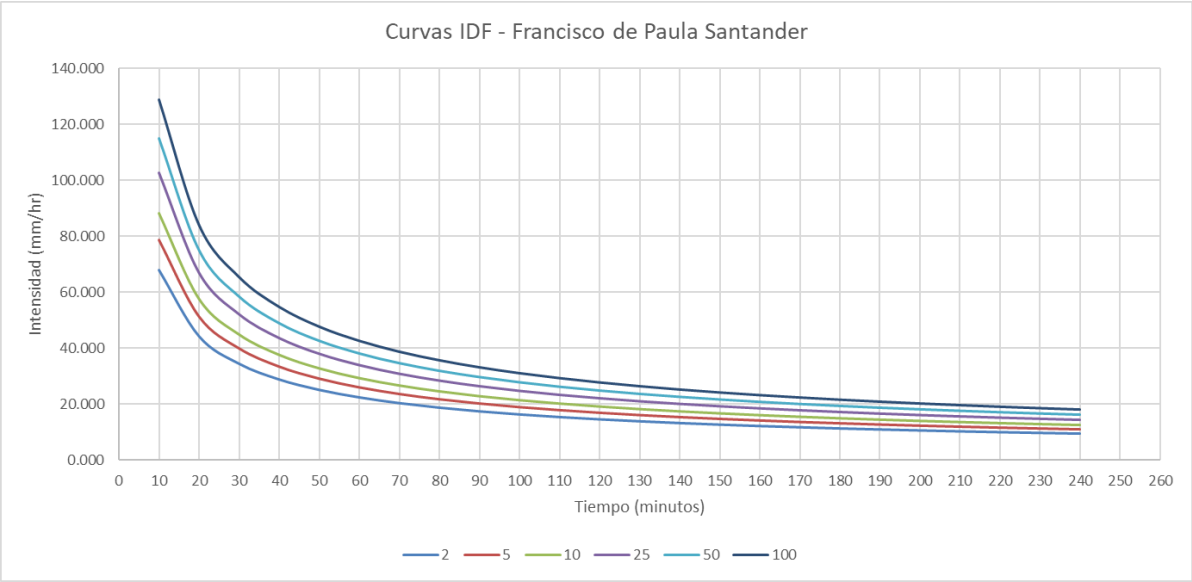
**Figura 13**

*Cálculo de las curvas IDF*

| Duración | Frecuencia (T años) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (t min) | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 | 500 |
| 10 | 67,778 | 78,783 | 88,280 | 102,613 | 114,983 | 122,899 | 128,843 | 167,816 |
| 20 | 44,224 | 51,404 | 57,601 | 66,953 | 75,024 | 80,189 | 84,067 | 109,496 |
| 30 | 34,450 | 40,043 | 44,870 | 52,155 | 58,442 | 62,466 | 65,487 | 85,296 |
| 40 | 28,855 | 33,540 | 37,583 | 43,685 | 48,951 | 52,321 | 54,852 | 71,444 |
| 50 | 25,149 | 29,233 | 32,756 | 38,075 | 42,665 | 45,602 | 47,808 | 62,268 |
| 60 | 22,478 | 26,127 | 29,277 | 34,030 | 38,132 | 40,757 | 42,729 | 55,653 |
| 70 | 20,441 | 23,760 | 26,625 | 30,947 | 34,678 | 37,065 | 38,858 | 50,612 |
| 80 | 18,827 | 21,884 | 24,522 | 28,504 | 31,940 | 34,138 | 35,790 | 46,615 |
| 90 | 17,510 | 20,353 | 22,806 | 26,509 | 29,704 | 31,749 | 33,285 | 43,353 |
| 100 | 16,409 | 19,074 | 21,373 | 24,843 | 27,838 | 29,754 | 31,193 | 40,629 |
| 110 | 15,474 | 17,986 | 20,154 | 23,426 | 26,250 | 28,058 | 29,415 | 38,312 |
| 120 | 14,666 | 17,047 | 19,102 | 22,204 | 24,880 | 26,593 | 27,880 | 36,313 |
| 130 | 13,961 | 16,227 | 18,183 | 21,136 | 23,683 | 25,314 | 26,538 | 34,566 |
| 140 | 13,338 | 15,503 | 17,372 | 20,192 | 22,627 | 24,184 | 25,354 | 33,023 |
| 150 | 12,783 | 14,858 | 16,649 | 19,352 | 21,685 | 23,178 | 24,299 | 31,649 |
| 160 | 12,284 | 14,279 | 16,000 | 18,598 | 20,840 | 22,275 | 23,352 | 30,415 |
| 170 | 11,834 | 13,755 | 15,414 | 17,916 | 20,076 | 21,458 | 22,496 | 29,301 |
| 180 | 11,425 | 13,280 | 14,880 | 17,296 | 19,381 | 20,716 | 21,718 | 28,287 |
| 190 | 11,050 | 12,845 | 14,393 | 16,730 | 18,747 | 20,037 | 21,006 | 27,360 |
| 200 | 10,707 | 12,445 | 13,945 | 16,209 | 18,163 | 19,414 | 20,353 | 26,509 |
| 210 | 10,390 | 12,077 | 13,532 | 15,730 | 17,626 | 18,839 | 19,750 | 25,724 |
| 220 | 10,096 | 11,735 | 13,150 | 15,285 | 17,128 | 18,307 | 19,192 | 24,998 |
| 230 | 9,824 | 11,418 | 12,795 | 14,872 | 16,665 | 17,812 | 18,674 | 24,323 |
| 240 | 9,569 | 11,123 | 12,464 | 14,488 | 16,234 | 17,351 | 18,191 | 23,693 |

**Figura 14**

*Gráfica de curvas IDF*




## 4.3 Coeficiente de escorrentía

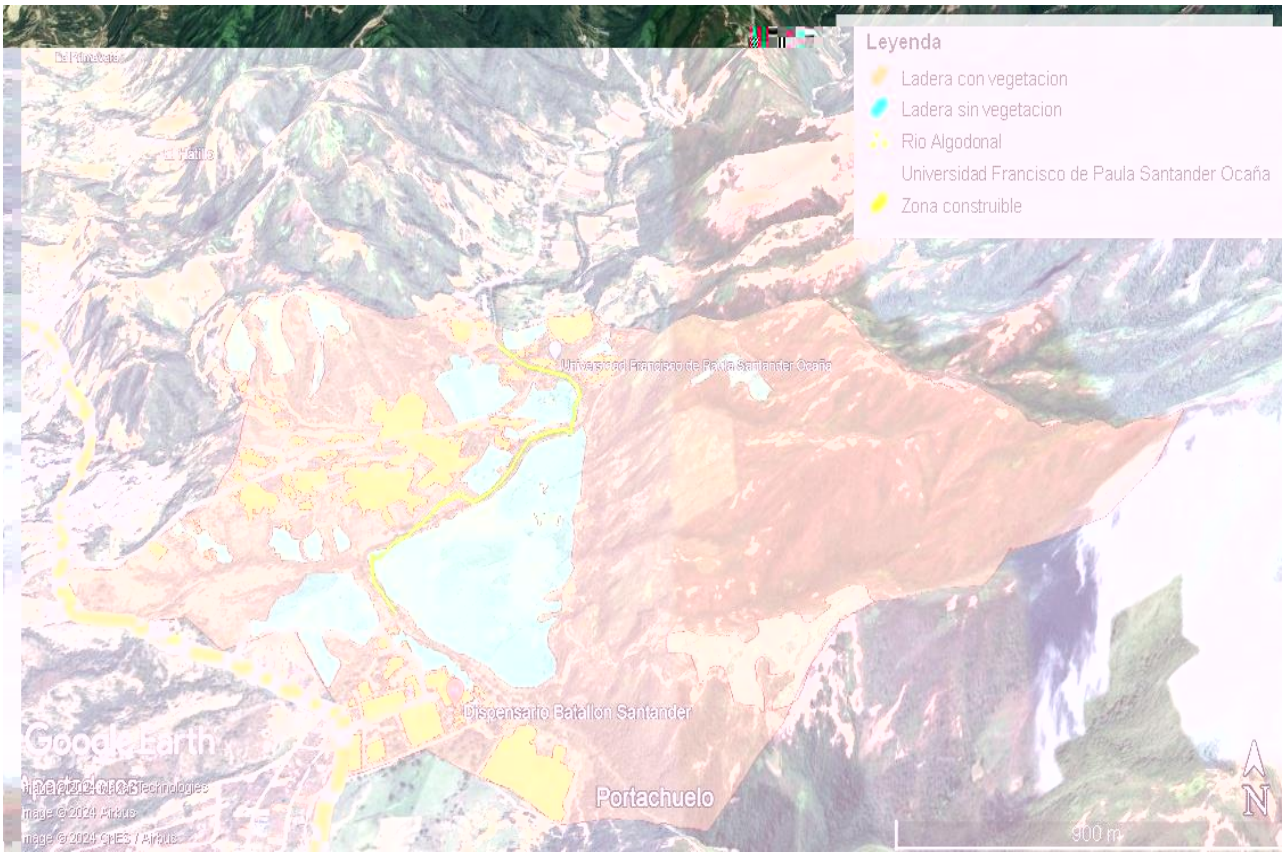
Según la RAS (2016), para determinar el caudal de diseño en los sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias, se recomienda usar métodos actuales de lluvia-escorrentía que incluyan modelos de infiltración. Entre estos modelos se encuentran los de Horton, el Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU. y el de Green y Ampt.

Se determinó las áreas con la ayuda del programa Google Earth, donde estas se diferencian según la capacidad de infiltración de cada una, ver figura 15; como el área de la cuenca supera las 80 hectáreas, el método racional no es adecuado, por lo tanto, se ha optado por el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, ahora conocido como el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. (NRCS).

Para este proyecto, se tomó un valor de 60 mm, estimado a partir de la curva IDF para un periodo de 100 años y un tiempo de concentración de 29.34 minutos.

**Figura 15**

*Áreas de drenaje de la subcuenca*




*Nota:* Información obtenida de (Google Earth)

En la imagen anterior se identifican distintas áreas de terreno según su uso y características: las zonas construibles, representadas en color amarillo, abarcan una superficie de 90,78 hectáreas; las laderas sin vegetación, sombreadas en color azul, cubren 46,64 hectáreas; y las áreas de ladera con vegetación, señaladas en color rosado, comprenden 394,58 hectáreas.

El método asigna un número de curva (CN) específico para cada tipo de suelo en la cuenca, de acuerdo con su capacidad de infiltración. Los números de curva para los suelos en la zona de drenaje de la cuenca están detallados en la tabla 4, que muestra cómo se ha asignado el CN en función de las áreas evaluadas en el proyecto.

**Tabla 4**

*Valores de CN para número de curva Rio Algodonal*

| Descripción | Area (Ha) | CN |
|---|---|---|
| Ladera con vegetación | 394,58 | 60 |
| Residencial | 90,78 | 95 |
| Ladera sin vegetación | 46,64 | 30 |

En la tabla 5 se puede observar los resultados del ajuste del número de curva para la subcuenca.

**Tabla 5**

*Numero de Curva _ Corrección por humedad sector_ Precipitación efectiva*

| SUB-CUENCA | Descripción | Area (Ha) | % Area | CN (II) | %Area*CN(II) | CN (II) | CN (III) _ Corrección | Precipitación (cm) | Pe | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Ladera sin Vegetación | 46,64 | 0,09 | 30 | 2,630075188 | | | | | |
| 2 | Ladera con Vegetación | 394,58 | 0,74 | 60 | 44,50150376 | 63,3423 | 79,90 | 12,15 | 6,85 | 0,56 |
| 3 | Zona Residencial | 90,78 | 0,17 | 95 | 16,21071429 | | | | | |

El coeficiente de escorrentía en la subcuenca del Río Algodonal indica que el 56% del agua de lluvia que cae sobre esa subcuenca se convierte en escorrentía, es decir, fluye sobre la superficie hacia los cuerpos de agua, mientras que el 44% restante se infiltra en el suelo, se evapora o es retenido por la vegetación y otras características del terreno.

### *4.3.1 Aspectos hidrológicos de la zona de estudio*

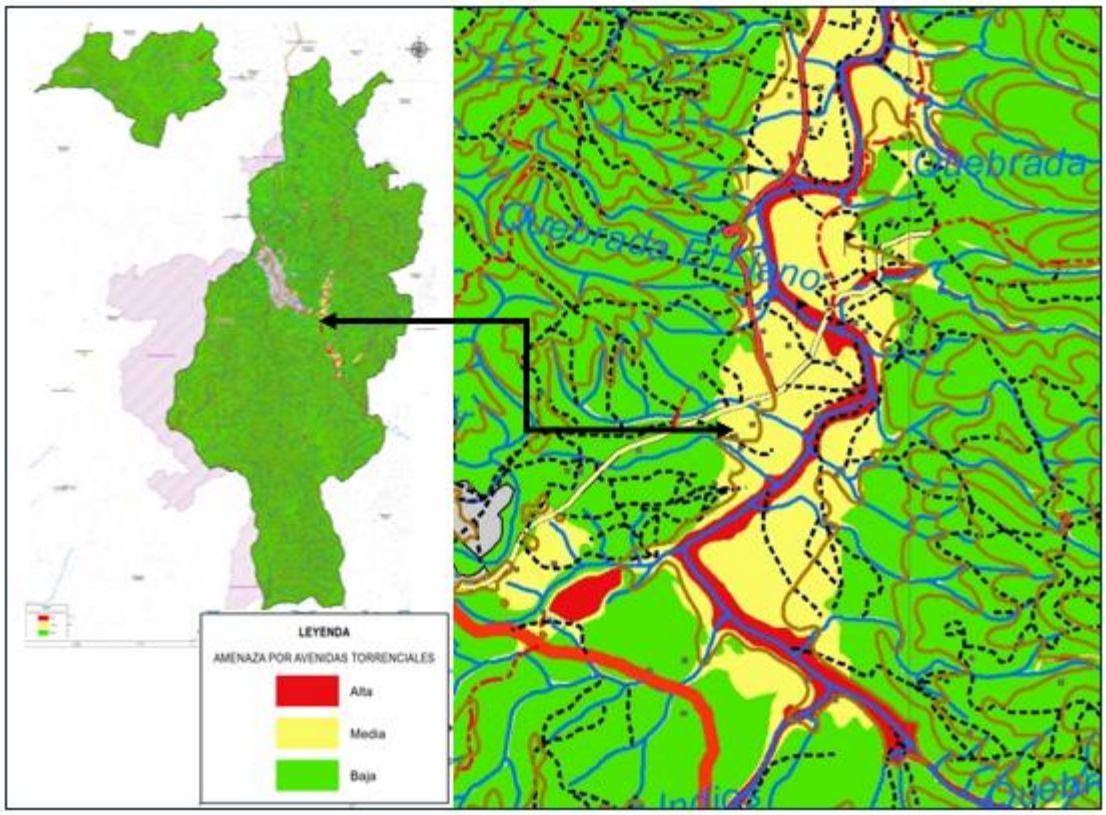
Para abordar los aspectos hidrológicos del río Algodonal en la zona de investigación, es esencial considerar factores clave como el caudal del río, el nivel del agua, la velocidad del flujo, la calidad del agua, la morfología del cauce, el uso del suelo y la cobertura terrestre, los eventos extremos y la influencia de infraestructuras cercanas, investigar sobre ellos permite prever inundaciones, gestionar riesgos, y entender la erosión, el transporte de sedimentos y los impactos ambientales, proporcionando una visión integral para una gestión y planificación adecuadas del riesgo.

El afluente del río Algodonal discurre al borde del núcleo urbano del municipio de Ocaña, atravesando áreas residenciales cercanas, esta proximidad aumenta el riesgo de inundaciones en dichas comunidades,

En la figura 16 se puede observar la representación de un terreno que está sujeto a riesgos de inundación según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Ocaña que muestra áreas codificadas por colores o tonalidades que indican la intensidad del riesgo de inundación en diferentes partes de la zona, las áreas con mayor riesgo están marcadas en color rojo, mientras que las áreas con un riesgo medio tienen una tonalidad amarilla y la baja está representada con color verde.

**Figura 16**

*Mapa de amenaza por inundaciones*




Nota: Información obtenida de (Alcaldía Municipal de Ocaña, 2023).

Según la imagen anterior, el mapa muestra que las zonas cercanas al río en el tramo de estudio están expuestas a posibles inundaciones debido a la topografía plana, la mayoría de las inundaciones están asociadas a desbordamientos de los cauces de agua y tienen un comportamiento dinámico, ocurriendo por crecientes súbitas de los drenajes, y durando aproximadamente entre 2 a 5 horas mientras baja la lluvia (Alcaldía Municipal de Ocaña, 2023).

Para asegurar un avance eficiente del proyecto, se examinó una variedad de fuentes de información con el propósito de recolectar la mayor cantidad posible de datos y referencias. En

particular, para el análisis de la cuenca del río Algodonal, se realizó un estudio de la información, enfocándose en la selección de datos específicos y relevantes para el área de investigación.

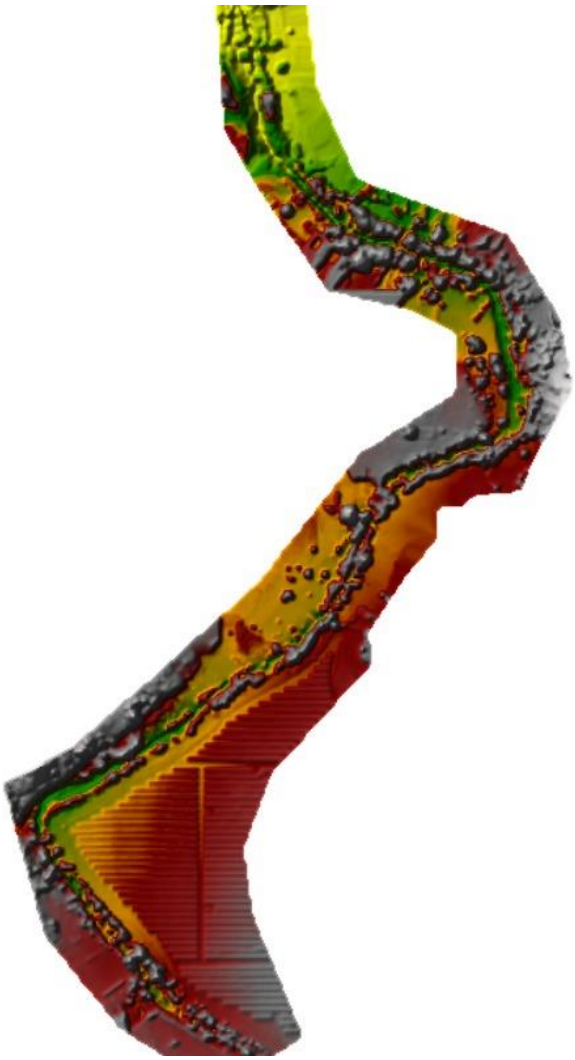
### 4.4 Fotogrametría-DEM

Modelo digital de elevación que se basa en representar visual y matemáticamente la altimetría de un punto con respecto al nivel del mar, además define la forma del relieve y los objetos que estén en el lugar.

