



16-

FECHA Lunes, 17 de junio de 2019

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
BIBLIOTECA
Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Extensión Facatativá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Hernández Caballero	Angie Nataly	1022422791
Silva Herrera	Ángela María	1070982090



Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Castañeda Celeita	William Andrés

TÍTULO DEL DOCUMENTO
FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA GESTION DE LA MICROCUENCA QUEBRADA MANCILLA A PARTIR DEL CÁLCULO DEL BALANCE HIDRICO Y EL CAUDAL ECOLOGICO EN FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA.

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
INGENIERO AMBIENTAL

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PAGINAS
2019	116

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Microcuenca	Micro-basin
2. Estrategias de manejo	Management Strategies
3. Caudal ecológico	Ecological Flow
4. Recurso hídrico	Hydric Resource
5. Balance hídrico	Water Balance
6. Mancilla	Mancilla

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS
(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español)

El presente estudio tiene como objetivo la formulación de estrategias de gestión para la quebrada Mancilla por medio de la caracterización de la microcuenca a partir de parámetros morfométricos, hidrológicos: determinación del balance hídrico y del caudal ecológico, así como un análisis de la situación actual de la cuenca en cuanto a calidad del agua, cambio temporal en las coberturas y demanda hídrica caracterizada como los usos del agua según las concesiones otorgadas por la CAR en el área de estudio. En el desarrollo del trabajo se emplearon diversas metodologías basadas en la información disponible, entre las que se encuentran el procesamiento y análisis de un DEM por medio de ArcGIS lo que permitió determinar elementos de la cuenca como su área, perímetro, elevación, pendiente, entre otros, que permiten entender el comportamiento hidrológico asociado a la misma. El diagnóstico de la situación actual de la microcuenca a partir de información secundaria, además de la evaluación de variables meteorológicas, determinación del balance hídrico actual, cálculo del caudal ecológico empleando el método hidrológico del IDEAM. Con base en los parámetros calculados y entendiendo la situación actual de la microcuenca, se realizó el planteamiento de estrategias de manejo del recurso hídrico, de manera que sean lineamientos viables tanto social como administrativamente. Todo lo anterior articulado con las políticas a nivel nacional, departamental y local establecidas en los planes de desarrollo municipal y nacional, el POMCA de la subcuenca del río Balsillas a la que pertenece la microcuenca en estudio, y los planes de acción de la CAR.

The objective of this study is to formulate water resource management strategies in the Mancilla creek by characterizing the micro-basin from morphometric and hydrological parameters, including: flow analysis, determination of water balance and flow rate ecological, as well as an analysis of the current situation of the basin in terms of water quality, temporary change in coverage and water demand characterized as water uses according to the concessions granted by the Autonomous Regional Corporation of Cundinamarca - CAR in the study area. In the development of the work, different methodologies are used, based on the available information, among which is the processing and analysis of a digital elevation model - DEM, by means of the ArcGIS 10.5 Software; which allowed to determine elements of the basin as: Its area, perimeter, elevation, slope, among others, which allow us to understand the hydrological behavior associated with it. The diagnosis of the current situation of the microbasin based on secondary information, in addition to the evaluation of meteorological variables, determination of the current water balance, calculation of the ecological flow using the hydrological method of the IDEAM. Based on the calculated parameters, the water balance, the ecological flow, and the current situation of the micro-basin, the planning of water resource management strategies will be carried out, so that they are viable guidelines, both socially and administratively, on the management of water in the microbasin of the Mancilla creek. 4 All the above articulated with the policies at the national, departmental and local levels established in the municipal and national development plans, the POMCA of the subbasin of the Balsillas river to which the micro-basin in the study belongs, and the action plans of the CAR.

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Calle 14 Avenida 15 Facatativá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8920707 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)		SI	NO
1.	La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2.	La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3.	La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4.	La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales.



Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI ___ **NO** **X**__.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).



b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.





j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA GESTION DE LA MICROCUENCA QUEBRADA MANCILLA A PARTIR DEL CÁLCULO DEL BALANCE HIDRICO Y EL CAUDAL ECOLOGICO EN FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA.pdf	Texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Hernández Caballero Angie Nataly	<i>Nataly Hernández Caballero</i>
Silva Herrera Ángela María	<i>Ángela María Silva Herrera</i>

21.1-40

*FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA GESTION DE LA MICROCUENCA QUEBRADA
MANCILLA A PARTIR DEL CÁLCULO DEL BALANCE HIDRICO Y EL CAUDAL ECOLOGICO EN
FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA*

ANGIE NATALY HERNÁNDEZ CABALLERO
ÁNGELA MARÍA SILVA HERRERA

TRABAJO DE GRADO

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERIA AMBIENTAL
FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA
2019

**FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA GESTION DE LA
MICROCUEENCA QUEBRADA MANCILLA A PARTIR DEL CÁLCULO
DEL BALANCE HIDRICO Y EL CAUDAL ECOLOGICO EN
FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA**

ANGIE NATALY HERNÁNDEZ CABALLERO
ÁNGELA MARÍA SILVA HERRERA

Una Tesis Presentada Para Obtener El Título De
Ingeniero Ambiental

ING. WILLIAM ANDRES CASTAÑEDA CELEITA
Director

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERIA AMBIENTAL
FACATATIVÁ, CUNDINAMARCA
2019

