

**ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA ADECUACIÓN HIDRÁULICA DE 5 KM DEL RÍO
CHICÚ COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES**

JULIO LEANDRO GARZÓN ALFONSO

NESTOR AUGUSTO SUA INFANTE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2019

**ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA ADECUACIÓN HIDRÁULICA DE 5 KM DEL RÍO
CHICÚ COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE INUNDACIONES**

JULIO LEANDRO GARZÓN ALFONSO

NESTOR AUGUSTO SUA INFANTE

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.

ASESOR: DANIEL ANDRÉS LÓPEZ

INGENIERO AMBIENTAL, MSC.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2019



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., 16 de noviembre de 2019.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	14
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	14
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2.1 <i>Antecedentes del problema</i>	14
1.2.2 <i>Pregunta de Investigación</i>	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	15
1.4 OBJETIVOS	16
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	16
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	16
2 MARCOS DE REFERENCIA.....	18
2.1 MARCO CONCEPTUAL	18
2.1.1 <i>Cuenca Hidrográfica</i>	18
2.1.2 <i>Clasificación de Cuencas Hidrográficas</i>	19
2.1.3 <i>Prevención y control de inundaciones</i>	20
2.2 MARCO TEÓRICO	23
2.3 MARCO JURÍDICO	27
2.4 MARCO GEOGRÁFICO	32
2.5 ESTADO DEL ARTE.....	35
3 ESTUDIO Y DISEÑO DE LA ADECUACIÓN HIDRÁULICA DEL RIO CHICÚ..	38
3.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO	38
3.1.1 <i>DELIMITACIÓN DE CUENCAS APORTANTES</i>	39
3.1.2 <i>CUENCAS APORTANTES RIO CHICÚ</i>	40
3.1.2.1 <i>Cuenca de la estación “Las Mercedes”</i>	40
3.1.2.2 <i>Cuencas aportantes a los puntos de inicio y fin de la adecuación</i>	41
3.1.3 <i>CUENCAS APORTANTES RIO SUBACHOQUE</i>	42
3.1.3.1 <i>Cuenca de la estación “Puente Manrique”</i>	42

3.1.3.2	Cuenca de la Estación “La Muralla”	43
3.1.3.3	Cuenca de la estación “La Pradera”	43
3.1.4	<i>RESUMEN ÁREAS DE CUENCAS</i>	44
3.2	INFORMACIÓN DE ESTACIONES.....	45
3.2.1	<i>ESTACIONES MEDIDORAS DE CAUDAL</i>	45
3.2.1.1	Análisis de Frecuencia de Caudales Máximos a Nivel Mensual Multianual en las Estaciones limnimétricas Puente Manrique, La Muralla y Las Mercedes	45
3.2.1.2	Prueba de Bondad de Ajuste	49
3.2.1.3	Caudales Máximos Instantáneos a Nivel Mensual Multianual en las Estaciones limnimétricas Puente Manrique y La Muralla y Las Mercedes	51
3.2.2	<i>ESTACIONES MEDIDORAS DE PRECIPITACIÓN</i>	57
3.2.2.1	Análisis del Parámetro de Precipitaciones Totales Anuales y Generación del Mapa de Isoyetas....	58
3.3	TRANPOSICIÓN DE CAUDALES	60
3.3.1	<i>METODOLOGÍA Y ECUACIÓN FUNDAMENTAL</i>	61
3.3.2	<i>INFORMACIÓN BASE PARA LA TRANSPICIÓN</i>	62
3.3.3	<i>RESULTADOS: CAUDALES EN EL INICIO Y FIN DE LA ADECUACIÓN</i>	63
3.3.4	<i>ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS</i>	64
4	ANÁLISIS HIDRÁULICO	66
4.1	LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....	66
4.2	LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS Y BATIMÉTRICOS.....	67
4.3	MODELAMIENTO HIDRÁULICO CONDICIÓN ACTUAL.....	67
4.3.1	<i>MODELO HEC RAS</i>	68
4.3.1.1	Coeficientes de resistencia al flujo	71
4.3.1.2	Condiciones de Frontera.....	72
4.3.2	<i>CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS</i>	73
4.3.3	<i>CONSTRUCCIÓN DEL MODELO</i>	73
4.3.4	<i>GEOMETRÍA DEL MODELO</i>	74
4.4	DIAGNÓSTICO CONDICIÓN ACTUAL.....	75
4.4.1	<i>RESULTADOS DE LA MODELACIÓN EN CONDICIÓN ACTUAL</i>	75
4.4.2	<i>ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LAS MODELACIONES HIDRÁULICAS</i>	77
4.4.2.1	Representación de Datos Raster	78
4.4.2.2	Tamaño y Resolución de la Celda/Pixel.....	78
4.4.2.3	Raster Obtenidos a Partir de las Modelaciones Hidráulicas	78

4.4.3	RESULTADOS: LÁMINAS DE AGUA PARA EL MODELO BAJO CAUDALES EXTREMOS (TR = 100 AÑOS).....	79
4.4.4	ESTRUCTURAS DE PASO TRASNVERSAL.....	82
4.5	MODELAMIENTO HIDRÁULICO CONDICIÓN DE DISEÑO	82
4.5.1	SECCIONES DE DISEÑO.....	82
4.5.2	PENDIENTES DE DISEÑO	86
4.5.3	PROFUNDIZACIONES EN EL LECHO.....	87
4.5.4	CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN ESTRUCTURAS DE PASO.....	87
4.5.5	NIVELES Y ABATIMIENTOS.....	88
4.5.6	MANCHA DE INUNDACIÓN.....	91
4.5.7	VOLUMENES DE EXCAVACIÓN.....	93
5	CONCLUSIONES	94
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

Tabla de Gráficas

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CHICÚ. FUENTE CAR.	33
FIGURA 2. ESTACIONES UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO. FUENTE: CAR CUNDINAMARCA	39
FIGURA 3. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DE LA ESTACIÓN “LAS MERCEDES”. FUENTE: CAR CUNDINAMARCA	40
FIGURA 4. CUENCAS APORTANTES A LOS PUNTOS DE INICIO Y FIN DE LA ADECUACIÓN. FUENTE: CAR CUNDINAMARCA	41
FIGURA 5. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DE LA ESTACIÓN PUENTE MANRIQUE. FUENTE: CAR CUNDINAMARCA	42
FIGURA 6. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DE LA ESTACIÓN LA MURALLA. FUENTE: CAR CUNDINAMARCA	43
FIGURA 7. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DE LA ESTACIÓN LA PRADERA. FUENTE: CAR CUNDINAMARCA	44
FIGURA 8. AJUSTES PROBABILÍSTICOS DE CAUDALES MÁXIMOS GENERADAS PARA LA ESTACIÓN LAS MERCEDES. FUENTE: LOS AUTORES.	48
FIGURA 9. AJUSTES PROBABILÍSTICOS DE CAUDALES MÁXIMOS GENERADAS PARA LA ESTACIÓN PUENTE MANRIQUE. FUENTE: LOS AUTORES	54
FIGURA 10. AJUSTES PROBABILÍSTICOS DE CAUDALES MÁXIMOS GENERADAS PARA LA ESTACIÓN LA MURALLA. FUENTE: LOS AUTORES	56
FIGURA 11. ISOYETAS PARA LA ZONA DE ESTUDIO. FUENTE: CAR CUNDINAMARCA.	59
FIGURA 12. UBICACIÓN GENERAL DEL TRAMO DEL RÍO CHICÚ A INTERVENIR.	67
FIGURA 13. VALORES TÍPICOS DE N MANNING EN CAUCES NATURALES RECOMENDADOS POR HEC-RAS	71
FIGURA 14. INGRESO DE CONDICIONES DE FRONTERA EN HEC-RAS	72
FIGURA 15. IZQUIERDA: CONSTRUCCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL MODELO; DERECHA: DETALLE DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL MODELO	75
FIGURA 16. SECCIÓN TRANSVERSAL CON ABCISA K5+165 CON FENÓMENOS DE INUNDACIÓN – CONDICIÓN ACTUAL.	80
FIGURA 17. MANCHA DE INUNDACIÓN PARA LA CONDICIÓN DE TERRENO ACTUAL CON LOS CAUDALES EXTREMOS CORRESPONDIENTES A UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS – ENTRE ABCISAS K4+850 - K5+850	81
FIGURA 18. SECCIÓN TRANSVERSAL DE DISEÑO PARA LA ADECUACIÓN HIDRÁULICA CON ANCHO IGUAL A 4 M SOBRE EL TRAMO MODELADO DEL RÍO CHICÚ - FUENTE: SOFTWARE HEC-RAS.	84
FIGURA 19. SECCIÓN TRANSVERSAL DE DISEÑO PARA LA ADECUACIÓN HIDRÁULICA CON ANCHO IGUAL A 5 M SOBRE EL TRAMO MODELADO DEL RÍO CHICÚ - FUENTE: SOFTWARE HEC-RAS.	85
FIGURA 20. SECCIÓN TRANSVERSAL DE DISEÑO PARA LA ADECUACIÓN HIDRÁULICA CON ANCHO IGUAL A 6 M SOBRE EL TRAMO MODELADO DEL RÍO CHICÚ - FUENTE: SOFTWARE HEC-RAS.	85
FIGURA 21. PERFIL NATURAL (NEGRO) Y PERFIL DE DISEÑO PARA LA ADECUACIÓN (MAGENTA).	86
FIGURA 22. PERFIL LONGITUDINAL DE FLUJO CONDICIÓN ACTUAL.....	89

FIGURA 23. PERFIL LONGITUDINAL DE FLUJO CONDICIÓN DE DISEÑO.	89
FIGURA 24. ABATIMIENTOS EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL CON ABCISA K5+165.	90
FIGURA 25. MANCHA DE INUNDACIÓN PARA LA CONDICIÓN DE DISEÑO CON CAUDALES EXTREMOS – SECCIONES 4904.966 – 5228.298.	91
FIGURA 26. COMPARACIÓN DE LA EXTENSIÓN DE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN PARA LAS CONDICIONES ACTUAL Y DE DISEÑO ENTRE ABCISAS 3062.912 – 3825.562.	92

Índice de Tablas

TABLA 1. ÁREA DE LAS CUENCAS DELIMITADAS EN LA CUENCA HERMANA DEL RIO CHICÚ	45
TABLA 2. RESULTADOS DE AJUSTE DE LOS REGISTROS A DISTINTAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	47
TABLA 3. DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA PARA CAUDALES MÁXIMOS GENERADAS PARA LA ESTACIÓN LAS MERCEDÉS.....	52
TABLA 4. DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA PARA CAUDALES MÁXIMOS GENERADAS PARA LA ESTACIÓN PUENTE MANRIQUE.....	53
TABLA 5. DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA PARA CAUDALES MÁXIMOS GENERADAS PARA LA ESTACIÓN LAS MURALLA	54
TABLA 6. ESTACIONES MEDIDORAS DE PRECIPITACIÓN UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE LLUVIAS	57
TABLA 7. VALOR PONDERADO DE PRECIPITACIÓN PARA LAS CUENCAS IMPLICADAS EN LA TRASPOSICIÓN	60
TABLA 8. PARÁMETROS PARA LA TRASPOSICIÓN DE CAUDALES.....	63
TABLA 9. RESULTADOS DE LA TRASPOSICIÓN DE CAUDALES HACIA LA CUENCA DEL RIO CHICÚ SEGUNDA FASE.....	63
TABLA 10. CAUDALES EN EL TRAMO DE ADECUACIÓN PARA EL MODELO HIDRÁULICO	64
TABLA 11. RENDIMIENTOS HÍDRICOS DE LAS CUENCAS CERCANAS AL SITIO DE ESTUDIO.....	64
TABLA 12. CAUDALES CALCULADOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN EL SITIO DE PROYECTO	73
TABLA 13. RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO EN LA CONDICIÓN ACTUAL PARA $Tr = 100$ AÑOS	76
TABLA 14. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LAS ALTURAS DE PROFUNDIZACIÓN	87
TABLA 15. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LOS ABATIMIENTOS DE LÁMINA DE AGUA	90

RESUMEN

En el presente proyecto se encuentra el resultado de un estudio de las condiciones actuales de un tramo de la cuenca del río Chicú, uno de los aportantes del río Bogotá en el departamento de Cundinamarca en Colombia, a partir del cual se desarrolló un modelo que permita la intervención física del mismo, por medio del diseño de la adecuación hidráulica de un tramo del río, mediante el retiro de material sedimentado de fondo y la generación de secciones óptimas de drenaje, con el fin de prevenir y controlar inundaciones en épocas de fuertes lluvias sobre el sistema de cuencas al que pertenece este río ubicado en la región andina sobre uno de los ramales de la cordillera de los Andes. Todo esto en respuesta a las necesidades y requerimientos ambientales, económicos y sociales de las comunidades que están asentadas en la rivera de este afluente.

Palabras clave: adecuación hidráulica, prevención, cuenca, modelación

ABSTRACT

The present project is the result of a study of the current conditions of a stretch of the Chicú river basin, one of the contributors of the Bogotá river in the department of Cundinamarca in Colombia South America, from which a model was developed that allows the physical intervention of the same, by means of the design of hydraulic adaptations of the river, through the removal of sediment material in the background and the generation of optimal drainage sections, with the purpose of preventing and controlling floods in times of heavy rains on the system of basins to which this river is located, and which is part of the Andean region belongs of one of the branches of the Andes. All this in response to the environmental, economic and social needs and requirements of the communities that are settled on the banks of this river.

Keywords: hydraulic adequacy, prevention, watershed, modeling

INTRODUCCIÓN

Una adecuada gestión de los recursos hídricos tales como ríos y quebradas, no solo trae beneficios intrínsecamente relacionados con las potenciales oportunidades de explotación del recurso en sí, sino que es el mejor camino para garantizar la prevención de riesgos relativos a las cuencas hídricas, que no solo pueden desencadenar desastres que terminan representando pérdidas económicas y ambientales, sino que, estas pérdidas se pueden dar en el peor de los casos, en términos de vidas humanas.

Los ríos son sistemas complejos en sí mismos, pero ya que el elemento principal que los constituye es el agua, siendo ésta una de las fuerzas más poderosas y con capacidad transformadora de la naturaleza, hace que la modelación de sistemas para la adecuación hidráulica de cuencas como la del río Chicú en Cundinamarca Colombia, sea de importancia estratégica para la prevención y control de inundaciones.

Es esa la razón, de que en este trabajo se presente un modelo de intervención por medio de la adecuación hidráulica de un tramo del río Chicú, que garantice que en temporadas de fuertes precipitaciones sobre el sistema de cuencas a la que pertenece este afluente, se conserve la conductividad y contención de las corrientes de agua, previniendo inundaciones y afectaciones al entorno de la cuenca, en este caso salvaguardando como primera medida la vida humana y en segundo lugar, el entorno económico y ambiental de la zona.

La metodología utilizada para este caso particular es entonces, el de construcción de un modelo, resultante de unos dedicados estudios de las condiciones actuales de un tramo de cinco kilómetros de la cuenca del río, a partir del cual se pueda realizar efectivamente la intervención estructural del lecho y de la rivera, garantizando una interacción segura en épocas de lluvias entre el afluente y su entorno.

El resultado de este trabajo pretende en ese sentido, servir de herramienta para que las autoridades competentes, puedan en determinado momento adelantar las adecuaciones recomendadas en el modelo, cumpliendo de esta forma con las expectativas ambientales, económicas y sociales de las comunidades interesadas, y al mismo tiempo con los requerimientos legales y constitucionales relativos al manejo hídrico en el contexto colombiano.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación del presente proyecto corresponde a Modelación hidrológica e hidráulica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Antecedentes del problema

Gran parte del territorio nacional, se vio seriamente afectada por los eventos de inundaciones presentados en los años 2006, 2010 y 2011, ocasionados por el fenómeno de la Niña; específicamente en la cuenca del río Bogotá, se registraron desbordamientos de los principales ríos y quebradas que la componen, los cuales generaron diversas afectaciones tales como la anegación de predios productivos, la pérdida de cosechas, el deterioro de la malla vial, la incomunicación entre centros poblados y zonas rurales entre otros, los cuales a su vez se traducen en pérdidas para la economía de la población e incluso se llegó a reportar la pérdida de vidas humanas.

El río Chicú es aportante de la cuenca del río Bogotá, localizándose en la parte media de esta. Pertenece a la Provincia de la Sabana Occidente entre los municipios de Cota, Madrid, Subachoque y Tenjo y a la provincia de la Sabana Centro entre los municipios de Cajicá, Chía y Tabio. Dada la magnitud de los eventos presentados en los años 2006, 2010 y 2011 sobre la cuenca río Bogotá, y principalmente los desbordamientos presentados sobre el cauce principal del río Bogotá, lo que genero a su vez desbordamientos de algunos de sus tributarios principales, se llama la atención de autoridades e investigadores sobre la necesidad de realizar estudios de ingeniería e intervenciones interinstitucionales e interdisciplinarias para la mitigación y gestión del riesgo que se hizo evidente.

En atención a la problemática anteriormente descrita, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca llevó a cabo la adecuación hidráulica del río Chicú en una primera etapa, partiendo de la confluencia con el río Bogotá en una longitud total de 9,71 km. Dicha intervención se realizó en dos tramos independientes, debido a la presencia de un cuerpo léntico en el medio de estos el cual está declarado como humedal y sobre el cual no se planteó ni ejecutó ninguna intervención. El primer tramo parte desde la confluencia con el río Bogotá, comprende una longitud de 4560 metros entre las coordenadas Magna Sirgas origen Bogotá 994671.2234E - 1017471.5684N y 992268.1298E - 1019874.9106N y el segundo tramo comprende una longitud de 5150 metros entre las coordenadas Magna Sirgas origen Bogotá 991983.248E - 1020458.9334 y 992925.8029E - 1024445.9066N.

1.2.2 Pregunta de Investigación

¿Cuáles adecuaciones de tipo hidráulico requiere la cuenca del río Chicú para obtener un impacto positivo en los niveles de riesgo por inundación?

1.3 JUSTIFICACIÓN

El cambio climático brusco que viene afectando a nuestro país, ha generado entre otros aspectos que se presenten grandes precipitaciones, las cuales tienen como consecuencia la afectación de poblaciones vulnerables que habitan en la ronda de los ríos y quebradas de nuestro país. Producto de estas inundaciones, dichas poblaciones pierden sus casas y su capital, adicional a ello, se ven expuestos a desplazamientos forzados, enfermedades y en ocasiones la muerte, impidiendo el pleno goce de sus derechos, bien sea porque se encuentran en condición de vulnerabilidad, o porque son afectados por un evento intempestivo. En consecuencia, el estado en aras del cumplimiento de sus obligaciones, entre ellas, el garantizar calidad de vida a la comunidad en un contexto de bienestar, debe tomar medidas de contingencia con el fin de abordar los problemas sociales y económicos que dejan estas inundaciones.

Es por esto que se hace necesario implementar medidas que brinden solución a esta problemática social, ambiental y económica. En aras de gestar dichas medidas, se propone la realización del estudio de adecuación hidráulica de 5 km del río Chicú como medida de prevención y control de inundaciones, garantizando así que, en épocas de grandes precipitaciones, en las cuencas se asegure la conductividad por el río.

De igual forma, con esta modelación, se adquiere experiencia orientada a la réplica, promoción y gestión de este, en otros proyectos que pretendan originar el mismo impacto.

Este impacto está orientado a las poblaciones que se han visto afectadas por inundaciones y así mismo, a disminuir las medidas de contingencia por parte del estado después de producidas dichas inundaciones, medidas que generalmente a largo plazo se convierten en asistencialismo, ocasionando un efecto negativo en la economía de estas poblaciones vulnerables del país.

Adicional a ello, la realización de este estudio contribuye a un desarrollo sustentable y sostenible en el contexto medio-ambiental de la región.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Realizar el estudio y diseño de adecuación hidráulica de 5 KM del río Chicú en el Municipio de Tenjo, en un periodo de 3 meses, con el fin de disminuir el impacto negativo producto de inundaciones, las cuales son consecuencia de grandes precipitaciones.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar la simulación de la adecuación hidráulica mediante el modelo matemático unidimensional HEC-RAS

- Realizar un análisis hidrológico para la obtención de caudales de diseño
- Calcular el volumen de sedimento a remover
- Generar secciones de diseño para realizar la adecuación hidráulica del cauce del río.

2 MARCOS DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Cuenca Hidrográfica

Los diferentes elementos que conforman la naturaleza, deben ser abordados como parte de un todo indivisible e inseparable, en donde los distintos recursos como el agua, el suelo, la biósfera, la atmósfera, entre otros, y además el ser humano, se encuentran íntimamente relacionados, siendo interdependientes, pero, además significando para el hombre, como único elemento de este conjunto capaz de ser consciente de su propia existencia, una especial responsabilidad sobre los demás elementos de su entorno.

Dentro de estos elementos que conforman la naturaleza en la que el hombre se desenvuelve, se encuentra como figura sobresaliente, en particular por su capacidad de sustentación de la vida, y su consecuente influencia en los aspectos sociales, culturales, económicos y políticos que conllevan a la conformación de comunidades humanas, las cuencas hidrográficas.

Entendida una cuenca hidrográfica como una unidad morfológica integral (Gaspari, 2002), la cual toma forma en un territorio en que las aguas superficiales convergen en un cauce, regularmente formado por efecto de la acción transformadora de la superficie terrestre, como efecto de fenómenos naturales geológicos principalmente, y los cuales, al interconectarse con otros cauces, se dirigen finalmente a los océanos.

En una cuenca se deben incluir, además, toda la estructura hidrogeológica subterránea (Gaspari, 2002), que hace parte del acuífero como una sola unidad natural, terminando por conformar un sistema integrado, interdependiente y conectado. Y en donde la estabilidad y

sustentabilidad de todos sus componentes estructurales, terminan siendo manifestaciones y propiedades del propio sistema.

2.1.2 Clasificación de Cuencas Hidrográficas

Las cuencas hidrográficas pueden ser clasificadas basadas en su sistema de drenaje, de esta forma se encuentran cuencas arreicas, exorreicas, endorreicas y por último criptorreicas (Faustino & Jiménez, 2002). A continuación, se presenta una breve descripción de cada una de ellas:

- Se denominan cuencas arreicas, cuando estas no logran drenar sus aguas a la cuenca principal de un río, al mar o a un lago, y finalmente el afluente desaparece por acción de evaporación o por infiltración, esto sin que se llegue a formar un escurrimiento subterráneo.

- Así mismo, son consideradas cuencas criptorreicas, aquellas en donde sus redes de drenaje superficial no presentan un esquema organizado o visible, y en su lugar escurren y corren como ríos subterráneos, tal es el caso de las denominadas zonas kársticas.

- Por su parte, las llamadas cuencas endorreicas hacen referencia a aquellas en las que sus aguas drenan a un embalse o lago sin llegar finalmente al mar. Este caso aplica tanto para embalses naturales como artificiales.

- Y, por último, se denominan cuencas exorreicas, en los casos en que las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un río de mayores dimensiones, o los mares y océanos.

De igual forma, una cuenca hidrográfica puede dividirse de otras diferentes formas, por ejemplo, atendiendo al grado de concentración de la red de drenaje, definiendo de esta forma unidades menores como subcuencas o microcuencas.

En ese sentido una subcuenca es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de la cuenca, y de esta forma, se puede decir que varias subcuencas pueden formar una cuenca. Mientras que una microcuenca, es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de una subcuenca, y así se puede decir que varias microcuencas, puede conformar una subcuenca.

Existen otros tipos de clasificación para las cuencas y sus componentes, siendo en todos los casos clasificaciones subjetivas, y que dependen de diferentes características propias de cada región del planeta en que se analice el comportamiento y la interacción de las aguas con los lechos geológicos por las que fluyen, y en donde deben tenerse en cuenta entre otras, consideraciones físicas, naturales, e incluso sociales y económicas.

Otra forma de abordar la comprensión de una cuenca hidrográfica es por medio de la definición de las pendientes del terreno, diferenciando las áreas planas de las inclinadas, dando origen así, a zonas de “ladera”, como las formadas por las montañas, colinas, tierras inclinadas, en general con pendientes mayores al 20%, y los “valles” formados por tierras planas, de pendientes suaves, o ligeramente onduladas, con pendientes que oscilan entre el 0 y el 20%.

La cuenca también se puede dividir en parte alta, media y baja, generalmente en función de las características del relieve, altura y aspectos climáticos, permitiendo esto observar cómo las partes altas de las cuencas inciden en las partes bajas de las mismas. En algunos casos esta clasificación da origen a las denominadas cuencas de alta montaña o altiplano, las cuales tienen características que resultan relevantes sobre todo en términos ecológicos y de producción hídrica.

2.1.3 Prevención y control de inundaciones

Para enfrentar el peligro que representan las inundaciones, tanto para las comunidades que viven en los márgenes del río, como para los bienes muebles e inmuebles, así como los cultivos y semovientes que regularmente prosperan cerca de éstos, las personas de esas comunidades, así como las autoridades de los diferentes entes territoriales responsables de los

diferentes tramos de la cuenca, deben establecer estrategias, planes de acción, pero sobre todo medidas de prevención.