Durante el vuelo efectuado con un dron tipo DJI Mavic 2, se generó un modelo que incluye el procesamiento de imágenes digitales, como se muestra en la figura 17. En este estudio, se identificó la longitud del tramo del río y las secciones transversales o batimetría del afluente, considerando la ubicación del sector en estudio.

**Figura 17**

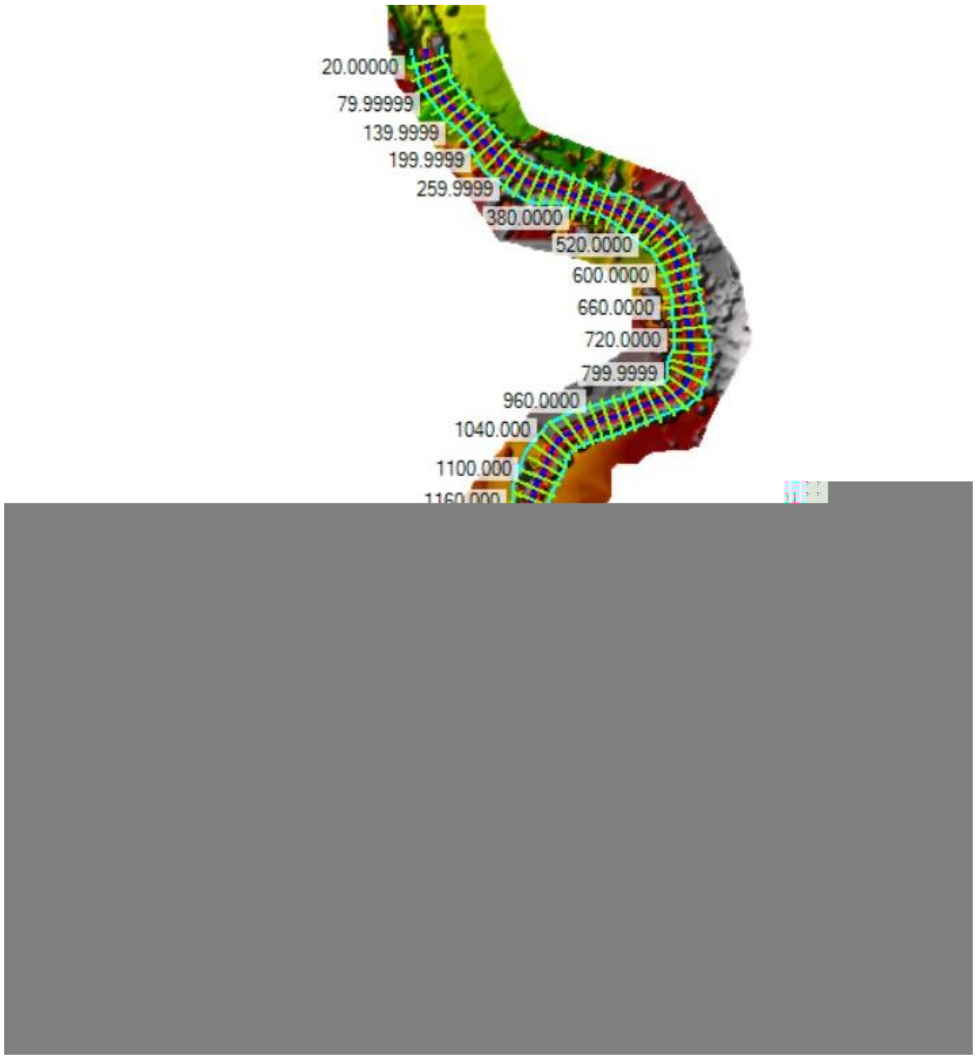
*DEM del área de estudio*



En la figura 18 a continuación se puede observar la disposición de las secciones transversales, con una distancia entre ellas de 20 metros y una longitud de 70 metros. Este análisis detallado permite una comprensión precisa de la topografía y las características del río en el tramo investigado, proporcionando datos esenciales para evaluar y gestionar los recursos hídricos y el riesgo de inundaciones en la zona.

**Figura 18**

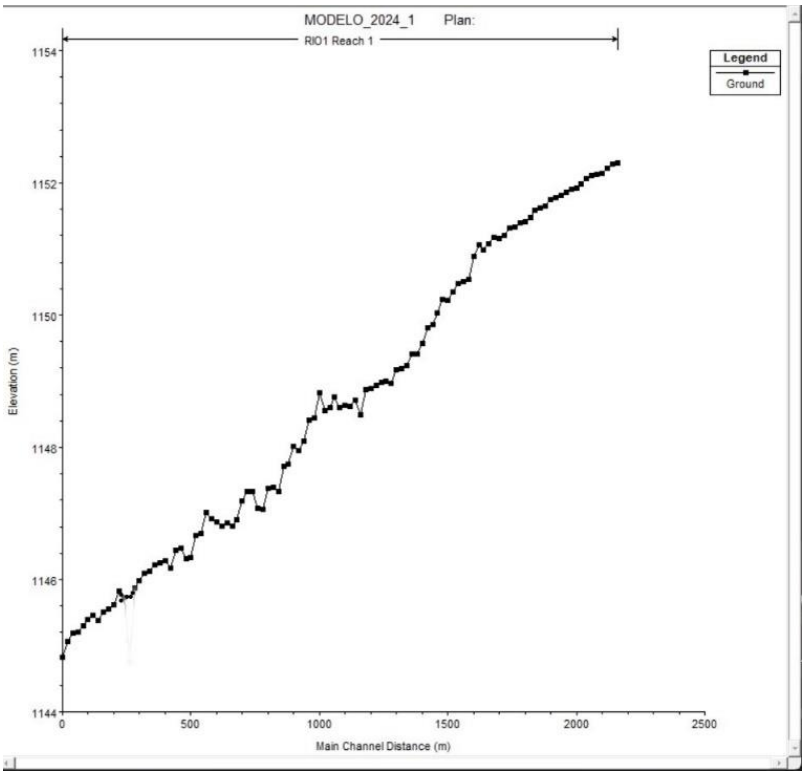
*Secciones transversales del rio*




Por otra parte, se puede observar que la pendiente del rio en el sector es de 0,003%, ver figura 19; El uso del programa HEC-RAS para modelar un río con pendiente baja es útil para evaluar y gestionar la propagación de inundaciones, además permite simular cómo el agua se desplaza y acumula en estas condiciones, identificando zonas críticas de inundación y facilitando la planificación de medidas de mitigación.

**Figura 19**

*Pendiente del río*



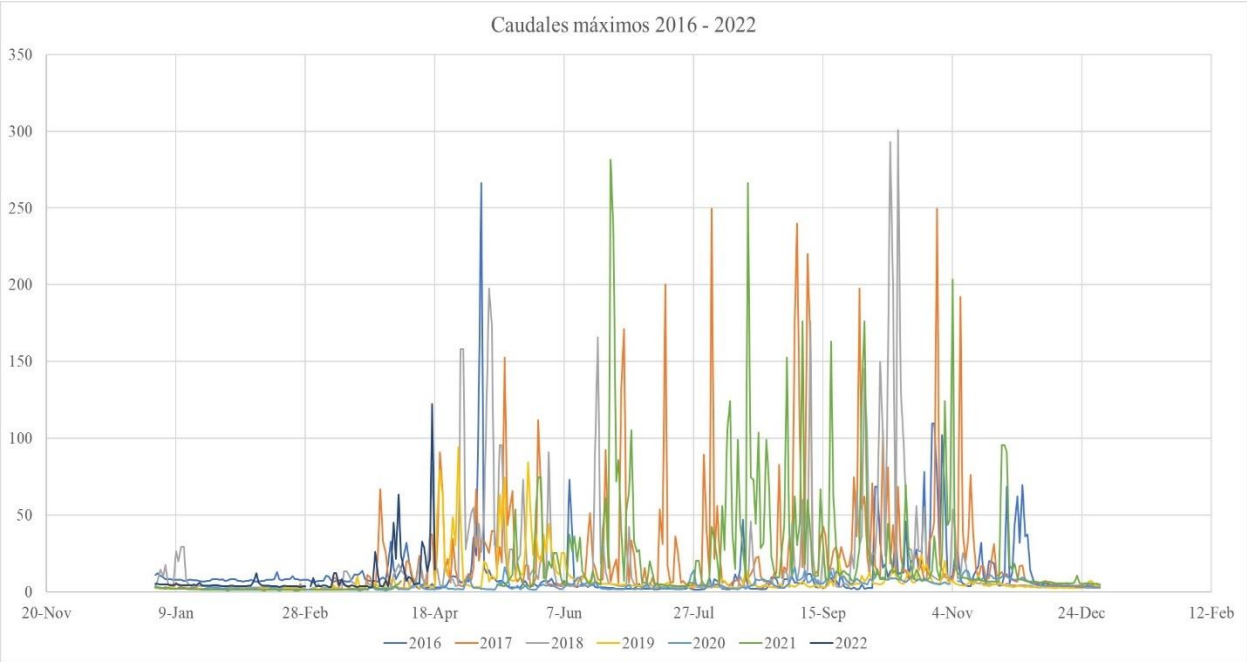

## 4.5 Registro de caudales máximos.

Se procedió a recopilar los datos hidrológicos esenciales para el estudio a través del (IDEAM), utilizando específicamente la información proveniente de la Estación Meteorológica LA CABAÑA - AUT [16057030] , la cual se encuentra ubicada en el municipio de Ocaña - Norte de Santander.

Los registros obtenidos abarcan los caudales máximos observados durante el periodo comprendido entre los años 2016 y 2022, a continuación, en la figura 20 se muestra la gráfica de los caudales máximos diarios registrados en los últimos años.

**Figura 20**

*Registro de caudales máximos diarios*



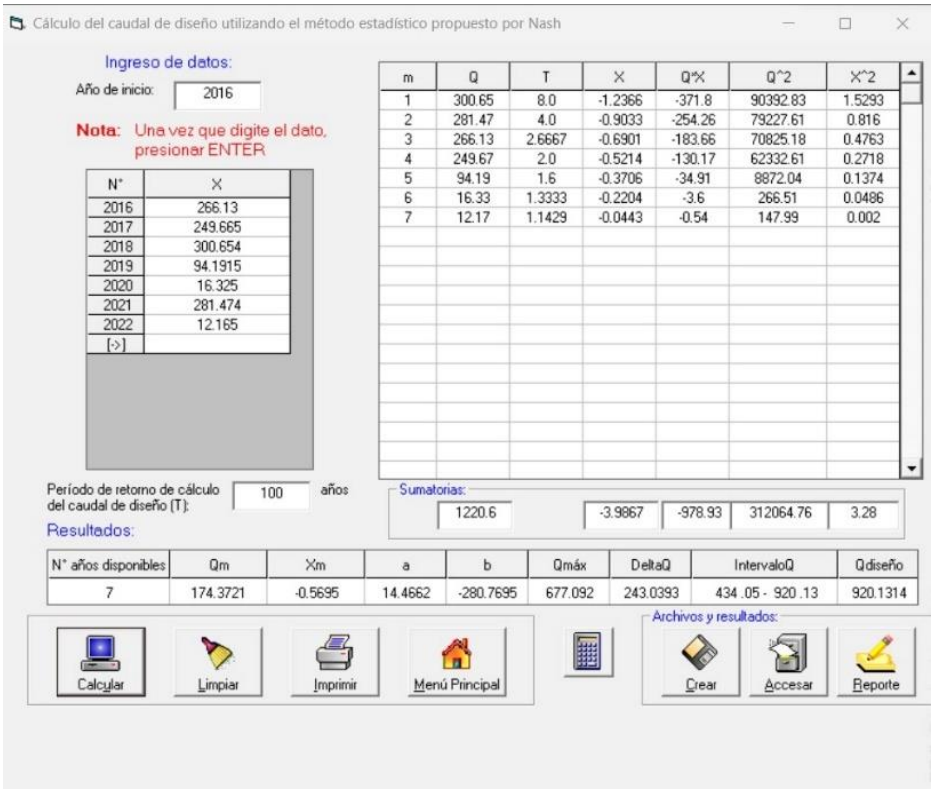

En la figura anterior se observa que, en los últimos años, el caudal máximo registrado fue en octubre de 2018, alcanzando un valor de 300,654 m³/s. Por otro lado, los años con caudales más bajos fueron 2019 y 2020. Los demás años registrados presentan caudales relativamente altos.

### *4.5.1 Caudales máximos por el método de Nash*

Se utilizó el Modelo de Nash del programa HidroEsta, ver figura 21; este modelo usa la función de distribución instantánea del hidrograma unitario (IUH por sus siglas en inglés) y se utiliza para varios propósitos en la hidrología, entre los cuales destacan la predicción de caudales, permitiendo estimar la respuesta del caudal en un río o cuenca hidrográfica ante una precipitación determinada, facilitando la previsión de flujos de agua en eventos de lluvia.

**Figura 21**

*Programa HidroEsta*




A continuación en la tabla 6 se muestra los caudales máximos obtenidos mediante la extrapolación de los caudales máximos anuales históricos para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 6**

*Caudales máximos método de Nash*

| Periodo de retorno | Caudales máximos (m3/s) |
|---|---|
| 5 | 299,06 |
| 10 | 390,57 |
| 30 | 528,83 |
| 50 | 591,95 |
| 100 | 677,09 |

## 4.6 Batimetría del río

Utilizando un equipo de nivel, se realizó el levantamiento topográfico de una sección del río en el tramo de estudio aguas arriba, este equipo incluye un nivel óptico y un trípode, que se utilizó para determinar las diferencias de altura entre puntos a lo ancho del río, lo que permitió trazar una representación precisa del terreno y la batimetría del río. La figura 22 proporciona una visualización gráfica de los resultados del levantamiento topográfico, mostrando las elevaciones y las variaciones en el terreno a lo anchoo de la sección del río estudiado.

**Figura 22**

*Levantamiento topográfico*

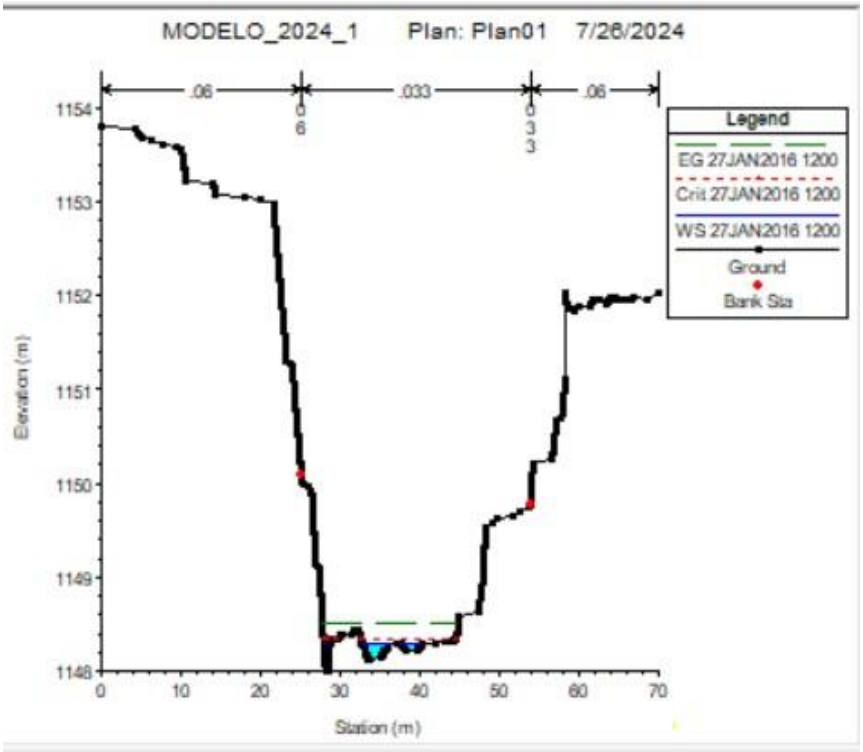


El procedimiento implicó la medición precisa de elevaciones y la creación de un perfil transversal detallado de la topografía del río en esa área específica.

El objetivo de este procedimiento fue comparar la topografía obtenida mediante el vuelo de un dron con los datos de batimetría recopilados in situ, las figuras 23 y 24 muestran los resultados de esta comparación, ilustrando las diferencias y similitudes entre los métodos de recolección de datos mencionados anteriormente.

**Figura 23**

*Sección transversal del río con la topografía del dron*




La figura 23 muestra que el ancho del río en la sección estudiada según el vuelo del dron es de aproximadamente 15 metros. Esta medición representa la distancia horizontal entre las

márgenes opuestas del río en ese tramo específico, esta dimensión permite una visualización precisa del tamaño del río en esa sección particular y facilita la comparación con otras secciones o datos topográficos del río.

**Figura 24**

*Sección transversal del rio con nivel*




En la topografía realizada con equipo de nivel se pudo obtener la batimetría del rio que tiene un ancho en esa sección alrededor de los 20 metros.

El análisis comparativo entre los datos topográficos obtenidos con equipo de nivel y los datos del vuelo del dron revela una divergencia en el ancho del río en la sección estudiada: la topografía muestra un ancho de aproximadamente 20 metros, mientras que el dron indica un

ancho de aproximadamente 18 metros, cabe aclarar que las dos secciones no fueron realizadas en las mismas coordenadas, se trató de que estuvieran lo más cercanas posibles, por lo que esta diferencia puede deberse a variaciones en la sección medida.

### *4.6.1 Aforo hidrométrico*

En el tramo específico del río Algodonal, se llevó a cabo un aforo hidrométrico para determinar el caudal mediante el método de área-velocidad, que se basa en la relación entre el área transversal del cauce y la velocidad del flujo del agua, para esto ver figura 25. Se eligió un tramo con flujo relativamente uniforme, evitando áreas con remolinos o rápidos, además se seleccionaron puntos a diferentes profundidades y posiciones horizontales en la sección para medir la velocidad del agua con un micro molinete, obteniendo la velocidad promedio.

**Figura 25**

*Aforo hidrométrico*



Se compararon los resultados con datos históricos para verificar la veracidad de los datos utilizados en el modelo, respecto a el caudal obtenido del método en mención, a continuación, en la tabla 7 se muestra el caudal calculado por el método de area-velocidad.