DEDICATORIA

En primer lugar, dedicamos este trabajo a nuestros padres y a las personas que nos apoyaron quienes con su amor, ejemplo y dedicación han sido la motivación para alcanzar juntas este importante logro en nuestro futuro. Acompañándonos y apoyándonos, en esos momentos en los que los obstáculos parecían infranqueables, del mismo modo, a aquellas personas tales como profesores u orientadores que han formado parte de nuestra educación y formación y que directa o indirectamente, han contribuido en la consolidación de nuestro proyecto. Igualmente va dedicado a nuestra universidad, para que la propuesta pueda ser un grano de arena que aporte en la implementación de mecanismos que contribuyan al manejo adecuado y la protección de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, que nos brindó la paciencia, sabiduría y fortaleza para culminar esta etapa de nuestras vidas.

Igualmente a nuestro director, el Ingeniero William Andrés Castañeda Celeita; quien nos apoyó incondicionalmente durante el proceso de la investigación, para que este trabajo fuera exitoso, además de su conocimiento ofrecido que fue uno de los pilares para la realización de este trabajo.

A los profesores y demás profesionales que encontramos en el camino, por su orientación y apoyo brindado a lo largo de la carrera, por su tiempo, amistad y por los conocimientos que nos transmitieron no solo en el desarrollo del presente trabajo, si no para nuestra futura vida profesional.

A nuestros padres, hermanas y seres queridos por su confianza y el cariño brindado en cada una de sus palabras.

A aquellas personas que dieron su apoyo directo y/o indirecto para lograr culminar el desarrollo de este proyecto.

Tabla de contenido

Resumen	1
Abstract	3
1. Introducción	5
2. Planteamiento del problema	7
3. Justificación.....	9
4. Objetivos	11
4.1. Objetivo general.....	11
4.2. Objetivos específicos	11
5. Marco referencial	12
5.1. Marco teórico	12
5.2. Marco conceptual.....	15
5.3. Marco legal	23
5.4. Marco geográfico.....	26
5.4.1. Localización y descripción.....	26
5.4.2. Hidrología.....	27
6. Metodología	29
6.1. Caracterizar la microcuenca en términos morfométricos, de cobertura vegetal, calidad y usos actuales del agua.....	29
6.1.1. Morfometría del área de estudio.....	29

6.1.1.1.	Delimitación cartográfica	29
6.1.1.2.	Determinación de variables morfométricas	30
6.1.2.	Análisis de coberturas	35
6.1.3.	Calidad del agua	35
6.1.4.	Determinación de los usos del agua en la microcuenca en estudio.....	36
6.2.	Calcular y evaluar el balance hídrico y caudal ecológico de la microcuenca.....	37
6.2.1.	Determinación del balance hidro-climatológico y superficial de la microcuenca 37	
6.2.2.	Cálculo del caudal ecológico para la quebrada Mancilla	40
6.3.	Proponer acciones para la gestión integral de la quebrada Mancilla	43
7.	Resultados y análisis	44
7.1.	Caracterización de la microcuenca	44
7.1.1.	Morfometría del área de estudio.....	44
7.1.1.1.	Valores obtenidos por medio de la digitalización	44
7.1.1.2.	Valores calculados.....	49
7.1.2.	Coberturas vegetales	55
7.1.3.	Calidad del Agua.....	61
7.1.4.	Usos actuales del agua.....	65
7.2.	Cálculo y análisis del balance hídrico y el caudal ecológico.....	68
7.2.1.	Balance hídrico.....	68

7.2.1.1.	Balance hidro-climático.....	68
7.2.1.2.	Caudales.....	73
7.2.1.3.	Escorrentía.....	76
7.2.1.4.	Balance hídrico superficial	77
7.2.2.	Curva de duración de caudales (CDC).....	79
7.2.3.	Caudal ecológico.....	82
7.2.4.	Caudal máximo aprovechable para el abastecimiento de la población de la microcuenca	83
7.2.5.	Relación entre los caudales disponibles y la demanda.....	85
7.3.	Estrategias de manejo	87
7.3.1.	Gestión del riesgo.....	87
7.3.1.1.	Riesgo por desbordamientos e inundaciones.....	87
7.3.2.	Gestión del recurso hídrico	90
7.3.3.	Restauración de coberturas.....	93
8.	Conclusiones	95
9.	Recomendaciones.....	97
	Bibliografía	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de áreas.....	20
Tabla 2. Clasificación de cuencas de acuerdo con la pendiente media.....	21
Tabla 3. Ecuaciones e interpretación de parámetros morfométricos.	31
Tabla 4. Estaciones y datos meteorológicos usados.....	37
Tabla 5. Estaciones limnimétricas.....	41
Tabla 6. Parámetros Morfométricos obtenidos con ArcGIS.....	44
Tabla 7. Cotas de la zona de estudio.	44
Tabla 8. Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica.....	45
Tabla 9. Número total de cauces para cada orden.....	49
Tabla 10. Áreas y anchos para el rectángulo equivalente.	50
Tabla 11. Pendiente media del cauce.	54
Tabla 12. Coberturas de la tierra, microcuenca.....	56
Tabla 13. Actividades antrópicas- parte alta microcuenca,.....	62
Tabla 14: Resultados de calidad del agua.	62
Tabla 15. Actividades económicas de las concesiones.	65
Tabla 16. Caudal-concesiones otorgadas por la CAR.....	67
Tabla 17. Precipitación mensual multianual por estación y su promedio.....	69
Tabla 18: Valores de evapotranspiración.....	70
Tabla 19: Relación Precipitación- Evapotranspiración.....	71
Tabla 20. Balance hidro- climatológico.	71
Tabla 21. Caudales mínimos, medios y máximos de la estación ALTAMIRA.....	74