Sin embargo, lo que comúnmente se encuentra es que limitan los esfuerzos preventivos a la instalación de barreras físicas en las riberas para evitar los desbordes, ignorando las distintas técnicas disponibles para reducir la vulnerabilidad de las regiones rivereñas. A continuación, se presentan algunas de las más recomendables.

Cobertura vegetal: La conservación y ampliación de los bosques no solo permite mitigar los efectos del cambio climático, al favorecer la reabsorción del carbono de la atmósfera que es una de las causas del efecto invernadero global, sino que, además, reduce significativamente el riesgo de inundaciones. Esto se logra, al mantener la salud del suelo, impidiendo la erosión y la pérdida de los sustratos de mayor consistencia, también al promover el crecimiento de musgos y otras plantas que absorben el exceso de agua, la cual liberan luego de forma progresiva.

Reservorios: Los reservorios o embalses, se usan principalmente para garantizar el abastecimiento de agua para las comunidades, así como en diferentes escalas, para la producción de electricidad. Sin embargo, esta tecnología se puede aplicar también para el control de crecidas repentinas del caudal de los ríos y quebradas. Esto gracias a un sencillo concepto, en tiempos de crecidas, el reservorio retiene importantes volúmenes de agua, reduciendo los picos y evitando las corrientes muy fuertes río abajo, que pueden desencadenar en inundaciones (Tucci, 2007).

Sin embargo, es poco común que se utilicen los embalses con el propósito exclusivo de prevenir inundaciones, sus usos más comunes son el abastecimiento de agua y la generación eléctrica, aunque también existen casos de usos múltiples que involucran la mitigación de los riesgos de desastres. Es de aclarar, que para que esto funcione, la gestión del embalse debe ser altamente eficiente, de lo contrario el mismo puede convertirse en un riesgo para las comunidades río abajo.

Plataformas o canchas de lodo: Se trata de una medida estructural, que procura la retención de lodos del caudal de un río frenando su avance. Se inicia con un aplanamiento del suelo del cauce, complementándose en ocasiones con un empedrado.

Estas plataformas se proponen para lugares donde existe riesgo de erosión del suelo del cauce, se pueden construir sobre el mismo lecho o a un lado de éste, para lo cual se requiere de una canalización que desvíe los lodos separándolos del agua limpia. Este es el caso aplicado en el proyecto Instalación y mejoramiento de los servicios de protección ante aluviones en la microcuenca de Ramuschaca, del distrito de Zurite, provincia de Anta, región Cusco (Instituto de manejo de agua y medio ambiente, Gobierno Regional de Cusco, 2013).

Disipadores de Energía: Estos tienen el objetivo de amortiguar la velocidad y la fuerza con la que el agua descende a lo largo de la cuenca, la cual tiene el potencial para erosionar y socavar el cauce. Además, la fuerza del agua implica un mayor impacto y destrucción en caso de inundación o aluvión. Para disipar esta fuerza, se puede recurrir a los disipadores de energía cinética, los cuales consisten en diferentes tipos de barreras físicas que alteran la velocidad del flujo del agua, reduciendo el impacto directo en el lecho.

Un ejemplo de estos disipadores son las presas SABO, que se emplean desde hace más de un siglo en Japón, estas presas construidas en acero y concreto y ubicadas en las zonas altas, disipan la energía por impacto filtrando sedimentos mientras dejan pasar el agua, “De esta forma bajo condiciones normales se permite el flujo de los sedimentos sin afectar la dinámica fluvial, pero en episodios de gran flujo de sedimentos, estos serán detenidos temporalmente por la presa para prevenir desastres aguas abajo” (Gómez Cortés, 2012).

Controladores Ribereños: Es una de las medidas más usadas en todo el mundo para reducir el riesgo de inundaciones, consiste en instalar barreras para proteger los centros poblados de las crecidas. Tienen como funciones reducir la velocidad de las corrientes, desviar la corriente de la orilla en caso de desbordes, pero, sobre todo, prevenir la erosión en los márgenes del cauce

y mantener así un ancho fijo para los tramos de la cuenca en donde hay asentamientos o desarrollos humanos.

La construcción de estos controladores depende de las características de cada cuenca, por lo que deben responder a un proceso técnico, que exige la realización de detallados estudios hidrológicos y geomorfológicos en aquellos tramos del río que presentan riesgo de sufrir erosión o desbordamientos.

2.2 MARCO TEÓRICO

Durante toda la historia de la humanidad, la acción de hombres y mujeres sobre el planeta nos ha convertido en uno de los más impactantes factores de transformación de los sistemas medioambientales. A través de las actividades humanas, se ha influenciado el funcionamiento de los sistemas naturales, modificándolos, introduciendo nuevos elementos, incluso llevando a la desaparición a algunos de estos componentes (Huang & Kadir, 2008). Con todo esto se ha modificado el curso natural de la evolución que deberían haber presentado estos componentes, al mismo tiempo que la humanidad se ha beneficiado de esas alteraciones, al punto de que no sería posible la existencia del hombre, tal como se concibe en la actualidad, sin las transformaciones de la naturaleza que han tenido lugar por este proceso (Booth & Byrne, 2011).

Además de los conceptos ya enunciados sobre la definición de una cuenca hidrográfica, al introducir la acción del hombre y sus implicaciones, se puede considerar una cuenca a partir de una visión integradora, como un sistema que involucra relaciones sociales y económicas, tanto como las biológicas y ambientales, cuya base territorial y ambiental es en si misma, en una capa meramente física, una red de drenaje superficial que fluye hacia una zona común en donde desemboca (Yudelson, 2010).

Por su parte Bernex (2006), aporta en su trabajo, sobre las diversas funciones de una cuenca hidrográfica las siguientes:

- Hidrológica, como la función de captar agua a partir de las precipitaciones, y conducirla por una red de drenaje, en la cual además mantiene la hidratación de las tierras a su alrededor.
- Ecológica, pues además de favorecer la vida vegetal y animal por medio de la conducción controlada de agua a las tierras circundantes, provee de hábitat directo a parte de la fauna y la flora, los cuales constituyen los elementos biológicos del ecosistema.
- Ambiental, al regular la carga hídrica dentro de los sistemas geológicos, regulando además los ciclos biológicos y químicos, que favorecen la conservación de la biodiversidad, constituyendo sumideros de carbono, y permitiendo que los suelos mantengan su diversidad y nutrición.
- Socioeconómica, pues garantizan el suministro de recursos naturales renovables y no renovables, en los que se basa el desarrollo de las diferentes actividades productivas alrededor de las cuales crecen y se conforman las comunidades, dando sustento a la población y proveyendo de espacios para el desarrollo social, cultural, lúdico y artístico de la comunidad.

Se puede extraer, a partir de las diferentes funciones propuestas por Bernex (2006), que los diferentes tipos de cuencas y subcuencas que se encuentran en un sistema hídrico, presentarán a su vez influencias diferentes en los diferentes elementos del sistema con los que interactúa.

De esta forma, puede afirmarse que las cuencas de alta montaña, también llamadas por Bernex (2006), como de cabecera, las cuencas de área media o mixtas, y las cuencas de desembocadura o planicie, se constituyen en trascendentales factores de control sobre los suelos, favoreciendo entre otras cosas, su textura, profundidad y permeabilidad, mientras que respecto al

clima están íntimamente relacionadas con los niveles de precipitación, la temperatura del ambiente y los vientos.

También las cuencas impactan sobre la litología, al tener influencia sobre el carácter, la composición y estructura de las rocas que se pueden encontrar en los lechos y los alrededores de la cuenca, la topografía y el relieve, pues el fluir del agua determina la relación entre la ladera y la pendiente, dando lugar a formaciones y accidentes geográficos.

Por último, influyen en la cobertura del suelo, la fisionomía y densidad de capa vegetal, y de paso, influyen a nivel socioeconómico en los diferentes usos que el ser humano termina dándole a los suelos, teniendo en cuenta factores de carácter del suelo, configuración e intensidad de nutrientes.

Como resultado de la cantidad de elementos que dependen de las cuencas hidrográficas, se hace fundamental que, a nivel político y social, que se generen planes bien estructurados para la proyección del manejo del recurso representado por las cuencas hidrográficas. Estos planes que reciben el nombre de Planes de Manejo Ordenamiento de una Cuenca, POMCA, deben estar orientados al ordenamiento de todos los elementos y recursos vinculados a la cuenca (Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, 2018). Deben incluir al menos unos objetivos claros, planes de trabajo, responsables, recursos adicionales no directos, y todos los demás elementos que garanticen el logro de los objetivos propuestos para el manejo de cada cuenca (Heathcote, 2009).

El propósito debe ser constituirse en el eje de las estrategias aplicables al manejo de los recursos hídricos, y con las relativas al uso de la tierra, de manera que se puedan aplicar de forma armónica y conjunta, permitiendo contribuir a la conservación del medio ambiente, del territorio, al desarrollo sostenible y sustentable de las comunidades, brindando beneficios integrales e integradores a las personas, incluido el abastecimiento directo de agua potable (Flores López, 2016).

Por otra parte, se debe tener en cuenta los fundamentos teóricos relativos a la modelación hidrológica, la cual es una herramienta de gran importancia para el estudio de los incrementos considerables y súbitos de los cursos de agua. Esta herramienta se ha extendido en la última década por todo el mundo, teniendo una mejor acogida, probablemente por consideraciones financieras, en los países desarrollados.

En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y diseño de estrategias para la prevención de inundaciones, además, es posible construir y dar manejo a hipótesis altamente realistas, que permitan prever con un cierto grado de certeza, los efectos de las avenidas, y permitir la toma de decisiones efectivas, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia.

Incluso, como resultado de estas modelaciones, se pueden generar alertas tempranas dirigidas a los servicios de protección civil y a los diferentes órganos estatales, y establecer así, protocolos de acción ante posibles situaciones de riesgo por intensas lluvias (Domínguez Dueñas, 2000).

Una de las herramientas de modelado de cuencas con las que se han dado pasos importantes para la obtención de hidrogramas de avenidas en diferentes zonas del planeta, es HEC-HMS, o sistema de modelación hidrológico del centro de ingeniería hidrológica del cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos de América.

Esta herramienta es ampliamente aplicada, teniendo en cuenta que es un programa computacional de acceso gratuito, y que ha tenido amplia utilización internacional en el estudio de las avenidas o incrementos repentinos de flujo de agua, que puedan producir afectaciones a los recursos ubicados en las riberas de los ríos. Este programa provee una variedad de alternativas para realizar la simulación de procesos de precipitación y escurrimiento, así como del transito de caudales (Fieldman, 2000).

2.3 MARCO JURÍDICO

Teniendo en cuenta que las cuencas hidrográficas son parte fundamental del desarrollo de la nación, así como de las comunidades que la integran, y que las decisiones políticas que Colombia adopta en materia ambiental, agropecuaria y demográfica, entre otras, terminan presentando un impacto en la salud y la calidad de las fuentes hídricas, al mismo tiempo que en las personas que las habitan, se ha desarrollado un marco legal para la observación, comprensión e intervención de los diferentes componentes propios de la hidrosfera en este país.

En Colombia actualmente se realizan esfuerzos propios de una segunda fase de actualización de los Planes de Ordenamiento Territorial, gracias al programa denominado “POT modernos”. El cual consiste básicamente en el programa para la modernización, reactivación y puesta en funcionamiento de los diferentes POT, especialmente al tener en cuenta que, de los 1102 municipios de Colombia, solo el 19% cuenta con un POT vigente a finales del año 2018.

Los Planes de Ordenamiento Territorial POT, nombre que reciben estos documentos para los 56 municipios con una población mayor a 100 mil habitantes, o los PBOT, Planes Básicos de Ordenamiento Territorial, presente en los 158 municipios de Colombia con una población entre los 30 y los 100 mil habitantes, y los EOT, Esquemas de Ordenamiento Territorial, los cuales aplican para el resto de los municipios del país los cuales cuentan con 30 mil habitantes o menos, son herramientas técnicas que poseen los entes territoriales, para planificar y ordenar su territorio.

En este ordenamiento, el manejo integrado de las cuencas hidrográficas, juega un papel preponderante, teniendo en cuenta que el agua es uno de los principales recursos que se requieren para el desarrollo sostenible de las comunidades, tanto a nivel económico, como social, cultural y político.

Los Planes de Ordenamiento Territorial están definidos por la Ley 388 de 1997, la cual los define como el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas, destinadas a orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo en Colombia (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014).

Es así como el POT se convierte en una carta de navegación, por medio de la cual los municipios definen el recorrido que se proponen hacer para favorecer el desarrollo integral de las comunidades, alrededor de los recursos como el suelo, y como parte de este, los recursos hídricos y las cuencas hidrográficas.

Por su parte, los planes de ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas POMCA reglamentados por el decreto 1729 de 2002, se constituyen en norma de mayor jerarquía en relación con los POT, con los que deben estar debidamente articulados. Estos deben constituirse en determinante ambiental para la elaboración y adopción de los POT, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997.

Una vez aprobado el POMCA de una cuenca hidrográfica que se localice en uno o varios municipios, estos deben ceñirse en sus ámbitos de competencia a lo definido en el plan, al momento de formular, revisar y/o adoptar el respectivo POT.

El Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca, POMCA, es el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos.

También se constituye en el marco para la planificación del uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos, dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o la restauración de la cuenca hidrográfica.

Por otro lado, Colombia cuenta con la Ley 1454 de 2011, denominada Ley de Ordenamiento Territorial, en donde se dictan normas para la organización político administrativa del territorio colombiano. Y que además enmarca el ejercicio en materia legislativa de las normas y disposiciones de carácter orgánico, que pretenden establecer los principios por los cuales se determina la estructura territorial del estado, las diferentes asignaciones en materia de responsabilidad sobre los recursos físicos de la nación. Para diferenciarla de esta última ley, a la ley 388 de 1997 se le conoce también como la Ley de Desarrollo Territorial.

En la misma materia, en el marco legal colombiano se encuentra vigente la Ley 23 de 1973, por medio de la cual se le concedieron facultades extraordinarias a la presidencia de la república de Colombia, para expedir el código de recursos naturales y protección al medio ambiente. El cual finalmente se concretó en el Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974.

Más recientemente, en la Ley 99 de 1993, se crea en Colombia el Ministerio del Medio Ambiente, se dictan disposiciones para el reordenamiento del sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA, entre otras medidas.

También se reconoce en el marco legal colombiano, la Ley 373 de 1997, por medio del cual se establecen normas para poner en marcha un programa que fomente el uso eficiente y ahorro del agua. El cual no solo aplica a nivel de los hogares o las empresas, sino que también involucra el sector agropecuario, el cual tiene un impacto más directo sobre las cuencas hidrográficas del país.

También se requiere tener en cuenta para el presente marco legal, el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022, el cual está consignado en los proyectos de ley 311 de 2019 de la Cámara de Representantes, y 227 de 2019 del Senado de la República, y el cual fue aprobado recientemente por el legislativo, pero este aún no entra en vigor, faltando revisión de

constitucionalidad por parte de la Honorable Corte Constitucional, y posteriormente la sanción presidencial, su promulgación y publicación.

El PND 2018 – 2022, ha sido denominado “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”, está considerado por el gobierno del señor presidente Iván Duque Márquez, como la hoja de ruta que establece los objetivos de gobierno, fijando programas, inversiones y metas para el cuatrienio. Propone mecanismos para evaluar sus resultados y pretende garantizar la transparencia en el manejo del presupuesto.

El PND 2018-2022, será el responsable de las condiciones económicas del país en materia del manejo integral de los recursos naturales, condicionando las estrategias y esfuerzos que se realicen en materia de intervención de las cuencas hidrográficas en Colombia, al encontrarse el actual gobierno trabajando y concertando, en conjunto con la Rama Legislativa y las fuerzas vivas y gremios del país, el Plan Nacional de Desarrollo que regirá por los próximos cuatro años.

El Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, de acuerdo con lo consignado en los respectivos proyectos de Ley, busca alcanzar la inclusión social y productiva, a través del emprendimiento y la legalidad. Legalidad como semilla, el emprendimiento como tronco de crecimiento y la equidad como fruto, para construir el futuro de Colombia.

Define la legalidad como seguridad efectiva y justicia transparente para que todos vivamos con libertad y en democracia. Consolidación del Estado Social de Derecho, para garantizar la protección a la vida, honra y bienes de todos los colombianos, así como el imperio de la Ley.

Así mismo el PND 2018 – 2022 define las siguientes líneas de acción:

- Seguridad, autoridad y orden para la libertad.

- Imperio de la ley y convivencia.

- Alianza contra la corrupción.

- Colombia en la escena global.

- Participación ciudadana

Por último, el Plan Nacional de Desarrollo que actualmente está terminando de cursar su camino legislativo para entrar en vigor, plantea una serie de pactos transversales, entre los que se incluyen pactos para definir las políticas públicas en las áreas de:

- Sostenibilidad.

- Construcción de Paz.

- Transformación digital de Colombia.

- Ciencia, Tecnología e innovación.

- Equidad de oportunidades para grupos indígenas, negros, afros, raizales, palenqueros y comunidad Romaní (Rrom).

- Descentralización.

- Equidad para las mujeres.

- Calidad y eficiencia de servicios públicos.

- Inclusión de todas las personas con discapacidad.

- Transporte y logística.

- Gestión pública efectiva.

- Recursos minero energéticos.

- Protección y promoción de nuestra cultura y desarrollo de la Economía Naranja.

La creación y prosperidad de empresas y emprendimientos en el sector de los servicios, especialmente las apoyadas en las nuevas tecnologías, están contempladas en varios de los principales ejes del Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022, y puntualmente en los relacionados con logística, tecnologías y economía naranja.

Como puede extraerse de los planteamientos preliminares del PND, parte de lo definido como hoja de ruta para los próximos años en materia de desarrollo, involucra entre otros muchos elementos, el control de los recursos con que cuenta el país, entre los cuales por supuesto, se encuentran los recursos hídricos, tales como las cuencas y en general el sistema fluvial del país.

2.4 MARCO GEOGRÁFICO

La subcuenca del río Chicú se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca en Colombia, a una distancia de Bogotá D.C. capital del país, de 45 kilómetros. Limita por el norte con parte del municipio de Tabio, al occidente con los municipios de Subachoque, el Rosal y Madrid, al oriente con los municipios de Cajicá, Chía y Cota, y al sur con parte del municipio de Tenjo.

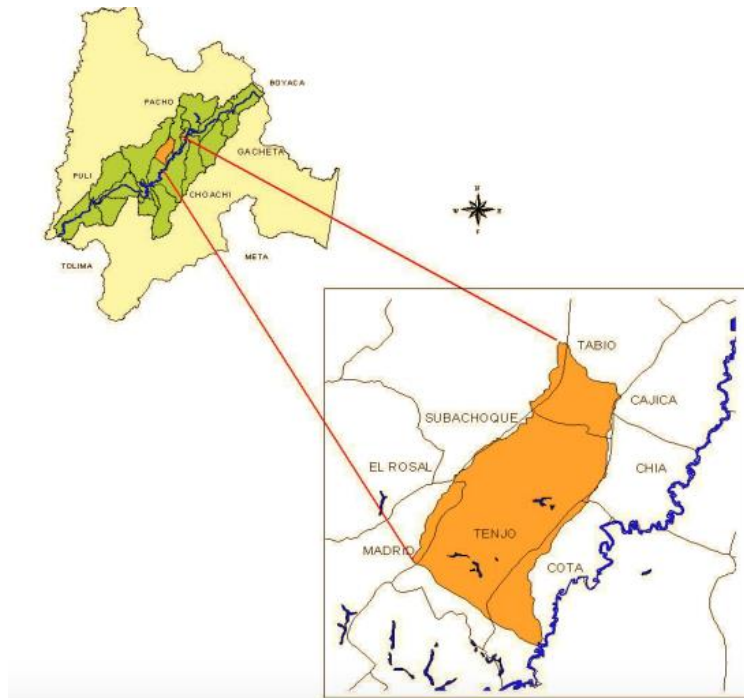


Figura 1. Localización de la subcuenca del río Chicú. Fuente CAR.

La subcuenca incluye zonas rurales de los municipios Cajicá, Chía, Cota, Madrid y Subachoque realiza parte de su trayectoria pasando por zonas urbanas de los municipios de Tabio y Tenjo en el departamento de Cundinamarca. El área total de la cuenca es de 14188.8 hectáreas y el cauce principal tiene una longitud de 26,3 kilómetros (Planeación ecológica Ltda., 2012).

El río Chicú hace parte de la cuenca alta del río Bogotá, en el sector meridional de la provincia fisiográfica de la cordillera Oriental colombiana. La planicie aluvial de la subcuenca está demarcada por el relieve montañoso de la cordillera de Los Monos, la Cuchilla Canica, la Peña de Juaica, El Cerro, La Costurera y el Monte Pincio.

Presenta una altitud media de 2630 msnm, que se caracteriza por tener un clima frío húmedo, con temperatura media de 12 grados centígrados, que favorece la presencia de diversidad de paisajes y ecosistemas.

Esta subcuenca está catalogada como de vocación agropecuaria y ecológica. La explotación agrícola intensiva que se ha desarrollado en la última década, ha agotado las fuentes hídricas de la subcuenca; presentándose un déficit que ha limitado la continuidad de la agricultura y la ganadería.

La economía de la subcuenca se centra en la floricultura y cultivos transitorios de papa, maíz, arveja y zanahoria. Adicionalmente existen cinco minas de materiales de construcción que contribuyen al crecimiento económico de la cuenca, y que alteran significativamente el paisaje.

El eje turístico de la subcuenca del río Chicú, lo consolidan las fuentes termales localizadas en el municipio de Tabio y la Peña de Juaica, en el municipio de Tenjo. Las facilidades viales permiten el flujo turístico en la subcuenca, mediante la autopista Norte y la autopista Medellín, que comunican la subcuenca con Bogotá.

El potencial natural de la subcuenca, se encuentra en las áreas de reservas naturales, en las zonas anexas al río Chicú, y las zonas de protección y conservación del distrito de manejo integrado del centro de Juaica, el cerro “El Majui”, los humedales, los espejos de agua y las quebradas.

La gran cantidad de empresas agroindustriales intensifican el desplazamiento de mano de obra, que fortalecen la participación económica con la recepción de población flotante en las empresas de flores, que se encuentran en la zona.

La subcuenca del río Chicú, posee gran riqueza y oferta a nivel forestal, hídrico y faunístico; lo que ha permitido establecer 308 especies de aves, 51 mamíferos, 15 de anfibios, 19 de reptiles y 11 especies de peces (Planeación ecológica Ltda., 2012).

2.5 ESTADO DEL ARTE

Para comenzar, se toma como referencia el trabajo de investigación realizado por Conde (2012), denominado Gestión de cuencas, de la prevención de inundaciones a la gestión integral del ciclo del agua. En este trabajo se propuso demostrar el impacto que tiene el correcto uso de herramientas tecnológicas, en los procesos de gestión y toma de decisiones, relacionados con el manejo de los recursos hídricos y en particular las cuencas hidrográficas.

Concluyendo que el permanente avance de estas tecnologías, implica trabajar en busca de la optimización de esos sistemas de información, siguiendo normas de amplia aceptación o recomendaciones internacionales como el caso de ITIL (Information Technology Infrastructure Library), lo que permite alcanzar un abaratamiento de los costos, y de explotación y mantenimiento de los sistemas.

En el mismo sentido, se incluye como referente el trabajo de investigación elaborado por López (2016), el cual se denomina Estrategias de mitigación y control de inundaciones y aludes torrenciales en el Estado Vargas y en el Valle de Caracas: situación actual y perspectivas futuras. En este trabajo se toma como punto de partida los aludes torrenciales que se produjeron en el año 1999 en el Estado de Vargas, en Venezuela, y que dejaron aprendizajes importantes a los venezolanos en relación a la gestión y oportuna toma de decisiones para la prevención de desastres relacionados a las cuencas hidrográficas.

En ese trabajo se discuten las diferentes posibles estrategias de mitigación contra aludes torrenciales, estableciendo claridad en cuanto a la diferencia entre las medidas estructurales y no estructurales. Se revisan, además, las medidas que se están implementando en el estado de Vargas Venezuela, y en el valle de la ciudad de Caracas, y se recomiendan acciones para orientar

los esfuerzos que se están actualmente realizando para la protección de la cuenca y los recursos a su alrededor.

A continuación, se toma el trabajo de Cárdenas (2018), en donde se toma como referencia las cuencas y subcuencas del sistema fluvial del departamento de Arauca en Colombia, el cual describen como de alta inestabilidad y vulnerabilidad, en particular en los meses comprendidos entre mayo y agosto, por la frecuencia y potencia de las lluvias de esta época del año.

En el trabajo Cárdenas (2018), resalta cómo es importante conocer el nivel de agua que transportan los ríos, en particular en la época de invierno, para poder plantear adecuadas estrategias de prevención y mitigación del riesgo, y evitar así las pérdidas económicas y de vidas que se pueden presentar por los desastres relacionados a las cuencas de los ríos.