**Tabla 7**

*Caudal del río método área - velocidad*

| Velocidad (m/s) | Area(m2) | Caudal (m3/s) |
|---|---|---|
| 1,426 | 3,88 | 5,5329 |
| 1,216 | 3,88 | 4,7181 |
| 1,192 | 3,88 | 4,6250 |
| 1,128 | 3,88 | 4,3766 |
| 1,135 | 3,88 | 4,4038 |
| Caudal promedio | | 4,7313 |

En esta tabla se muestra que la velocidad oscilaba entre los 1,1 y 1,5 m/s en los diferentes `puntos del corte transversal, además el area de la sección del rio fue de 3,88 m2, obteniendo un caudal promedio de 4,7313 m3/s; al comparar este valor con los caudales históricos registrados, se observan similitudes con los caudales previamente calculados.

## 4.7 Coeficiente de Manning

Se emplearon dos coeficientes de Manning en el modelo hidrodinámico de Hec-Ras para representar la rugosidad hidráulica del cauce y las llanuras de inundación, basándose en los valores recomendados por el libro de Ven Te Chow, estos valores permiten modelar con precisión las variaciones en la velocidad del flujo y la distribución del caudal durante eventos de inundación.

Para el cauce principal, se utilizó un coeficiente de Manning de 0.033, adecuado para corriente en planicie limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos, mientras que, para las llanuras de inundación, se asignó un coeficiente de 0.060, reflejando corriente en planicie limpias, serpenteante, algunos pozos, bancos de arena, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes y con abundantes piedras, ver figura 26.

**Figura 26**

*Coeficiente de rugosidad de Manning para corrientes naturales*

| | | | |
|---|---|---|---|
| D. Corrientes naturales | | | |
| D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies) | | | |
| *a*. Corrientes en planicies | | | |
| 1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos | 0.025 | **0.030** | 0.033 |
| 2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas | 0.030 | 0.035 | 0.040 |
| 3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena | 0.033 | 0.040 | 0.045 |
| 4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras | 0.035 | 0.045 | 0.050 |
| 5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes | 0.040 | 0.048 | 0.055 |
| 6. Igual al 4, pero con más piedras | 0.045 | 0.050 | 0.060 |
| 7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos | 0.050 | 0.070 | 0.080 |
| 8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos | 0.075 | 0.100 | 0.150 |

*Nota:* Información obtenida de (Chow, 1994)

## 4.8 Modelo hidrodinámico en el software Hec-Ras

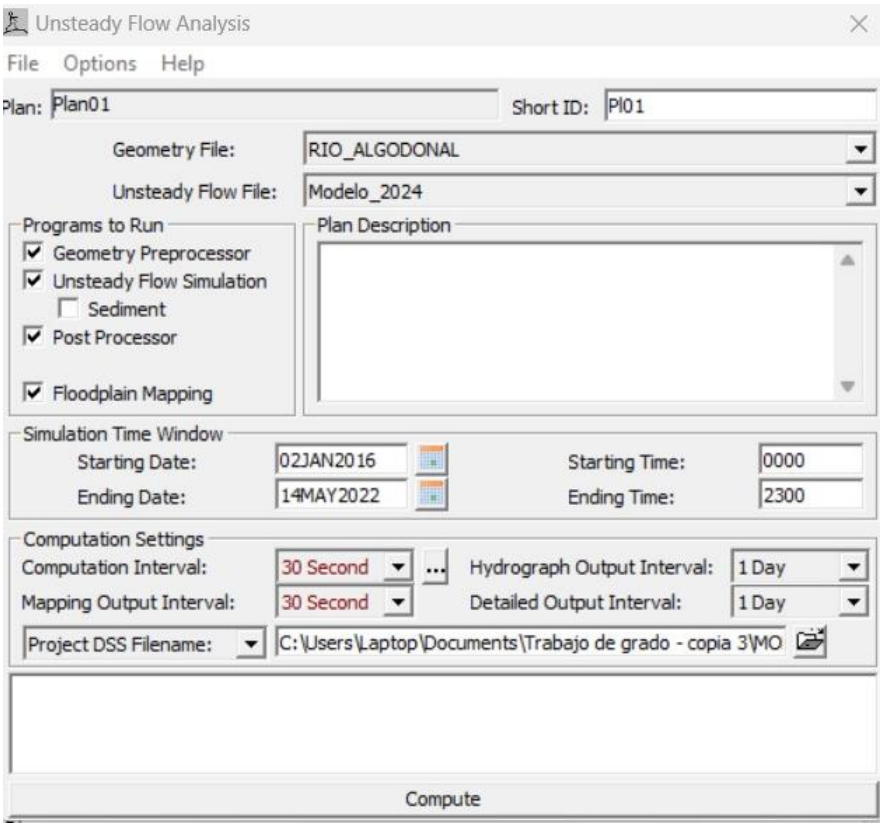
Se creó el nuevo proyecto en el programa Hec-Ras, luego, se importó el archivo topográfico procesado del vuelo del dron, se ingresaron los datos de la geometría del río, se

establecieron las condiciones de contorno, como las líneas de rivera del rio y los caminos de flujo del rio y se generan las secciones transversales; además se ingresaron los registros históricos de los caudales máximos mensuales según el IDEAM de la estación la cabaña, y los parámetros de rugosidad de Manning para las diferentes zonas.

Luego se ejecuta la simulación en 2D para calcular los resultados hidrodinámicos, ver figura 27 para observar los parámetros introducidos al momento de correr el programa.

**Figura 27**

*Análisis de flujo*

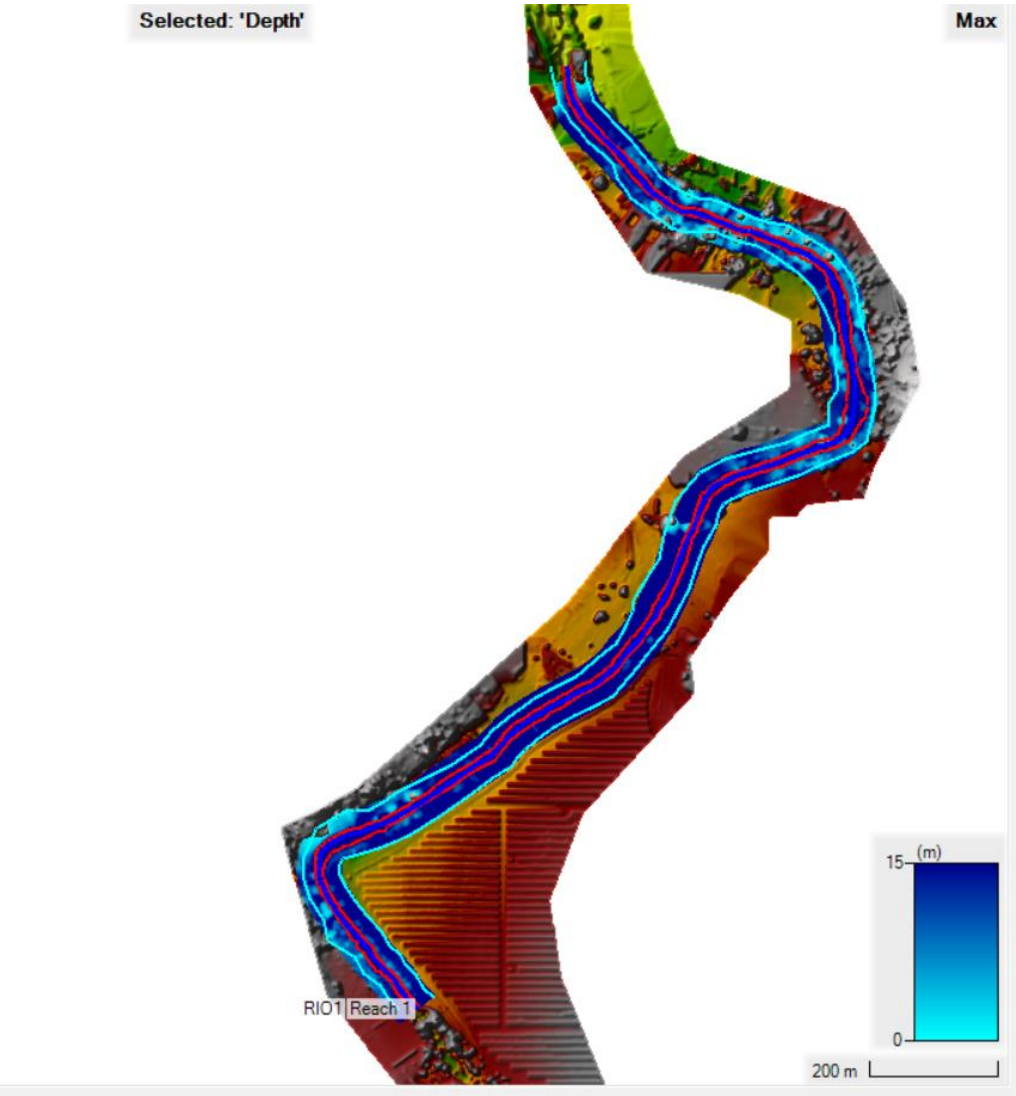


El modelo se ejecutó en un intervalo de salida de 30 segundos, lo cual significa que guarda datos de simulación cada 30 segundos, lo que permite una alta resolución temporal útil para analizar fenómenos dinámicos; Por otro lado, el intervalo del hidrograma de 1 día indica que los datos de entrada, como los caudales, se actualizaron diariamente, lo cual es adecuado para análisis a largo plazo donde los cambios no son tan rápidos.

Por consiguiente, en la figura 28 se muestra el tramo de estudio que presenta las zonas posibles de inundarse ante un evento extremo pico, basado en los datos recopilados del IDEAM, que fueron previamente modelados, para ello se identifican las áreas de inundación, zonificando los sectores susceptibles a inundaciones; y los resultados temporales y espaciales, representando cómo varían los parámetros hidráulicos en los diferentes puntos del río.

**Figura 28**

*Resultados Hec-Ras de áreas de inundación en 2D*




En la figura se observa con color azul oscuro las zonas donde la lámina de agua alcanza una altura entre los 7,5 y 15 metros siendo las secciones desde la 960 hasta 1660 y con color azul claro una altura inferior a los 7,5 metros las secciones 20 hasta la 960 y desde la 1660 hasta la 2180.

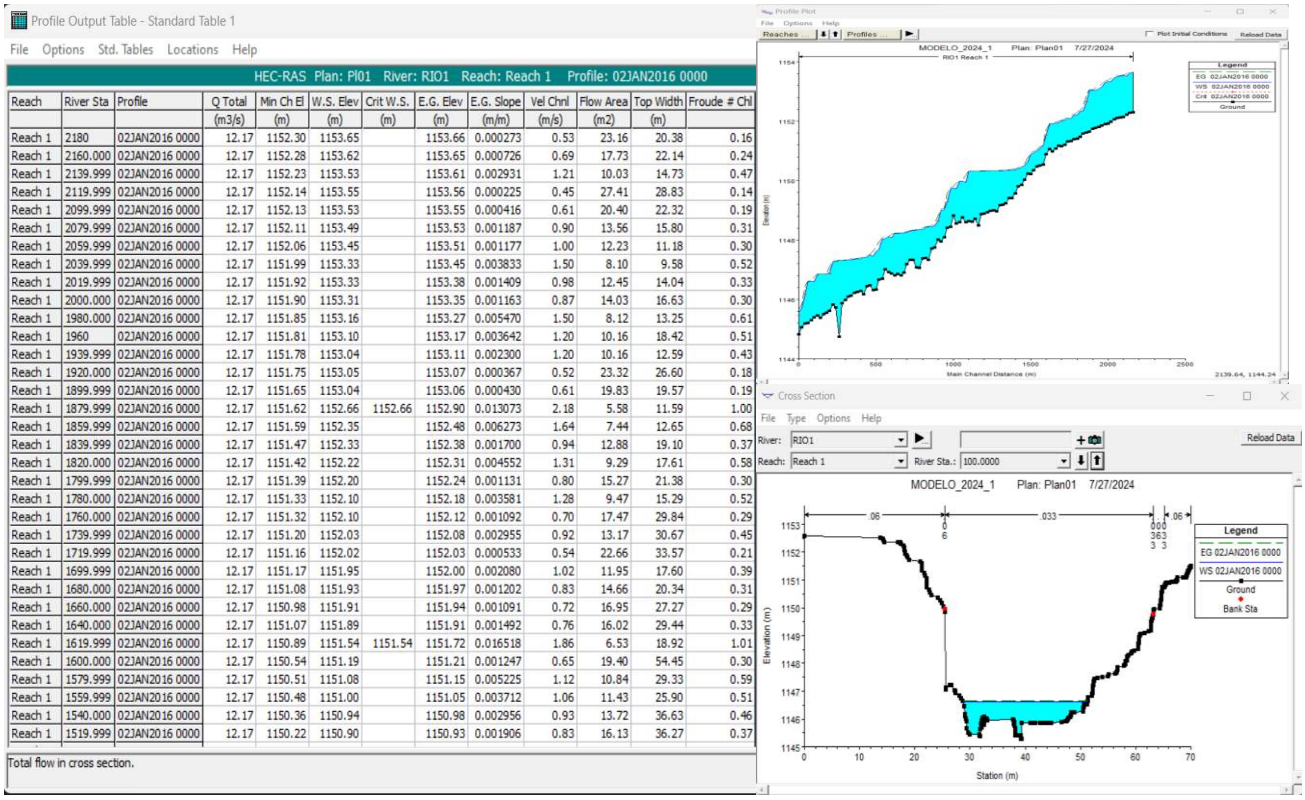
Luego, se presenta un análisis de la información obtenida del modelo hidrodinámico, en donde varios elementos clave son: la geometría del río; las condiciones de flujo, incluyendo caudales y niveles de agua en diferentes puntos; la distribución del flujo, visualizando la velocidad; el perfil longitudinal del agua, con gráficos del perfil de elevación del nivel del agua a lo largo del curso del río.

### *4.8.1 Cota de inundación*

En el análisis efectuado mediante el software, se puede observar el comportamiento de las secciones, en las figuras 29, 30, 31 y 32 se presenta una sección tipo con la elevación de la lámina de agua del canal natural y perfil longitudinal del caudal, esto con el objetivo de visualizar cómo varían las secciones transversales del río frente a los diferentes caudales pico.

**Figura 29**

*Resultados del modelo Hec-Ras para caudal de 12,17 m3/s*



Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Pl01 River: RIO1 Reach: Reach 1 Profile: 02JAN2016 0000

| Reach | River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| Reach 1 | 2180 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1152.30 | 1153.65 | | 1153.66 | 0.000273 | 0.53 | 23.16 | 20.38 | 0.16 |
| Reach 1 | 2160.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1152.28 | 1153.62 | | 1153.65 | 0.000726 | 0.69 | 17.73 | 22.14 | 0.24 |
| Reach 1 | 2139.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1152.23 | 1153.53 | | 1153.61 | 0.002931 | 1.21 | 10.03 | 14.73 | 0.47 |
| Reach 1 | 2119.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1152.14 | 1153.55 | | 1153.56 | 0.000225 | 0.45 | 27.41 | 28.83 | 0.14 |
| Reach 1 | 2099.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1152.13 | 1153.53 | | 1153.55 | 0.000416 | 0.61 | 20.40 | 22.32 | 0.19 |
| Reach 1 | 2079.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1152.11 | 1153.49 | | 1153.53 | 0.001187 | 0.90 | 13.56 | 15.80 | 0.31 |
| Reach 1 | 2059.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1152.06 | 1153.45 | | 1153.51 | 0.001177 | 1.00 | 12.23 | 11.18 | 0.30 |
| Reach 1 | 2039.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.99 | 1153.33 | | 1153.45 | 0.003833 | 1.50 | 8.10 | 9.58 | 0.52 |
| Reach 1 | 2019.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.92 | 1153.33 | | 1153.38 | 0.001409 | 0.98 | 12.45 | 14.04 | 0.33 |
| Reach 1 | 2000.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.90 | 1153.31 | | 1153.35 | 0.001163 | 0.87 | 14.03 | 16.63 | 0.30 |
| Reach 1 | 1980.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.85 | 1153.16 | | 1153.27 | 0.005470 | 1.50 | 8.12 | 13.25 | 0.61 |
| Reach 1 | 1960 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.81 | 1153.10 | | 1153.17 | 0.003642 | 1.20 | 10.16 | 18.42 | 0.51 |
| Reach 1 | 1939.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.78 | 1153.04 | | 1153.11 | 0.002300 | 1.20 | 10.16 | 12.59 | 0.43 |
| Reach 1 | 1920.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.75 | 1153.05 | | 1153.07 | 0.000367 | 0.52 | 23.32 | 26.60 | 0.18 |
| Reach 1 | 1899.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.65 | 1153.04 | | 1153.06 | 0.000430 | 0.61 | 19.83 | 19.57 | 0.19 |
| Reach 1 | 1879.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.62 | 1152.66 | 1152.66 | 1152.90 | 0.013073 | 2.18 | 5.58 | 11.59 | 1.00 |
| Reach 1 | 1859.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.59 | 1152.35 | | 1152.48 | 0.006273 | 1.64 | 7.44 | 12.65 | 0.68 |
| Reach 1 | 1839.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.47 | 1152.33 | | 1152.38 | 0.001700 | 0.94 | 12.88 | 19.10 | 0.37 |
| Reach 1 | 1820.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.42 | 1152.22 | | 1152.31 | 0.004552 | 1.31 | 9.29 | 17.61 | 0.58 |
| Reach 1 | 1799.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.39 | 1152.20 | | 1152.24 | 0.001131 | 0.80 | 15.27 | 21.38 | 0.30 |
| Reach 1 | 1780.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.33 | 1152.10 | | 1152.18 | 0.003581 | 1.28 | 9.47 | 15.29 | 0.52 |
| Reach 1 | 1760.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.32 | 1152.10 | | 1152.12 | 0.001092 | 0.70 | 17.47 | 29.84 | 0.29 |
| Reach 1 | 1739.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.20 | 1152.03 | | 1152.08 | 0.002955 | 0.92 | 13.17 | 30.67 | 0.45 |
| Reach 1 | 1719.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.16 | 1152.02 | | 1152.03 | 0.000533 | 0.54 | 22.66 | 33.57 | 0.21 |
| Reach 1 | 1699.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.17 | 1151.95 | | 1152.00 | 0.002080 | 1.02 | 11.95 | 17.60 | 0.39 |
| Reach 1 | 1680.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.08 | 1151.93 | | 1151.97 | 0.001202 | 0.83 | 14.66 | 20.34 | 0.31 |
| Reach 1 | 1660.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1150.98 | 1151.91 | | 1151.94 | 0.001091 | 0.72 | 16.95 | 27.27 | 0.29 |
| Reach 1 | 1640.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1151.07 | 1151.89 | | 1151.91 | 0.001492 | 0.76 | 16.02 | 29.44 | 0.33 |
| Reach 1 | 1619.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1150.89 | 1151.54 | 1151.54 | 1151.72 | 0.016518 | 1.86 | 6.53 | 18.92 | 1.01 |
| Reach 1 | 1600.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1150.54 | 1151.19 | | 1151.21 | 0.001247 | 0.65 | 19.40 | 54.45 | 0.30 |
| Reach 1 | 1579.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1150.51 | 1151.08 | | 1151.15 | 0.005225 | 1.12 | 10.84 | 29.33 | 0.59 |
| Reach 1 | 1559.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1150.48 | 1151.00 | | 1151.05 | 0.003712 | 1.06 | 11.43 | 25.90 | 0.51 |
| Reach 1 | 1540.000 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1150.36 | 1150.94 | | 1150.98 | 0.002956 | 0.93 | 13.72 | 36.63 | 0.46 |
| Reach 1 | 1519.999 | 02JAN2016 0000 | 12.17 | 1150.22 | 1150.90 | | 1150.93 | 0.001906 | 0.83 | 16.13 | 36.27 | 0.37 |