Tabla 22. Caudales mínimos, medios y máximos de la estación PTE. BRASILIA.	74
Tabla 23: Caudales de la microcuenca.....	75
Tabla 24. Conversión de unidades. Caudal (m ³ /s) a Escorrentía (mm).....	77
Tabla 25. Balance hidrológico mensual multianual microcuenca quebrada Mancilla.....	78
Tabla 26: Información CDC.....	80
Tabla 27. Valores de Caudal ecológico (Q _e) por diferentes metodologías.....	82
Tabla 28: Caudales máximos aprovechables	83
Tabla 29. Relaciones caudales disponibles vs demanda hídrica	85
Tabla 31. Estrategias Riesgo inundación	89

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Orden jerárquico de las cuencas.	26
Ilustración 2. Hidrología de la microcuenca.	28
Ilustración 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas.....	38
Ilustración 4. Ubicación de las estaciones limnimétricas.....	42
Ilustración 5. Mapa hipsométrico de la microcuenca.....	45
Ilustración 6. Orden de la red de drenaje.	48
Ilustración 7. Coberturas microcuenca,.....	57
Ilustración 8: Manejo actual de las Zonas de Ronda.....	59
Ilustración 9. Concesiones otorgadas por la CAR.	66

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva Hipsométrica de la microcuenca quebrada Mancilla.	46
Gráfico 2. Clasificación de curvas hipsométricas.	47
Gráfico 3. Rectángulo equivalente de la microcuenca quebrada Mancilla	51
Gráfico 4. Perfil del cauce principal.	54
Gráfico 5. Porcentaje de coberturas	58
Gráfico 6. Cambios en las coberturas	58
Gráfico 7. Caudal captado	67
Gráfico 8. Gráfico de líneas de la precipitación.	70
Gráfico 9. Balance hídrico de la microcuenca quebrada Mancilla.	73
Gráfico 10: Caudales mínimos, medios y máximos de la microcuenca	76
Gráfico 11. Comparación entre las variables del balance hidrológico	79
Gráfico 12. Curva de duración de caudales de la microcuenca	81
Gráfico 13. Caudal máximo aprovechable	84

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Coeficiente de compacidad	31
Ecuación 2. Cálculo del rectángulo equivalente a partir del perímetro	31
Ecuación 3. Área de la cuenca	31
Ecuación 4. Lado menor del rectángulo equivalente	31
Ecuación 5. Lado mayor del rectángulo equivalente	32
Ecuación 6. Factor de forma	32
Ecuación 7. Tiempo de concentración. Kirpich California.....	32
Ecuación 8. Densidad de drenaje, método de Horton	33
Ecuación 9. Constante de estabilidad del río	33
Ecuación 10. Pendiente media del cauce, método Taylor-Schwarz.....	33
Ecuación 11. Índice de torrencialidad.....	34
Ecuación 12. Balance hidrológico.....	38
Ecuación 13. Razón de los valores normales	39
Ecuación 14. Cálculo de la infiltración	78

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo la formulación de estrategias de manejo del recurso hídrico en la quebrada Mancilla por medio de la caracterización de la microcuenca a partir de parámetros morfométricos, hidrológicos entre los que se encuentran el análisis de caudales, determinación del balance hídrico y del caudal ecológico, así como un análisis de la situación actual de la cuenca en cuanto a calidad del agua, cambio temporal en las coberturas y demanda hídrica caracterizada como los usos del agua según las concesiones otorgadas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR en el área de estudio.

En el desarrollo del trabajo se emplearon diversas metodologías basadas en la información disponible, entre las que se encuentran el procesamiento y análisis de un modelo de elevación digital - DEM, por medio del Software ArcGIS 10.5, lo que permitió determinar elementos de la cuenca como su área, perímetro, elevación, pendiente, entre otros, que permiten entender el comportamiento hidrológico asociado a la misma. El diagnóstico de la situación actual de la microcuenca a partir de información secundaria, además de la evaluación de variables meteorológicas, determinación del balance hídrico actual, cálculo del caudal ecológico empleando el método hidrológico del IDEAM.

Con base en los parámetros calculados, el balance hídrico, el caudal ecológico, y entendiendo la situación actual de la microcuenca, se realizó el planteamiento de estrategias de manejo del recurso hídrico, de manera que sean lineamientos viables tanto social como administrativamente sobre el manejo del agua en la microcuenca quebrada Mancilla.

Todo lo anterior articulado con las políticas a nivel nacional, departamental y local establecidas en los planes de desarrollo municipal y nacional, el POMCA de la subcuenca del río Balsillas a la que pertenece la microcuenca en estudio, y los planes de acción de la CAR.

Palabras clave: Microcuenca, Estrategias de manejo, Caudal ecológico, Recurso hídrico.