Concluye que la tendencia mundial se dirige a la medición permanente y en tiempo real del estado de las cuencas, pero que, debido al alto costo de las tecnologías involucradas, se hace necesario el diseño de un sistema de alerta temprana, basado en modelado de cuencas, que tenga en cuenta las particularidades de un sistema de cuencas hidrográficas en general, y en particular el de los afluentes pertenecientes al sistema fluvial del departamento de Arauca.

Así mismo, se toma como referencia el trabajo de Miranda (2018), denominado Identificación y evaluación de la zona de riesgo de inundación, en la cuenca baja del Arroyo Xhosda, en San Juan del Río, Querétaro. En este trabajo se aplica un metódico procedimiento de análisis, a la cuenca mencionada del Arroyo Xhosda, teniendo en cuenta el riesgo existente de inundación potenciado por el desgaste de la cuenca por acción de la actividad humana.

De igual forma, Miranda (2018), propone en su trabajo una serie de medidas de intervención para evitar que se vuelvan a presentar hechos lamentables como los ocurridos ya en 2010, en donde se presentaron pérdidas en infraestructura urbana, y la afectación a por lo menos

10 mil personas que resultaron damnificados por causa del rompimiento del Bordo Benito Juárez.

Para la identificación y análisis del riesgo de inundación, se implementó el uso de Sistemas de Información Geográfica, SIG, particularmente de ArcMap de ArcGIS y software Flo-2D, así como herramientas de análisis espacial, que permiten generar procesos y cartografía detallada del riesgo de inundación, mediante información geoespacial, datos bibliográficos y de campo.

Por último, se toma como referencia el trabajo de Arreguín, López y Marengo (2016), denominado Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. En el cual se describen los eventos naturales que causaron pérdidas, tanto en términos de vidas humanas, como en recursos económicos y naturales, en el planeta durante el año 2015, contabilizando un total de 1060 casos, información obtenida por Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, y entre los cuales destacan los hidrológicos y los climatológicos.

Resaltan con preocupación el aumento significativo de los eventos hidrológicos catastróficos, el cual ha tenido un incremento de dos veces y media entre 1980 y 2012. Determinando que varios factores pueden estar incidiendo en el incremento de las inundaciones, y de entre ellos deciden destacar la ausencia o debilidad del ordenamiento territorial, y los efectos del cambio climático global sobre el ciclo hidrológico.

El trabajo concluye presentando propuestas de intervención desde lo político, lo administrativo, lo social y lo cultural, para procurar establecer una consciencia sobre la importancia de la prevención, pero sobre todo de la organización y adecuada planeación para el uso de los recursos, en particular del suelo en relación con los sistemas hidrológicos, que permitan una sostenibilidad de la explotación del recurso en el tiempo.

3 ESTUDIO Y DISEÑO DE LA ADECUACIÓN HIDRÁULICA DEL RIO CHICÚ

3.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

La información en la cual se fundamenta la estimación hidrológica para el presente diseño, se obtiene a partir de datos registrados por estaciones hidrométricas sobre el cauce en estudio. Los caudales se obtienen por método deductivo, por medio de un análisis de frecuencias a partir de la información de estas estaciones. Dichos caudales son posteriormente objeto de validación al comparar los rendimientos hídricos de cuencas hermanas, como lo es la cuenca del río Subachoque, que se encuentra debidamente instrumentada. Una vez validados los rendimientos desde la cuenca hermana, se lleva a cabo una transposición de caudales para estimar los niveles en diferentes puntos a lo largo del tramo de cauce estudiado.

Para llevar a cabo el análisis de frecuencias se seleccionó la estación “Las Mercedes”, ubicada en la parte alta de la cuenca del río Chicú. Siendo ésta una de las estaciones de monitoreo tipo limnimétricas ubicadas en la cuenca, pero siendo la única que está activa.

Por otra parte, para lograr una validez y confiabilidad suficiente de los datos obtenidos de la estación seleccionada, en la cuenca hermana del río Subachoque se seleccionaron las estaciones hidrométricas más cercanas que presentaran un periodo de registros de mínimo 20 años sobre el cauce principal, con el fin de generar curvas estadísticas de ajuste, determinando de esta forma caudales máximos instantáneos asociados a periodos de retorno.

La validación que se realiza por medio de la información de la cuenca del río Subachoque, se debe a que ésta cuenta con características topográficas, geográficas, e hidrológicas similares, permitiendo establecer un paralelo de sus rendimientos hídricos. Para este fin se utilizaron las estaciones limnimétricas “La Pradera”, “Puente Manrique” y “La Muralla”. Estas estaciones se encuentran administradas por la Corporación Autónoma Regional de

Cundinamarca CAR y cuentan con periodos de registros de hasta 49 años. En la Figura 2 se muestran las estaciones utilizadas.

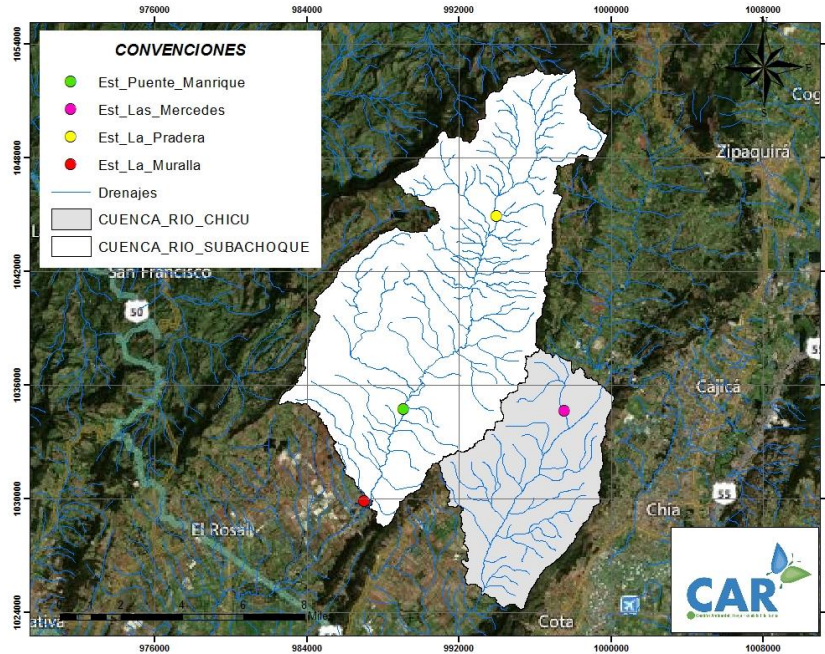


Figura 2. Estaciones utilizadas para el estudio. Fuente: CAR Cundinamarca

3.1.1 DELIMITACIÓN DE CUENCAS APORTANTES

La delimitación de las zonas que aportan su caudal en cada punto es importante en el sentido de que permite la determinación del área, el cual es un parámetro fundamental en la metodología de transposición de caudales. La delimitación se realizó utilizando la información del modelo de terreno obtenido de las imágenes satelitales de la NASA y por medio de las plataformas GIS.

3.1.2 CUENCAS APORTANTES RIO CHICÚ

3.1.2.1 Cuenca de la estación “Las Mercedes”

La estación “Las Mercedes”, hace referencia al punto de registro sobre el río Chicú en su cuenca alta, ubicada en el municipio de Tabio, cerca a la vereda Parcelación de Termales. Los caudales aportantes de esta zona se estimarán a partir de los ajustes probabilísticos de la estación limnimétrica “Las Mercedes”. Cabe resaltar que esta estación es la única activa que se encuentra sobre el río Chicú en el área de estudio, por lo cual, la estimación del caudal en el punto aguas abajo de la zona donde termina la intervención, se obtiene a partir de la transposición de caudales. La cuenca trazada se muestra en la Figura 3.

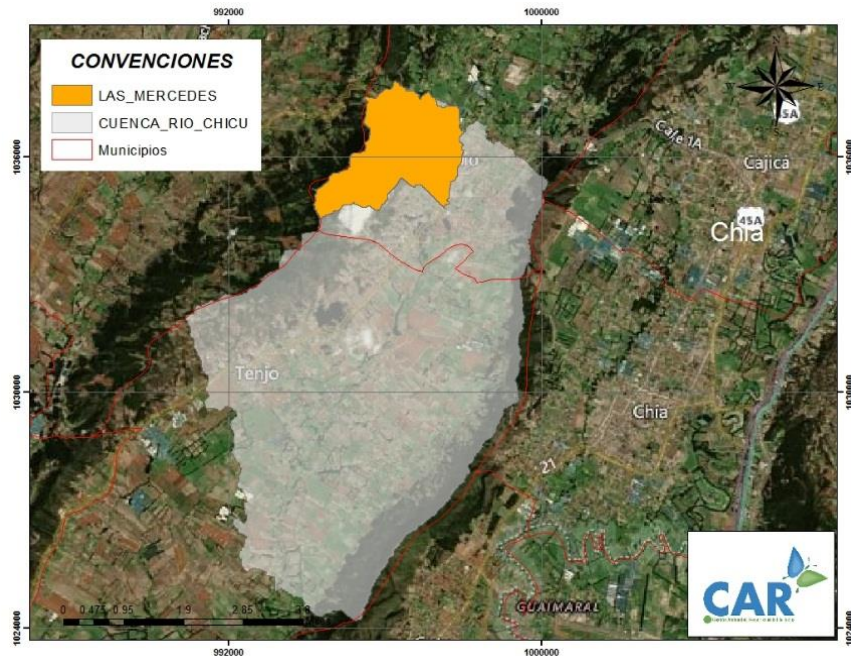


Figura 3. Localización de la cuenca de la estación “Las Mercedes”. Fuente: CAR Cundinamarca

3.1.2.2 *Cuencas aportantes a los puntos de inicio y fin de la adecuación*

Para lograr la transposición de caudales desde los sitios con caudal conocido hacia los sitios de interés, se determinaron las áreas aferentes a los puntos de inicio y fin de la adecuación hidráulica con coordenadas MAGNA SIRGAS 995512.99E 1030754.99N y 992922.99E 1024394.99N correspondientemente. Estas áreas trazadas se muestran en la Figura 4, en la cual se resalta en color púrpura la cuenca aportante al punto de finalización de la adecuación y en blanco el correspondiente a la iniciación de la misma.

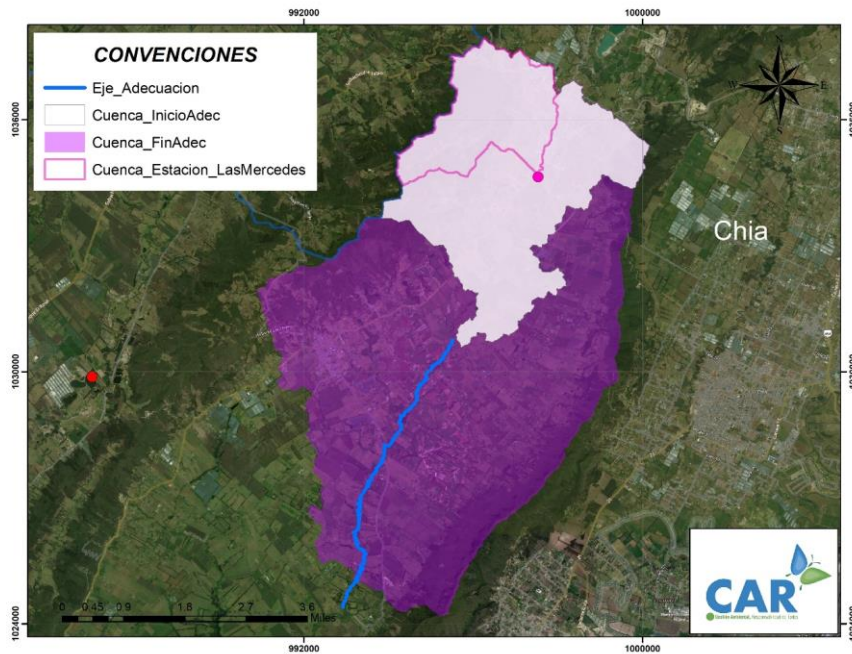


Figura 4. Cuencas aportantes a los puntos de inicio y fin de la adecuación. Fuente: CAR Cundinamarca

3.1.3 CUENCAS APORTANTES RIO SUBACHOQUE

Las siguientes estaciones se localizan sobre la cuenca del río Subachoque, la cual se toma como cuenca hermana del río Chicú.

3.1.3.1 Cuenca de la estación “Puente Manrique”

La estación “Puente Manrique” está ubicada sobre la cuenca baja del río Subachoque en mediaciones de la vereda “El Hato”, en el municipio de Subachoque. Los caudales aportantes de esta zona se estimarán a partir de los ajustes probabilísticos de la estación limnimétrica “Puente Manrique”. La cuenca trazada se muestra en la Figura 5.

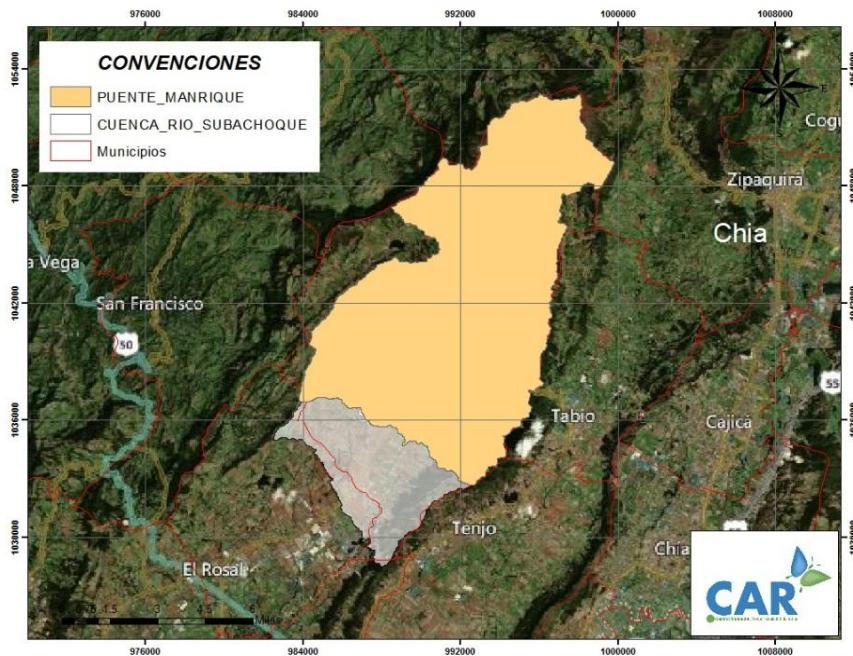


Figura 5. Localización de la cuenca de la estación PUENTE MANRIQUE. Fuente: CAR Cundinamarca

3.1.3.2 Cuenca de la Estación “La Muralla”

Esta estación hace referencia al punto de cierre de la cuenca del río Subachoque, en mediaciones de la vereda “Santa Ana” en el municipio de Subachoque. Los caudales aportantes de esta zona se estimarán a partir de los ajustes probabilísticos de las estaciones limnimétricas “La Muralla”. La cuenca trazada se muestra en la Figura 6.

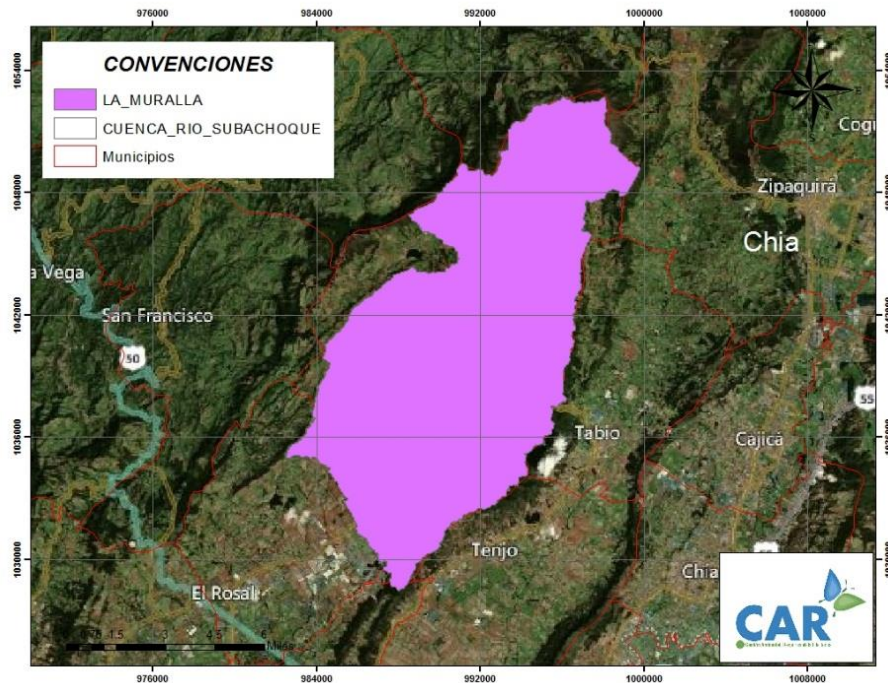


Figura 6. Localización de la cuenca de la estación LA MURALLA. Fuente: CAR Cundinamarca

3.1.3.3 Cuenca de la estación “La Pradera”

Esta estación corresponde a la cuenca alta del río Subachoque, en cercanías al casco urbano de la vereda “La Pradera” en el municipio de Subachoque. Aunque para esta estación se realizó el mismo análisis que para las demás, los valores registrados generaron, a través del análisis de frecuencias, caudales poco representativos de la zona. Aunque el periodo de registro

de la estación no es insuficiente, es posible que exista algún tipo de inconsistencia en la operación o en la calibración de la estación. Por lo anterior esta estación no se tuvo en cuenta para el análisis hidrológico. La cuenca trazada se muestra en la Figura 7.

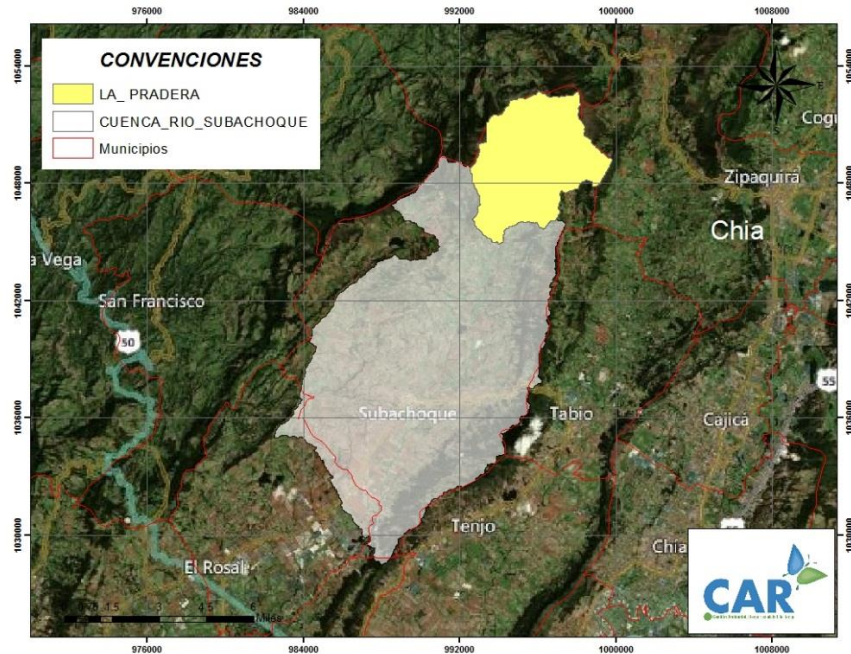


Figura 7. Localización de la cuenca de la estación LA PRADERA. Fuente: CAR Cundinamarca

3.1.4 RESUMEN ÁREAS DE CUENCAS

Las áreas de las cuencas trazadas previamente se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Área de las cuencas delimitadas en la cuenca hermana del río Chicú

ESTACIÓN	ÁREA CUENCA (Km ²)
LAS MERCEDES	7.3
PTE MANRIQUE	156.4
LA MURALLA	192.4
LA PRADERA	34.5

3.2 INFORMACIÓN DE ESTACIONES

Las estaciones, ya sea que estas proporcionen datos de precipitación o de caudal, son el insumo principal para el análisis hidrológico del sitio de estudio, correspondiente al diseño de adecuación hidráulica para el río Chicú en el tramo especificado. Como se ha mencionado antes, se utilizarán estaciones sobre las cuencas del río Chicú y del río Subachoque para la estimación y validación de caudales extremos.

3.2.1 ESTACIONES MEDIDORAS DE CAUDAL

3.2.1.1 Análisis de Frecuencia de Caudales Máximos a Nivel Mensual Multianual en las Estaciones limnimétricas Puente Manrique, La Muralla y Las Mercedes

El análisis de frecuencia es una herramienta útil para predecir el comportamiento futuro de los caudales de un sistema hídrico fluvial, en un sitio de interés particular, a partir de la información histórica de los caudales. Está basado en procedimientos estadísticos que permiten calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno “Tr”. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica de datos, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada. Cuando se pretende realizar extrapolaciones (períodos de retorno mayores que la longitud de la serie disponible).

Para determinar la magnitud de eventos extremos en los caudales, cuando la distribución de probabilidades no es una función fácilmente invertible, se requiere conocer la variación de la variable respecto a la media. Es posible determinar esta variación, a partir de un factor de frecuencia K_T :

$$X_T = \mu + K_T \sigma \quad (1)$$

La cual puede aproximarse como:

$$X_T = \bar{X} + K_T \sigma$$

En el evento en que una variable analizada sea:

$$y = \log x$$

Se aplica el mismo método a las estadísticas para los logaritmos de los datos, utilizando:

$$Y_T = \bar{y} + K_T \sigma_y$$

Y el valor requerido de X_T , se encuentra tomando el antilogaritmo de Y_T

La ecuación del factor de frecuencia (1), fue propuesta por Chow (1951), y se aplica a muchas distribuciones de probabilidad utilizadas en el análisis de frecuencia hidrológica.

El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros estadísticos requeridos para una o varias distribuciones de probabilidad propuestas y determinar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un período de retorno dado.

Conocidos los registros de caudales máximos para el período homogéneo de registros entre los años 1991 a 2014 de las estaciones limnimétricas Puente Manrique y La Muralla y Las Mercedes, se ha procedido a realizar un análisis de frecuencias de los datos obtenidos ajustándolos a diferentes distribuciones probabilísticas, para de esta manera obtener los caudales máximos instantáneos asociados a períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

A los datos históricos de caudales máximos mensuales, que pueden encontrarse en las tablas, a las cuales se les aplicaron estimaciones estadísticas como la media, mediana, coeficiente de asimetría y desviación estándar. Las tablas pueden ser estudiadas en los Anexos 1, 2 y 3.

Posteriormente los datos multianuales de las tablas se ajustaron a las distribuciones probabilísticas Gumbel, Normal, Log - Normal, Pearson Tipo III y Log – Pearson Tipo III, a través de métodos estadísticos convencionales.

Gracias a los ajustes aplicados se logra determinar, mediante cada función de probabilidad y los factores de frecuencia, caudales para un periodo de retorno seleccionado. En la siguiente tabla se presentan los valores de caudal máximo mensual para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años obtenidos a partir de los ajustes para cada distribución de probabilidad.

Tabla 2. Resultados de ajuste de los registros a distintas distribuciones de probabilidad

Tr Años	NORMAL m³/s	GUMBEL m³/s	PEARSON m³/s	LOG- PEAR m³/s	LOG-NOR m³/s	EV3 m³/s
2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2
5	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6	0.7

10	1.1	1.3	1.1	1.0	0.9	1.1
20	1.3	1.7	1.5	1.2	1.3	1.5
50	1.6	2.1	2.1	1.4	2.0	2.1
100	1.7	2.5	2.6	1.6	2.6	2.6

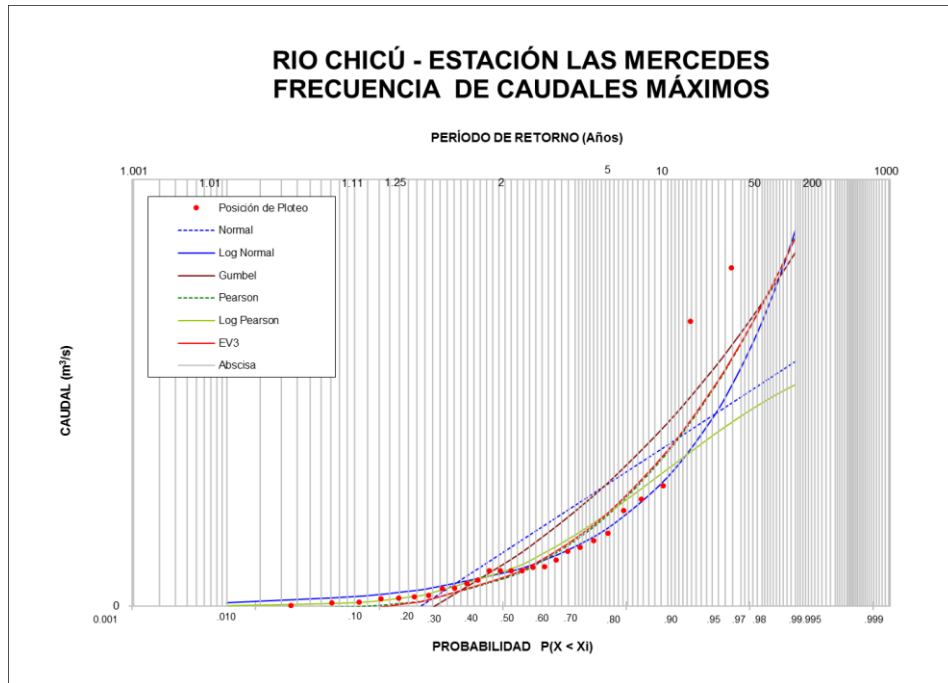


Figura 8. Ajustes Probabilísticos de Caudales Máximos Generadas para la Estación Las Mercedes. Fuente: Los autores.