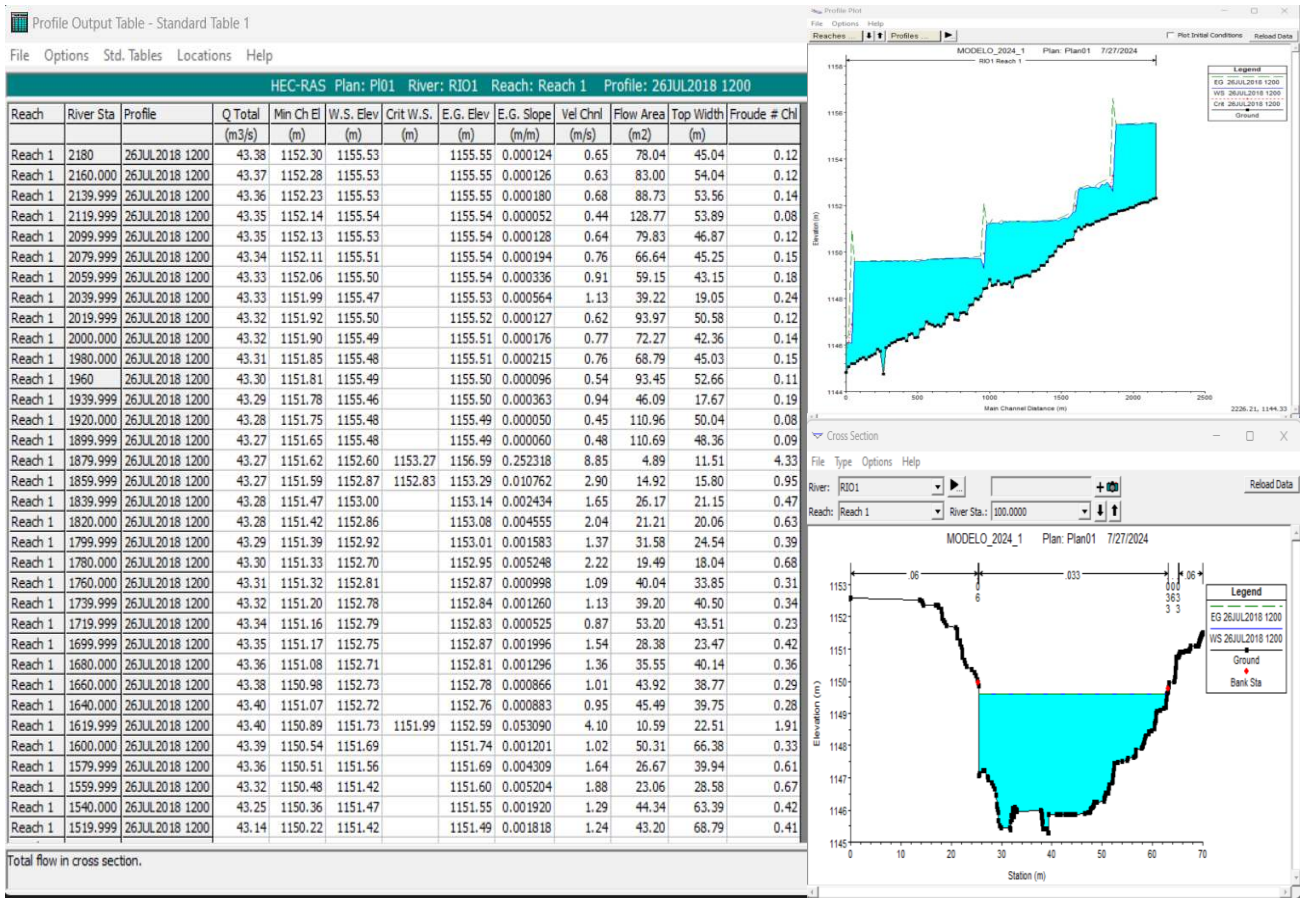
Total flow in cross section.



Se observa el perfil longitudinal del río con un caudal de 12,17 m³/s, el cual varía la altura de la lámina de agua entre 1 y 2,5 metros. Como ejemplo, en la sección 100 se muestra una altura de 1,4 metros desde la cota batea del río.

**Figura 30**

*Resultados del modelo Hec-Ras para caudal de 43,28 m3/s*



Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Pl01 River: RIO1 Reach: Reach 1 Profile: 26JUL2018 1200

| Reach | River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| Reach 1 | 2180 | 26JUL2018 1200 | 43.38 | 1152.30 | 1155.53 | | 1155.55 | 0.000124 | 0.65 | 78.04 | 45.04 | 0.12 |
| Reach 1 | 2160.000 | 26JUL2018 1200 | 43.37 | 1152.28 | 1155.53 | | 1155.55 | 0.000126 | 0.63 | 83.00 | 54.04 | 0.12 |
| Reach 1 | 2139.999 | 26JUL2018 1200 | 43.36 | 1152.23 | 1155.53 | | 1155.55 | 0.000180 | 0.68 | 88.73 | 53.56 | 0.14 |
| Reach 1 | 2119.999 | 26JUL2018 1200 | 43.35 | 1152.14 | 1155.54 | | 1155.54 | 0.000052 | 0.44 | 128.77 | 53.89 | 0.08 |
| Reach 1 | 2099.999 | 26JUL2018 1200 | 43.35 | 1152.13 | 1155.53 | | 1155.54 | 0.000128 | 0.64 | 79.83 | 46.87 | 0.12 |
| Reach 1 | 2079.999 | 26JUL2018 1200 | 43.34 | 1152.11 | 1155.51 | | 1155.54 | 0.000194 | 0.76 | 66.64 | 45.25 | 0.15 |
| Reach 1 | 2059.999 | 26JUL2018 1200 | 43.33 | 1152.06 | 1155.50 | | 1155.54 | 0.000336 | 0.91 | 59.15 | 43.15 | 0.18 |
| Reach 1 | 2039.999 | 26JUL2018 1200 | 43.33 | 1151.99 | 1155.47 | | 1155.53 | 0.000564 | 1.13 | 39.22 | 19.05 | 0.24 |
| Reach 1 | 2019.999 | 26JUL2018 1200 | 43.32 | 1151.92 | 1155.50 | | 1155.52 | 0.000127 | 0.62 | 93.97 | 50.58 | 0.12 |
| Reach 1 | 2000.000 | 26JUL2018 1200 | 43.32 | 1151.90 | 1155.49 | | 1155.51 | 0.000176 | 0.77 | 72.27 | 42.36 | 0.14 |
| Reach 1 | 1980.000 | 26JUL2018 1200 | 43.31 | 1151.85 | 1155.48 | | 1155.51 | 0.000215 | 0.76 | 68.79 | 45.03 | 0.15 |
| Reach 1 | 1960 | 26JUL2018 1200 | 43.30 | 1151.81 | 1155.49 | | 1155.50 | 0.000096 | 0.54 | 93.45 | 52.66 | 0.11 |
| Reach 1 | 1939.999 | 26JUL2018 1200 | 43.29 | 1151.78 | 1155.46 | | 1155.50 | 0.000363 | 0.94 | 46.09 | 17.67 | 0.19 |
| Reach 1 | 1920.000 | 26JUL2018 1200 | 43.28 | 1151.75 | 1155.48 | | 1155.49 | 0.000050 | 0.45 | 110.96 | 50.04 | 0.08 |
| Reach 1 | 1899.999 | 26JUL2018 1200 | 43.27 | 1151.65 | 1155.48 | | 1155.49 | 0.000060 | 0.48 | 110.69 | 48.36 | 0.09 |
| Reach 1 | 1879.999 | 26JUL2018 1200 | 43.27 | 1151.62 | 1152.60 | 1153.27 | 1156.59 | 0.252318 | 8.85 | 4.89 | 11.51 | 4.33 |
| Reach 1 | 1859.999 | 26JUL2018 1200 | 43.27 | 1151.59 | 1152.87 | 1152.83 | 1153.29 | 0.010762 | 2.90 | 14.92 | 15.80 | 0.95 |
| Reach 1 | 1839.999 | 26JUL2018 1200 | 43.28 | 1151.47 | 1153.00 | | 1153.14 | 0.002434 | 1.65 | 26.17 | 21.15 | 0.47 |
| Reach 1 | 1820.000 | 26JUL2018 1200 | 43.28 | 1151.42 | 1152.86 | | 1153.08 | 0.004555 | 2.04 | 21.21 | 20.06 | 0.63 |
| Reach 1 | 1799.999 | 26JUL2018 1200 | 43.29 | 1151.39 | 1152.92 | | 1153.01 | 0.001583 | 1.37 | 31.58 | 24.54 | 0.39 |
| Reach 1 | 1780.000 | 26JUL2018 1200 | 43.30 | 1151.33 | 1152.70 | | 1152.95 | 0.005248 | 2.22 | 19.49 | 18.04 | 0.68 |
| Reach 1 | 1760.000 | 26JUL2018 1200 | 43.31 | 1151.32 | 1152.81 | | 1152.87 | 0.000998 | 1.09 | 40.04 | 33.85 | 0.31 |
| Reach 1 | 1739.999 | 26JUL2018 1200 | 43.32 | 1151.20 | 1152.78 | | 1152.84 | 0.001260 | 1.13 | 39.20 | 40.50 | 0.34 |
| Reach 1 | 1719.999 | 26JUL2018 1200 | 43.34 | 1151.16 | 1152.79 | | 1152.83 | 0.000525 | 0.87 | 53.20 | 43.51 | 0.23 |
| Reach 1 | 1699.999 | 26JUL2018 1200 | 43.35 | 1151.17 | 1152.75 | | 1152.87 | 0.001996 | 1.54 | 28.38 | 23.47 | 0.42 |
| Reach 1 | 1680.000 | 26JUL2018 1200 | 43.36 | 1151.08 | 1152.71 | | 1152.81 | 0.001296 | 1.36 | 35.55 | 40.14 | 0.36 |
| Reach 1 | 1660.000 | 26JUL2018 1200 | 43.38 | 1150.98 | 1152.73 | | 1152.78 | 0.000866 | 1.01 | 43.92 | 38.77 | 0.29 |
| Reach 1 | 1640.000 | 26JUL2018 1200 | 43.40 | 1151.07 | 1152.72 | | 1152.76 | 0.000883 | 0.95 | 45.49 | 39.75 | 0.28 |
| Reach 1 | 1619.999 | 26JUL2018 1200 | 43.40 | 1150.89 | 1151.73 | 1151.99 | 1152.59 | 0.053090 | 4.10 | 10.59 | 22.51 | 1.91 |
| Reach 1 | 1600.000 | 26JUL2018 1200 | 43.39 | 1150.54 | 1151.69 | | 1151.74 | 0.001201 | 1.02 | 50.31 | 66.38 | 0.33 |
| Reach 1 | 1579.999 | 26JUL2018 1200 | 43.36 | 1150.51 | 1151.56 | | 1151.69 | 0.004309 | 1.64 | 26.67 | 39.94 | 0.61 |
| Reach 1 | 1559.999 | 26JUL2018 1200 | 43.32 | 1150.48 | 1151.42 | | 1151.60 | 0.005204 | 1.88 | 23.06 | 28.58 | 0.67 |
| Reach 1 | 1540.000 | 26JUL2018 1200 | 43.25 | 1150.36 | 1151.47 | | 1151.55 | 0.001920 | 1.29 | 44.34 | 63.39 | 0.42 |
| Reach 1 | 1519.999 | 26JUL2018 1200 | 43.14 | 1150.22 | 1151.42 | | 1151.49 | 0.001818 | 1.24 | 43.20 | 68.79 | 0.41 |

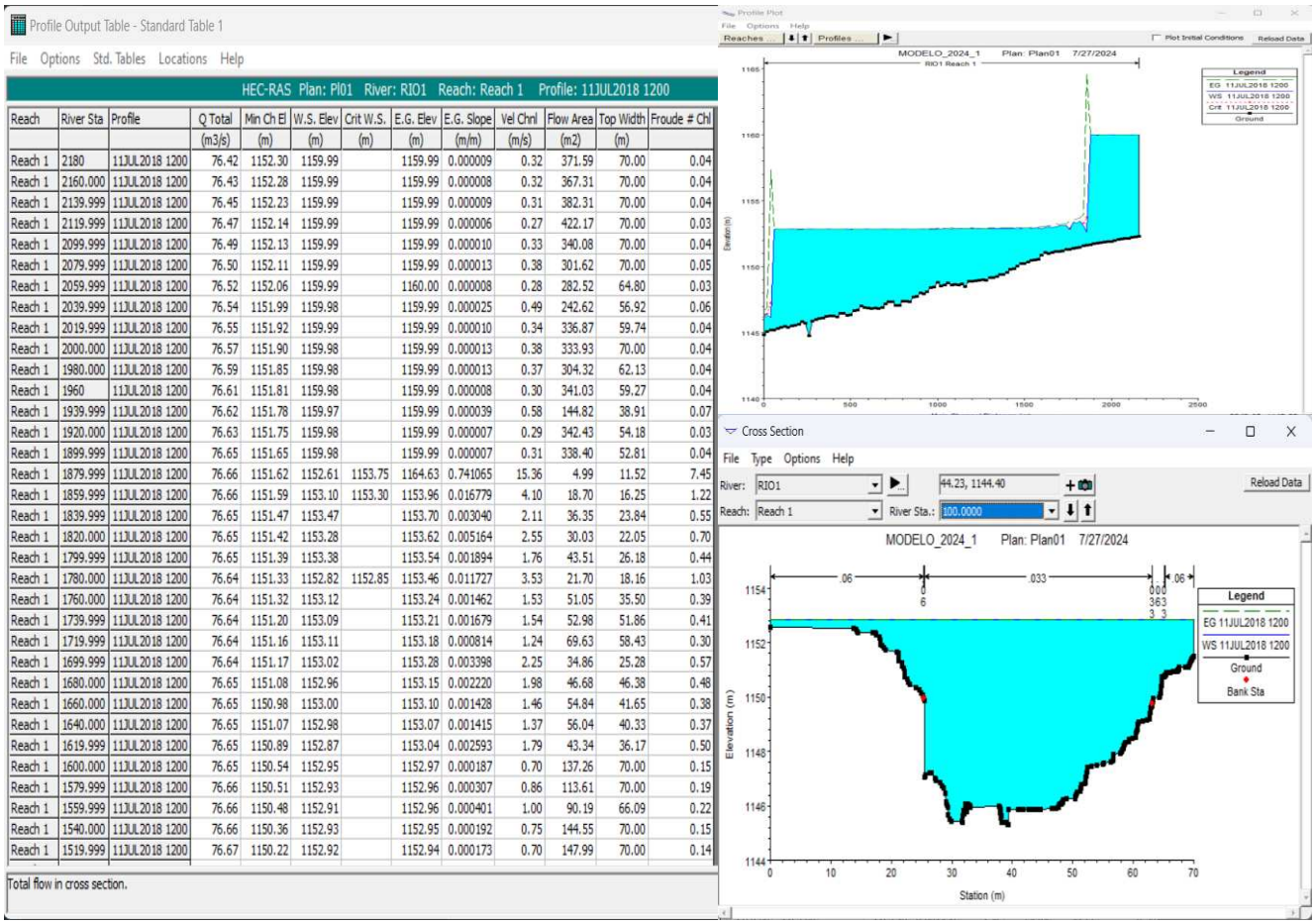
Total flow in cross section.



Se muestra el perfil longitudinal del río con un caudal de 43,28 m³/s, donde la altura de la lámina de agua varía entre 1 y 4,5 metros. Por ejemplo, en la sección 100, la altura es de 4,06 metros desde la cota batea del río.