ABSTRACT

The objective of this study is to formulate water resource management strategies in the Mancilla creek by characterizing the micro-basin from morphometric and hydrological parameters, including: flow analysis, determination of water balance and flow rate ecological, as well as an analysis of the current situation of the basin in terms of water quality, temporary change in coverage and water demand characterized as water uses according to the concessions granted by the Autonomous Regional Corporation of Cundinamarca - CAR in the study area.

In the development of the work, different methodologies are used, based on the available information, among which is the processing and analysis of a digital elevation model - DEM, by means of the ArcGIS 10.5 Software; which allowed to determine elements of the basin as: Its area, perimeter, elevation, slope, among others, which allow us to understand the hydrological behavior associated with it. The diagnosis of the current situation of the microbasin based on secondary information, in addition to the evaluation of meteorological variables, determination of the current water balance, calculation of the ecological flow using the hydrological method of the IDEAM.

Based on the calculated parameters, the water balance, the ecological flow, and the current situation of the micro-basin, the planning of water resource management strategies will be carried out, so that they are viable guidelines, both socially and administratively, on the management of water in the microbasin of the Mancilla creek.

All the above articulated with the policies at the national, departmental and local levels established in the municipal and national development plans, the POMCA of the subbasin of the Balsillas river to which the micro-basin in the study belongs, and the action plans of the CAR.

Key words: Micro-basin, Management Strategies, Ecological Flow, Hidric Resource.

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene como objetivo formular estrategias de manejo para la microcuenca quebrada Mancilla, siendo esta un cuerpo hídrico que nace por la confluencia de gran cantidad de pequeños hilos de agua que escurren de los cerros del Dintel y Cerro Negro al norte de la vereda Mancilla, tiene una extensión de 9,25 Km y abarca 3191 Hectáreas, el 20,46% del área municipal de Facatativá, está quebrada atraviesa la vereda de norte a sur y parte de la zona urbana, los afluentes de la microcuenca son, las quebradas Cerro Negro, Santa Ana, el Retiro y algunos drenajes directos (Rubiano, 2010a). Debido a la importancia de esta fuente hídrica y su microcuenca, es causa de preocupación que a lo largo de los años se ha identificado posiblemente una gestión inadecuada del recurso hídrico, generado que sea declarada como agotada por la autoridad ambiental.

Para lograr el objetivo general propuesto, se realiza un diagnóstico inicial del área de estudio que por medio de distintos componentes como el análisis geoespacial, morfométrico, de coberturas vegetales y calidad del agua; posteriormente se determinó el balance hídrico de la microcuenca a partir del análisis de información climatología obtenida de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, con base en métodos hidrológicos calculados sobre los datos de las series históricas obtenidas se determinó el caudal ecológico que se debe conservar para mantener el funcionamiento del ecosistema.

Lo anterior constituye insumos para la elaboración de estrategias de manejo de la microcuenca las cuales se encuentran organizadas en tres componentes: gestión de riesgos

naturales asociados a características de morfométricas y climatológicas; gestión del recurso hídrico asociado al abastecimiento para garantizar la utilización del recurso para la población y finalmente la restauración de las coberturas vegetales en cuanto a protección de rondas y partes altas de la cuenca.

Estas estrategias generadas pretenden mitigar riesgos naturales y por abastecimiento de agua desde diferentes frentes: la capacidad de respuesta institucional y comunitaria ante desastres naturales, el aprovechamiento de los excesos de agua asociados a temporadas invernales como medida para reducir el desabastecimiento en época seca, y la recuperación de coberturas vegetales naturales.

Es importante aclarar que las estrategias presentadas en este documento fueron realizadas con la información disponible a la fecha y corresponden a propuestas que requieren de estudios más específicos y una planeación detallada para así generar resultado satisfactorio dado la situación actual de la microcuenca.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La quebrada Mancilla ha presentado una reducción significativa en su caudal en los últimos años generada en primera instancia por la posible gestión inadecuada del recurso hídrico (Administración Municipal Facatativa, 2016), causada a su vez porque no se ha calculado el caudal ecológico como parámetro estratégico fundamental para la administración de las concesiones; la falta de seguimiento de las mismas, además de la posible captación fraudulenta de agua por parte de la comunidad para suplir sus necesidades, adicionalmente las actividades productivas se están manejando sin garantizar la ronda de la quebrada; todo lo anterior se vio reflejado en la declaración de la CAR: Resolución 5064 de diciembre de 1993, en la cual manifiestan que la quebrada Mancilla para ese año se encontraba agotada (Administración municipal Facatativa, 2002), esto agravado por el incremento de la población producto de la expansión urbana ocurrida en los últimos años.

Se tiene entonces que la disminución del recurso hídrico se debe básicamente a actividades antrópicas en el área de estudio como lo son: la existencia de tres acueductos veredales; en el sector Puente Pino, sector Morabia y en el kilómetro 46 (Vargas, 2017a), dos de estos abastecidos por esta fuente superficial: el acueducto Cerro Negro K-46, y el acueducto Mancilla Puente Pino (M. Castañeda, 2015), existen además concesiones de agua otorgadas por la CAR, que generan una demanda de agua en la vereda de que está dividida en 3 sectores: domiciliaria (2,30%), agrícola (86,40%) y pecuario (11,29%) (Vega, 2011); dentro de la demanda agrícola se debe considerar que actividades como los cultivos de fresa, papa, arveja, maíz, hortalizas y flores que se han intensificado en el municipio en los últimos años están ejerciendo cada vez más

presión sobre la quebrada Mancilla que es uno de los afluentes más grandes que posee la subcuenca del Río Botello, además es la fuente secundaria de agua superficial que abastece el municipio tanto en zonas urbanas como rurales (C. Parra & Rivera, 2017).