Debido a la forma característica de cada distribución de probabilidad, los caudales estimados a través de cada una de ellas, para un mismo periodo de retorno, difieren entre sí. Sin embargo, las diferentes distribuciones se adaptan a los datos históricos con un nivel de ajuste determinado. Por lo anterior es necesario realizar una prueba de bondad de ajuste a cada distribución con cuyos resultados se seleccione la distribución de probabilidad que mejor explica el comportamiento de los datos históricos.

3.2.1.2 Prueba de Bondad de Ajuste

La bondad del ajuste de una distribución de probabilidad puede probarse comparando los valores teóricos y muestrales de las funciones de frecuencia relativa o de frecuencia acumulada.

Para el presente trabajo, se ha procedido a verificar cual es la distribución probabilística que mejor ajusta los registros medidos en las estaciones seleccionadas para el estudio, mediante prueba Chi-Cuadrado, X^2 .

- **Prueba Chi-Cuadrado (X^2):**

Es utilizada para determinar si una muestra proviene de una población con una distribución específica, y se define como:

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Dónde:

O_i : Es la frecuencia observada.

E_i : Es la frecuencia esperada, y calculada:

$$E_i = F(X_2) - F(X_1)$$

Dónde:

F : Es la función de distribución acumulativa de la distribución de probabilidad de ser probado, y X_1, X_2 , son los límites del intervalo i .

Aunque no existe una elección óptima para el número (k), hay varias fórmulas que se pueden utilizar para calcular este número basado en el tamaño de la muestra (N). Para el estudio se emplea la siguiente fórmula:

$$k = 1 + \log_2 N$$

Los datos se pueden agrupar en intervalos de igual probabilidad o anchura.

La hipótesis nula y alternativa es:

Ho: Los datos siguen la distribución especificada.

Ha: Los datos no siguen la distribución especificada.

La hipótesis sobre la forma de distribución se rechaza al nivel de significancia elegido (α) si el resultado es mayor que el valor crítico se define como:

$$X^2_{1-\alpha, k-1}$$

Es decir, la función de distribución acumulativa inversa Chi-Cuadrado con $k-1$ grados de libertad y un nivel de significancia α . Aunque el número de grados de libertad se puede calcular como $Kc-1$, donde c es el número de parámetros estimados, calcula como $k-1$ ya que este tipo de prueba es menos propensa a rechazar el ajuste en el error.

Los valores fijos de α (0.01, 0.05, etc.) se utilizan generalmente para evaluar la hipótesis nula (Ho) en varios niveles de significancia. Un valor de 0.05 es usado comúnmente para la mayoría de aplicaciones, sin embargo, en algunos sectores críticos, un menor valor de α se puede aplicar.

P-Valor: a diferencia de los valores fijos α , se calcula sobre la base de la estadística de prueba, y denota el valor umbral del nivel de significancia en el sentido de que la hipótesis nula (H_0) será aceptada para todos los valores de α menos de la P-valor. Por ejemplo, si $P = 0.025$, la hipótesis nula será aceptada en todos los niveles de significancia inferior a P, es decir, 0.01, 0.02, y rechazado en los niveles superiores, incluyendo 0.05 y 0.1.

El P-valor, puede ser útil, en particular, cuando la hipótesis nula es rechazada en todos los niveles de significancia predefinidas, y se necesita saber el nivel en que podría ser aceptada.

3.2.1.3 Caudales Máximos Instantáneos a Nivel Mensual Multianual en las Estaciones limnimétricas Puente Manrique y La Muralla y Las Mercedes

Teniendo en cuenta el análisis de frecuencia realizado previamente para los caudales máximos de las estaciones Puente Manrique, La Muralla y Las Mercedes, se realiza la prueba de bondad de ajuste a las distribuciones de probabilidad, se definen los caudales máximos instantáneos en el sitio de la estación a partir de los resultados de la prueba de bondad y de la observación gráfica del ajuste de las diferentes distribuciones a los registros.

A continuación, se muestran las distribuciones de frecuencia y los ajustes probabilísticos de las estaciones seleccionadas.

Las Mercedes

Las distribuciones de ajustes probabilísticos de caudales máximos generadas para la estación Las Mercedes se presenta en la Figura 9.

Los caudales máximos instantáneos resultantes para diferentes periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, en el sitio de la estación Las Mercedes se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Distribuciones de frecuencia para caudales máximos generadas para la estación Las Mercedes

Tr	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
Años	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
2	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2
5	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6	0.7
10	1.1	1.3	1.1	1.0	0.9	1.1
20	1.3	1.7	1.5	1.2	1.3	1.5
50	1.6	2.1	2.1	1.4	2.0	2.1
100	1.7	2.5	2.6	1.6	2.6	2.6
chi²	0.4	-0.5	1.1	1.9	1.4	0.6

Teniendo en cuenta los resultados consignados en a la Tabla 3 y a la Figura 8, se selecciona el mejor ajuste para la estación. De acuerdo con la prueba de bondad de ajuste el error general, entre los registros y los valores de los ajustes, es menor para la distribución Normal (0.4), sin embargo, la proyección en periodos de retorno altos resulta más adecuada con el ajuste de la distribución GUMBEL. Se procede entonces a seleccionar este ajuste, debido a que el objetivo del análisis de frecuencias está enfocado a la extrapolación de valores más no a la interpolación de estos.

Puente Manrique

Las distribuciones de ajustes probabilísticos de caudales máximos generadas para la estación Puente Manrique se presenta en la Figura 9.

Los caudales máximos instantáneos resultantes para diferentes periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, en el sitio de la estación Puente Manrique se presentan en la Tabla 44.

Tabla 4. Distribuciones de frecuencia para caudales máximos generadas para la estación Puente Manrique

Tr	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG-PEAR	LOG-NOR	EV3
Años	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
2	11.4	10.4	10.7	10.2	9.8	10.6
5	17.0	17.3	16.7	16.9	15.5	16.9
10	19.9	21.9	20.3	21.0	19.7	20.5
20	22.4	26.3	23.4	24.6	24.0	23.6
50	25.1	32.0	27.3	28.9	30.0	27.2
100	26.9	36.3	30.0	31.7	34.8	29.6
chi 2	-2.0	2.5	2.7	2.0	6.1	2.3

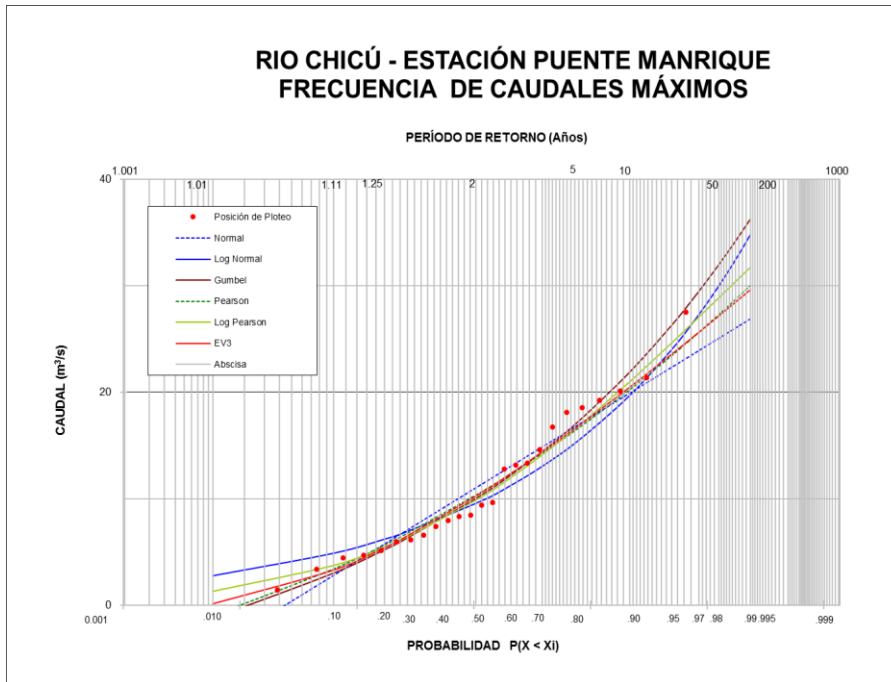


Figura 9. Ajustes Probabilísticos de Caudales Máximos Generadas para la Estación Puentes Manrique. Fuente: Los autores

Siguiendo el mismo razonamiento llevado a cabo para la estación Las Mercedes, para la estación Puentes Manrique se seleccionó la distribución de valores extremos GUMBEL para el estudio.

La Muralla

Los caudales máximos instantáneos resultantes para diferentes periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, en el sitio de la estación La Muralla se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Distribuciones de frecuencia para caudales máximos generadas para la estación La Muralla

Tr	NORMAL	GUMBEL	PEARSON	LOG- PEAR	LOG- NOR	EV3
Años	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
2	7.7	6.9	7.1	8.4	6.6	7.1
2.5	8.8	8.2	8.3	9.9	7.6	8.3
3.33	10.1	9.6	9.6	11.2	8.8	9.7
5	11.5	11.5	11.3	12.3	10.5	11.4
10	13.6	14.6	13.8	13.0	13.4	14.0
20	15.2	17.5	16.0	13.1	16.4	16.1
50	17.1	21.3	18.8	13.1	20.5	18.7
100	18.4	24.1	20.7	13.3	23.9	20.5
chi 2	1.4	2.1	2.4	12.2	8.2	3.0

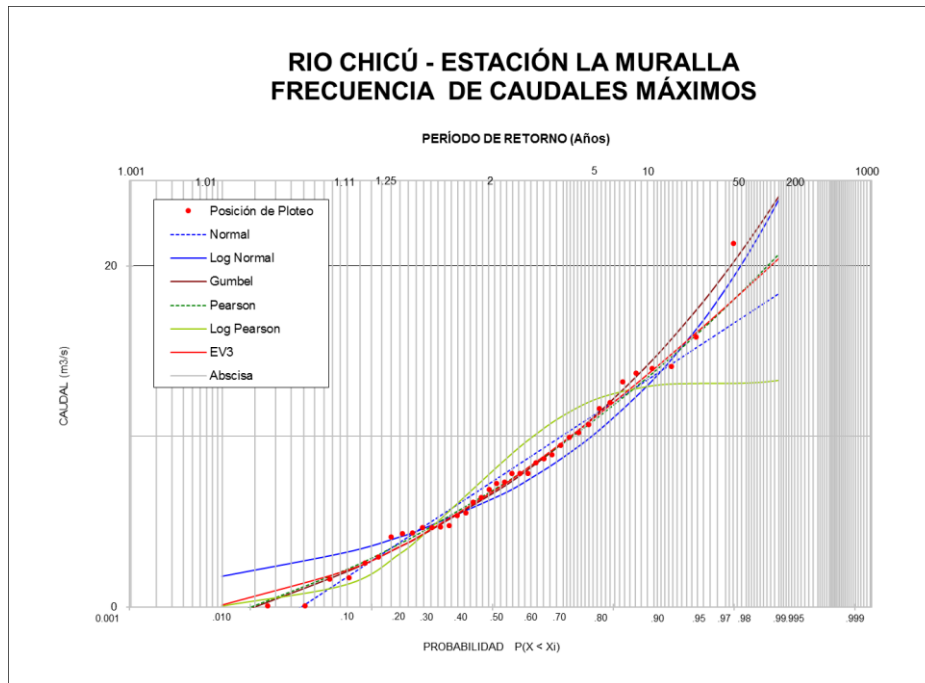


Figura 10. Ajustes Probabilísticos de Caudales Máximos Generadas para la Estación La Muralla. Fuente: Los autores

Al igual que en los casos anteriores, los datos de la estación La Muralla para periodos de retorno altos son explicados de una mejor manera a través de la distribución GUMBEL para valores extremos.

Los ajustes encontrados para las estaciones sobre la cuenca del río Subachoque se utilizarán para validar los rendimientos hídricos de la cuenca del río Chicú en el sitio de estudio una vez se haya realizado la trasposición de caudales.

3.2.2 ESTACIONES MEDIDORAS DE PRECIPITACIÓN

En la zona de estudio se encuentran estaciones que miden valores de precipitación, entre estas se utilizaron estaciones de tipo pluviográfica, pluviométrica, meteorológica, climatológica ordinaria y climatológica principal que son operadas en su mayoría por la CAR y en menor parte por el IDEAM. Las estaciones utilizadas en el análisis de las lluvias se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Estaciones medidoras de precipitación utilizadas en el análisis de lluvias

FID	IDEAM	CAR	CFE	CODIGO	ESTACIÓN	TIPO
0		X		2120077	TORCA	PM
1	X			2120078	POTRERO LARGO	PM
2		X		2120096	CONSUELO EL	PG
3	X			2120119	LAGUNITAS	PM
4		X		2120134	PARQUE SOPO	PG
5		X		2120139	MADRID	PM
6	X			2120162	SUESCA	PM
7		X		2120173	CAMPOBELLO	PM
8		X		2120185	TRIBUNA LA	PG
9		X		2120186	MARIA LA FCA	PG
10		X		2120187	BOMBAS SESQUILE	PG
11		X		2120516	RAMADA LA	CO
12	X			2120542	TIBAITATA	AM
13		X		2120565	TABIO	CP
14	X			2120606	CASA BLANCA	ME
15		X		2120629	VENECIA	CP
16		X		2120633	BARRANCAS	ME
17			X	2306006	ICALI	PM
18	X			2306018	PENOL EL	PM

19		X		2306033	AGUA FRIA	PM
20		X		2306034	SAN ISIDRO	PM
21			X	2306514	SANTA BARBARA	CP
22			X	2306515	SANTA ROSITA	CP
23		X		2312019	PINOS LOS	PM
24	X			2312515	VILLA GOMEZ	ME
25		X		2401030	HATILLO EL	PM
26		X		2401055	HATO 4 EL	PM
27		X		2401056	HATO 5 EL	PM

3.2.2.1 Análisis del Parámetro de Precipitaciones Totales Anuales y Generación del Mapa de Isoyetas

Debido a que la metodología escogida para la determinación de caudales en el sitio de interés corresponde a la transposición de caudales; como se menciona en el numeral 3.3 es necesario determinar la precipitación media para cada cuenca definida en el área de estudio. Para lograr la precipitación media en cada cuenca se realiza una espacialización de las lluvias a partir de los valores de la precipitación total anual en las estaciones analizadas.

La precipitación sobre determinadas cuencas tiene un comportamiento que varía tanto temporal como espacialmente. La estimación de la precipitación media en una cuenca tiene en cuenta la distribución espacial de la misma, para lo cual se utiliza información de las estaciones mencionadas anteriormente.

En la Figura 11 se muestran las curvas isoyetas generadas para la cuenca en estudio, es decir la espacialización de la lluvia.

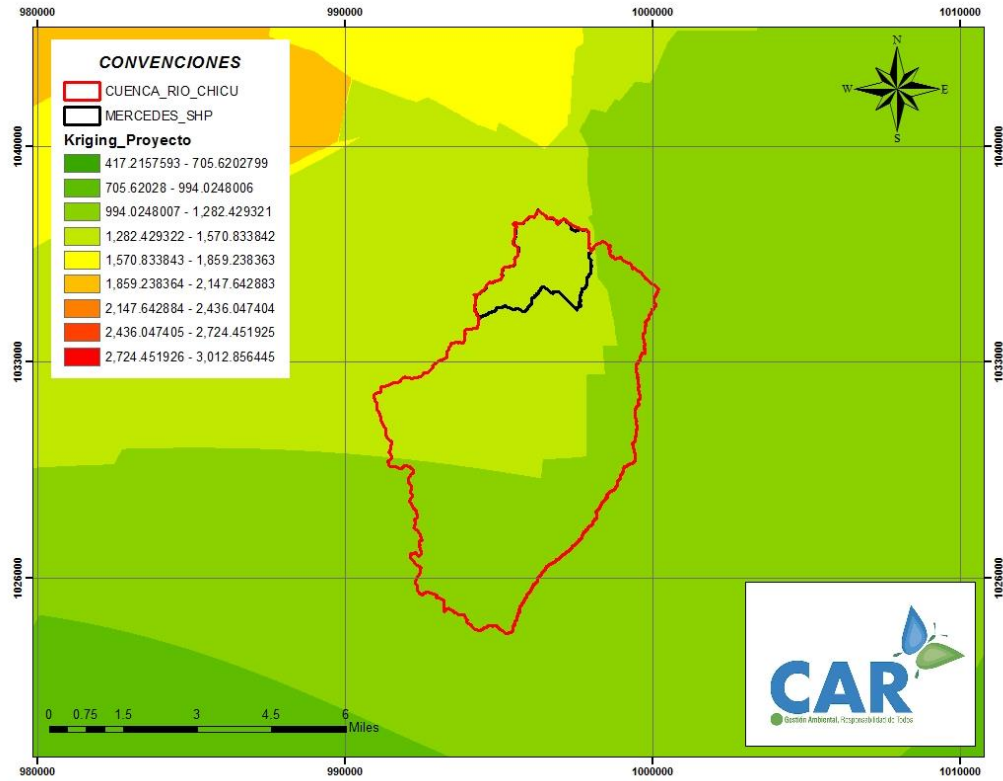


Figura 11. Isoyetas para la zona de estudio. Fuente: CAR Cundinamarca.

Finalmente, se determina el valor medio de precipitación para las subcuencas origen y destino en la transposición de caudales a partir de las curvas isoyetas. Esto se realiza mediante la ponderación del área de influencia con las isoyetas generadas, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) A_{i,i+1}}{\sum_{i=1}^{n-1} A_{i,i+1}}$$

En Donde:

n: Número de isolíneas de igual precipitación.

Pi: Precipitación, correspondiente a la curva de igual precipitación i.

Ai: Área de influencia, de la cuenca, correspondiente entre las curvas isoyetas de igual precipitación i e i+1.

Este método promedia la precipitación de dos isolíneas consecutivas y le asigna un peso o ponderación proporcional a la subárea entre las dos isolíneas.

Con base en lo anterior se estiman las áreas de influencia definidas para cada cuenca de acuerdo con las curvas isoyetas que cruzan la zona de estudio, y aplicando la ecuación mencionada previamente, se obtiene la media ponderada de las precipitaciones totales de cada cuenca. El procedimiento se aplicó para la cuenca de la Estación Las Mercedes, y la cuenca del sitio del proyecto, debido a que la transposición de caudales se realizará entre estas cuencas. Los resultados de la estimación de la lluvia promedio se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Valor ponderado de precipitación para las cuencas implicadas en la trasposición

Cuenca	Valor ponderado - precipitación total anual promedio (mm)
LAS MERCEDES	1400.47
Inicio de adecuación	1332.90
Fin de adecuación	1269,37

3.3 TRANPOSICIÓN DE CAUDALES

Para el cálculo de caudales máximos en el punto de cierre de la cuenca del sitio del proyecto, se utilizó el método de transposición de caudales. La razón de aplicar este método se debe a que este se basa en los rendimientos específicos de las cuencas seleccionadas, definido como caudal por unidad de área y precipitación.

Debido a que la estación LAS MERCEDES se encuentra en la misma cuenca del sitio del proyecto, y como se mencionó anteriormente es aquella que cuenta con la mayor representatividad, se escogió ésta como cuenca de origen en la transposición de caudales hacia la cuenca del sitio del proyecto (Río Chicú).

Teniendo en cuenta las estaciones Puente Manrique y La Muralla, posteriormente se realiza la validación de rendimientos.

3.3.1 METODOLOGÍA Y ECUACIÓN FUNDAMENTAL

El método de transposición de caudales es un método estadístico que consiste en trasladar la información a una cuenca de interés, donde no se tiene registro de caudales, desde una cuenca cercana cuyo comportamiento hidrológico y estadístico es similar y existen registros hidrometeorológicos. El caudal en la cuenca sin datos (cuenca del sitio del proyecto) se estima con base en el caudal de la cuenca con información (Las Mercedes), las áreas de drenaje y/o la precipitación media de las cuencas con y sin información, como se indica en la siguiente ecuación.

$$\frac{P_z \cdot A_z}{Q_z} = \frac{P_c \cdot A_c}{Q_c}$$

Relación para el *método* de trasposición de caudales.

Pz: Precipitación media anual en la cuenca sin información.

Pc: Precipitación media anual en la cuenca de la estación pivote.

Az: Área de la cuenca sin información.

Ac: Área de la cuenca de la estación Pivote.

Qz: Caudal medio estimado en la cuenca sin información.

Qc: Caudal medio estimado en la estación Pivote.

Por lo tanto, despejando de la ecuación para calcular el caudal en las cuencas sin información se obtiene el caudal medio estimado aplicando el despeje de la siguiente manera:

$$Q_z = Q_c * \frac{P_z * A_z}{P_c * A_c}$$

Este método posee la limitación que el caudal transpuesto sea meteorológicamente factible de ocurrir en la cuenca en estudio, de manera que la transposición debe realizarse desde una cuenca con características similares a la cuenca en estudio. Adicionalmente, cuando se realiza transposición de caudales se plantea la hipótesis que no hay diferencias considerables en la meteorología, morfología y dinámica fluvial de las cuencas utilizadas.

3.3.2 INFORMACIÓN BASE PARA LA TRANSPOSICIÓN

Para el análisis de precipitaciones, como se explicó anteriormente, se utilizó la distribución espacial de precipitaciones, para lo cual se tuvieron en cuenta las estaciones medidoras de lluvia mencionadas, las cuales se encuentran operadas por la CAR. A continuación, se muestran los principales parámetros para la transposición de caudales hasta el sitio de proyecto.

Tabla 8. Parámetros para la transposición de caudales

Cuencas	Áreas (m ²)	Precipitación total anual media multianual (mm)	Coordenadas cierre cuenca (MAGNA SIRGAS)	
			X	Y
Las Mercedes	7.3	1400.47	997444.316	1034659.745
Inicio de adecuación	22.6	1332.90	995512.99	1030754.99
Fin de adecuación	73.5	1269,37	992922.99	1024394.99

3.3.3 RESULTADOS: CAUDALES EN EL INICIO Y FIN DE LA ADECUACIÓN

Aplicando la ecuación fundamental de la transposición de caudales, a partir de los caudales de la estación Las Mercedes, se obtuvieron los siguientes caudales para la cuenca del sitio del proyecto, para los periodos de retorno analizados. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de la transposición de caudales hacia la cuenca del río Chicú
Segunda Fase

Periodo de Retorno	Q Estación (m ³ /s)	Q Inicio Adec (m ³ /s)	Q fin Adec (m ³ /s)
TR 2	0.3	2.74	0.88
TR 5	0.9	8.21	2.65
TR 10	1.3	11.86	3.83
TR 20	1.7	15.51	5.01
TR 50	2.1	19.16	6.19
TR 100	2.5	22.81	7.37

Debido a que la longitud del tramo de adecuación es cercana a los 6 km, se realiza una interpolación de los caudales para producir una variación gradual de los caudales entre el inicio de la adecuación y el fin de esta. Se utilizó una interpolación lineal y los resultados se ven en la Tabla 10.

Tabla 10. Caudales en el tramo de adecuación para el modelo hidráulico

Sitio	Abscisa	Q intermedios (m ³ /s)
Inicio Adec	9165	12.70
	6000	17.76
Fin Adec	3000	22.81

3.3.4 ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS

Con el fin de realizar una comprobación de los caudales obtenidos, se lleva a cabo un análisis por medio del cual se comparan los rendimientos hídricos de las cuencas del río Chicú: estación LAS MERCEDES y puntos de inicio y fin de la adecuación; y los rendimientos de las cuencas del río Subachoque: estación Puente Manrique y estación La Muralla.

Se estimaron los rendimientos como una relación simple entre el caudal en el punto de cierre de cada cuenca y el área delimitada por esta. Los resultados se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Rendimientos hídricos de las cuencas cercanas al sitio de estudio

Cuenca	Caudal (m³/s)	Área (km²)	Relación Q/A
Sitio Proyecto	22.81	73.5	0.310
Inicio	7.37	22.6	0.326
Estación Las Mercedes	2.5	7.3	0.342
Estación Puente Manrique	36.3	156.4	0.232
Estación La Muralla	24.1	192.4	0.125

De acuerdo con los resultados, es posible observar que las cuencas tienen relaciones Q/A del mismo orden de magnitud siendo mayores las de las cuencas en el río Chicú con respecto a las del río Subachoque. Esto se debe, entre otros factores, a que la zona occidental presenta mayor pluviosidad, lo cual puede observarse en la Figura 11 correspondiente al mapa de isoyetas, y por consiguiente se concentran caudales mayores.