**Figura 31**

*Resultados del modelo Hec-Ras para caudal de 76,50 m3/s*



Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Pl01 River: RIO1 Reach: Reach 1 Profile: 11JUL2018 1200

| Reach | River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| Reach 1 | 2180 | 11JUL2018 1200 | 76.42 | 1152.30 | 1159.99 | | 1159.99 | 0.000009 | 0.32 | 371.59 | 70.00 | 0.04 |
| Reach 1 | 2160.000 | 11JUL2018 1200 | 76.43 | 1152.28 | 1159.99 | | 1159.99 | 0.000008 | 0.32 | 367.31 | 70.00 | 0.04 |
| Reach 1 | 2139.999 | 11JUL2018 1200 | 76.45 | 1152.23 | 1159.99 | | 1159.99 | 0.000009 | 0.31 | 382.31 | 70.00 | 0.04 |
| Reach 1 | 2119.999 | 11JUL2018 1200 | 76.47 | 1152.14 | 1159.99 | | 1159.99 | 0.000006 | 0.27 | 422.17 | 70.00 | 0.03 |
| Reach 1 | 2099.999 | 11JUL2018 1200 | 76.49 | 1152.13 | 1159.99 | | 1159.99 | 0.000010 | 0.33 | 340.08 | 70.00 | 0.04 |
| Reach 1 | 2079.999 | 11JUL2018 1200 | 76.50 | 1152.11 | 1159.99 | | 1159.99 | 0.000013 | 0.38 | 301.62 | 70.00 | 0.05 |
| Reach 1 | 2059.999 | 11JUL2018 1200 | 76.52 | 1152.06 | 1159.99 | | 1160.00 | 0.000008 | 0.28 | 282.52 | 64.80 | 0.03 |
| Reach 1 | 2039.999 | 11JUL2018 1200 | 76.54 | 1151.99 | 1159.98 | | 1159.99 | 0.000025 | 0.49 | 242.62 | 56.92 | 0.06 |
| Reach 1 | 2019.999 | 11JUL2018 1200 | 76.55 | 1151.92 | 1159.99 | | 1159.99 | 0.000010 | 0.34 | 336.87 | 59.74 | 0.04 |
| Reach 1 | 2000.000 | 11JUL2018 1200 | 76.57 | 1151.90 | 1159.98 | | 1159.99 | 0.000013 | 0.38 | 333.93 | 70.00 | 0.04 |
| Reach 1 | 1980.000 | 11JUL2018 1200 | 76.59 | 1151.85 | 1159.98 | | 1159.99 | 0.000013 | 0.37 | 304.32 | 62.13 | 0.04 |
| Reach 1 | 1960 | 11JUL2018 1200 | 76.61 | 1151.81 | 1159.98 | | 1159.99 | 0.000008 | 0.30 | 341.03 | 59.27 | 0.04 |
| Reach 1 | 1939.999 | 11JUL2018 1200 | 76.62 | 1151.78 | 1159.97 | | 1159.99 | 0.000039 | 0.58 | 144.82 | 38.91 | 0.07 |
| Reach 1 | 1920.000 | 11JUL2018 1200 | 76.63 | 1151.75 | 1159.98 | | 1159.99 | 0.000007 | 0.29 | 342.43 | 54.18 | 0.03 |
| Reach 1 | 1899.999 | 11JUL2018 1200 | 76.65 | 1151.65 | 1159.98 | | 1159.99 | 0.000007 | 0.31 | 338.40 | 52.81 | 0.04 |
| Reach 1 | 1879.999 | 11JUL2018 1200 | 76.66 | 1151.62 | 1152.61 | 1153.75 | 1164.63 | 0.741065 | 15.36 | 4.99 | 11.52 | 7.45 |
| Reach 1 | 1859.999 | 11JUL2018 1200 | 76.66 | 1151.59 | 1153.10 | 1153.30 | 1153.96 | 0.016779 | 4.10 | 18.70 | 16.25 | 1.22 |
| Reach 1 | 1839.999 | 11JUL2018 1200 | 76.65 | 1151.47 | 1153.47 | | 1153.70 | 0.003040 | 2.11 | 36.35 | 23.84 | 0.55 |
| Reach 1 | 1820.000 | 11JUL2018 1200 | 76.65 | 1151.42 | 1153.28 | | 1153.62 | 0.005164 | 2.55 | 30.03 | 22.05 | 0.70 |
| Reach 1 | 1799.999 | 11JUL2018 1200 | 76.65 | 1151.39 | 1153.38 | | 1153.54 | 0.001894 | 1.76 | 43.51 | 26.18 | 0.44 |
| Reach 1 | 1780.000 | 11JUL2018 1200 | 76.64 | 1151.33 | 1152.82 | 1152.85 | 1153.46 | 0.011727 | 3.53 | 21.70 | 18.16 | 1.03 |
| Reach 1 | 1760.000 | 11JUL2018 1200 | 76.64 | 1151.32 | 1153.12 | | 1153.24 | 0.001462 | 1.53 | 51.05 | 35.50 | 0.39 |
| Reach 1 | 1739.999 | 11JUL2018 1200 | 76.64 | 1151.20 | 1153.09 | | 1153.21 | 0.001679 | 1.54 | 52.98 | 51.86 | 0.41 |
| Reach 1 | 1719.999 | 11JUL2018 1200 | 76.64 | 1151.16 | 1153.11 | | 1153.18 | 0.000814 | 1.24 | 69.63 | 58.43 | 0.30 |
| Reach 1 | 1699.999 | 11JUL2018 1200 | 76.64 | 1151.17 | 1153.02 | | 1153.28 | 0.003398 | 2.25 | 34.86 | 25.28 | 0.57 |
| Reach 1 | 1680.000 | 11JUL2018 1200 | 76.65 | 1151.08 | 1152.96 | | 1153.15 | 0.002220 | 1.98 | 46.68 | 46.38 | 0.48 |
| Reach 1 | 1660.000 | 11JUL2018 1200 | 76.65 | 1150.98 | 1153.00 | | 1153.10 | 0.001428 | 1.46 | 54.84 | 41.65 | 0.38 |
| Reach 1 | 1640.000 | 11JUL2018 1200 | 76.65 | 1151.07 | 1152.98 | | 1153.07 | 0.001415 | 1.37 | 56.04 | 40.33 | 0.37 |
| Reach 1 | 1619.999 | 11JUL2018 1200 | 76.65 | 1150.89 | 1152.87 | | 1153.04 | 0.002593 | 1.79 | 43.34 | 36.17 | 0.50 |
| Reach 1 | 1600.000 | 11JUL2018 1200 | 76.65 | 1150.54 | 1152.95 | | 1152.97 | 0.000187 | 0.70 | 137.26 | 70.00 | 0.15 |
| Reach 1 | 1579.999 | 11JUL2018 1200 | 76.66 | 1150.51 | 1152.93 | | 1152.96 | 0.000307 | 0.86 | 113.61 | 70.00 | 0.19 |
| Reach 1 | 1559.999 | 11JUL2018 1200 | 76.66 | 1150.48 | 1152.91 | | 1152.96 | 0.000401 | 1.00 | 90.19 | 66.09 | 0.22 |
| Reach 1 | 1540.000 | 11JUL2018 1200 | 76.66 | 1150.36 | 1152.93 | | 1152.95 | 0.000192 | 0.75 | 144.55 | 70.00 | 0.15 |
| Reach 1 | 1519.999 | 11JUL2018 1200 | 76.67 | 1150.22 | 1152.92 | | 1152.94 | 0.000173 | 0.70 | 147.99 | 70.00 | 0.14 |

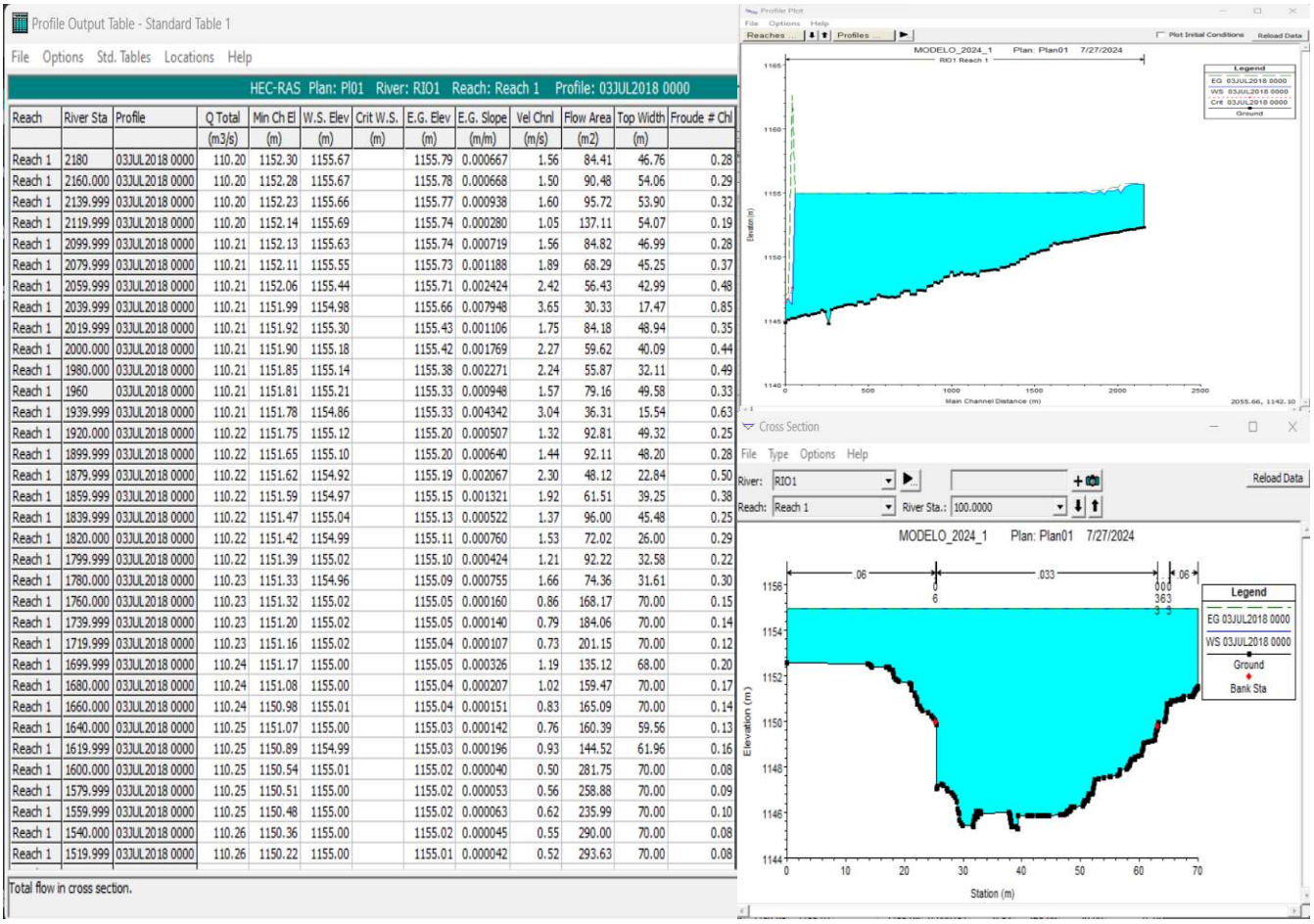
Total flow in cross section.



Se presenta el perfil longitudinal del río con un caudal de 76,50 m³/s, en el cual la altura de la lámina de agua fluctúa entre 1 y 8 metros. Por ejemplo, en la sección 100, la altura desde la cota batea del río es de 7,92 metros.

**Figura 32**

*Resultados del modelo Hec-Ras para caudal de 110,22 m3/s*



Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Pl01 River: RIO1 Reach: Reach 1 Profile: 03JUL2018 0000

| Reach | River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| Reach 1 | 2180 | 03JUL2018 0000 | 110.20 | 1152.30 | 1155.67 | | 1155.79 | 0.000667 | 1.56 | 84.41 | 46.76 | 0.28 |
| Reach 1 | 2160.000 | 03JUL2018 0000 | 110.20 | 1152.28 | 1155.67 | | 1155.78 | 0.000668 | 1.50 | 90.48 | 54.06 | 0.29 |
| Reach 1 | 2139.999 | 03JUL2018 0000 | 110.20 | 1152.23 | 1155.66 | | 1155.77 | 0.000938 | 1.60 | 95.72 | 53.90 | 0.32 |
| Reach 1 | 2119.999 | 03JUL2018 0000 | 110.20 | 1152.14 | 1155.69 | | 1155.74 | 0.000280 | 1.05 | 137.11 | 54.07 | 0.19 |
| Reach 1 | 2099.999 | 03JUL2018 0000 | 110.21 | 1152.13 | 1155.63 | | 1155.74 | 0.000719 | 1.56 | 84.82 | 46.99 | 0.28 |
| Reach 1 | 2079.999 | 03JUL2018 0000 | 110.21 | 1152.11 | 1155.55 | | 1155.73 | 0.001188 | 1.89 | 68.29 | 45.25 | 0.37 |
| Reach 1 | 2059.999 | 03JUL2018 0000 | 110.21 | 1152.06 | 1155.44 | | 1155.71 | 0.002424 | 2.42 | 56.43 | 42.99 | 0.48 |
| Reach 1 | 2039.999 | 03JUL2018 0000 | 110.21 | 1151.99 | 1154.98 | | 1155.66 | 0.007948 | 3.65 | 30.33 | 17.47 | 0.85 |
| Reach 1 | 2019.999 | 03JUL2018 0000 | 110.21 | 1151.92 | 1155.30 | | 1155.43 | 0.001106 | 1.75 | 84.18 | 48.94 | 0.35 |
| Reach 1 | 2000.000 | 03JUL2018 0000 | 110.21 | 1151.90 | 1155.18 | | 1155.42 | 0.001769 | 2.27 | 59.62 | 40.09 | 0.44 |
| Reach 1 | 1980.000 | 03JUL2018 0000 | 110.21 | 1151.85 | 1155.14 | | 1155.38 | 0.002271 | 2.24 | 55.87 | 32.11 | 0.49 |
| Reach 1 | 1960 | 03JUL2018 0000 | 110.21 | 1151.81 | 1155.21 | | 1155.33 | 0.000948 | 1.57 | 79.16 | 49.58 | 0.33 |
| Reach 1 | 1939.999 | 03JUL2018 0000 | 110.21 | 1151.78 | 1154.86 | | 1155.33 | 0.004342 | 3.04 | 36.31 | 15.54 | 0.63 |
| Reach 1 | 1920.000 | 03JUL2018 0000 | 110.22 | 1151.75 | 1155.12 | | 1155.20 | 0.000507 | 1.32 | 92.81 | 49.32 | 0.25 |
| Reach 1 | 1899.999 | 03JUL2018 0000 | 110.22 | 1151.65 | 1155.10 | | 1155.20 | 0.000640 | 1.44 | 92.11 | 48.20 | 0.28 |
| Reach 1 | 1879.999 | 03JUL2018 0000 | 110.22 | 1151.62 | 1154.92 | | 1155.19 | 0.002067 | 2.30 | 48.12 | 22.84 | 0.50 |
| Reach 1 | 1859.999 | 03JUL2018 0000 | 110.22 | 1151.59 | 1154.97 | | 1155.15 | 0.001321 | 1.92 | 61.51 | 39.25 | 0.38 |
| Reach 1 | 1839.999 | 03JUL2018 0000 | 110.22 | 1151.47 | 1155.04 | | 1155.13 | 0.000522 | 1.37 | 96.00 | 45.48 | 0.25 |
| Reach 1 | 1820.000 | 03JUL2018 0000 | 110.22 | 1151.42 | 1154.99 | | 1155.11 | 0.000760 | 1.53 | 72.02 | 26.00 | 0.29 |
| Reach 1 | 1799.999 | 03JUL2018 0000 | 110.22 | 1151.39 | 1155.02 | | 1155.10 | 0.000424 | 1.21 | 92.22 | 32.58 | 0.22 |
| Reach 1 | 1780.000 | 03JUL2018 0000 | 110.23 | 1151.33 | 1154.96 | | 1155.09 | 0.000755 | 1.66 | 74.36 | 31.61 | 0.30 |
| Reach 1 | 1760.000 | 03JUL2018 0000 | 110.23 | 1151.32 | 1155.02 | | 1155.05 | 0.000160 | 0.86 | 168.17 | 70.00 | 0.15 |
| Reach 1 | 1739.999 | 03JUL2018 0000 | 110.23 | 1151.20 | 1155.02 | | 1155.05 | 0.000140 | 0.79 | 184.06 | 70.00 | 0.14 |
| Reach 1 | 1719.999 | 03JUL2018 0000 | 110.23 | 1151.16 | 1155.02 | | 1155.04 | 0.000107 | 0.73 | 201.15 | 70.00 | 0.12 |
| Reach 1 | 1699.999 | 03JUL2018 0000 | 110.24 | 1151.17 | 1155.00 | | 1155.05 | 0.000326 | 1.19 | 135.12 | 68.00 | 0.20 |
| Reach 1 | 1680.000 | 03JUL2018 0000 | 110.24 | 1151.08 | 1155.00 | | 1155.04 | 0.000207 | 1.02 | 159.47 | 70.00 | 0.17 |
| Reach 1 | 1660.000 | 03JUL2018 0000 | 110.24 | 1150.98 | 1155.01 | | 1155.04 | 0.000151 | 0.83 | 165.09 | 70.00 | 0.14 |
| Reach 1 | 1640.000 | 03JUL2018 0000 | 110.25 | 1151.07 | 1155.00 | | 1155.03 | 0.000142 | 0.76 | 160.39 | 59.56 | 0.13 |
| Reach 1 | 1619.999 | 03JUL2018 0000 | 110.25 | 1150.89 | 1154.99 | | 1155.03 | 0.000196 | 0.93 | 144.52 | 61.96 | 0.16 |
| Reach 1 | 1600.000 | 03JUL2018 0000 | 110.25 | 1150.54 | 1155.01 | | 1155.02 | 0.000040 | 0.50 | 281.75 | 70.00 | 0.08 |
| Reach 1 | 1579.999 | 03JUL2018 0000 | 110.25 | 1150.51 | 1155.00 | | 1155.02 | 0.000053 | 0.56 | 258.88 | 70.00 | 0.09 |
| Reach 1 | 1559.999 | 03JUL2018 0000 | 110.25 | 1150.48 | 1155.00 | | 1155.02 | 0.000063 | 0.62 | 235.99 | 70.00 | 0.10 |
| Reach 1 | 1540.000 | 03JUL2018 0000 | 110.26 | 1150.36 | 1155.00 | | 1155.02 | 0.000045 | 0.55 | 290.00 | 70.00 | 0.08 |
| Reach 1 | 1519.999 | 03JUL2018 0000 | 110.26 | 1150.22 | 1155.00 | | 1155.01 | 0.000042 | 0.52 | 293.63 | 70.00 | 0.08 |

Total flow in cross section.