Según la estadística agrícola generada por la secretaria de agricultura del departamento para el año 2016, la vereda mancilla, que tiene una superficie de 1290 Ha (Rubiano, 2010b); contaba con 335 Ha (26% del área) cultivadas con fresa, 490 Ha (28% del área) cultivadas con papa de las variedades R12 y suprema, 232 Ha (18% del área) con cultivos de papa criolla y 180 Ha (14% del área) cultivadas con arveja (Gobernación de Cundinamarca, s. f.), dichos cultivos fueron abastecidos en gran medida por este cuerpo hídrico y se vieron afectados por la disminución en su caudal.

Se pretende entender como las características de la cuenca, el impacto de las actividades antrópicas asociados a la calidad del agua y los cambios de coberturas vegetales, tienen influencia sobre el balance hídrico y el comportamiento de los caudales en la misma, de manera que se establezca un valor para caudal ecológico y con base a estos elementos se generen recomendaciones o estrategias de manejo que sean viables tanto social como institucionalmente.

3. JUSTIFICACIÓN

La gestión actual del recurso hídrico en el municipio de Facatativá, en especial de la quebrada Mancilla, es de gran importancia ya que esta es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable a la comunidad, la mala gestión y administración del recurso hídrico, así como el desconocimiento de su importancia por parte de las personas, ha generado una reducción del caudal de la quebrada Mancilla, esto debido a la sobreexplotación del recurso que trae consigo la discontinuidad de procesos ecológicos, de los bienes y servicios ambientales, además de los impactos negativos naturales y sociales que se generan.

El cálculo del caudal ecológico es un instrumento de planificación, administración y para la toma de decisiones que condicionan el aprovechamiento del agua superficial, además como una herramienta para la restauración de ecosistemas degradados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & IDEAM, 2017). En la quebrada constituye una herramienta importante que permite que escenarios como el agotamiento de esta, con sus consecuencias ambientales, sociales y económicas, puedan ser evitados.

Además de lo anterior, la determinación del cálculo del caudal ecológico, del balance hídrico, del cambio en las coberturas, del uso de agua, entre otros parámetros analizados en la quebrada, y las estrategias de manejo consecuentes, se generan impactos positivos en los actores involucrados, como lo son la autoridad ambiental que puede usar el dato de caudal ecológico, calculado en el presente estudio, como precedente para la evaluación de futuras concesiones de agua en la zona, el conocimiento por parte de la comunidad sobre la fuente hídrica de manera

que garantice el cumplimiento de la normatividad ambiental y que contribuya a la conservación del ecosistema del que depende, mejores manejos del recurso para actividades productivas de manera que la escasez del recurso no afecte las mismas en escenarios futuros, y a la comunidad académica dado que se avanzará en la realización de estudios técnicos en esta área de trabajo, con miras a la solución de problemáticas ambientales específicas.

Se debe considerar también que los resultados del presente estudio se constituyen en una herramienta de diagnóstico que puede emplear la autoridad ambiental y los entes de gobierno en la formulación de la política de manejo de fuentes hídricas en el municipio, en pro del cumplimiento del plan de desarrollo de este y de la implementación de la política de adaptación al cambio climático.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Formular estrategias para la gestión de la microcuenca quebrada Mancilla en el municipio de Facatativá, a partir del cálculo del balance hídrico y el caudal ecológico.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la microcuenca en términos morfométricos, de cobertura vegetal, calidad y usos actuales del agua.
2. Calcular y evaluar el balance hídrico y caudal ecológico de la microcuenca
3. Proponer acciones para la gestión integral de la quebrada Mancilla

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO TEÓRICO

El aumento del uso del recurso hídrico a nivel mundial se ha generado por tres causas principales: el crecimiento poblacional, el cambio en el nivel de vida y la expansión de la agricultura de regadío. La población mundial pasó de 1600 millones en el siglo pasado (Gleick, 2000) a más de 7000 millones, para el año 2015 (Naciones Unidas, s. f.) con este incremento la extracción de agua se ha triplicado en los últimos 50 años, producto del aumento en el desarrollo de sistemas de irrigación generado por la demanda de alimentos (la agricultura de regadío constituye el 20% del área cultivada del planeta y el 40% de la producción mundial de alimentos) (UNESCO, s. f.).

Según WWF (del inglés World Wildlife Fund; Fondo Mundial para la Naturaleza), la creciente explotación mundial de los recursos hídricos genera una reducción significativa de la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce y de los servicios ambientales que estos aportan, razón por la cual en la mayoría de los casos no se alcanza el objetivo de su conservación a largo plazo, esto hace necesario replantear la manera en que se gestionan estos ecosistemas fundamentales para la supervivencia humana, partiendo del conocimiento sobre las implicaciones ecológicas que tiene la reducción del caudal en los cuerpos hídricos. El país emplea actualmente herramientas como el caudal ecológico, que valora cuánta agua puede extraerse de un río sin causar un nivel inaceptable de degradación en un ecosistema circundante (Pantoja, 2017).