Teniendo en cuenta lo encontrado a través de este análisis, se considera que los caudales registrados en la tabla 10 de este trabajo, se adaptan a los rendimientos de las cuencas vecinas y se consideran aptos para ser utilizados en la modelación hidráulica.

4 ANÁLISIS HIDRÁULICO

Luego de determinar los caudales máximos esperados para el tramo de estudio se efectuó el análisis de las condiciones de drenaje actuales del cauce del río Chicú. Para esto se realizan los análisis hidráulicos a la corriente en estudio. Una vez revisada su condición hidrodinámica mediante el software HEC-RAS, para lo cual se hace uso de los levantamientos topográficos y batimétricos y el análisis hidrológico, es posible proponer una condición de diseño para la cual las condiciones de drenaje mejoren.

4.1 LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

El tramo de estudio se encuentra en el municipio de Tenjo, sobre el río Chicú, en la cuenca alta del río Bogotá, dentro de la jurisdicción CAR. La adecuación tiene una extensión de 5 Kilómetros. A continuación, se muestran las coordenadas de inicio y fin de la intervención del cauce en estudio.

- **Inicio:** (995,507.178E 1,030,758.715N)
- **Fin:** (992,921.823E 1,024,393.508N)

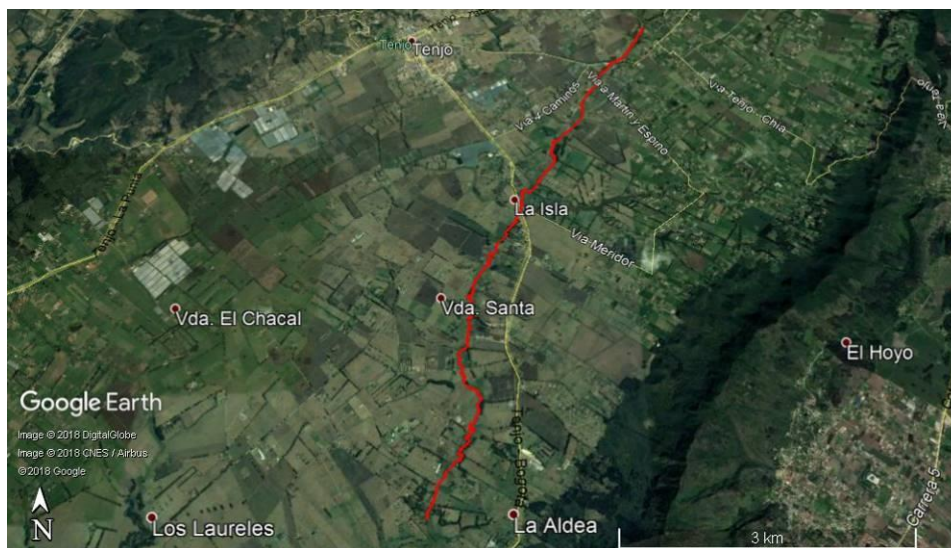


Figura 12. Ubicación general del tramo del río Chicú a intervenir.

4.2 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS Y BATIMÉTRICOS

Para propósitos del estudio, se llevó a cabo el levantamiento topográfico y batimétrico del río Chicú en su segunda fase en la totalidad del tramo descrito en la localización del sitio de estudio. Se levantó un total de 9.2 Kilómetros de cauce en el río Chicú que se encuentran acotados entre los puntos marcados como inicio y fin, en el numeral de localización del sitio de estudio. Este levantamiento fue utilizado para la modelación hidráulica que se adelantó dentro de este trabajo. El sentido del abscisado del río se ha definido desde aguas abajo del levantamiento hacia aguas arriba.

El levantamiento topográfico y batimétrico fue realizado por la CAR.

4.3 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CONDICIÓN ACTUAL

Las obras de adecuación hidráulica objeto del presente proyecto, buscan mejorar las condiciones de drenaje del cauce del río Chicú, mediante la optimización del cauce, con el fin de lograr un aumento de su capacidad hidráulica. Para lograr el resultado esperado, es necesario recurrir a modelos matemáticos que sean capaces de representar las condiciones actuales y futuras del cauce una vez implementadas las obras y sin afectar su equilibrio longitudinal.

De acuerdo con las necesidades y alcance de estudio, existe una gama de modelos matemáticos hidráulicos que pueden resolver las variables presentes de un cauce con el fin de estimar un comportamiento aproximado a la realidad. Estos modelos se clasifican según las variables que pueden estimar y el tipo de ecuaciones y algoritmos usados para la estimación de estas. Los modelos se hidráulicos se clasifican entonces en 1D, 2D y 3D.

Debido a que el objeto de este estudio se centra en la mejora en las condiciones hidráulicas, asegurando un flujo unidimensional, es posible usar modelos 1D para la estimación de los parámetros y conformar secciones de diseño, por lo tanto, se utilizará el software HEC – RAS en entorno 1D para el diagnóstico y diseño del cauce en estudio.

4.3.1 MODELO HEC RAS

El modelo HEC – RAS fue desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, el cual ha estado en continuo desarrollo desde los años 60. En la actualidad, este modelo posee capacidades para flujo permanente, no permanente y en 1D y 2D. Se utilizará para el estudio el esquema 1D en régimen permanente, el cual se resume a continuación.

Este modelo simula la hidráulica del flujo para canales de cualquier tipo de sección transversal bajo flujo gradualmente variado, trabajando de acuerdo con la ecuación de Bernoulli:

$$Z_1 + Y_1 + (V_1^2/2g) = Z_2 + Y_2 + (V_2^2/2g) + h$$

En donde:

Z: Nivel del fondo del canal aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado este término cabeza de posición, en m.

Y: Lámina de agua aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, denominado este término cabeza de presión, en m.

$V^2/2g$: Cabeza de velocidad aguas arriba (1) y abajo del tramo (2), denominado este término cabeza de velocidad, en m.

h: Pérdidas de energía en el tramo, dividiéndose en pérdidas por fricción y localizadas, en m.

Las pérdidas por fricción en el tramo h_f para flujo gradualmente variado en un tramo de longitud L del canal se pueden expresar por medio de la ecuación de Manning:

$$h_f = ((S_{e1} + S_{e2})/2) L$$

En donde:

S_{e1} y S_{e2} corresponden a los valores de la pendiente de la línea de energía aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo. Estos valores se expresan por medio de la fórmula de Manning para flujo uniforme en cada sección del tramo:

$$S_e = (n^2 V^2 / R^{4/3})$$

En donde:

- n: Coeficiente de rugosidad de Manning, valor adimensional.
- V: Velocidad promedio del agua, en m/s.
- R: Radio hidráulico, en m, igual al área hidráulica A, en m², dividida entre el perímetro mojado P, en m.

De acuerdo con las caracterizaciones de campo, y teniendo en cuenta las recomendaciones encontradas en las fuentes bibliográficas, se ha definido un coeficiente de rugosidad de Manning igual a 0.04 debido a la alta presencia de material rocoso, para el canal principal, y de 0.05 para las zonas inundables en la corriente en estudio.

Por otro lado, las pérdidas localizadas en un punto del canal se expresan mediante la ecuación:

$$h_l = K \text{ ABS } ((V_1^2 / 2g) - (V_2^2 / 2g))$$

En donde:

- K: Coeficiente de pérdidas localizadas, adimensional.
- V: Velocidad promedio aguas arriba (1) y aguas abajo (2) del punto o tramo en donde se produce la pérdida localizada, en m/s.
- ABS: Valor absoluto del término.

El coeficiente de pérdidas localizadas de contracción y expansión de las corrientes de agua se definió igual a 0.10 y 0.30, respectivamente.

4.3.1.1 *Coefficientes de resistencia al flujo*

Dentro del modelo hidráulico se tienen en cuenta diferentes coeficientes de pérdidas asociadas a diferentes condiciones presentes dentro del cauce. Como parámetro de pérdidas más significativo se encuentra el coeficiente de Manning, mientras que otros parámetros de importancia son los coeficientes de contracción, expansión, y coeficientes de pérdidas locales debido a estructuras de paso.

El coeficiente de Manning resulta ser un parámetro de alta sensibilidad principalmente en regímenes del tipo subcrítico. Este parámetro es dependiente de diferentes factores como lo son: Rugosidad del lecho del cauce, vegetación, irregularidades en canales, alineamiento del cauce, procesos de agradación y degradación, obstrucciones, tamaño y forma del canal, niveles y caudal, cambios estacionales, temperatura y carga de fondo.

De distintas referencias bibliográficas, entre las cuales se encuentra el manual de referencia técnica de HEC-RAS, se consultaron valores típicos de rugosidad para cauces naturales. Los valores típicos recomendados por el RAS se presentan en la Figura 13.

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>A. Natural Streams</i>			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150

Figura 13. Valores típicos de n Manning en cauces naturales recomendados por HEC-RAS

De acuerdo a los valores típicos presentados, el cauce del tramo en estudio del río Chicú se asemeja en su mayoría al tipo c), el cual describe un cauce sin mayores obstrucciones o ramas dentro del canal principal, serpenteante con algunas zonas de flujo lento. Debido a que no existe la suficiente información (niveles y aforos) para la estimación de este parámetro a nivel espacial en este cauce y siguiendo las recomendaciones del manual de referencia técnico, se utilizará información base de referencias bibliográficas para su determinación. Se asignó un valor de coeficiente de 0.035 para el cauce principal y de 0.04 para la zona adyacente a las bancas.

4.3.1.2 Condiciones de Frontera

Las condiciones de frontera, asociadas a las condiciones del cauce posteriores a los límites del modelo hidráulico tanto aguas arriba, como aguas abajo, se establecieron como flujo normal con pendientes de línea de energía de 0.00187 m/m y 0.00058 m/m respectivamente. Estas fueron obtenidas a partir del perfil longitudinal del cauce

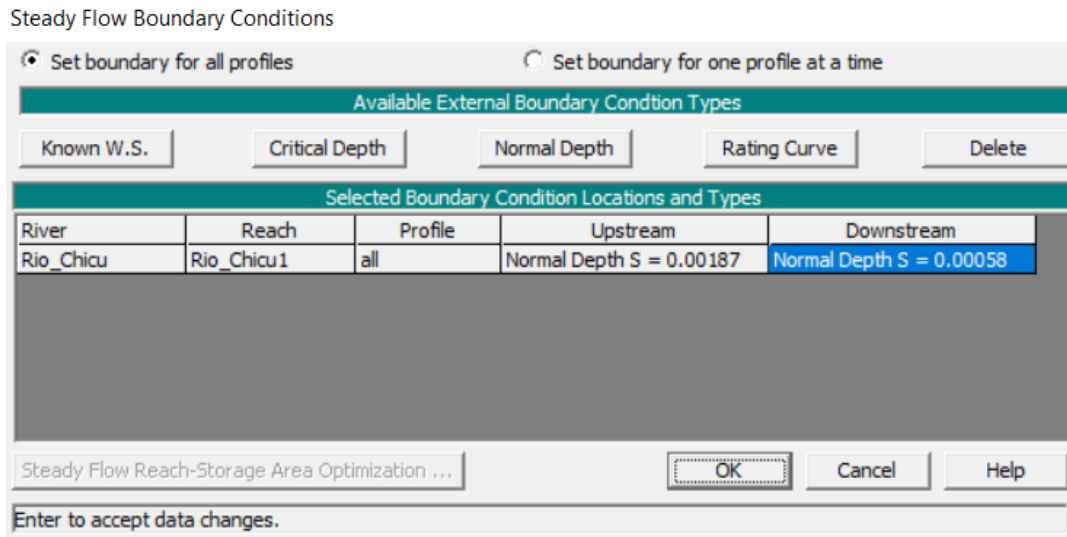


Figura 14 Ingreso de condiciones de frontera en HEC-RAS

4.3.2 CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS

La determinación de los caudales máximos instantáneos se basó en información hidrométrica de estaciones medidoras presentes en el cauce de estudio, la cual fue posteriormente proyectada mediante curvas de ajustes. Se estimaron caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, siendo las condiciones de diseño las más críticas y que corresponden al periodo de retorno más alto y que fue calculado previamente en la estimación hidrológica. Dado el tamaño del tramo de intervención, el caudal máximo fue segmentado y reducido hacia aguas arriba, partiendo de la reducción del tamaño de la cuenca y del rendimiento hídrico asociado. Se determinaron caudales máximos para 3 puntos del río Chicú de modo que se contemplara de manera más precisa la escorrentía superficial correspondiente a cada punto. En la Tabla 12 se presentan los caudales que se ingresaron al modelo hidráulico HEC-RAS de la condición actual.

Tabla 12. Caudales Calculados para Diferentes Periodos de Retorno en el Sitio de Proyecto

Periodo de Retorno	Abscisa	Caudal (m ³ /s)
TR 100	8010	12.70
TR 100	6000	17.76
TR 100	3000	22.81

4.3.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Los estudios hidráulicos de la corriente, para las condiciones hidráulicas ya tratadas anteriormente, se llevaron a cabo tomando en consideración la información recibida referente a la topografía y batimetría del cauce, que incluye una nube de puntos separados de tal forma en que sea un tramo representativo y abarquen toda la zona inundable.

En los planos de secciones transversales presentados, se observa la sección del cauce en cada uno de los puntos de su longitud. De la misma manera, en los planos mencionados se presenta también la sección de diseño y los resultados de lámina de agua para la condición actual y de diseño; estos productos se detallarán más adelante en el documento.

La información topográfica junto con los caudales máximos estimados para cada condición modelada, fue la base para los datos básicos de entrada para la modelación en el programa HEC-RAS, anteriormente descrito.

4.3.4 GEOMETRÍA DEL MODELO

Con la información topográfica se construye la geometría del modelo. Esta está comprendida en general por las secciones transversales, la información de rugosidad del cauce principal y de las bancas, la determinación de los límites entre las bancas y el cauce principal y el alineamiento del eje principal del cauce.

El proceso de la creación de la geometría del modelo se llevó a cabo por medio de la herramienta RASMapper implementada dentro del modelo HEC-RAS en su versión 5.0.4. Una imagen general de los componentes del HEC-GeoRAS para la construcción de la geometría y un detalle de estos se presenta en la Figura 15.



Figura 15. Izquierda: Construcción de la geometría del modelo; Derecha: Detalle de la construcción de la geometría del modelo

Para la construcción de las secciones transversales se tomó un espaciamiento base entre estas de 15m; sin embargo, de acuerdo a las necesidades del modelo y las características de los meandros del río, se desplazaron de su espaciamiento base o se incluyeron secciones transversales extra para generar una mejor caracterización del cauce.

4.4 DIAGNÓSTICO CONDICIÓN ACTUAL

4.4.1 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN EN CONDICIÓN ACTUAL

Para condición hidráulica modelada, los resultados para los diferentes caudales máximos instantáneos calculados para el río Chicú en el tramo en estudio se presentan en la Tabla 13.

Los resultados de la modelación incluyen los siguientes aspectos para cada sección transversal considerada:

- Abscisa de la sección transversal.
- Caudal total.
- Cota de fondo mínima de la sección transversal.
- Nivel de la lámina de agua.
- Lámina de agua máxima en la sección transversal.
- Nivel de la profundidad crítica.
- Nivel de la línea de energía.
- Pendiente de la línea de energía.
- Velocidad promedio del agua.
- Área hidráulica.
- Ancho de la superficie libre de agua de la sección transversal.
- Número de Froude.

Tabla 13. Resultados del modelo hidráulico en la condición actual para Tr = 100 años

Tramo	Abscisa	Tr	Q Total	Cota Batea	Cota Lámina agua	Velocidad Canal	Área Flujo	Ancho superficial	No Froude
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
Rio_Chicu1	9165	Tr100	12.7	2583.35	2585.02	1.34	9.51	7.35	0.37
Rio_Chicu1	9150	Tr100	12.7	2583.32	2584.99	1.33	9.52	7.35	0.37
Rio_Chicu1	9135	Tr100	12.7	2583.29	2584.96	1.33	9.52	7.35	0.37
Rio_Chicu1	9125.16	Tr100	12.7	2583.27	2584.95	1.33	9.53	7.36	0.37
Rio_Chicu1	9105	Tr100	12.7	2583.23	2584.91	1.33	9.54	7.36	0.37
Rio_Chicu1	9090	Tr100	12.7	2583.2	2584.88	1.33	9.54	7.36	0.37
Rio_Chicu1	9075	Tr100	12.7	2583.17	2584.85	1.33	9.55	7.36	0.37
Rio_Chicu1	9060	Tr100	12.7	2583.14	2584.82	1.33	9.56	7.36	0.37
Rio_Chicu1	9045	Tr100	12.7	2583.11	2584.79	1.33	9.57	7.37	0.37
Rio_Chicu1	6000	Tr100	17.76	2577.42	2579.27	1.4	12.7	8.71	0.37
Rio_Chicu1	5991.865	Tr100	17.76	2577.41	2579.26	1.4	12.71	8.71	0.37
Rio_Chicu1	5985	Tr100	17.76	2577.39	2579.25	1.4	12.72	8.71	0.37
Rio_Chicu1	5970	Tr100	17.76	2577.36	2579.22	1.39	12.75	8.72	0.37
Rio_Chicu1	5955	Tr100	17.76	2577.33	2579.19	1.39	12.78	8.73	0.37
Rio_Chicu1	5946.366	Tr100	17.76	2577.31	2579.18	1.39	12.8	8.73	0.37
Rio_Chicu1	5940	Tr100	17.76	2577.3	2579.17	1.39	12.81	8.73	0.37
Rio_Chicu1	5929.365	Tr100	17.76	2577.28	2579.15	1.38	12.84	8.74	0.36
Rio_Chicu1	5925	Tr100	17.76	2577.27	2579.14	1.38	12.85	8.74	0.36

Tramo	Abscisa	Tr	Q Total	Cota Batea	Cota Lámina agua	Velocidad Canal	Área Flujo	Ancho superficial	No Froude
Rio_ChicuI	5910	Tr100	17.76	2577.24	2579.12	1.38	12.89	8.75	0.36
Rio_ChicuI	5895	Tr100	17.76	2577.21	2579.09	1.37	12.93	8.76	0.36
Rio_ChicuI	5880	Tr100	17.76	2577.18	2579.01	1.67	10.64	7.65	0.45
Rio_ChicuI	5865	Tr100	17.76	2577.15	2578.95	1.7	10.46	7.6	0.46
Rio_ChicuI	5850	Tr100	17.76	2577.12	2578.89	1.73	10.24	7.55	0.48
Rio_ChicuI	5835	Tr100	17.76	2577.09	2578.84	1.76	10.06	7.5	0.49
Rio_ChicuI	3000	Tr100	22.81	2571.22	2573.38	1.29	18.29	11.99	0.31

En la tabla se presentan únicamente algunos sectores del río Chicú para representar el comportamiento del cauce bajo la creciente de 100 años de periodo de retorno en su parte alta (datos en azul), parte media (datos en marrón) y parte baja (datos en verde).

Las secciones resaltadas en la tabla con **negrita** y subrayado serán mostradas más adelante en los resultados de lámina de agua en las secciones transversales, ya que estas son algunas de las que presentan fenómenos de inundación.

Nótese que efectuando la resta entre la cota de lámina de agua y la cota batea para las secciones resaltadas se obtienen profundidades de 1.67m, 1.86 m y 2.16 m respectivamente, las cuales son láminas altas propias del flujo subcrítico y que generan velocidades muy bajas como se observa en las mismas secciones (1.34 m/s, 1.4 m/s y 1.29 m/s respectivamente).

4.4.2 ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LAS MODELACIONES HIDRÁULICAS

Una vez obtenidos los resultados mediante los modelos ejecutados en HEC-RAS, se extraen los resultados para las diferentes condiciones establecidas. Con el fin de visualizar los resultados de manera espacial, los modelos hidráulicos poseen la capacidad de proyectar los

resultados de lámina de agua, velocidad, cota de la lámina de agua, esfuerzos cortantes, potencia de la corriente, etc. mediante modelos de datos raster, los cuales se explicarán a continuación.

4.4.2.1 Representación de Datos Raster

El modelo raster es un método para almacenamiento, el procesado y la visualización de datos geográficos. Cada superficie a representar se divide en filas y columnas, formando una malla o rejilla regular. Cada celda puede ser rectangular, y no necesariamente cuadrada. Cada celda de la rejilla guarda tanto las coordenadas de la localización como el valor temático. La localización de cada celda es implícita, dependiendo directamente del orden que ocupa en la rejilla, a diferencia de la estructura vectorial en la que se almacena de forma explícita la topología. Las áreas que contienen idéntico atributo temático son reconocidas como tal, aunque las estructuras raster no identifican los límites de esas áreas como polígonos en sí.

4.4.2.2 Tamaño y Resolución de la Celda/Pixel

Se estableció para el caso de estudio un tamaño de pixel de 0.5 m x 0.5 m, siendo este tamaño de alta resolución para la espacialización de la altura de la lámina de agua, campo de velocidades, potencia hidráulica de la corriente y esfuerzos cortantes en el fondo del cauce.

4.4.2.3 Raster Obtenidos a Partir de las Modelaciones Hidráulicas

Para el análisis de resultados espaciales se utilizaron los resultados obtenidos mediante el modelo HEC-RAS. Una vez realizados los modelos se ejecuta el postproceso de los mismos para la obtención de resultados del tipo raster en la zona de estudio a través de la herramienta Ras Mapper, verificando de esta forma las condiciones hidráulicas actuales y las condiciones de diseño al implementar la adecuación hidráulica en el cauce.

Los resultados obtenidos mediante información raster para el análisis hidrodinámico del cauce son velocidades y profundidades de lámina de agua, siendo estos los más importantes para el análisis realizado en este estudio.

4.4.3 RESULTADOS: LÁMINAS DE AGUA PARA EL MODELO BAJO CAUDALES EXTREMOS (TR = 100 AÑOS)

El tramo modelado del río Chicú, como se ha descrito anteriormente, está caracterizado por sus bajas pendientes contando con una pendiente promedio del cauce de 0.0018 m/m. Esto provoca que el flujo en el cauce sea predominantemente subcrítico y que se presenten altas profundidades de flujo con los caudales de crecienta para un periodo de retorno de 100 años, y velocidades de flujo bajas.

Por lo anterior el cauce es propicio para presentar fenómenos de inundación; esto implica que el cauce requiera una sección transversal grande para poder presentar láminas de agua manejables con las pendientes propias del cauce.

Los resultados de láminas de agua a lo largo del tramo modelado se presentan en los planos de secciones transversales, así como también pueden verse a través de los archivos ejecutables del modelo.

De igual manera, se presenta a continuación una de las secciones transversales que caracterizan el comportamiento del río bajo las condiciones de flujo establecidas (Tr = 100 años).

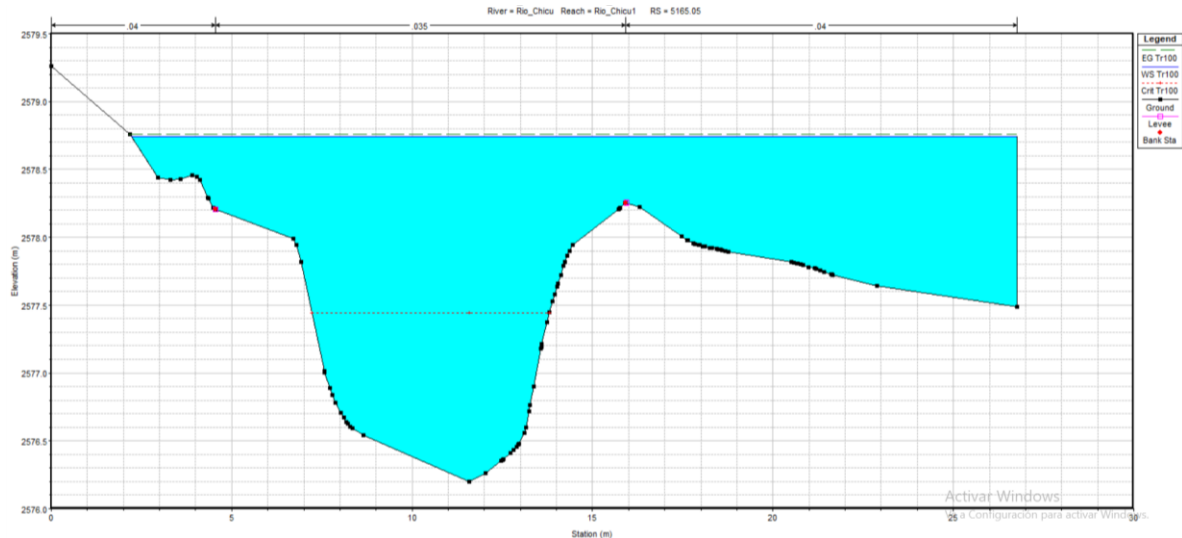


Figura 16. Sección transversal con abscisa K5+165 con fenómenos de inundación – condición actual.