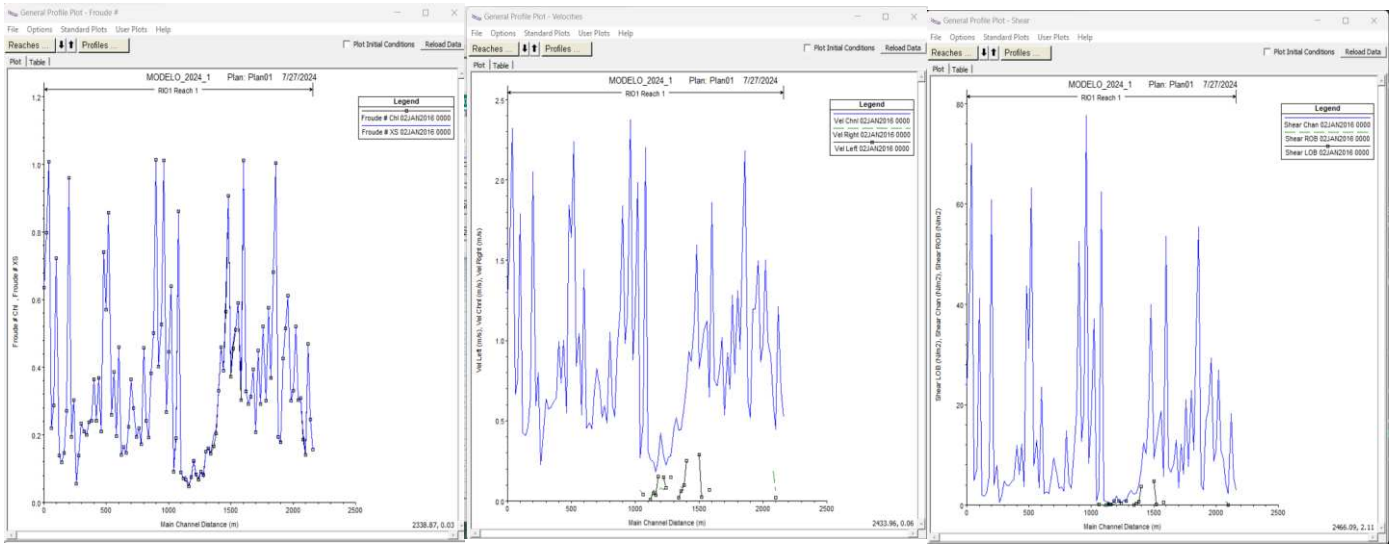


Se observa el perfil longitudinal del río con un caudal de 110,22 m³/s, el cual varía la altura de la lámina de agua entre 1,5 y 10 metros. Como ejemplo, en la sección 100 se muestra una altura de 9,8 metros desde la cota batea del río.

Para los caudales mencionados anteriormente se muestran los parámetros de numero de Froude, velocidad y cortante, para esto ver las figuras 33, 34, 35 y 36.

**Figura 33**

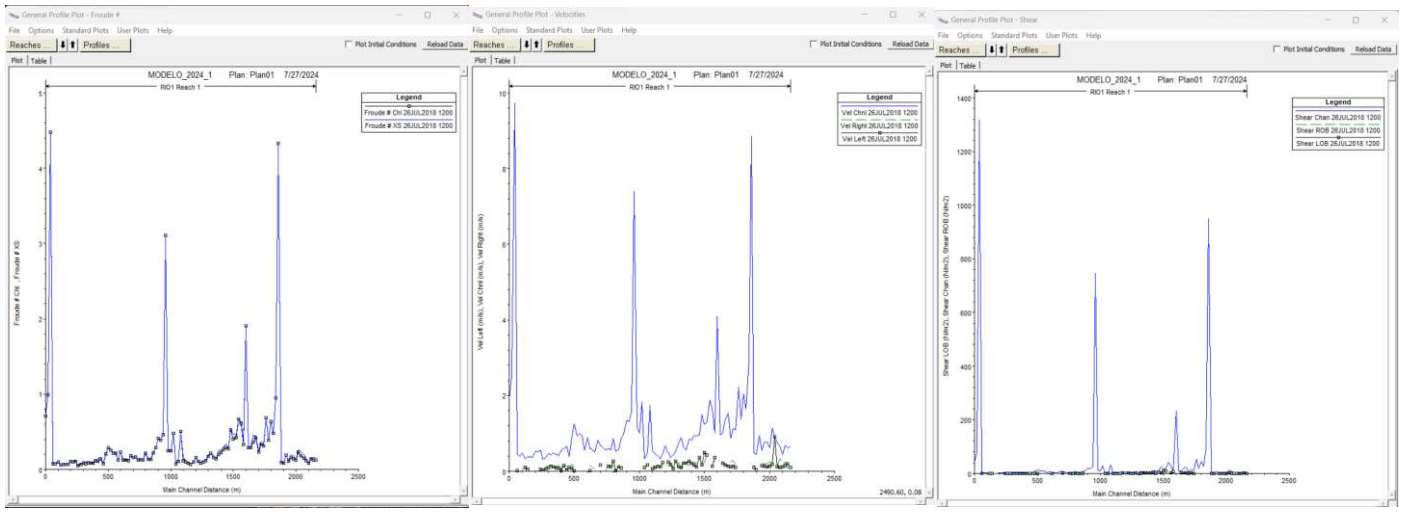
*Resultados Hec-Ras: Numero de Froude-Velocidad-Cortante para caudal de 12,17 m3/s*




Según la imagen el río tiene una velocidad de flujo menor a 1 m/s, un número de Froude inferior a 1 y un esfuerzo cortante menor a 80 Pa, estos datos indican que el flujo del río es subcrítico, caracterizado por una velocidad baja; La fricción con el lecho del río es relativamente baja, lo que sugiere condiciones estables y tranquilas.

**Figura 34**

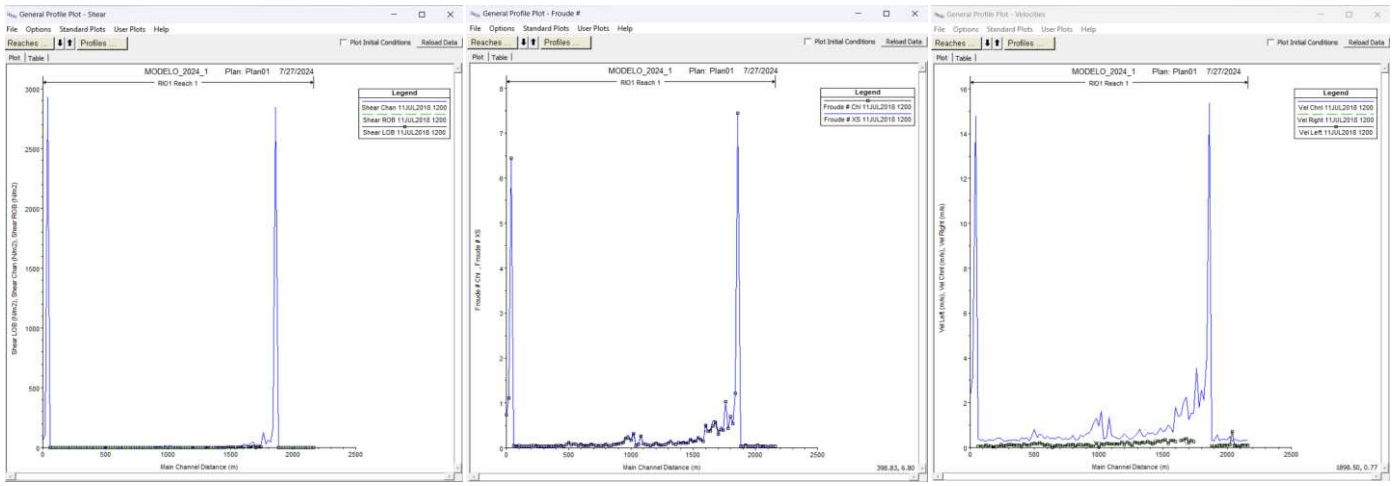
*Resultados Hec-Ras: Numero de Froude-Velocidad-Cortante para caudal de 43,28 m3/s*



La variabilidad en el gráfico del modelo hidrodinámico del río muestra diferencias en la pendiente y el caudal, con la mayoría del río presentando un número de Froude de 1 y velocidades menores a 4 m/s, indicando un flujo subcrítico y estable, el esfuerzo cortante varía entre 0 y 200 Pa, alcanzando hasta 1300 Pa en áreas de flujo rápido y turbulento.

**Figura 35**

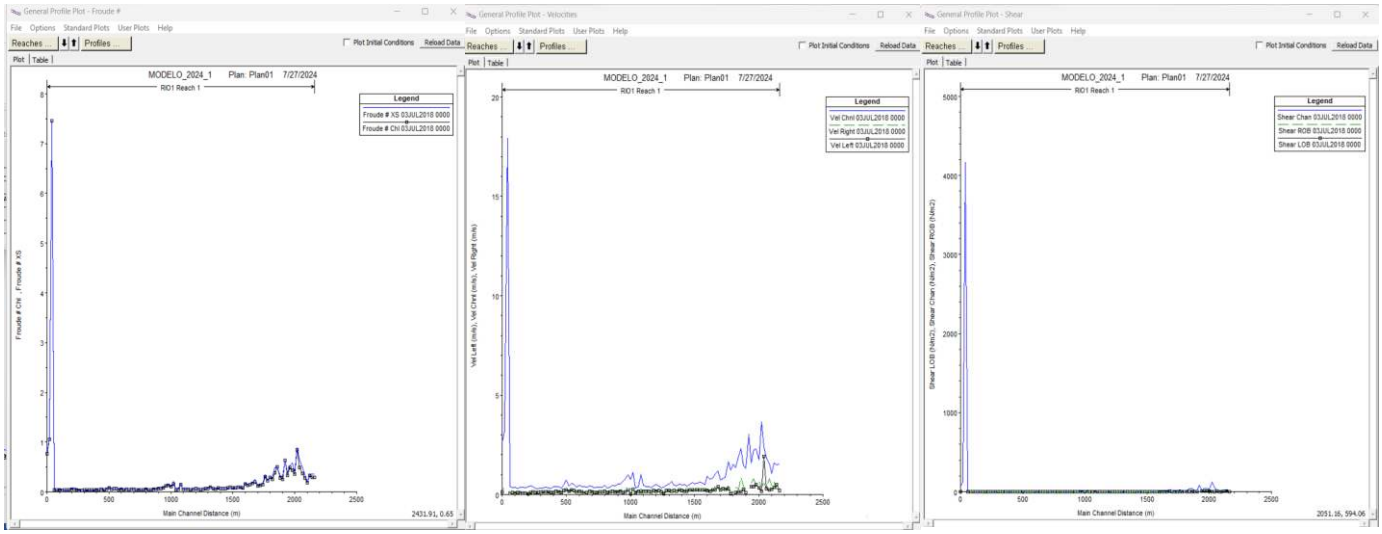
*Resultados Hec-Ras: Numero de Froude-Velocidad-Cortante para caudal de 76,50 m3/s*



En el gráfico del modelo hidrodinámico, el río muestra un número de Froude inferior a 1 en la mayoría de las secciones, lo que indica un flujo subcrítico caracterizado por una velocidad del flujo menor a 4 m/s, el esfuerzo cortante en el lecho del río se encuentra entre 0 y 100 Pa, lo que refleja un nivel bajo de fricción en el lecho; el flujo es mayormente estable y no presenta condiciones turbulentas significativas.

**Figura 36**

*Resultados Hec-Ras: Numero de Froude-Velocidad-Cortante para caudal de 110,22 m3/s*



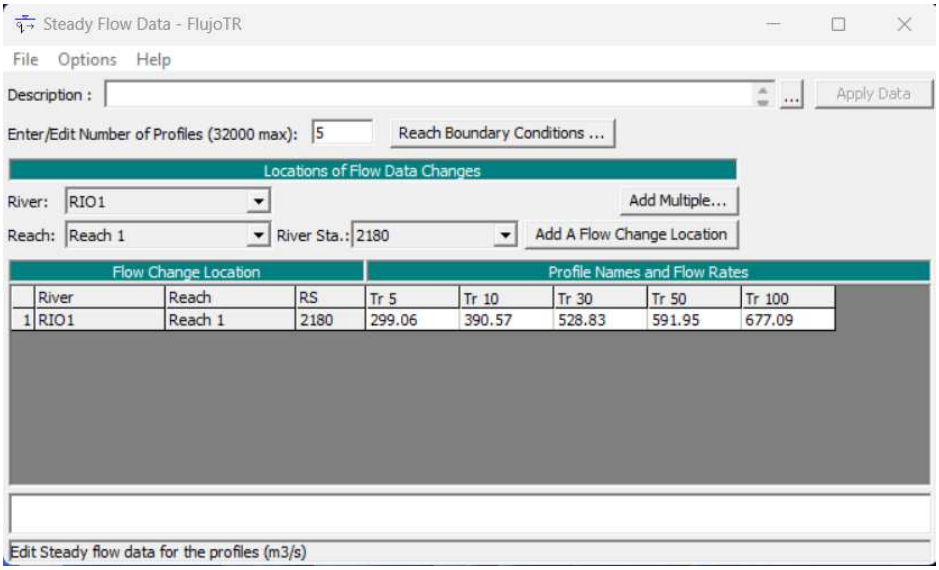

Los valores indican que el río tiene un flujo tranquilo y estable, con un número de Froude menor a 1 que muestra un flujo subcrítico, velocidades menores a 4 m/s que sugieren movimiento suave, y esfuerzos cortantes entre 0 y 100 Pa que reflejan fuerzas moderadas en el lecho del río, estos parámetros indican un entorno de flujo suave sin turbulencias intensas.

Estas variaciones de los parámetros del rio se deben a la geometría de este, las fluctuaciones en el caudal y la rugosidad del lecho influyen en la velocidad, profundidad y fricción del flujo en diferentes partes del río.

**4.8.1.1Cota de inundación para los diferentes períodos de retorno.** Con los caudales simulados de la tabla 4 se modela en 1D los periodos de retorno de 5, 10, 30, 50 y 100 años respectivamente, ver figura 37.

**Figura 37**

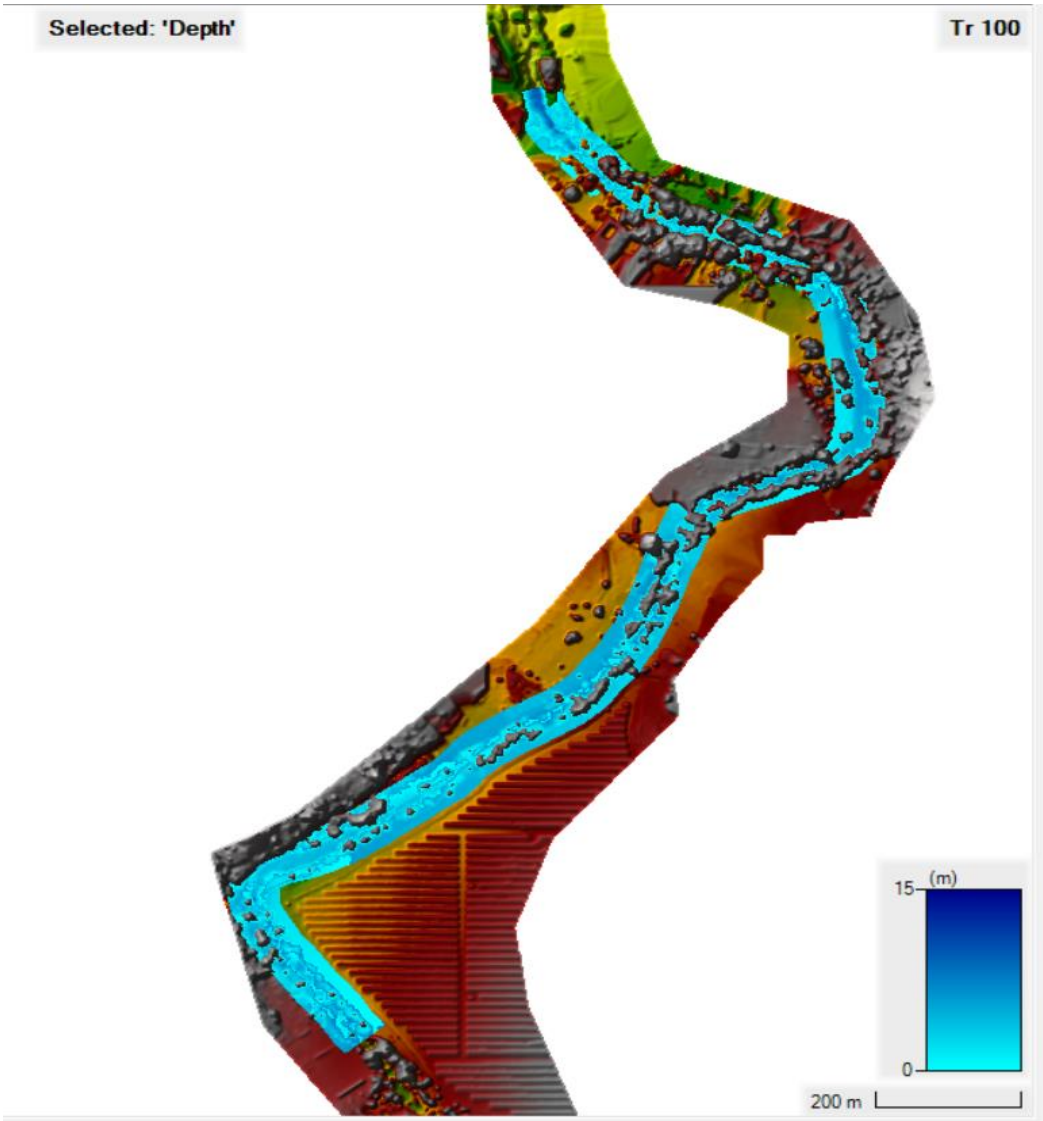
*Datos de flujo constante*




Para evaluar el comportamiento hidráulico del rio bajo diversas condiciones de flujo, incluyendo eventos extremos, este enfoque integral ayuda a anticipar y mitigar riesgos asociados con variaciones en el caudal, a continuación, en la figura 38 se muestra el área de inundación del tramo del río en estudio para un periodo de retorno de 100 años, ya que representa un evento extremo.