El concepto de caudal ecológico está siendo reevaluado y modificado por el de caudal ambiental, entendido como: “el volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de régimen y calidad, requerido para mantener el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su provisión de servicios ecosistémicos.” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & IDEAM, 2017). La estimación de este caudal es un insumo para el desarrollo de los instrumentos de planificación, administración y para la toma de decisiones que condicionan el aprovechamiento del agua superficial, además de que se reconoce como una herramienta base para diseñar e implementar estrategias de restauración de ecosistemas degradados.

Con la gestión del recurso hídrico, se busca establecer criterios sociales, económicos, políticos, culturales y biofísicos, que trabajen conjuntamente para un mejor uso, manejo y conservación del agua (Madroñero & Mafla, 2013), en donde, es primordial el “mantenimiento de la funcionalidad ambiental del río como ecosistema y como parte esencial del macrosistema ambiental” (Martínez & Fernández, 2006) asegurando de esta forma las características mínimas de calidad y cantidad del recurso, no sólo para la biota acuática sino además para los usos agotadores y no agotadores del recurso (Calvo, Jiménez, González, Pizarro, & Jiménez, 2008).

La gestión integrada del recurso hídrico es un proceso que promueve el correcto aprovechamiento y manejo del agua, buscando de manera integral el bienestar ecológico, social y económico; esto teniendo en cuenta aspectos cualitativos, cuantitativos de las necesidades y usos que presenta el recurso, además se deben considerar que se han modificado las características de calidad y cantidad del recurso debido a procesos antrópicos en los que se priorizan un desarrollo

económico y social, poniendo en riesgo la sostenibilidad ambiental. (Madroñero & Izquierdo, 2014).

Las cuencas hidrográficas se consideran como unidades territoriales adecuadas para la gestión integrada del agua, dado que son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico que captan y concentran la oferta del agua que proviene de las precipitaciones; además de que constituyen un área en la que interactúan, el agua con los subsistemas físicos (recursos naturales y biótico (fauna y flora) con los subsistemas humanos (socioeconómico) o usuarios de la cuenca. “Según Mainment (1992) una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico” es el estudio morfométrico, dado que este permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento hidrológico de una región (Reyes Trujillo, Barroso, & Carvajal Escobar, 2010)

De esta forma, cuando se habla de caudal ecológico, inicialmente se establece que este hace parte de un concepto macro denominado “caudal ambiental”, el cual busca asegurar la suficiente cantidad de agua, con los parámetros físico-químicos y biológicos mínimos para mantener un régimen de flujos apropiados y satisfacer a todos los usuarios (Calvo et al., 2008), asimismo, los caudales ambientales buscan mantener el carácter, extensión y condición de los hábitats acuáticos y riparios (Baeza & Garcia del Jalón, 2004), de forma que sean los apropiados para mantener poblaciones bióticas viables y los procesos ecológicos que a la vez aseguren los bienes y servicios ambientales utilizados por la sociedad (Diez & Burbano, 2006).

El caudal ecológico es una herramienta importante en la gestión del recurso hídrico, ya que considera aspectos como el manejo del agua, la hidrología, la calidad del recurso , además de ser

de utilidad para la planeación de las concesiones, en donde se resaltan ventajas como la recuperación de rondas, la preservación del ecosistema, planificación de obras hidráulicas y la mitigación de impactos negativos hacia el recurso.(Madroñero & Izquierdo, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, parece indudable que el régimen de caudales ecológicos es un componente esencial del ordenamiento sostenible de cuencas hidrográficas, y su importancia es cada vez más reconocida por una sociedad cuya conciencia ambiental va en aumento (Diez & Burbano, 2006).

5.2. MARCO CONCEPTUAL

Análisis hidrológico: Estimación de ciertas variables como lluvia, escurrimiento o crecientes, que son importantes para lograr dimensionar y diseñar diversas obras hidráulicas. Asimismo, sirve de base para la demarcación de planicies de inundación; las áreas de riesgo o factibilidad de zonas de aprovechamiento; el pronóstico de niveles o gastos a tiempo real, entre otros (Rivera, 2013).

Balance hídrico: Según el IDEAM, es el balance de agua basado en el principio de que durante un cierto periodo de tiempo el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de dicha cuenca o masa de agua (IDEAM, s. f.).

El balance hídrico es una forma de estimar la cantidad de agua que puede presentar una región en un periodo de tiempo determinado. (L. Diaz & Alarcon, 2018); este nos ayuda a analizar los volúmenes de agua que entran y salen en el área de estudio.

El término **caudal** en hidrografía e hidrología, al volumen de agua que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinados. Se refiere fundamentalmente al volumen hidráulico de la escorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma. (A. Diaz & Martinez, 2016).

Caudal ambiental: Volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de ecosistemas acuáticos y el desarrollo de actividades socioeconómicas de los usuarios aguas debajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2015).

Caudal ecológico: Según el Proyecto de Ley del Agua 365 (Art. 21) (Ministerio de Ambiente, 2006), son los "...Caudales mínimos que, de acuerdo con los regímenes hidrológicos, deberán mantener las corrientes superficiales en sus diferentes tramos, a fin de garantizar la conservación de los recursos hidrobiológicos y de los ecosistemas asociados" (Diez & Burbano, 2006).