En la figura anterior se evidencia la falta de capacidad del cauce para asimilar un caudal semejante al de la creciente de diseño modelada. Es importante mencionar que esta no es la única sección que presenta fenómenos de inundación, solamente fue seleccionada entre las secciones con desbordamientos para ejemplificar la falta de capacidad del cauce.

Así mismo se presenta la superficie de inundación generada a partir de la especialización de los resultados de lámina de agua. Debido a la longitud del tramo modelado, una imagen del tramo completo no permite apreciar la mancha de inundación, por lo cual se presenta en las figuras a continuación la mancha de inundación (Tr 100 años) en algunos sectores del modelo. Para conocer la mancha en su totalidad, esta se puede ver en los archivos ejecutables del modelo (por medio del RAS Mapper).

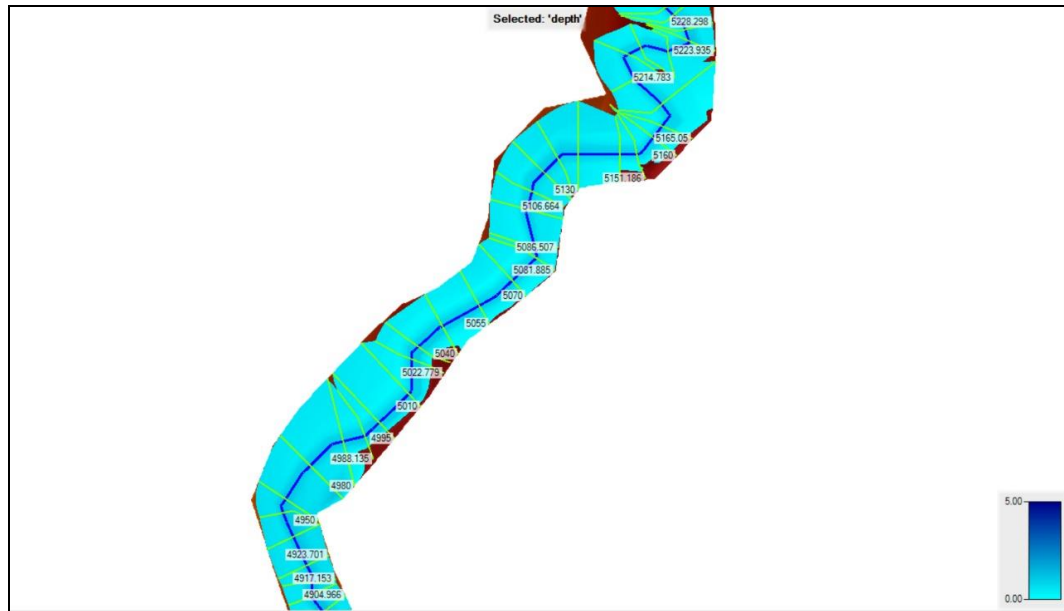


Figura 17. Mancha de inundación para la condición de terreno actual con los caudales extremos correspondientes a un periodo de retorno de 100 años – entre abscisas K4+850 - K5+850

Es importante notar que la mancha está limitada por el tamaño de las secciones transversales, esto se debe a que la espacialización se realiza a partir de los resultados obtenidos del modelamiento en HEC-RAS. Por lo anterior, y debido a que la lámina de agua superó la altura de los jarillones del cauce y no existe una frontera cercana que confine el flujo, la mancha de inundación es más extensa y de menor altura.

Con base en los resultados encontrados y presentados, se plantean obras de adecuación hidráulica del lecho de modo que éste pueda asimilar los caudales determinados para la creciente de diseño sin presentar inundaciones o fenómenos erosivos perjudiciales.

4.4.4 ESTRUCTURAS DE PASO TRASNVERSAL

Dentro del cauce de estudio existen estructuras de paso cuyas dimensiones configuración varían según su uso y materiales de construcción. Estas estructuras pueden llegar a generar condiciones de drenaje adversas en el cauce debido a su sección de paso y a las cotas de fondo, como lo es el caso de box culverts. Dentro del modelo hidráulico no se tuvieron en cuenta estas estructuras de paso.

4.5 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CONDICIÓN DE DISEÑO

Para atenuar todos los procesos de agradación y desbordamientos indicados previamente en la zona en estudio, se debe realizar una adecuación hidráulica, con el fin de remover el material que provoca una disminución en la sección hidráulica.

Como medida para frenar los procesos erosivos, de inundaciones y de agradación, que se están presentando en el cauce en estudio, se propone una adecuación hidráulica mediante la remoción del material de fondo y estableciendo una sección hidráulica al cauce, sin afectar su dinámica de flujo y sin alterar sus grados de libertad significativamente.

El modelamiento hidráulico de la condición de diseño consiste en modificar las secciones transversales y las pendientes naturales del río de modo que éste adquiera la capacidad de transporte hidráulico necesaria para evacuar una creciente de 100 años sin presentar desbordamientos o fenómenos de flujo indeseados como turbulencias o resaltos hidráulicos.

SECCIONES DE DISEÑO.

Se revisaron criterios de la guía técnica “Stream Corridor Restoration Handbook del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos” (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998), la cual hace mención a las secciones de diseño como se muestra a continuación:

“La selección de las dimensiones del cauce comprende la determinación de los valores promedio para el ancho y la profundidad. Ésta determinación está basada en las condiciones impuestas de carga de sedimentos y caudal, tamaño de sedimentos del lecho, vegetación en las bancas, resistencia al flujo y pendiente promedio del lecho. Sin embargo, tanto la profundidad como el ancho pueden ser restringidos por factores de ubicación, los cuales se deben considerar una vez el criterio de estabilidad se ha alcanzado. El ancho del canal debe ser menor que el ancho del cauce disponible, mientras que la profundidad depende de la elevación de los controles aguas arriba y aguas abajo, factores de resistencia al flujo, y la elevación de la superficie del terreno adyacente” (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998).

“La forma promedio de la sección transversal en canales naturales depende del caudal transportado, la entrada de sedimentos, la geología, rugosidad, pendiente del lecho, vegetación en las bancas y materiales del lecho y de las bancas” (The Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 1998). Estos factores se tienen en cuenta al comprobar el funcionamiento de las dimensiones del canal por medio de la modelación hidráulica, a través de parámetros de la modelación directamente relacionados.

Las dimensiones del canal se encontraron por medio del diseño del mismo y teniendo en cuenta las consideraciones anteriores en el documento. Las secciones implementadas se exponen a continuación.

Debido a la longitud del tramo modelado, una sola sección hidráulico de diseño no se ajusta correctamente a las necesidades de sección del cauce en cada una de sus etapas. Con base en los resultados hidráulicos del modelo HEC-RAS y en las secciones de la condición actual del cauce, se plantearon un total de 3 secciones de diseño tipo trapezoidal caracterizadas por un ancho de la base y una pendiente en los taludes laterales. El valor de coeficiente de rugosidad de

Manning se estimó de 0.035 en el canal principal y 0.04 en las banquetas para las condiciones futuras del cauce.

Los anchos se implementaron con la tendencia a irse incrementando hacia aguas abajo; sin embargo, se ajustan a las necesidades de la sección transversal de acuerdo a su capacidad hidráulica. Las secciones se implementaron con un talud 1H:1V y los anchos utilizados son 4, 5 y 6 m. En la Figura 18, Figura 19 y Figura 20 se observan las secciones transversales implementadas en el diseño de la adecuación.

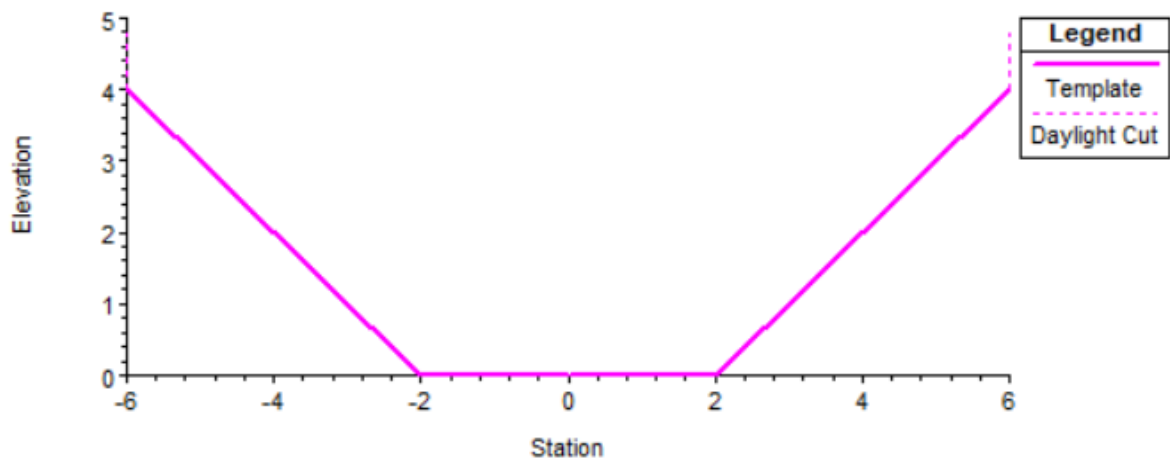


Figura18. Sección transversal de diseño para la adecuación hidráulica con ancho igual a 4 m sobre el tramo modelado del río Chicú - Fuente: Software Hec-Ras.

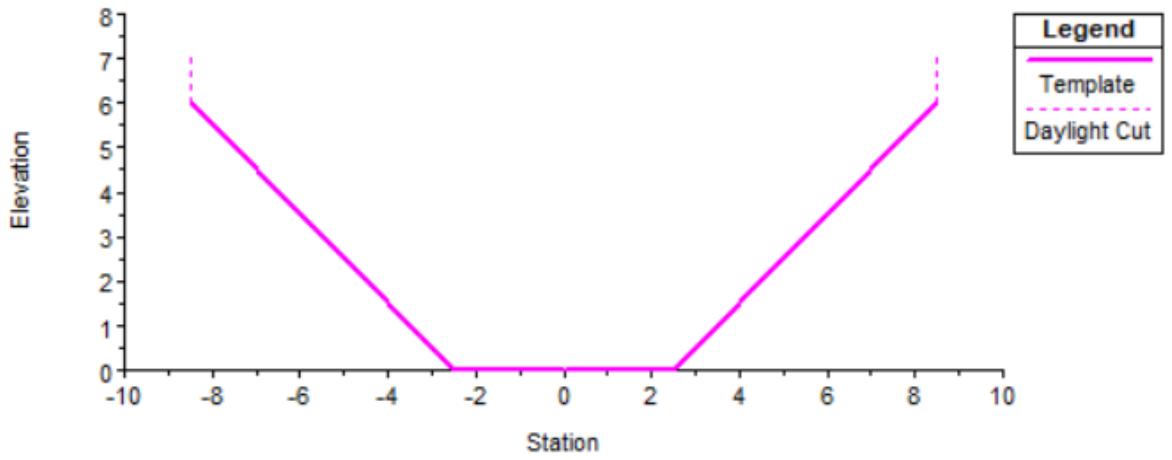


Figura19. Sección transversal de diseño para la adecuación hidráulica con ancho igual a 5 m sobre el tramo modelado del río Chicú - Fuente: Software Hec-Ras.

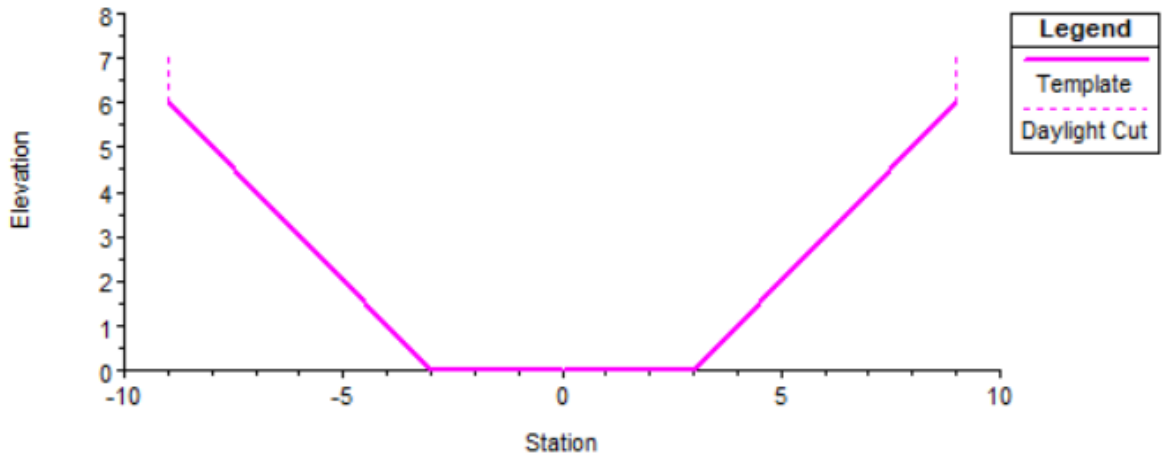


Figura 20. Sección transversal de diseño para la adecuación hidráulica con ancho igual a 6 m sobre el tramo modelado del río Chicú - Fuente: Software Hec-Ras.

4.5.1 PENDIENTES DE DISEÑO

En el diseño para la adecuación hidráulica del río Chicú se tuvo en cuenta como aspecto fundamental el implementar profundizaciones mínimas en los sitios de los cabezales de los puentes para evitar interferir con el funcionamiento de estas estructuras.

De la misma manera, se tomó como premisa establecer pendientes en tramos largos de río de manera que éstas se conecten entre sí evitando cambios bruscos o muy quebrados y profundizaciones muy grandes. En la Figura 27 se presenta el perfil longitudinal en su condición natural y el perfil de diseño (en color magenta) en el cual se observan las pendientes de diseño suavizadas y asignadas a tramos largos de intervención.

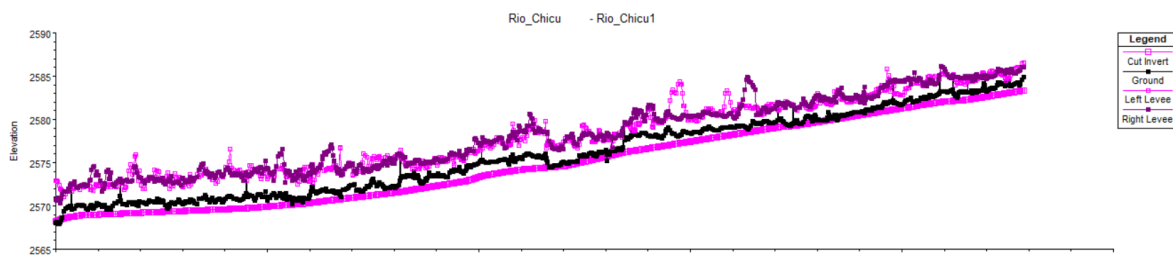


Figura 21. Perfil natural (negro) y perfil de diseño para la adecuación (magenta).

Las pendientes utilizadas fueron del 0.05%, 0.1%, 0.2% y 0.4%. Con lo cual se puede apreciar que se trata de un cauce con pendientes naturales muy bajas y que por lo tanto presenta láminas de agua altas.

4.5.2 PROFUNDIZACIONES EN EL LECHO

Para lograr establecer una condición de drenaje adecuada las secciones transversales de diseño (descritas previamente) se establecieron siguiendo el alineamiento del río y las pendientes mencionadas. Resultado de este diseño son las profundizaciones que pueden cuantificarse para cada sección transversal. Se realizó un análisis estadístico básico encontrando los siguientes valores de profundización.

Tabla 14. Resumen estadístico de las alturas de profundización

ALTURA DE PROFUNDIZACIÓN	
MAX	2.08 m
MIN	0 m
PROMEDIO	0.95 m

4.5.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO EN ESTRUCTURAS DE PASO

Como se ha mencionado, el cauce presenta problemas de desbordamiento los cuales tienen como una de sus causas principales las bajas pendientes y por consiguiente alta susceptibilidad de banca.

Sin embargo, otra de las razones por las cuales el cauce presenta problemas de desbordamiento es debido a las estructuras de paso existentes en la zona los cuales generan contracciones y/o obstrucciones al flujo. Es de aclarar que estas estructuras en carreteras urbanas o rurales suelen diseñarse para periodos de retorno inferiores a 100 años y por lo tanto para esta condición de flujo suelen presentar falta de capacidad hidráulica.

Adicionalmente, la profundización debida al diseño provoca que las obstrucciones y contracciones en las estructuras sean más acentuadas, siendo las transiciones obligatorias tanto horizontal como verticalmente. Por lo anterior, se tomó la consideración de drenaje óptima, es decir no mantener las estructuras transversales en el diseño para la creciente de 100 años, de manera que se estudie la capacidad de drenaje del sistema bajo la condición en la cual las estructuras de paso tienen capacidad hidráulica suficiente.

4.5.4 NIVELES Y ABATIMIENTOS

Uno de los resultados de la adecuación son los abatimientos o reducciones de los niveles de agua en el cauce del río Chicú. Estos abatimientos dependen tanto de las condiciones de flujo actuales como de las de diseño. En general se espera que los niveles disminuyan de manera que no sobrepasen la elevación de las banquetas generando desbordamientos.

En la Figura 28 se muestra el perfil de flujo en la condición actual. Las líneas morada y magenta representan los puntos más altos de la sección en su costado derecho e izquierdo, estos niveles del terreno se encargan de confinar el flujo dentro de la sección, una vez se superan estos niveles una parte del flujo desborda abandonando la sección.

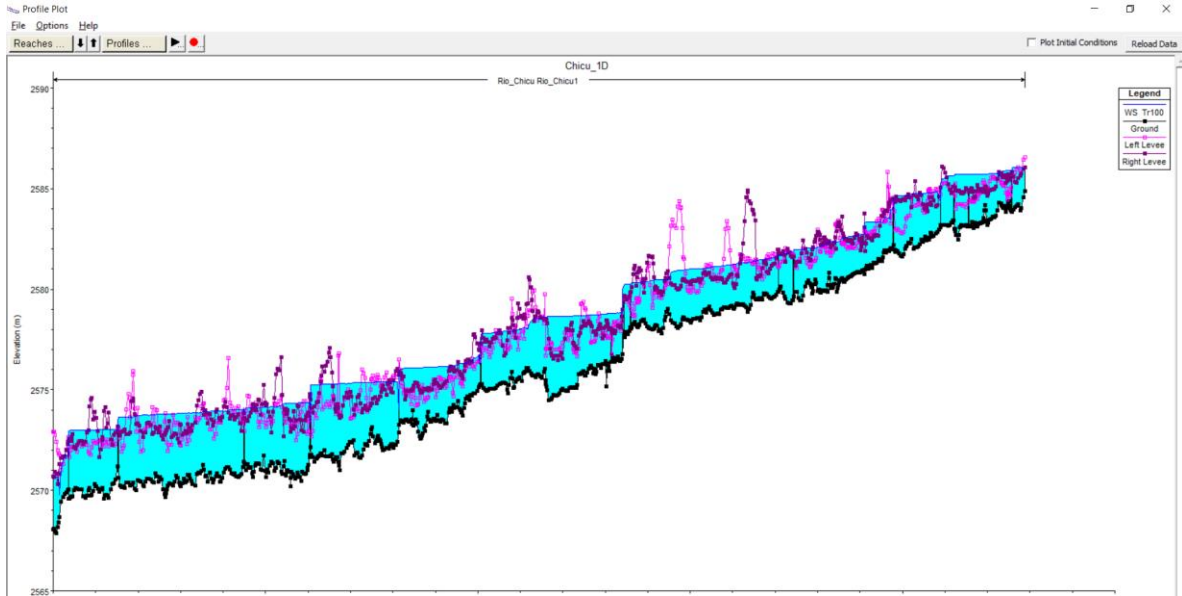


Figura 2218. Perfil longitudinal de flujo condición actual.

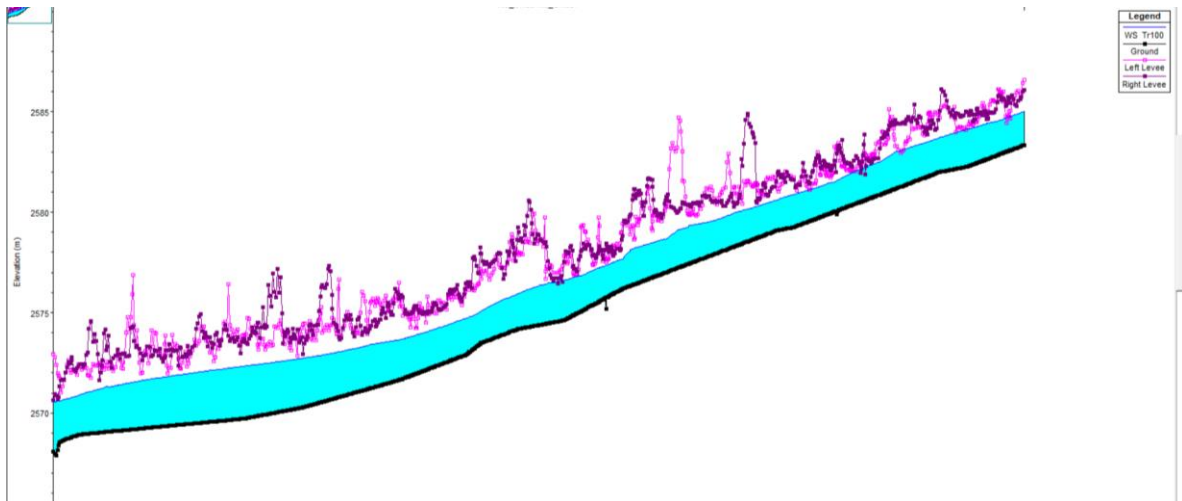


Figura23. Perfil longitudinal de flujo condición de diseño.

En la Figura 23 se muestra la condición de diseño. En esta condición, y transportando el caudal de 100 años, el objetivo fue abatir los niveles de manera que en ninguna sección sobrepasen los niveles en los cuales se presentan desbordamientos.

Los abatimientos en una sección transversal se deben principalmente a los cambios en la capacidad individual en la sección y los cambios en las pendientes del cauce en general. Los abatimientos en una sección trasversal particular son como se observan en la Figura 24.

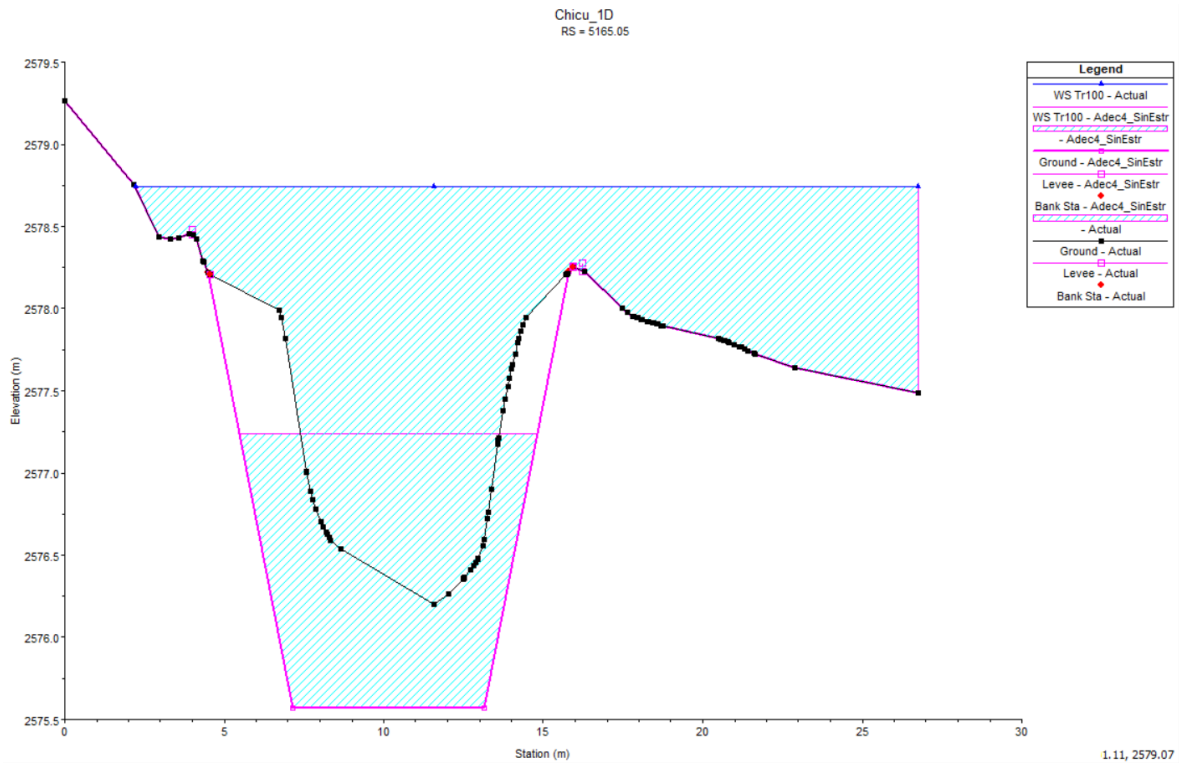


Figura 24. Abatimientos en la sección transversal con abscisa K5+165.