**Figura 38**

*Resultados Hec-Ras de áreas de inundación en 1D*

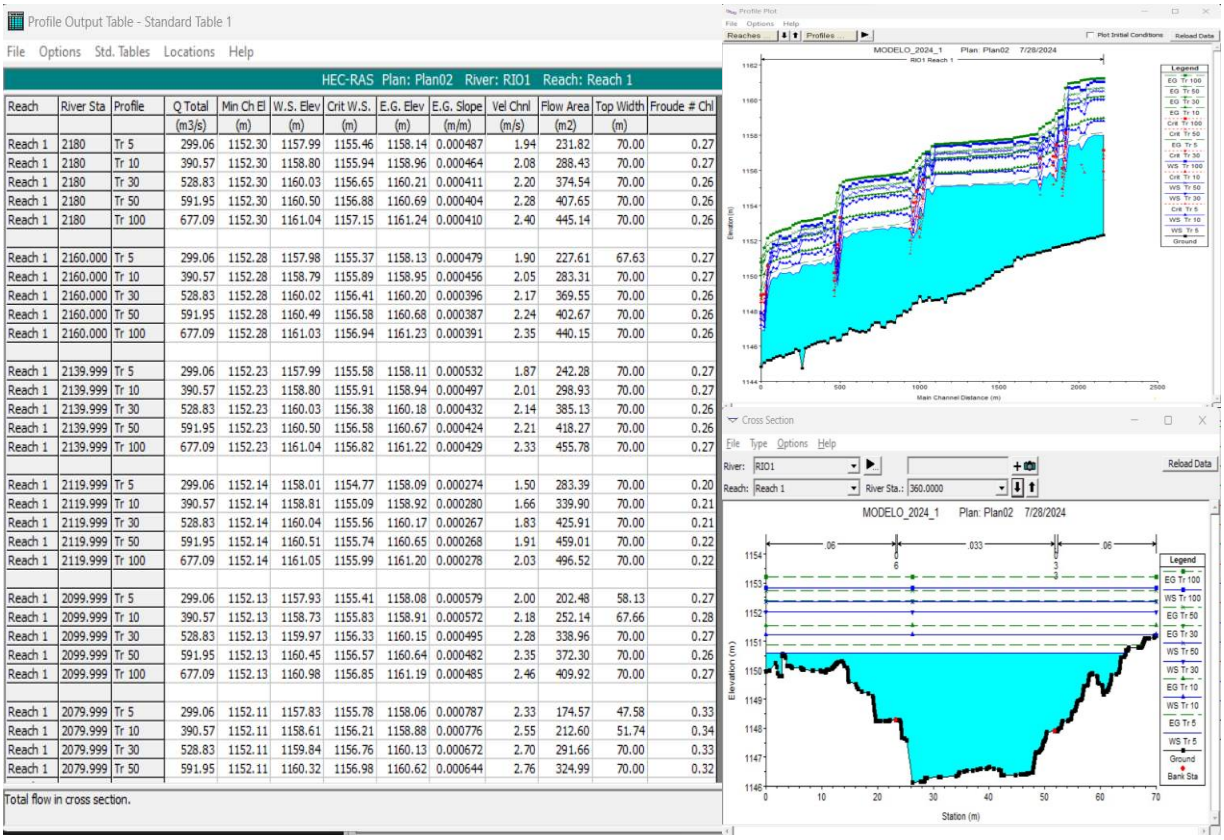



El modelo hidrodinámico en una dimensión ha proporcionado información detallada sobre la altura de la lámina de agua que es menor a 8,5 metros para los diferentes caudales simulados.

A continuación, en la figura 39, se presenta el perfil longitudinal del río simulado para diferentes caudales. Además, se incluye la sección transversal 360 como ejemplo de las alturas que alcanzaría el caudal para diversos períodos de retorno.

**Figura 39**

*Resultados Hec-Ras para diferentes periodos de retorno*



Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Plan02 River: RIO1 Reach: Reach 1

| Reach | River Sta | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (m3/s) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m2) | (m) | |
| Reach 1 | 2180 | Tr 5 | 299.06 | 1152.30 | 1157.99 | 1155.46 | 1158.14 | 0.000487 | 1.94 | 231.82 | 70.00 | 0.27 |
| Reach 1 | 2180 | Tr 10 | 390.57 | 1152.30 | 1158.80 | 1155.94 | 1158.96 | 0.000464 | 2.08 | 288.43 | 70.00 | 0.27 |
| Reach 1 | 2180 | Tr 30 | 528.83 | 1152.30 | 1160.03 | 1156.65 | 1160.21 | 0.000411 | 2.20 | 374.54 | 70.00 | 0.26 |
| Reach 1 | 2180 | Tr 50 | 591.95 | 1152.30 | 1160.50 | 1156.88 | 1160.69 | 0.000404 | 2.28 | 407.65 | 70.00 | 0.26 |
| Reach 1 | 2180 | Tr 100 | 677.09 | 1152.30 | 1161.04 | 1157.15 | 1161.24 | 0.000410 | 2.40 | 445.14 | 70.00 | 0.26 |
| Reach 1 | 2160.000 | Tr 5 | 299.06 | 1152.28 | 1157.98 | 1155.37 | 1158.13 | 0.000479 | 1.90 | 227.61 | 67.63 | 0.27 |
| Reach 1 | 2160.000 | Tr 10 | 390.57 | 1152.28 | 1158.79 | 1155.89 | 1158.95 | 0.000456 | 2.05 | 283.31 | 70.00 | 0.27 |
| Reach 1 | 2160.000 | Tr 30 | 528.83 | 1152.28 | 1160.02 | 1156.41 | 1160.20 | 0.000396 | 2.17 | 369.55 | 70.00 | 0.26 |
| Reach 1 | 2160.000 | Tr 50 | 591.95 | 1152.28 | 1160.49 | 1156.58 | 1160.68 | 0.000387 | 2.24 | 402.67 | 70.00 | 0.26 |
| Reach 1 | 2160.000 | Tr 100 | 677.09 | 1152.28 | 1161.03 | 1156.94 | 1161.23 | 0.000391 | 2.35 | 440.15 | 70.00 | 0.26 |
| Reach 1 | 2139.999 | Tr 5 | 299.06 | 1152.23 | 1157.99 | 1155.58 | 1158.11 | 0.000532 | 1.87 | 242.28 | 70.00 | 0.27 |
| Reach 1 | 2139.999 | Tr 10 | 390.57 | 1152.23 | 1158.80 | 1155.91 | 1158.94 | 0.000497 | 2.01 | 298.93 | 70.00 | 0.27 |
| Reach 1 | 2139.999 | Tr 30 | 528.83 | 1152.23 | 1160.03 | 1156.38 | 1160.18 | 0.000432 | 2.14 | 385.13 | 70.00 | 0.26 |
| Reach 1 | 2139.999 | Tr 50 | 591.95 | 1152.23 | 1160.50 | 1156.58 | 1160.67 | 0.000424 | 2.21 | 418.27 | 70.00 | 0.26 |
| Reach 1 | 2139.999 | Tr 100 | 677.09 | 1152.23 | 1161.04 | 1156.82 | 1161.22 | 0.000429 | 2.33 | 455.78 | 70.00 | 0.27 |
| Reach 1 | 2119.999 | Tr 5 | 299.06 | 1152.14 | 1158.01 | 1154.77 | 1158.09 | 0.000274 | 1.50 | 283.39 | 70.00 | 0.20 |
| Reach 1 | 2119.999 | Tr 10 | 390.57 | 1152.14 | 1158.81 | 1155.09 | 1158.92 | 0.000280 | 1.66 | 339.90 | 70.00 | 0.21 |
| Reach 1 | 2119.999 | Tr 30 | 528.83 | 1152.14 | 1160.04 | 1155.56 | 1160.17 | 0.000267 | 1.83 | 425.91 | 70.00 | 0.21 |
| Reach 1 | 2119.999 | Tr 50 | 591.95 | 1152.14 | 1160.51 | 1155.74 | 1160.65 | 0.000268 | 1.91 | 459.01 | 70.00 | 0.22 |
| Reach 1 | 2119.999 | Tr 100 | 677.09 | 1152.14 | 1161.05 | 1155.99 | 1161.20 | 0.000278 | 2.03 | 496.52 | 70.00 | 0.22 |
| Reach 1 | 2099.999 | Tr 5 | 299.06 | 1152.13 | 1157.93 | 1155.41 | 1158.08 | 0.000579 | 2.00 | 202.48 | 58.13 | 0.27 |
| Reach 1 | 2099.999 | Tr 10 | 390.57 | 1152.13 | 1158.73 | 1155.83 | 1158.91 | 0.000572 | 2.18 | 252.14 | 67.66 | 0.28 |
| Reach 1 | 2099.999 | Tr 30 | 528.83 | 1152.13 | 1159.97 | 1156.33 | 1160.15 | 0.000495 | 2.28 | 338.96 | 70.00 | 0.27 |
| Reach 1 | 2099.999 | Tr 50 | 591.95 | 1152.13 | 1160.45 | 1156.57 | 1160.64 | 0.000482 | 2.35 | 372.30 | 70.00 | 0.26 |
| Reach 1 | 2099.999 | Tr 100 | 677.09 | 1152.13 | 1160.98 | 1156.85 | 1161.19 | 0.000485 | 2.46 | 409.92 | 70.00 | 0.27 |
| Reach 1 | 2079.999 | Tr 5 | 299.06 | 1152.11 | 1157.83 | 1155.78 | 1158.06 | 0.000787 | 2.33 | 174.57 | 47.58 | 0.33 |
| Reach 1 | 2079.999 | Tr 10 | 390.57 | 1152.11 | 1158.61 | 1156.21 | 1158.88 | 0.000776 | 2.55 | 212.60 | 51.74 | 0.34 |
| Reach 1 | 2079.999 | Tr 30 | 528.83 | 1152.11 | 1159.84 | 1156.76 | 1160.13 | 0.000672 | 2.70 | 291.66 | 70.00 | 0.33 |
| Reach 1 | 2079.999 | Tr 50 | 591.95 | 1152.11 | 1160.32 | 1156.98 | 1160.62 | 0.000644 | 2.76 | 324.99 | 70.00 | 0.32 |

Total flow in cross section.

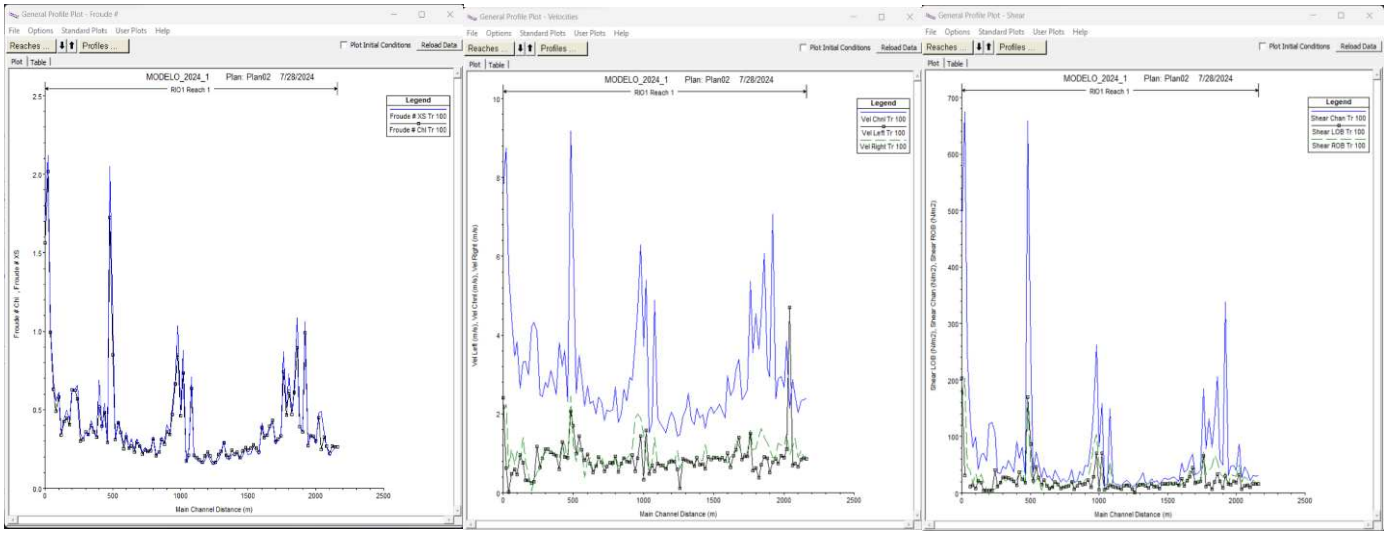


En el perfil de flujo de la zona de estudio, se identifican áreas donde se alcanzan las mayores alturas de lámina de agua, formando planicies de inundación, además, el gráfico muestra que el flujo es de tipo permanente, ya que la velocidad y la profundidad varían a lo largo del canal natural debido a cambios en la sección y la pendiente.

A continuación, en la figura 40 se muestra el número de Froude, el esfuerzo cortante y la velocidad del flujo para el periodo de retorno mencionados anteriormente.

**Figura 40**

*Resultados Hec-Ras diferentes periodos de retorno*




Se revela la transición entre flujos subcríticos y supercríticos en función de los caudales considerados. La tensión cortante y la velocidad del flujo también se han evaluado para cada periodo de retorno, ofreciendo una visión completa de las dinámicas del flujo bajo diferentes condiciones de caudal.

Con el propósito de mostrar detalladamente los resultados obtenidos para los diferentes periodos de retorno, se optó por realizar una tabla resumen para cada evento simulado de 5, 10, 30, 50 y 100 años, ver tablas 8, 9, 10, 11 y 12.

**Tabla 8**

*Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 5 años*

| Periodo de retorno TR 5 y Q = 299,06 m3/s | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sección transversal | Intervalo | | | |
| | Tirante (m) | Velocidad (m/s) | Ancho superficial (m) | Número de Froude |
| 20 - 40 - 60 - 500 - 980 - 1780 - 1880 | (1.5 - 4) | (4.5 - 7.5) | (23 - 44.5) | (0.85 - 2.18) |
| 80 - 100 - 120 - 140 - 160 - 180 - 200 - 220 - 240 - 260 - 300 -320 - 340 - 360 - 380 - 400 - 420 - 440 - 460 - 480 - 520 - 880 - 920 - 940 - 960 - 1000 - 1040 - 1500 - 1520 - 1540 -1560 - 1580 - 1600 - 1620 - 1640 - 1660 - 1680 - 1700 - 1720 - 1740 - 1760 - 1800 - 1820 - 1840 - 1860 - 1900 - 1920 - 1940 | (4 - 5) | (1.5 - 5.5) | (30 - 70) | (0.19 - 0.99) |
| 280 - 540 - 560 - 580 - 600 - 620 - 640 - 660 - 680 - 700 - 720 - 740 - 760 - 780 - 800 - 820 - 840 - 860 - 900 - 1020 - 1320 - 1340 - 1360 - 1380 - 1400 - 1420 - 1440 - 1460 -1480 - 1960 - 1980 - 2000 - 2020 - 2040 - 2060 2080 - 2100 - 2120 - 2140 - 2160 - 2180 | (5 - 6) | (1 - 3) | (45 - 70) | (0.15 - 0.66) |
| 1060 - 1080 - 1100 - 1120 - 1140 - 1160 - 1180 - 1200 - 1220 - 1240 - 1260 - 1280 - 1300 | (6 - 7) | (0.8 - 3) | 70 | (0.12 - 0.46) |

**Tabla 9**

*Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 10 años*

| Periodo de retorno TR 10 y Q = 390,57 m3/s | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sección transversal | Intervalo | | | |
| | Tirante (m) | Velocidad (m/s) | Ancho superficial (m) | Número de Froude |
| 20 - 40 - 60 120 - 240 - 260 - 420 - 460 - 500 - 980 - 1000 - 1620 - 1640 - 1660 - 1680 - 1700 - 1720 - 1740 - 1760 - 1780 - 1800 - 1820 - 1860 - 1880 - 1940 | (2 - 5) | (1.8 - 7.7) | (18 - 70) | (1.66 - 0.27) |
| 80 - 100 - 140 - 160 - 180 - 200 - 220 - 300 - 320 - 340 - 360 - 380 - 400 - 440 - 480 - 520 - 880 - 900 - 920 - 940 - 960 - 1020 - 1040 - 1480 - 1500 - 1520 - 1540 - 1560 - 1580 - 1600 - 1840 - 1900 - 1920 | (5 - 6) | (1.4 - 5.8) | (20 - 70) | (0.20 - 0.94) |
| 280 - 540 - 560 - 580 - 600 - 620 - 640 - 660 - 680 - 700 - 720 - 740 - 760 - 780 - 800 - 820 - 840 - 860 - 1060 - 1080 - 1100 - 1120 - 1140 - 1160 - 1180 - 1200 - 1220 - 1240 - 1260 - 1280 - 1300 - 1320 - 1340 - 1360 - 1380 - 1400 - 1420 - 1440 - 1460 - 1960 - 1980 - 2000 - 2020 - 2040 - 2060 - 2100 - 2120 - 2140 - 2160 - 2180 | (6 - 7.5) | (1 - 4) | (30 - 70) | (0.13 - 0.56) |

**Tabla 10**

*Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 30 años*

| Periodo de retorno TR 30 y Q = 528,83 m3/s | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sección transversal | Intervalo | | | |
| | Tirante (m) | Velocidad (m/s) | Ancho superficial (m) | Número de Froude |
| 20 - 40 - 60 - 80 - 100 - 120 - 180 - 200 - 220 - 240 - 260 - 380 - 400 - 420 - 460 - 500 - 520 - 980 - 1000 - 1620 - 1640 - 1660 - 1680 - 1700 - 1720 - 1740 - 1760 - 1780 - 1800 - 1820 - 1860 - 1880 - 1940 | (2 - 6) | (2 - 8) | (20 - 70) | (0.29 - 2.06) |
| 140 - 160 - 300 - 320 - 340 - 440 - 480 - 880 - 900 - 920 - 940 - 960 - 1020 - 1040 - 1440 - 1460 - 1480 - 1500 - 1520 - 1540 - 1560 - 1580 - 1600 - 1840 - 1900 - 1920 | (6 - 7) | (1.4 - 5.5) | (40 - 70) | (0.18 - 0.79) |
| 280 - 540 - 560 - 580 - 600 - 620 - 640 - 660 - 680 - 700 - 720 - 740 - 760 - 780 - 820 - 840 - 860 - 1060 - 1080 - 1100 - 1120 - 1140 - 1160 - 1180 - 1200 - 1220 - 1240 - 1260 - 1280 - 1300 - 1320 - 1340 - 1360 - 1380 - 1400 - 1420 - 1960 - 1980 - 2000 - 2020 - 2040 - 2060 - 2080 - 2100 - 2120 - 2140 - 2160 - 2180 | (7 - 8.5) | (1.2 - 4.2) | (40 - 70) | (0.15 - 0.56) |

**Tabla 11**

*Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 50 años*

| Periodo de retorno TR 50 y Q = 591,95 m3/s | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sección transversal | Intervalo | | | |
| | Tirante (m) | Velocidad (m/s) | Ancho superficial (m) | Número de Froude |
| 20 - 40 - 60 - 80 - 100 - 120 - 140 - 160 - 180 - 200 - 220 - 240 - 260 - 320 - 340 - 360 - 380 - 400 - 420 - 460 - 480 - 500 - 520 - 980 - 1000 - 1620 - 1640 - 1660 - 1680 - 1700 - 1720 - 1740 - 1760 - 1780 - 1800 - 1820 - 1840 - 1860 - 1880 - 1940 | (2.5 - 6.5) | (2 - 9) | (20 - 70) | (0.29 - 2.05) |
| 300 - 440 - 880 - 900 - 920 - 940 - 960 - 1020 - 1040 - 1100 - 1440 - 1460 - 1480 - 1500 - 1520 - 1540 - 1560 - 1580 - 1600 - 1900 - 1920 | (6.5 - 7.5) | (1.5 - 5.5) | (35 - 70) | (0.19 - 0.78) |
| 280 - 540 - 560 - 580 - 600 - 620 - 640 - 660 - 680 - 700 - 720 - 740 - 760 - 780 - 800 - 820 - 840 - 860 - 1060 - 1080 - 1120 - 1140 - 1160 - 1180 - 1200 - 1220 - 1240 - 1260 - 1280 - 1300 - 1320 - 1340 - 1360 - 1380 - 1400 - 1420 - 1960 - 1980 - 2000 - 2020 - 2040 - 2060 - 2080 - 2100 - 2120 - 2240 - 2180 | (7.5 - 8.5) | (1.3 - 4) | (45 - 70) | (0.15 - 0.47) |

**Tabla 12**

*Resultados de las propiedades hidráulicas para Tr de 100 años*

| Periodo de retorno TR 100 y Q = 677,09m3/s | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sección transversal | Intervalo | | | |
| | Tirante (m) | Velocidad (m/s) | Ancho superficial (m) | Número de Froude |
| 20 - 40 - 60 - 80 - 100 - 120 - 140 - 160 - 180 - 200 - 220 - 240 - 260 - 300 - 320 - 340 - 360 - 380 - 400 - 420 - 440 - 460 - 480 - 500 - 520 - 980 - 1000 - 1620 - 1720 - 1740 - 1760 - 1780 - 1800 - 1820 - 1840 - 1860 - 1880 - 1940 | (3 - 7) | (2.3 - 9.2) | (20 - 70) | (0.29 - 2.2) |
| 280 - 540 - 560 - 580 - 600 - 620 - 660 - 700 - 720 - 740 - 760 - 780 - 800 - 820 - 840 - 860 - 880 - 900 - 920 - 940 - 960 - 1020 - 1040 - 1060 - 1080 - 1100 - 1220 - 1240 - 1260 - 1280 - 1300 - 1320 - 1340 - 1360 - 1380 - 1400 - 1420 - 1460 - 1480 - 1500 - 1520 - 1540 - 1560 - 1580 - 1600 - 1900 - 1920 | (7 - 8.5) | (1.4 - 5.5) | (35 - 70) | (0.16 - 0.73) |
| 640 - 680 - 1120 - 1140 - 1160 - 1180 - 1200 - 1960 - 1980 - 2000 - 2020 - 2040 - 2060 - 2080 - 2100 - 2120 - 2140 - 2160 - 2180 | (8.5 - 9) | (1.4 - 4) | (55 - 70) | (0.17 - 0.45) |

Lo descrito en las tablas anteriores indica que el flujo para ese para ese caudal simulado varía entre subcrítico (lento y profundo) y supercrítico (rápido y poco profundo), a medida que el tirante aumenta, la velocidad disminuye y el ancho superficial se expande lateralmente, lo cual sugiere que en diferentes secciones transversales del río el flujo tiene distintas profundidades y velocidades, influenciadas por la pendiente del canal y su geometría.