Concesión de aguas: Permiso que otorga la autoridad ambiental competente a petición de parte, para obtener el derecho al aprovechamiento de aguas de uso público. Esta puede ser tanto para el aprovechamiento de aguas superficiales como subterráneas, para los siguientes fines: a) Abastecimiento doméstico en los casos que requiera derivación; b) Riego y silvicultura; c) Abastecimiento de abrevaderos cuando se requiera derivación; d) Uso industrial; e) Explotación minera y tratamiento de minerales; g) Explotación petrolera; h) Inyección para generación geotérmica; n) Recreación y deportes; o) Usos medicinales; p) Otros usos similares (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2014).

Cuenca hidrográfica: Área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas en un pantano o directamente en el mar. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2014)

Curva de Duración de Caudales: “Es un procedimiento gráfico para el análisis de la frecuencia de los datos de caudales; representa la frecuencia acumulada de ocurrencia de un caudal determinado. Es una gráfica que tiene el caudal Q , como ordenada y el número de días, o meses del año (expresado como porcentaje de tiempo) en que ese caudal es excedido o igualado como abscisa”. (Yd, s. f.).

Demanda hídrica: Corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales (actividades antrópicas sociales y económicas) expresado en millones de metros cúbicos (Corponariño, 2011).

$$DT = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP$$

Dónde:

DT = Demanda Total de agua

DUD = Demanda de Agua para Uso Doméstico

DUI = Demanda de Agua para uso Industrial.

DUS = Demanda de Agua para el Sector Servicios.

DUA = Demanda de Agua para Uso Agrícola.

DUP = Demanda de Agua para Uso Pecuario

Evapotranspiración: La evapotranspiración es la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de las plantas. Se expresa en mm por unidad de tiempo. (Castañeda & Jimenez, 2018)

Precipitación: Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida y sólida. Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Ordoñez Gálvez, 2011).

Microcuenca: Se refiere a las cuencas de orden inferior a las subzonas hidrográficas o su nivel subsiguiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Una microcuenca es una pequeña unidad geográfica donde vive una cantidad de familias que utiliza y maneja los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación (FAO, s. f.).

En una microcuenca ocurren interacciones indivisibles entre los aspectos económicos (relacionados a los bienes y servicios producidos en su área), sociales (asociados a los patrones de comportamiento de las poblaciones usuarias directas e indirectas de los recursos de la cuenca) y ambientales (vinculados al comportamiento o reacción de los recursos naturales frente a los dos aspectos anteriores) (FAO, s. f.).

Oferta hídrica: Se entiende por oferta hídrica a aquella fracción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás

corrientes superficiales, alimentado lagos, lagunas y reservorios, confluyendo con otras corrientes y llegando directa o indirectamente al mar (Corponariño, 2011).

Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca (POMCA): es un instrumento en el cual se realiza la planeación del uso adecuado y manejo sostenible de los recursos naturales renovables de una cuenca, 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 (Secretaría Distrital de Ambiente, s. f.).

Quebrada: Son formas geográficas que comprenden zonas conocidas como valles, las cuales suelen ser angostas y profundas, en el cual corre un flujo de agua. Estas pueden atravesar de manera transversal zonas montañosas y su tamaño puede variar desde algunos metros hasta cientos de kilómetros (C. Parra & Rivera, 2017)

Unidad hidrológica de análisis: Área natural de concentración y recolección de aguas superficiales y/o subterráneas que tiene connotación principalmente hidrológica en la cuantificación, distribución y utilización de los recursos hídricos disponibles. Para aguas superficiales su delimitación se realiza siguiendo la divisoria topográfica de aguas, y para aguas subterráneas siguiendo criterios hidrogeológicos (Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, 2004).

Área de la cuenca: El área de la cuenca está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido-directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio (A. Diaz & Martinez, 2016). Se tiene en cuenta la siguiente clasificación:

Tabla 1. Clasificación de áreas.

ÁREA (Km²)	NOMBRE
<5	Unidad
5 – 20	Sector
20 - 100	Microcuenca
100 – 300	Subcuenca
>300	Cuenca

Fuente:(Reyes Trujillo, Barroso, & Carvajal Escobar, 2010).

Perímetro: Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros. Los perímetros de mayor valor corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas (A. Diaz & Martinez, 2016).

Longitud del cauce principal: La longitud del cauce se considera como la distancia horizontal del río principal, desde su nacimiento hasta el punto de cierre o de concentración, dentro de los límites de la cuenca (Reyes Trujillo et al., 2010).

Pendiente media de la cuenca: La pendiente media de una cuenca es un parámetro que caracteriza el relieve de la misma y permite hacer comparaciones entre cuencas, este concepto es representativo de las infinitas pendientes que pueden existir dentro de una cuenca y está estrechamente relacionado con los fenómenos erosivos que se manifiestan en la superficie, guardando obviamente una relación importante, aunque compleja, con la infiltración, el

escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al caudal de las corrientes. (Guerra & González, 2002).

La tabla 2 muestra la clasificación de las cuencas según la pendiente:

Tabla 2. Clasificación de cuencas de acuerdo con la pendiente media.