De la misma manera que con las alturas de profundización, se realizó un cálculo del abatimiento para cada sección transversal y un análisis estadístico básico a partir del cual se obtuvieron los siguientes valores.

Tabla 15. Resumen estadístico de los abatimientos de lámina de agua

**ABATIMIENTO DE
LÁMINA DE AGUA**

MAX	2.74 m
MIN	-0.81 m
PROMEDIO	1.64 m

4.5.5 MANCHA DE INUNDACIÓN

Una vez ejecutado el modelo se proyectan los rasters de profundidad de la lámina de agua para la condición de diseño, en la cual se observa la reducción de la mancha de inundación entre la condición actual y de diseño para un periodo de retorno de 100 años. En la Figura 25 se muestra la mancha de inundación que se genera para la condicione de diseño una vez realizada la adecuación hidráulica en el sitio de proyecto tramo del río Chicú.

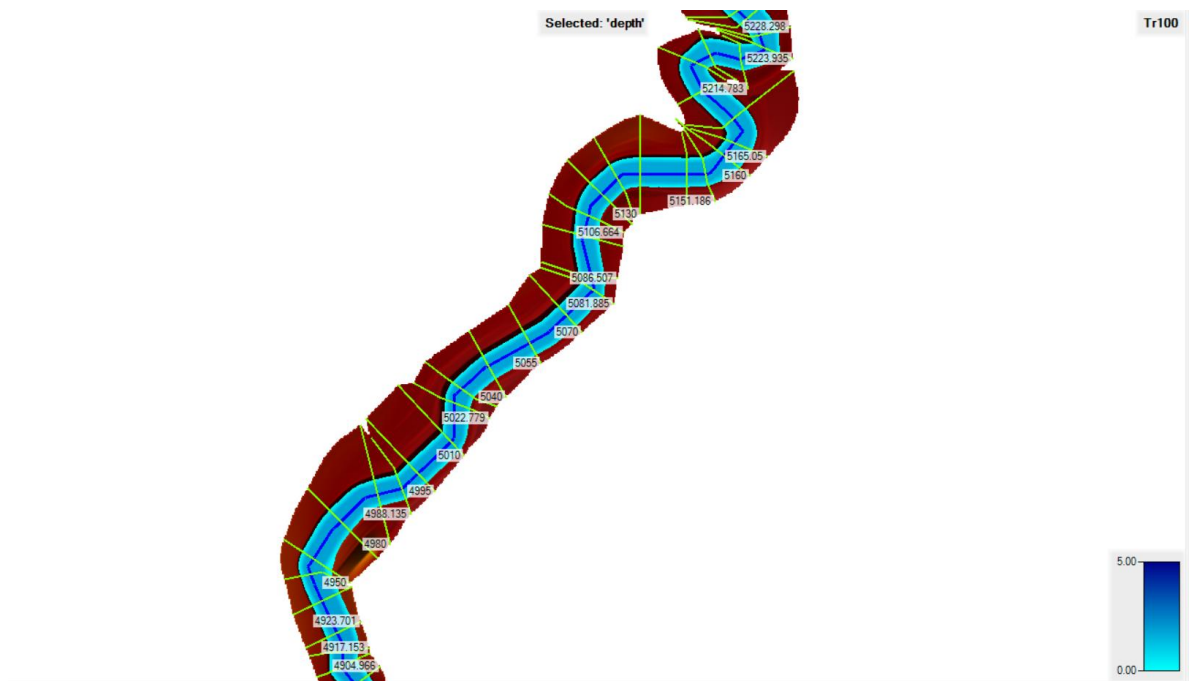


Figura 19. Mancha de inundación para la condición de diseño con caudales extremos – secciones 4904.966 – 5228.298.

Una comparación de la extensión de las manchas de inundación para las condiciones actual y de diseño se presenta en la Figura 26. Es importante recordar que la mancha de inundación de la situación actual está limitada por el ancho de las secciones transversales, de modo que ésta mancha es aún más extensa de lo que se aprecia con los resultados. La extensión de la mancha de la situación actual se muestra en color amarillo para diferenciarla de la condición de diseño. Se observa la disminución de la mancha entre los escenarios analizados, de manera que en la situación de diseño el caudal se encuentra encauzado en el canal principal del río con intervención.

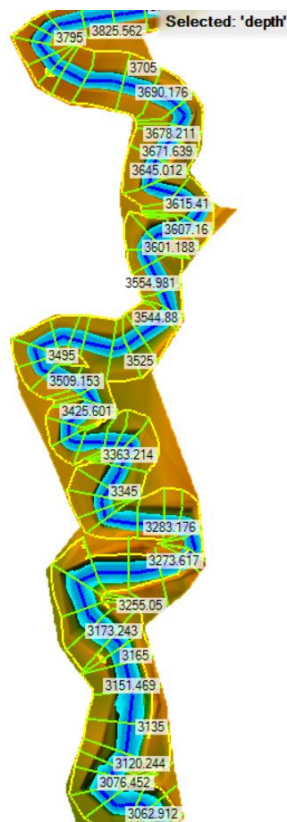


Figura 26. Comparación de la extensión de las manchas de inundación para las condiciones actual y de diseño entre abscisas 3062.912 – 3825.562

4.5.6 VOLUMENES DE EXCAVACIÓN

La implementación de las obras de adecuación hidráulica comprende la remoción de sedimentos necesaria para conformar las secciones del diseño a lo largo del tramo de intervención. A través del software HEC-RAS se calcularon los volúmenes de corte entre cada par de secciones transversales consecutivas, debido a la extensión de la tabla, estos resultados se muestran en el Anexo 4

ANEXO 4. De esta manera, el valor total del volumen de remoción de sedimentos para los 5 km de intervención entre las abscisas k3+000 y k7+ 995 es de **57.100 m³**.

5 CONCLUSIONES

- El tramo de adecuación se encuentra en el municipio de Tenjo y tiene una extensión de 5 Kilometros, iniciando en su parte más alta a mediaciones de la vereda El Palmarito en las coordenadas MAGNA SIRGAS 995512.99E 1030754.99N y finalizando en la vereda La Aldea en las coordenadas MAGNA SIRGAS 992922.99E 1024394.99N.
- En el tramo de estudio se evidencian problemáticas tales como, falta de capacidad hidráulica, lo cual conlleva a desbordamientos del cauce en algunos sectores, alta tasa de sedimentación por baja pendiente, baja capacidad de estructuras de paso y vertimientos de contaminantes al río que promueven el crecimiento de vegetación acuática como el buchón del río.
- Se diseñó una adecuación hidráulica del tramo del río Chicú en estudio, para lo cual se tuvieron en cuenta las guías para el diseño de las obras de adecuación: Manual para la Restauración de Cauces (*Stream Corridor Restoration*) del Natural Resources Conservation Service de los Estados Unidos de Norteamérica y la **Guía Técnica Para La Adecuación Hidráulica Y Restauración Ambiental De Corrientes Hídricas Superficiales** (HIDROVIAS, 2015).
- En el componente hidrológico se realizó un análisis de frecuencias para la estación LAS MERCEDES utilizando ajustes a las distribuciones NORMAL, GUMBEL, PEARSON, LOG-PEARSON, LOG-NORMAL, EV3. Se realizó una prueba de bondad de ajuste, con base en ella y en la observación de los ajustes para valores extremos cercanos a un Tr de 100 años se seleccionó el ajuste a la distribución GUMBEL.
- Se realizó un proceso de transposición de caudales utilizando la estación limnimétrica 'LAS MERCEDES' (2120879) que se encuentra en el cauce del río Chicú en la parte alta

del mismo. Para la transposición se utilizó la información de superficie de las áreas aportantes e información pluviométrica de 27 estaciones en la zona de estudio.

- El modelamiento hidráulico se llevó a cabo utilizando el caudal con un periodo de retorno de 100 años. Debido a la extensión del tramo, se realizaron transposiciones e interpolaciones para considerar la variación del caudal a lo largo del mismo.
- Así mismo, en el perfil longitudinal de la situación actual se observan desbordamientos en varios sitios del tramo de estudio.
- Para el diseño de la adecuación hidráulica se contemplaron secciones trapezoidales para el diseño con diferentes anchos base. Las secciones se implementaron con un talud 1H:1V y los anchos utilizados son 4, 5 y 6 m.
- Se perfilaron las pendientes del cauce, suavizando el trazado y generando alturas de profundización óptimas. Las pendientes utilizadas fueron del 0.05%, 0.1%, 0.2% y 0.4%.
- Se realizó un análisis estadístico básico a las profundizaciones generadas en cada sección transversal encontrando que la mayor altura de profundización corresponde a 2,08 m, la menor 0 m y en promedio 0,95 m.
- Se tomó la consideración de drenaje óptima, es decir no mantener las estructuras transversales en el diseño para la creciente de 100 años, de manera que se estudie la capacidad de drenaje del sistema bajo la condición en la cual las estructuras de paso tienen capacidad hidráulica suficiente.
- El abatimiento de la láminade agua corresponde en promedio a 1,64 m.
- La implementación de las obras de adecuación hidráulica comprende la remoción de sedimentos necesaria para conformar las secciones del diseño a lo largo del tramo de

intervención. El valor total del volumen de remoción de sedimentos para los 5 km de intervención es de 57.100 m³.

- Una verificación de la efectividad de las obras se realiza por medio de la comparación de las manchas de inundación generadas para la condición actual y de diseño.

En las secciones transversales se observan los efectos de la adecuación, apreciándose la capacidad de transporte de la sección adecuada y los abatimientos conseguidos por medio de la adecuación integral del tramo en estudio.

- Como soporte fundamental del presente estudio se anexa el modelo hidráulico para los dos escenarios: condición actual y condición modificada del tramo objeto de estudio, los planos de las secciones transversales y perfiles hidráulicos longitudinales, tablas del material extraído por tramo concordante con el abscisado de los modelos hidráulicos y de batimetrías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gaspari, F. J. (2002). *Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva. España.* Buenos Aires: Ediciones Cooperativas.
- Faustino, J., & Jiménez, F. (2002). *Manejo de cuencas hidrográficas.* Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Huang, G., & Kadir, T. (2008). *Hydrological responseto climate warning: The upper Feather River watershed.* San Francisco CA: California Deparment of water Resources.
- Booth, E. L., & Byrne, J. M. (2011). *Climatic changes in western North America, 1950-2005.* Alberta, Canada: Water and Enviromental Sciences, Univesity of Lethbridge.
- Yudelson, J. (2010). *Dry Run: Preventing the next urban water crisis.* New York: New Society Publishers.
- Bernex, N. (2006). *Agua y ecosistemas: de los diferentes enfoques de gestión a una apuesta para el bien común.* Piura: GIGA - PUCP.
- Heathcote, I. (2009). *Integrated watershed managment, principles and practice.* New Jersey: Wiley.
- Flores López, M. Z. (2016). *Metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas en el ámbito biogeográfico árido surcaliforniano (México).* Valencia España: Universitat Politècnica de València .

- Planeación ecológica Ltda. (2012). *Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá, subcuenca del río Chicú*. Bogotá: Ecoforest Ltda.
- Conde, C. d. (2012). Gestión de cuencas de la prevención de inundaciones a la gestión integral del ciclo del agua. *Revista de Obras Públicas: Organo profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*, 7-14.
- López, J. L. (2016). Estrategias de mitigación y control de inundaciones y aludes torrenciales en el Estado Vargas y en el Valle de Caracas: situación actual y perspectivas futuras. *Revista de la facultad de ingeniería, Universidad Central de Venezuela*, 20(4).
- Cardenas Rodriguez, S. (2018). SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA PREVENIR INUNDACIONES DEL RIO ARAUCA. *Revista Semilleros de Investigación, Universidad de Pamplona*, 1(1).
- Miranda Jimenez, J. L. (2018). Identificación y evaluación de la zona de riesgo de inundación, en la cuenca baja Arroyo Xhosda, en San Juan del Río, Queretaro. *Repositorio Institucional, maestría en Gestión integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Queretaro*, 32-70.
- Arreguín, F., López, M., & Marengo, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y ciencias del agua*, 5-13.
- Tucci, C. (2007). *Gestión de inundaciones urbanas*. Porto Alegre: Organización Meteorológica Mundial.
- Instituto de manejo de agua y medio ambiente, Gobierno Regional de Cusco. (2013). *Instalación y mejoramiento de los servicios de protección ante aluviones en la microcuenca de Ramuschaca, del distrito de Zurite, provincia de Anta, región Cusco*. Cusco, Perú: Dirección de Estudios y Proyectos en Gestión Ambiental.

Gómez Cortés, D. (2012). *Medición de los esfuerzos generados por un flujo de detritos sobre una superficie plana*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. (2018). *Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas - POMCA*. Recuperado el 22 de mayo de 2019, de <http://ambientebogota.gov.co/385>

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Recuperado el 22 de mayo de 2019, de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/cuencas-hidrograficas/GUIA_DE_POMCAS.pdf

Domínguez Dueñas, F. (2000). *Hidrología de páramos: modelación de la Cuenca Alta del Río Blanco, disertación doctoral*. Bogotá: Universidad de los Andes.

Fieldman, A. D. (2000). *Hydrologic Modelling System HEC–HMS, Technical reference manual*. Davis CA: U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC.

The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. (1998). *Stream Corridor Restoration*. Recuperado el Noviembre de 2019, de United States Department of Agriculture: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044574.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE CAUDALES ESTACIÓN LAS MERCEDES

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA												
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica												
VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m³/s)												
ESTACIÓN : 2120879 MERCEDES LAS												
Departamento:												
Latitud	X=N=1034850	CUNDINAMARCA						Corriente	R. CHICÚ			
Longitud	Y=E=997500	Municipio: TABIO						Cuenca	R. CHICÚ			
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
1991	0.043	0.009	0.122	0.043	0.122			0.053	0.032	0.032	0.032	0.015
1992	0	0.001	0.001	0	0	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0.001
1993	0.001	0.001	0.001	0.001	0.02	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.02	0
1994	0.004	0.074	0.001	0.004	0.016	0.004	0.004	0.011	0.007	0.013	0.065	0.007
1995	0.001	0.001	0.007	0.016	0.032	0.049	0.001	0.009	0.013	0.024	0.032	0.013
1996	0.04	0.016	0.337	0.009	0.013	0.024	0.235	0.049	0.131	0.024	0.089	0.846
1997	0.009	0.007	0.005	0.013	0.007	0.007	0.009	0.02	0.004	0.009	0.157	0.005
1998	0.004	0.049	0.032	0.011	0.04	0.011	0.013	0.024	0.093	0.299	0.411	0.355
1999	0.105	0.323	0.752	0.647	0.125	0.49	0.043	0.235	0.323	0.279	0.146	0.368
2000	0.205	0.074	0.063	0.053	0.03	0.02	0.063	0.02	0.323	0.175	0.036	0.016
2001	0.01	0.02	0.036	0.03	0.043	0.043	0.016	0.03	0.063	0.02	0.008	0.01
2002	0.053	0	0.01	0.01	0.016	0.01	0.01	0.01	0.01	0.053	0.053	0.053
2003						0.005	0.01	0.005	0.008	0.018	0.01	0.026
2004	0.021	0.055	0.01	0.021	0.043	0.042	0.021	0.021	0.042	0.033	0.248	0.101
2005	0.026	0.026	0.016	0.018	0.055	0.101	0.055	0.083		0.248	0.21	0.072
2006	0.064	0.055	0.038	0.21	0.248	0.172	0.038	0.038	0.033	0.033	0.055	0.038
2007	0.038	0.033	0.038	0.055	0.072	0.042	0.026	0.033	0.029	0.248	0.101	0.172

2008	0.114	0.013	0.018	0.067	0.272	0.133	0.272	0.133	0.133	0.152	0.114	0.082
2009	0.126	0.039	0.076	0.076	0.039	0.034	0.034	0.034	0.029	0.125	0.092	0.092
2010				0.548	0.376	0.092	0.667	0.076	0.092	0.548	2.005	0.841
2011	0.094	0.327	0.56	2.382	1.249	0.253	0.074	0.189	0.052	0.094	0.366	1.815
2012	0.137	0.072	0.125	0.67	0.221	0.107	0.072	0.156	0.083	0.207	0.095	0.107
2013	0.078	0.119	0.207	0.275	0.275	0.143	0.095	0.107	0.119	0.207	0.119	0.221
2014	0.095	0.168	0.143	0.107	0.255	0.107	0.156	0.156	0.095			

MEDIOS	0.06	0.07	0.12	0.23	0.16	0.08	0.08	0.06	0.07	0.12	0.19	0.23
MAXIMOS	0.205	0.327	0.752	2.382	1.249	0.49	0.667	0.235	0.323	0.548	2.005	1.815
MINIMOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**ANEXO 2. VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE CAUDALES ESTACIÓN LM
PUENTE MANRIQUE**

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA

SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica

VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m³/s)

ESTACIÓN : 2120800 PTE MANRIQUE

Departamento:

Latitud X=N=1035400 CUNDINAMARCA Corriente R. SUBACHOQUE

Municipio:

Longitud Y=E=989400 SUBACHOQUE Cuenca R. SUBACHOQUE

AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
1950	2.10	11.60	6.60	9.60	14.80	14.10	4.00	4.30	11.70	20.10	14.70	6.60
1951	2.30	1.70	11.70	6.80	12.20	3.20	5.80	9.30	11.10	15.10	15.50	2.50
1952	2.00	1.40	1.10	9.90	17.78	3.30	10.10	2.00	5.70	5.70	15.10	9.80
1953	1.00	1.20	2.60	2.60	3.80	11.70	1.10	3.00	7.40	10.10	17.40	2.80
1954	1.20	1.40	1.00	3.80	5.70	6.10	6.90	12.20	2.00	21.20	28.40	14.70
1955	1.80	2.10	4.10	18.60	10.50	8.20	12.80	3.30	11.20	22.50	25.10	13.80
1956	5.80	2.90	11.20	2.80	6.00	14.50	11.40	4.10	7.80	25.70	30.90	7.80
1957	5.80	2.90	8.60	11.30	15.00	13.90	5.10	2.00	1.90	16.50	6.50	3.10
1958	0.30	1.10	3.00	1.10	0.50	1.40	0.50	1.40	0.50	9.00	3.10	2.20
1959	0.50	1.20	8.20	0.70	15.20	3.00	11.70	1.80	5.60	7.10	9.40	4.60
1960	2.20	10.50	4.30	7.70	10.40	5.80	8.90	4.70	1.60	12.80	13.70	5.50
1961	6.50	1.00	1.30	14.90	0.90	2.70	4.50	1.50	0.60	6.10	22.30	1.30
1962	1.50	0.50	0.60	7.10	4.50	17.30	1.50	8.20	7.30	17.00	24.10	4.00
1963	4.50	3.80	5.60	5.70	33.60	6.90	3.30	6.90	2.60	4.90	19.90	2.70
1964	1.80	0.40	0.90	3.20	9.60	13.50	8.30	3.00	1.70	5.50	5.50	3.20
1965	3.50	0.90	0.60	7.20	6.00	1.20	0.60	7.70	0.60	10.80	19.50	4.10
1966	2.08	0.66	0.95	4.72	1.78	5.29	1.48	7.25	3.03	20.50	12.80	11.68
1967	3.21	6.87	1.70	15.80	15.50	8.30	1.14	5.50	1.78	6.10	6.10	14.90
1968	3.78	2.31	1.70	19.10	3.59	21.20	3.31	12.20	2.84	16.70	11.16	11.16
1969	3.84	2.40	0.47	17.00	15.00	18.80	2.04	2.88	17.00	19.70	19.70	3.12
1970	2.67	6.75	7.95	0.80	7.80	0.96	2.04	2.76	10.80	27.52	26.04	5.76

1971	6.12	7.35	8.17	10.74	12.78	8.09	3.67	6.94	11.36	10.65	10.82	6.12
1972	10.51	4.32	10.70	13.16	11.55	8.26	9.29	3.32	1.02	0.75	8.68	0.51
1974						0.84	0.77	1.51	0.91	2.50	6.15	4.80
1975	0.45	0.79	0.71	3.02	2.40	1.39	1.90	1.39	1.90	3.02	9.40	6.32
1976	1.27	0.36	1.39	5.24	8.40	3.81	1.27	0.41	0.41	7.40	14.60	0.49
1977	0.22	0.15	0.41	3.65	1.27	4.44	0.36	1.39	2.40	3.40	3.97	0.41
1978	0.36	0.17	0.36	5.24	7.40	0.79	0.41	0.36	3.65	3.65	5.24	1.39
1979	0.64	0.58	0.73	5.48	2.37	5.48	2.90	2.37	2.37	18.12	7.35	2.96
1980	0.60	0.46	0.32	0.32	2.37	0.60	0.46	0.32	0.32	7.77	5.41	0.32
1981	0.22	0.08	0.09	1.21	10.32	7.77	1.35	0.32	0.38	1.45	7.77	0.60
1982	2.03	0.54	0.46	14.84	8.46	1.74	0.32	0.22	2.71	7.16	2.30	1.21
1983	0.60	0.46	0.97	2.03	2.87	1.45	0.60	0.71	0.38	4.40	1.21	1.21
1984	0.69	4.21	0.54	0.60	3.18	1.91	0.89	5.20	1.91	6.31	10.31	1.35
1985	0.60	0.45	0.54	0.82	3.02	0.82	1.11	0.40	4.21	7.52	2.94	1.11
1986	0.28	3.76	0.71	1.35	1.35	8.86	1.62	0.82	6.31	11.88	8.18	1.91
1987		0.71	0.54	0.71	4.70	0.97	0.89	1.25	1.91	6.90	3.34	2.23
1988	0.40	0.48	0.40	0.71	3.34	6.31	2.71	3.76	4.21	10.31	15.39	11.56
1990	0.24	0.64	0.42	3.12	3.87	0.64	0.42	0.33	0.38	2.67	1.03	4.41
1991	0.34	0.34	5.91	2.75	4.20	0.71	3.44	5.91	1.85	0.90	2.13	1.58
1992	0.39	0.27	0.20	0.39	0.71	0.34	1.34	2.75	0.25	0.13	0.71	1.11
1993	0.27	0.64	0.27	1.34	4.20	0.54	0.39	0.27	0.71	0.71	6.38	2.13
1994	0.90	0.71	0.54	1.58	1.11	5.02	2.75	0.64	1.58	3.44	3.09	0.54
1995	0.34	0.34	0.71	1.58	3.09	4.20	0.54	2.75	5.91	1.85	1.34	2.13
1996	1.02	0.54	5.91	1.11	1.58	3.44	5.02	1.58	0.90	3.09	1.34	7.37
1997	0.71	0.20	0.74	0.74	0.20	3.34	0.93	0.30	0.20	0.30	1.13	0.74
1998	0.20	0.43	0.24	0.93	7.48	1.58	1.84	1.13	0.43	5.65	3.01	2.69
1999	2.11	5.48	4.05	4.43	3.34	1.58	3.34	2.69	6.08	16.95	4.43	1.13
2000	0.38	5.48	1.84	0.74	0.30	1.58	2.00	0.43	4.43	1.84	1.84	0.07
2001	0.11	0.20	0.43	0.11	1.20	3.25	0.12	0.70	3.25	3.25	5.17	3.25
2002	0.22	0.09	2.00	5.17	5.17	5.17	1.20	5.17				
2003				5.17	2.00	0.70						
2011	1.12	6.32	2.58	1.95	20.13	16.30	1.12	1.48	1.52	12.32	26.67	16.50
2012	2.15	0.91	16.58	88.27		54.35	1.37	15.12	2.35	1.94	2.21	1.47
2013	0.46	0.33	0.31	0.43	1.43	0.80	0.53	0.43	0.77	2.98	9.14	13.70

2014	3.213	0.812	1.077	2.758	18.532	1.638	1.435	0.883	1.586			
------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	-------	--	--	--

MEDIOS	1.84	2.08	2.87	6.58	6.93	6.25	3.00	3.26	3.58	8.90	10.18	4.50
MAXIMOS	10.51	11.60	16.58	88.27	33.60	54.35	12.80	15.12	17.00	27.52	30.90	16.50
MINIMOS	0.11	0.08	0.09	0.11	0.20	0.34	0.12	0.22	0.20	0.13	0.71	0.07

ANEXO 3. VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE CAUDALES ESTACIÓN LA MURALLA