### 4.9 Alternativas de solución ante riesgo de inundaciones

En el análisis del riesgo por inundaciones de ríos, diversos autores han propuesto un espectro de soluciones para mitigar estos eventos devastadores, a continuación la tabla 13 presenta una visión general de las alternativas sugeridas, que van desde enfoques de ingeniería hasta estrategias de gestión integrada, cada autor aporta una perspectiva distinta sobre cómo abordar el riesgo, reflejando la diversidad de métodos disponibles para enfrentar esta problemática.

**Tabla 13**

*Alternativas de solución*

| Título | Año | Alternativa planteada |
|---|---|---|
| El potencial de implementar un sistema de alerta temprana en la cuenca del río Meléndez, Colombia. | 2013 | Los sistemas de alerta temprana capacitan a la comunidad para prepararse frente a inundaciones, lo que facilita la protección de sus bienes. Silva y Mirhaba (2013) propusieron un sistema de alerta temprana para la cuenca del río Meléndez, en el que la autoridad ambiental regional, CVC, y la empresa de servicios públicos de Cali, Emcali, serían responsables de la evaluación y actualización de la información. |
| Diseño de muro de contención para mejorar la defensa ribereña en el margen derecho del río Mosna, sector Wishcapampa, distrito de San marcos, provincia | 2024 | El Sector Wishcapampa enfrenta riesgos de desbordamiento debido a la proximidad de las viviendas al Río Mosna, se propone diseñar un muro de contención en el margen derecho del río, en el Distrito de San Marcos, Provincia de Huari. El estudio utiliza fichas para identificar áreas vulnerables y |

| | | |
|---|---|---|
| de huari, departamento de áncash-2024. | | cuestionarios para evaluar la efectividad de las medidas de defensa ribereña (Cochachin & Zotelo, 2024). |
| **Título** | **Año** | **Alternativa planteada** |
| Obras de infraestructura para el control de inundaciones. | 2019 | La revegetalización implica replantar y restaurar vegetación en áreas degradadas para recuperar el ecosistema y estabilizar el suelo, en obras para controlar inundaciones, esta práctica es fundamental para reducir la erosión y mejorar la absorción de agua, según Carolina, et al. (2019) propusieron para el proyecto de la Mojana una alternativa a mediano plazo que consiste en sembrar árboles que estén adaptados a inundaciones periódicas. |
| Lineamientos para el control de inundaciones del sistema | N/A | zonificación del uso del suelo basada en la variabilidad del riesgo de inundación en llanuras y zonas de ríos de montaña, ajustada a los niveles y la intensidad del flujo del río, esta estrategia reduciría el peligro de inundación al ubicar las áreas más vulnerables a mayor altitud y a mayor distancia del cauce del río, disminuyendo así el riesgo para las áreas habitadas (Observatorio ambiental de Cartagena de Indias). |

Por consiguiente, basado en la información anterior, se detallarán las posibles soluciones específicas adoptadas para el proyecto.

Para abordar la probabilidad de inundaciones futuras en áreas vulnerables, se pueden implementar una serie de estrategias integrales enfocadas en la mitigación y/o prevención; Una de las primeras medidas es la planificación y el desarrollo urbano inteligente, esto incluye la zonificación para limitar la construcción en zonas de alto riesgo y promover desarrollos en áreas menos propensas a inundaciones.

Otra estrategia clave es la construcción de infraestructura de control de inundaciones, como muros de contención, barreras y sistemas de drenaje eficientes que pueden ayudar a contener y redirigir el agua durante eventos de alta precipitación, reduciendo el riesgo de inundación en la zona.

La restauración de ecosistemas naturales también es importante en la gestión del riesgo de inundaciones, ya que la reforestación y la conservación de zonas húmedas aumentan la capacidad de absorción del suelo y reducen el escurrimiento superficial, es por esto que la renaturalización de cauces fluviales mejora la capacidad del río para manejar grandes volúmenes de agua sin desbordarse.

La implementación de sistemas de monitoreo y alerta temprana es esencial para la preparación ante el riesgo por inundaciones con información oportuna sobre condiciones meteorológicas extremas, permitiendo a las comunidades tomar medidas preventivas ante el evento a ocurrir.

Implementar estas estrategias de manera coordinada puede reducir la vulnerabilidad de las zonas propensas a inundaciones frente a eventos futuros, protegiendo a las personas y a las infraestructuras críticas de manera integral.

# Capítulo 5. Conclusiones

El trabajo de grado puede enfrentar varias limitaciones significativas, debido a que la precisión del modelo topográfico puede verse afectada por la variabilidad en la densidad de puntos de los datos entre las áreas terrestres y acuáticas, ya que el dron puede tener dificultades para capturar detalles finos en el agua, especialmente si hay turbulencia o reflejos.

Además, la presencia de vegetación densa o estructuras en la ribera puede obstruir la visibilidad y dificultar la obtención de datos precisos. Finalmente, la integración de datos topográficos del río con los datos del terreno puede requerir procesos adicionales de corrección y calibración para asegurar la coherencia y precisión del modelo final.

Se realizó estudios de batimetría y trabajo de campo, donde se identificaron las principales características morfométricas de la cuenca del río Algodonal, los resultados indican que la cuenca presenta una topografía compleja con variaciones significativas en la profundidad y el ancho del cauce. Estos datos son fundamentales para comprender el comportamiento hidrológico del río, especialmente en términos de capacidad de almacenamiento y flujo de agua durante eventos de precipitación intensa.

Se recopilaron datos hidrológicos históricos que permitió establecer las condiciones de flujo del río para diferentes periodos de retorno, en el cual se evidenció que el río Algodonal es susceptible a eventos de inundación significativos, con picos de caudal que podrían causar daños considerables en zonas cercanas, por ello, se han planteado medidas preventivas, tales como la

implementación de sistemas de alerta temprana, la mejora de la infraestructura de drenaje u obras de protección, según el costo-beneficio, entre otros.

La construcción de un modelo hidrodinámico utilizando el software HEC-RAS generó una zonificación detallada del riesgo de inundación en la cuenca del río Algodonal; este modelo permitió simular distintos escenarios de inundación, la zonificación resultante destaca las áreas más vulnerables y proporciona una base sólida para la planificación y gestión del territorio, así como para la implementación de medidas de mitigación adecuadas.

# Capítulo 6. Recomendaciones

Para obtener los mejores resultados en el estudio topográfico de un río, se podría considerar una combinación de ambos métodos, es decir, utilizar drones para la cobertura general del área y el equipo de topografía para obtener mediciones precisas en puntos críticos puede proporcionar una visión completa y detallada del terreno del proyecto.

Este trabajo puede ser replicado en otras cuencas similares, contribuyendo así al desarrollo de estrategias efectivas de gestión de riesgos a nivel regional, se sugiere la continuidad de este tipo de estudios para incorporar datos más recientes y mejorar las estrategias de mitigación, así como la colaboración con entidades gubernamentales y comunitarias para asegurar la implementación y sostenibilidad de las soluciones propuestas.

Realizar una validación y calibración más rigurosa del modelo utilizando datos adicionales de campo, como mediciones de caudal y altura de la lámina de agua, recogidos en diferentes condiciones y épocas del año.

Implementar o mejorar los sistemas de monitoreo continuo para obtener datos más precisos y en tiempo real.

Establecer un programa de revisión y actualización periódica del modelo para incorporar nuevos datos y mejorar continuamente la precisión de las predicciones. Esto asegurará

que el modelo siga siendo relevante y útil a medida que cambian las condiciones y la información disponible.

Comparar los resultados de HEC-RAS con otros softwares de modelación hidrodinámica para validar los resultados.

## Referencias

Agudelo, J. J. (2021). Simulación de escenarios de inundación para una sección longitudinal del río Lebrija. *Repositorio Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/44572

Alcaldía Municipal de Ocaña. (30 de Diciembre de 2023). *Alcaldía Municipal de Ocaña.* Obtenido de Plan de Ordenamiento Territorial: https://www.ocana-nortedesantander.gov.co/tema/pot--2023-del-municipio-de-ocana

Alfredo Bogotá y Sergio Castellanos. (2020). Caracterización hidrológica de la cuenca media y baja del rio Magdalena. *Repositorio Universidad Antonio Nariño*. Obtenido de http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2128

Andrea Carolina Ibarra y Ana Gabriela Díaz . (2021). Estudio de amenaza de inundación del río Culagá sector puente PR2+500 en la vía Toledo – Labateca, Departamento Norte de Santander. *Repositorio Institucional Univesidad Católica de Colombia*. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/1386acec-c992-4dc8-85af-30986d07ab54

Carolina Gil, P. R. (2019). Obras de infraestructura para el contol de inundaciones.

Ceballos, J. D. (2011). Modelación hidráulica y morfodinámica de cauces sinuosos aplicación a la quebrada La Marinilla. *Boletín de ciencias de la naturaleza*. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/1695/169522483009.pdf

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos.* McGraw-Hill. Obtenido de https://www.udocz.com/apuntes/10448/ven-te-chow---hidraulica-de-canales-abiertos

Cochachin, J. Z. (2024). Diseño de muro de contención para mejorar la defensa ribereña en el margen derecho del río Mosna, sector Wishcapampa, distrito de San marcos, provincia de huari, departamento de áncash-2024.

CORPONOR. (2010). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Algodonal.* Ocaña. Obtenido de https://corponor.gov.co/publica_recursos/pomca/algodonal/PLAN_DE_ORDENACION_Y_MANEJO_CUENCA_RIO_ALGODONAL.pdf

CORPONOR. (2023). *CORPONOR*. Obtenido de Calidad del agua: https://corponor.gov.co/web/index.php/boletin-ambiental/calidad-del-agua/

Diana López y Diego Gómez. (2019). Determinación de la cota de inundación del río Arauca en la vereda Barrancones, municipio de Arauca mediante un modelo hidrodinámico. *Repositorio Universidad Católica de Colombia*. Obtenido de

https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/3dd7fec8-e8a0-4cf7-b91b-da90950b4b37

Eiler Parra y Jeniffer Flórez . (2022). Determinación de la cota de inundación del río Tejo en el puente del barrio La Gloria, municipio de Ocaña N.S. *Repositorio Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*. Obtenido de https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/bitstream/handle/20.500.14167/1172/Determinaci%c3%b3n%20De%20La%20Cota%20De%20Inundaci%c3%b3n%20Del%20R%c3%ado%20Tejo%20En%20El%20Puente%20Del%20Barrio%20La%20Gloria%2c%20Municipio%20De%20Oca%c3%b1a%20N.S.%20I

Espinoza, Y. L. (2018). Modelación hidrodinámica del río Las Palmas y un trayecto del río Tempisque para determinar áreas de afectación en eventos extremos, permitiendo visualizar su influencia sobre la red de canales del proyecto Paacume. *Tecnológico de Costa Rica*, 2. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11288/modelacion_hidrodinamica_rio_palmas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Flores, N. D. (2019). Diseño hidráulico de la defensa ribereña en la localidad de San José aplicando el el programa Hec-Ras para la prevención y mitigación de desastres – Bellavista - 2018. *Repositorio Universidad César Vallejo*. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/100089

Gabriela Álvarez y Carlos Moreno. (2021). Modelamiento hidráulico para el control y prevención de inundaciones mediante el uso de Hec-Ras 2d en la zona urbana del río Piura. *Repositorio académico UPC*, 3. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/656880

García, A. (21 de febrero de 2019). *Toda Colombia*. Obtenido de https://www.todacolombia.com/geografia-colombia/vertientes-colombia.htm

GEASIG. (19 de Agosto de 2016). *Especialistas en SIG y Medio Ambiente*. Obtenido de https://www.geasig.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/

Google Earth. (s.f.).

Guía Técnica de Criterios para el Acotamiento de las Rondas Hídricas en Colombia. (2018). Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/18.-Anexo-18-Guia-Criterios-para-el-acotamiento-de-las-Rondas-Hidricas-1.pdf

IDEAM. (s.f.). *Características climáticas de Norte de Santander*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/info/Textos/Departamentos/memoNORTESANTANDER.pdf

IDEAM. (s.f.). *IDEAM*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/curvas-idf

INVIAS. (2009). *Manual de drenajes para carreteras.* Obtenido de https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file

Isabel Guzman, Fernando Watson, Karolina Villagra y Ricardo Cassola. (2016). Modelación hidrodinámica y morfológica del río La Estrella, Limón. *Tecnológico de Costa Rica*. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9154

Jiménez, P. (2006). *Estudio sobre estabilidad de traviesas y lechos de escollera con transporte sólido.* Obtenido de https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3306

Mapas para colorear; Google Earth-editado. (2022). Obtenido de https://www.mapasparacolorear.com/colombia/mapa-departamento-norte-de-santander.php

Murillo, M. (2010). Métodos para su estimación en conservación de suelos. *El escurrimiento superficial*, 12. Obtenido de http://190.181.16.82/pdfs/fdta/Escurrimiento%20Superficial.pdf

Observatorio ambiental de Cartagena de Indias. (s.f.). Lineamientos para el control de inundaciones del sistema. *LINEAMIENTOS PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES DEL SISTEMA*.

Ocaña Municipio de Colombia. (2021). Obtenido de https://www.municipio.com.co/municipio-ocana.html

Ochoa, S., Reyna, T., Reyna, S., García, M., & Díaz, M. L. (30 de Septiembre de 2016). Modelación hidrodinámica del tramo medio del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba. *Revista Facultad de ciencias exactas, físicas y naturales, 2*, pág. 96. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/309212471_Modelacion_hidrodinamica_del_tramo_medio_del_rio_Ctalamochita_Provincia_de_Cordoba

PLANEAR. (s.f.). *Plan Estratégico Ambiental Regional*.

Presidencia de la República de Colombia. (1978). Decreto 1541 de 1978. En *Por el cual se expiden las normas De las aguas no marítimas.* Obtenido de https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1250#:~:text=%2D%20Todos%20los%20habitantes%20pueden%20utilizar,de%20los%20recursos%20naturales%20renovables

Presidencia de la República de Colombia. (2002). Decreto 1729 de 2002. En *Por el cual se expiden las normas de cuencas hidrográficas.* Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5534

Presidencia de la República de Colombia. (2010). Decreto 3930 de 2010. En *Por el cual se expiden las normas a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.* Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620#:~:text=Establece%20las%20disposiciones%20relacionadas%20con,al%20suelo%20y%20a%20los%20alcantarillados

Presidencia de la República de Colombia. (2014). Decreto 1807 de 2014. En *Por el cual se expiden la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.* Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488

Presidencia de la República de Colombia. (2015). Decreto 1076 de 2015. En *Por el cual se expiden las normas del sector medio ambiente y desarrollo sostenible.* Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153

RAS. (2016). *Título D.*

Real Academia Española. (2022). *Agua.* En diccionario de la Lengua Española (edición del tricentenario). Obtenido de https://dle.rae.es/agua

Rodigrez Osorio, J. (2018). Estudio hidrológico e hidráulico para determinación de las áreas de. *Repositorio Institucional UFPSO*.

Rodrigo Vargas M & Mario Diaz Granados. (1998). *Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia.* Obtenido de https://pdfcoffee.com/vargas-diaz-granados-curvasidf-1998-5-pdf-free.html

Semana. (14 de Junio de 2022). Semana. *Desbordamiento del río Catatumbo mantiene afectadas a miles de familias en Norte de Santander*. Obtenido de

https://www.semana.com/nacion/cucuta/articulo/desbordamiento-del-rio-catatumbo-mantiene-afectados-a-miles-de-familias-en-norte-de-santander/202234/

Silva, M. T. (2013). El potencial de implementar un sistema de alerta temprana en la cuenca del río Meléndez, Colombia.

Torrado, S. (14 de Noviembre de 2022). Las muertes por las intensas lluvias en Colombia rompen los registros de los últimos años. *El país*.

Torres-Bejaranoa, F., Coba, J. P., Cuevas, C. R., & Rodeloa, H. R. (Julio de 2016). La modelación hidrodinámica para la gestión hídrica del embalse del Guájaro, Colombia. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*.