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA												
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica												
VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE CAUDALES (m³/s)												
Departamento	CUNDINAMARCA						Corriente	R. SUBACHOQUE				
Municipio	SUBACHOQUE						Cuenca	R. SUBACHOQUE				
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
1969	1.825	2.07	0.686	6.216	6.457	6.895	1.825	1.825	6.895	6.895	6.895	2.494
1970	1.678	1.58	1.727	0.334	4.28	0.916	1.484	2.176	5.088	7.243	7.33	1.972
1971	5.82	7.55	8.44	12.55	13.25	9.3	1.3	7.33	13.72	12.55	12.01	1.92
1972	10.86	1.3	8.91	11.99	10.4	2.97	5.84	1.56	1.3	0.76	5.37	0.47
1973	0.16	0.09	0.22	0.18	0.89	0.53	0.27	0.37	8.91	8.91	3.27	6.74
1974	1.11	1.19	9.93	7.79	9.93	1.03	0.56	1.65	2.24	4.79	6.39	8.5
1975	0.53	0.92	0.85	4.08	7.4	2.19	6.22	1.7	4.08	6.04	10.21	9.52
1976	1.64	3.09	2.24	6.39	7.8	4.79	4.09	0.56	1.93	6.05	10.7	0.76
1977	0.3	0.27	0.69	6.14	2.19	5.49	0.53	2.78	5.35	6.01	5.49	1.3
1978	0.4	0.23	0.46	5.35	5.35	1.69	0.85	0.92	4.09	2.78	4.09	4.9
1979	1.94	0.28	1.28	6.03	5.56	6.32	1.6	2.84	3.99	14	10.14	3.12
1980		0.92	0.49	0.97	5.54	1.09	0.54	0.97	0.56	9.21	5.18	1.03
1981	0.47	0.32	0.3	2.3	9.21	9.79	0.73	0.61	0.53	1.94	8.14	0.81
1982		0.54	0.7	9.67	14.99	9.21	0.92	0.65	2.3	8.14	1.54	4.54
1983	0.65	0.43	1.94	3.08	6.51	1.34	0.54	0.61	0.36	1.98	1.74	0.78
1984	0.92	1.89	0.35	0.35	3.21	1.64	0.82	11.42	3	5.66	4.94	1.07
1985	0.46	0.01	0.06	0.77	3.49	0.49	1.38	0.68	3.99	14.55	6.55	1.61
1986	0.47	0.51	1.03	0.53	0.45	6.06	0.53	0.95	6.1	8.16	6.1	3.8
1987	0.95	0.71	0.14	0.64	6.26	1.83	0.47	1.38	1.03		3.8	5.5
1988	0.49	0.16	0.23	0.57	4.26	8.55	1.34	5.27	5.27	5.95	6.78	3.99
1989	1.74	0.56	0.56	0.47	3.72	1.46	1.43	0.43	1.43	2.22	3.64	0.14
1990	0.19	0.55	0.73	9.86	9.19	0.73	0.85	0.55	1.3	9.06	2.98	11.27
1991	1.018	0.49	3.74	4.662	0.464	0.464	0.438	3.74	0.908	1.018	2.258	0.49
1992	0.17	0.49					2.57	1.502			0.944	2.57
1993	0.25			0.58	4.324	0.8	0.49	0.36	0.386	2.57	3.13	3.31

1994	0.55	1.018	0.386	0.944	0.672	0.736	0.98	0.58	2.57	4.65	1.8	0.406
1995	0.406	0.286	0.406	2.26	1.54	3.98	1.154			4.58	4.79	2.78
1996	0.73	0.45	7.82	1.01	3.35	2.52	4.58	1.38	0.978	3.35	2.364	4.65
1997	4.3	0.45	0.648	1.932	0.882	3.66	0.674	0.218	0.304	0.474	1.624	0.362
1998	0.02	0.57	0.17	1.342	7.294	1.888	1.304	0.82	2.468	7.82	7.82	2.364
1999	1.8	6.212	5.974	2.78	0.156	1.71	1.006	1.093	0.66	14.09	2.332	0.66
2000	1.224	1.006	1.477	0.008	0.001	0.004	1.477	1.006	2.408	7.814	2.103	0.023
2001	0	0.292	0.277	0.137	0.137	0.415	0.415	0.137	2.918	2.744	0.247	0.322
2002	0.234	0.137	0.277	7.25	4.985	0.34	0.069	0.001	0.009	0.012	0.012	0.014
2003	0.014	0	0	0.017	0.081	0.081						
2004	0.001	0	0.06									
2006				8.758	15.21	15.847	2.146	1.607	0.559	2.5	8.758	0.031
2007	0.671	0.054	0.06	4.693	0.158	0.165	0.136	0.368	0.097	1.444	3.276	0.915
2008	1.465	1.465	2.495	5.458	6.415	3.756	2.619	5.458	5.853	3.207	6.134	5.524
2009	0.909	0.886	1.693	1.21	1.562	0.472	0.371	0.297	1.5	0.623	1.562	0.333
2010				3.114	4.171	1.5	6.05	2.743	2.238	5.354	9.459	8.278
2011	2.205	3.188	8.135	18.113	16.89	10.238	1.551	2.893	2.836	17.059	21.31	17.934
2012	3.054	1.172	2.653	8.452	6.501	2.935	5.257	3.114	0.896	2.822	2.093	0.533
2013	0.4	0.687	1.693	2.653	2.765	1.044	0.736	0.953	0.788	2.093	4.695	11.65
2014	1.493	1.013	3.552	3.361	8.677	1.138	0.762	0.953	0.814	2.338		

Medios	1.31	1.07	2.04	4.07	5.27	3.21	1.60	1.82	2.75	5.60	5.24	3.32
Máximos	10.9	7.6	9.9	18.1	16.9	15.8	6.2	11.4	13.7	17.1	21.3	17.9
Mínimos	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01

ANEXO 4. TABLA DE VOLÚMENES DE REMOCIÓN DE SEDIMENTOS ENTRE
CADA PAR DE SECCIONES TRANSVERSALES

N°	River	RS Range	Net Volume Total	Cut Volume Total	Fill Volume Total
1	Rio_Chicu	8010 to 7995	111	111	0
2	Rio_Chicu	7995 to 7980	120	120	0
3	Rio_Chicu	7980 to 7965	136	136	0
4	Rio_Chicu	7965 to 7950	155	155	0
5	Rio_Chicu	7950 to 7935	189	189	0
6	Rio_Chicu	7935 to 7920	594	594	0
7	Rio_Chicu	7920 to 7905	180	180	0
8	Rio_Chicu	7905 to 7890.11	270	270	0
9	Rio_Chicu	7890.11 to 7875	141	141	0
10	Rio_Chicu	7875 to 7860.811	93	93	0
11	Rio_Chicu	7860.811 to 7853.084	45	45	0
12	Rio_Chicu	7853.084 to 7845	50	50	0
13	Rio_Chicu	7845 to 7830.02	99	99	0
14	Rio_Chicu	7830.02 to 7825.062	34	34	0
15	Rio_Chicu	7825.062 to 7815.237	63	63	0
16	Rio_Chicu	7815.237 to 7799.934	88	88	0
17	Rio_Chicu	7799.934 to 7785	77	77	0
18	Rio_Chicu	7785 to 7770	77	77	0
19	Rio_Chicu	7770 to 7752.025	104	104	0
20	Rio_Chicu	7752.025 to 7740	69	69	0
21	Rio_Chicu	7740 to 7725.185	76	76	0
22	Rio_Chicu	7725.185 to 7714.193	51	51	0
23	Rio_Chicu	7714.193 to 7710	18	18	0
24	Rio_Chicu	7710 to 7695	61	61	0
25	Rio_Chicu	7695 to 7679.938	70	70	0
26	Rio_Chicu	7679.938 to 7663.636	73	73	0
27	Rio_Chicu	7663.636 to 7658.188	39	39	0
28	Rio_Chicu	7658.188 to 7652.616	57	57	0
29	Rio_Chicu	7652.616 to 7645.412	54	54	0
30	Rio_Chicu	7645.412 to 7635.496	54	54	0
31	Rio_Chicu	7635.496 to 7631.315	21	21	0
32	Rio_Chicu	7631.315 to 7626.412	22	22	0
33	Rio_Chicu	7626.412 to 7613.062	67	67	0
34	Rio_Chicu	7613.062 to 7605	40	40	0
35	Rio_Chicu	7605 to 7590	70	70	0

36	Rio_Chicu	7590 to 7575	77	77	0
37	Rio_Chicu	7575 to 7560	82	82	0
38	Rio_Chicu	7560 to 7544.951	79	79	0
39	Rio_Chicu	7544.951 to 7530	78	78	0
40	Rio_Chicu	7530 to 7502.312	135	135	0
41	Rio_Chicu	7502.312 to 7485	82	82	0
42	Rio_Chicu	7485 to 7470	76	76	0
43	Rio_Chicu	7470 to 7455	64	64	0
44	Rio_Chicu	7455 to 7440	56	56	0
45	Rio_Chicu	7440 to 7425	84	84	0
46	Rio_Chicu	7425 to 7405.169	122	122	0
47	Rio_Chicu	7405.169 to 7390.146	80	80	0
48	Rio_Chicu	7390.146 to 7379.331	48	48	0
49	Rio_Chicu	7379.331 to 7365	52	52	0
50	Rio_Chicu	7365 to 7350	73	73	0
51	Rio_Chicu	7350 to 7334.929	82	82	0
52	Rio_Chicu	7334.929 to 7319.812	118	118	0
53	Rio_Chicu	7319.812 to 7305	130	130	0
54	Rio_Chicu	7305 to 7291.163	92	92	0
55	Rio_Chicu	7291.163 to 7276.28	118	118	0
56	Rio_Chicu	7276.28 to 7262.809	102	102	0
57	Rio_Chicu	7262.809 to 7254.578	47	47	0
58	Rio_Chicu	7254.578 to 7245	58	58	0
59	Rio_Chicu	7245 to 7233.114	75	75	0
60	Rio_Chicu	7233.114 to 7222.229	81	81	0
61	Rio_Chicu	7222.229 to 7215	60	60	0
62	Rio_Chicu	7215 to 7200	124	124	0
63	Rio_Chicu	7200 to 7185	117	117	0
64	Rio_Chicu	7185 to 7170	95	95	0
65	Rio_Chicu	7170 to 7155	78	78	0
66	Rio_Chicu	7155 to 7140	82	82	0
67	Rio_Chicu	7140 to 7110	189	189	0
68	Rio_Chicu	7110 to 7080	223	223	0
69	Rio_Chicu	7080 to 7050	199	199	0
70	Rio_Chicu	7050 to 7020	158	158	0
71	Rio_Chicu	7020 to 7005	89	89	0
72	Rio_Chicu	7005 to 6975	216	216	0
73	Rio_Chicu	6975 to 6945	215	215	0
74	Rio_Chicu	6945 to 6913.529	227	227	0
75	Rio_Chicu	6913.529 to 6900	104	104	0
76	Rio_Chicu	6900 to 6870	258	258	0
77	Rio_Chicu	6870 to 6844.778	261	261	0
78	Rio_Chicu	6844.778 to 6825	205	205	0
79	Rio_Chicu	6825 to 6795	306	306	0
80	Rio_Chicu	6795 to 6765	299	299	0

81	Rio_Chicu	6765 to 6749.861	148	148	0
82	Rio_Chicu	6749.861 to 6735	148	148	0
83	Rio_Chicu	6735 to 6719.962	126	126	0
84	Rio_Chicu	6719.962 to 6705.042	127	127	0
85	Rio_Chicu	6705.042 to 6675.715	267	267	0
86	Rio_Chicu	6675.715 to 6660	125	125	0
87	Rio_Chicu	6660 to 6645	116	116	0
88	Rio_Chicu	6645 to 6630	124	124	0
89	Rio_Chicu	6630 to 6615	134	134	0
90	Rio_Chicu	6615 to 6600	148	148	0
91	Rio_Chicu	6600 to 6585	146	146	0
92	Rio_Chicu	6585 to 6570	122	122	0
93	Rio_Chicu	6570 to 6555	128	128	0
94	Rio_Chicu	6555 to 6540	151	151	0
95	Rio_Chicu	6540 to 6525	124	124	0
96	Rio_Chicu	6525 to 6510	105	105	0
97	Rio_Chicu	6510 to 6487.837	202	202	0
98	Rio_Chicu	6487.837 to 6480	85	85	0
99	Rio_Chicu	6480 to 6465	168	168	0
100	Rio_Chicu	6465 to 6457.101	88	88	0
101	Rio_Chicu	6457.101 to 6449.956	84	84	0
102	Rio_Chicu	6449.956 to 6435	179	179	0
103	Rio_Chicu	6435 to 6420	141	141	0
104	Rio_Chicu	6420 to 6390	236	236	0
105	Rio_Chicu	6390 to 6360	262	262	0
106	Rio_Chicu	6360 to 6330	264	264	0
107	Rio_Chicu	6330 to 6300	275	275	0
108	Rio_Chicu	6300 to 6270	262	262	0
109	Rio_Chicu	6270 to 6240	260	260	0
110	Rio_Chicu	6240 to 6210	331	331	0
111	Rio_Chicu	6210 to 6195	197	197	0
112	Rio_Chicu	6195 to 6165	383	383	0
113	Rio_Chicu	6165 to 6150	187	187	0
114	Rio_Chicu	6150 to 6120	346	346	0
115	Rio_Chicu	6120 to 6090	314	314	0
116	Rio_Chicu	6090 to 6064.18	277	277	0
117	Rio_Chicu	6064.18 to 6045	204	204	0
118	Rio_Chicu	6045 to 6030	161	161	0
119	Rio_Chicu	6030 to 6015	162	162	0
120	Rio_Chicu	6015 to 6010.363	50	50	0
121	Rio_Chicu	6010.363 to 6000	115	115	0
122	Rio_Chicu	6000 to 5985	173	173	0
123	Rio_Chicu	5985 to 5970	177	177	0
124	Rio_Chicu	5970 to 5955	188	188	0
125	Rio_Chicu	5955 to 5946.366	114	114	0

126	Rio_Chicu	5946.366 to 5940	90	90	0
127	Rio_Chicu	5940 to 5925	193	193	0
128	Rio_Chicu	5925 to 5910	187	187	0
129	Rio_Chicu	5910 to 5895	207	207	0
130	Rio_Chicu	5895 to 5880	208	208	0
131	Rio_Chicu	5880 to 5865	223	223	0
132	Rio_Chicu	5865 to 5850	233	233	0
133	Rio_Chicu	5850 to 5835	252	252	0
134	Rio_Chicu	5835 to 5820	287	287	0
135	Rio_Chicu	5820 to 5805	289	289	0
136	Rio_Chicu	5805 to 5790	265	265	0
137	Rio_Chicu	5790 to 5775	245	245	0
138	Rio_Chicu	5775 to 5760	192	192	0
139	Rio_Chicu	5760 to 5745	130	130	0
140	Rio_Chicu	5745 to 5731.595	117	117	0
141	Rio_Chicu	5731.595 to 5715	156	156	0
142	Rio_Chicu	5715 to 5700	160	160	0
143	Rio_Chicu	5700 to 5689.608	129	129	0
144	Rio_Chicu	5689.608 to 5678.07	140	140	0
145	Rio_Chicu	5678.07 to 5670.451	103	103	0
146	Rio_Chicu	5670.451 to 5655	268	268	0
147	Rio_Chicu	5655 to 5640	314	314	0
148	Rio_Chicu	5640 to 5625	361	361	0
149	Rio_Chicu	5625 to 5610	325	325	0
150	Rio_Chicu	5610 to 5595	257	257	0
151	Rio_Chicu	5595 to 5576.576	310	310	0
152	Rio_Chicu	5576.576 to 5565	194	194	0
153	Rio_Chicu	5565 to 5550	247	247	0
154	Rio_Chicu	5550 to 5535	294	294	0
155	Rio_Chicu	5535 to 5522.877	253	253	0
156	Rio_Chicu	5522.877 to 5505	335	335	0
157	Rio_Chicu	5505 to 5488.44	315	315	0
158	Rio_Chicu	5488.44 to 5475	248	248	0
159	Rio_Chicu	5475 to 5460	264	264	0
160	Rio_Chicu	5460 to 5443.755	253	253	0
161	Rio_Chicu	5443.755 to 5430	177	177	0
162	Rio_Chicu	5430 to 5415	202	202	0
163	Rio_Chicu	5415 to 5400.027	211	211	0
164	Rio_Chicu	5400.027 to 5390.705	154	154	0
165	Rio_Chicu	5390.705 to 5369.905	287	287	0
166	Rio_Chicu	5369.905 to 5355	99	99	0
167	Rio_Chicu	5355 to 5340.151	82	82	0
168	Rio_Chicu	5340.151 to 5330.659	56	56	0
169	Rio_Chicu	5330.659 to 5309.696	135	135	0
170	Rio_Chicu	5309.696 to 5295	106	106	0

171	Rio_Chicu	5295 to 5280	127	127	0
172	Rio_Chicu	5280 to 5253.512	191	191	0
173	Rio_Chicu	5253.512 to 5239.103	98	98	0
174	Rio_Chicu	5239.103 to 5228.298	92	92	0
175	Rio_Chicu	5228.298 to 5223.935	25	25	0
176	Rio_Chicu	5223.935 to 5214.783	64	64	0
177	Rio_Chicu	5214.783 to 5199.423	156	156	0
178	Rio_Chicu	5199.423 to 5188.524	107	107	0
179	Rio_Chicu	5188.524 to 5174.965	138	138	0
180	Rio_Chicu	5174.965 to 5165.05	103	103	0
181	Rio_Chicu	5165.05 to 5160	63	63	0
182	Rio_Chicu	5160 to 5145	200	200	0
183	Rio_Chicu	5145 to 5130	154	154	0
184	Rio_Chicu	5130 to 5115	125	125	0
185	Rio_Chicu	5115 to 5100	127	127	0
186	Rio_Chicu	5100 to 5081.885	176	176	0
187	Rio_Chicu	5081.885 to 5070	142	142	0
188	Rio_Chicu	5070 to 5055	186	186	0
189	Rio_Chicu	5055 to 5040	169	169	0
190	Rio_Chicu	5040 to 5022.779	165	165	0
191	Rio_Chicu	5022.779 to 5010	143	143	0
192	Rio_Chicu	5010 to 4995	201	201	0
193	Rio_Chicu	4995 to 4980	174	174	0
194	Rio_Chicu	4980 to 4965	166	166	0
195	Rio_Chicu	4965 to 4950	151	151	0
196	Rio_Chicu	4950 to 4935	119	119	0
197	Rio_Chicu	4935 to 4917.153	156	156	0
198	Rio_Chicu	4917.153 to 4904.966	113	113	0
199	Rio_Chicu	4904.966 to 4896.154	95	95	0
200	Rio_Chicu	4896.154 to 4889.682	89	89	0
201	Rio_Chicu	4889.682 to 4875	206	206	0
202	Rio_Chicu	4875 to 4860	196	196	0
203	Rio_Chicu	4860 to 4845	177	177	0
204	Rio_Chicu	4845 to 4830	133	133	0
205	Rio_Chicu	4830 to 4815	95	95	0
206	Rio_Chicu	4815 to 4800	92	92	0
207	Rio_Chicu	4800 to 4770	203	203	0
208	Rio_Chicu	4770 to 4740	190	190	0
209	Rio_Chicu	4740 to 4710	176	176	0
210	Rio_Chicu	4710 to 4695	79	79	0
211	Rio_Chicu	4695 to 4680	71	71	0
212	Rio_Chicu	4680 to 4664.505	131	131	0
213	Rio_Chicu	4664.505 to 4652.075	152	152	0
214	Rio_Chicu	4652.075 to 4635	247	247	0
215	Rio_Chicu	4635 to 4605	548	548	0

216	Rio_Chicu	4605 to 4580.086	485	485	0
217	Rio_Chicu	4580.086 to 4560	351	351	0
218	Rio_Chicu	4560 to 4545	280	280	0
219	Rio_Chicu	4545 to 4529.217	360	360	0
220	Rio_Chicu	4529.217 to 4515.691	355	355	0
221	Rio_Chicu	4515.691 to 4500	483	483	0
222	Rio_Chicu	4500 to 4485	500	500	0
223	Rio_Chicu	4485 to 4470	452	452	0
224	Rio_Chicu	4470 to 4458.177	296	296	0
225	Rio_Chicu	4458.177 to 4440	383	383	0
226	Rio_Chicu	4440 to 4425	292	292	0
227	Rio_Chicu	4425 to 4404.805	405	405	0
228	Rio_Chicu	4404.805 to 4395	207	207	0
229	Rio_Chicu	4395 to 4386.727	184	184	0
230	Rio_Chicu	4386.727 to 4373.786	250	250	0
231	Rio_Chicu	4373.786 to 4359.052	231	231	0
232	Rio_Chicu	4359.052 to 4351.626	111	111	0
233	Rio_Chicu	4351.626 to 4337.274	259	259	0
234	Rio_Chicu	4337.274 to 4318.128	406	406	0
235	Rio_Chicu	4318.128 to 4296.31	425	425	0
236	Rio_Chicu	4296.31 to 4275	383	383	0
237	Rio_Chicu	4275 to 4245	515	515	0
238	Rio_Chicu	4245 to 4215	518	518	0
239	Rio_Chicu	4215 to 4185	593	593	0
240	Rio_Chicu	4185 to 4155	597	597	0
241	Rio_Chicu	4155 to 4125	521	521	0
242	Rio_Chicu	4125 to 4095	477	477	0
243	Rio_Chicu	4095 to 4065	489	489	0
244	Rio_Chicu	4065 to 4050	277	277	0
245	Rio_Chicu	4050 to 4020	601	601	0
246	Rio_Chicu	4020 to 4005	308	308	0
247	Rio_Chicu	4005 to 3990.099	308	308	0
248	Rio_Chicu	3990.099 to 3971.48	334	334	0
249	Rio_Chicu	3971.48 to 3960	191	191	0
250	Rio_Chicu	3960 to 3944.707	256	256	0
251	Rio_Chicu	3944.707 to 3930.073	229	229	0
252	Rio_Chicu	3930.073 to 3915	246	246	0
253	Rio_Chicu	3915 to 3892.983	330	330	0
254	Rio_Chicu	3892.983 to 3885	98	98	0
255	Rio_Chicu	3885 to 3870	141	141	0
256	Rio_Chicu	3870 to 3855	129	129	0
257	Rio_Chicu	3855 to 3840	163	163	0
258	Rio_Chicu	3840 to 3809.928	408	408	0
259	Rio_Chicu	3809.928 to 3781.349	435	435	0
260	Rio_Chicu	3781.349 to 3769.299	175	175	0

261	Rio_Chicu	3769.299 to 3754.886	216	216	0
262	Rio_Chicu	3754.886 to 3738.757	242	242	0
263	Rio_Chicu	3738.757 to 3720.019	212	212	0
264	Rio_Chicu	3720.019 to 3705	133	133	0
265	Rio_Chicu	3705 to 3690.176	146	146	0
266	Rio_Chicu	3690.176 to 3678.211	134	134	0
267	Rio_Chicu	3678.211 to 3658.929	209	209	0
268	Rio_Chicu	3658.929 to 3645.012	142	142	0
269	Rio_Chicu	3645.012 to 3615.41	307	307	0
270	Rio_Chicu	3615.41 to 3601.188	156	156	0
271	Rio_Chicu	3601.188 to 3584.915	192	192	0
272	Rio_Chicu	3584.915 to 3570	200	200	0
273	Rio_Chicu	3570 to 3554.981	215	215	0
274	Rio_Chicu	3554.981 to 3544.88	138	138	0
275	Rio_Chicu	3544.88 to 3525	251	251	0
276	Rio_Chicu	3525 to 3509.153	185	185	0
277	Rio_Chicu	3509.153 to 3495	171	171	0
278	Rio_Chicu	3495 to 3480.385	186	186	0
279	Rio_Chicu	3480.385 to 3471.134	113	113	0
280	Rio_Chicu	3471.134 to 3454.253	213	213	0
281	Rio_Chicu	3454.253 to 3441.318	182	182	0
282	Rio_Chicu	3441.318 to 3425.601	215	215	0
283	Rio_Chicu	3425.601 to 3408.723	228	228	0
284	Rio_Chicu	3408.723 to 3394.516	194	194	0
285	Rio_Chicu	3394.516 to 3382.83	166	166	0
286	Rio_Chicu	3382.83 to 3371.922	157	157	0
287	Rio_Chicu	3371.922 to 3357.289	198	198	0
288	Rio_Chicu	3357.289 to 3345	170	170	0
289	Rio_Chicu	3345 to 3329.036	244	244	0
290	Rio_Chicu	3329.036 to 3300	495	495	0
291	Rio_Chicu	3300 to 3283.176	352	352	0
292	Rio_Chicu	3283.176 to 3273.617	261	261	0
293	Rio_Chicu	3273.617 to 3255.05	394	394	0
294	Rio_Chicu	3255.05 to 3223.407	304	304	0
295	Rio_Chicu	3223.407 to 3214.274	69	69	0
296	Rio_Chicu	3214.274 to 3199.611	122	122	0
297	Rio_Chicu	3199.611 to 3180.072	159	159	0
298	Rio_Chicu	3180.072 to 3165	99	99	0
299	Rio_Chicu	3165 to 3135	181	181	0
300	Rio_Chicu	3135 to 3112.055	169	169	0
301	Rio_Chicu	3112.055 to 3098.932	122	122	0
302	Rio_Chicu	3098.932 to 3076.452	243	243	0
303	Rio_Chicu	3076.452 to 3062.912	150	150	0
304	Rio_Chicu	3062.912 to 3045.334	219	219	0
305	Rio_Chicu	3045.334 to 3026.079	262	262	0

306	Rio_Chicu	3026.079 to 3015.684	149	149	0
307	Rio_Chicu	3015.684 to 3000	226	226	0
309		Totals	58,380	58,380	