PENDIENTE MEDIA (%)	TIPO DE RELIEVE
0 -3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Medianamente accidentado
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuertemente accidentado
35 - 50	Muy fuertemente accidentado
50 - 75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: (Reyes Trujillo et al., 2010)

Curva Hipsométrica: La curva hipsométrica, es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca, con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima, o por debajo de varias elevaciones (A. Diaz & Martinez, 2016).

Coefficiente de Compacidad (Gravelious): Es un indicador adimensional de la forma de la cuenca, está basada en la relación del perímetro de la cuenca con el área de un círculo igual a la de la cuenca (círculo equivalente); de esta manera, entre mayor sea el coeficiente más distante será la forma de la cuenca con respecto del círculo (Reyes Trujillo et al., 2010).

Rectángulo equivalente: Es una transformación geométrica, de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se

convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo. Esta cuenca teórica tendrá el mismo Coeficiente de Gravelious (K_c) y la misma distribución actitudinal de la cuenca original. (Ibañez, Moreno, & Gisbert, s. f.).

Factor de forma: Es la relación entre el área (A) de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L_m). Este parámetro mide la tendencia de las cuencas hacia las crecientes, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca (Reyes Trujillo et al., 2010).

Tiempo de Concentración: Se define como el tiempo mínimo necesario en el que tarda en llegar a la sección de salida de interés la gota de lluvia caída en el extremo más alejado de la cuenca. (Reyes Trujillo et al., 2010).

Densidad de Drenaje: Es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de una cuenca y su área total; nos permite tener un conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. (Reyes Trujillo et al., 2010).

Constante de estabilidad del río (C): Representa la superficie de la cuenca necesaria para mantener las condiciones hidrológicas estables en una unidad de longitud de canal; además puede considerarse como una medida de erodabilidad de la cuenca. Los valores altos de la constante de estabilidad presentan un valor bajo en la densidad de drenaje, siendo suelos altamente permeables con una elevada capacidad de infiltración o regiones con una cobertura vegetal densa. Por el contrario los valores bajos para la constante de estabilidad, son

característicos de cuencas con rocas débiles, escasas o nula vegetación y baja capacidad de infiltración del suelo. (Reyes Trujillo et al., 2010)

Índice de Torrencialidad (C_T): Este parámetro relaciona el número de corrientes de primer orden y el área total de la cuenca, este es utilizado para definir el carácter torrencial de la cuenca. (Reyes Trujillo et al., 2010).

5.3. MARCO LEGAL

El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables –Decreto- Ley 2811 de 1974 se encuentra como principio que el Estado y particulares deben participar en la preservación y manejo de los recursos naturales, que son de utilidad pública e interés nacional. Esta norma determina los modos de adquirir el derecho al uso de las aguas, dentro de ellos se encuentran las concesiones, entendidas como el otorgamiento del derecho a aprovecharlas sujeto a las disponibilidades del recurso y a las necesidades que imponga el objeto por el cual se destina (Pantoja, 2017).

El Decreto 1541 de 1978 reglamentario del Decreto- Ley 2811 estableció prioridades para el otorgamiento de las concesiones de agua, entendidas como la forma de adquirir el derecho a usarlas, según el orden de prelación, el cual puede variarse atendiendo a las necesidades económicas-sociales de la región, y de acuerdo con varios factores, entre los que se encuentran: La preservación del ambiente y la necesidad de mantener reservas suficientes del recurso hídrico (Pantoja, 2017).

Resolución CAR 5064 de 1993, según el artículo primero “Declara agotada la fuente de uso público denominada Quebrada Mancilla o El Vino, que es tributaria del Río Bojacá, que discurre por los Municipios de Facatativá y Bojacá y que es también una de las fuentes que abastecen el Acueducto Municipal de Facatativá” (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR., 1993).

Ley 99 de 1993, Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. (Congreso de la república de Colombia, 1993).

Decreto 155 de 2004, por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones. (Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial, 2004). El Decreto se aplica en lo que se denomina *Unidad Hidrológica de Análisis*, definida por lo demás con poca claridad, como el área natural de concentración y recolección de aguas superficiales y/o subterráneas.

Por medio del decreto 069 de junio 20 de 2002, la alcaldía cívica del municipio de Facatativá, “Adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Facatativá- Cundinamarca” el cual según su artículo primero consta de un componente general, un componente urbano, un componente rural con su respectiva planimetría y los documentos técnicos de soporte (Alcaldía cívica de Facatativa, 2002).

La resolución 865 de 2004, establece que “El caudal mínimo, ecológico o caudal mínimo remanente es el caudal requerido para el sostenimiento del ecosistema, la flora y la fauna de una corriente de agua” (Ministerio de Ambiente, 2004). En esta se detalla una metodología de cálculo del índice de escasez y se plantean dos métodos hidrológicos para calcular el caudal ecológico.

En el Decreto 1076 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible), se presenta una compilación de las normas vigentes expedidas hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, 2015). Por esta razón, este decreto es fundamental en el desarrollo del este proyecto ya que este se abordan los temas de fuentes hídricas y del plan de manejo de estas dando especificaciones para cada tema, cabe resaltar que estos son los temas fundamentales y relevantes del proyecto y modificado parcialmente en cuanto al ordenamiento de cuencas por el decreto 050 de enero 16 de 2018.

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca- CAR por medio de la Resolución 0977 del 05 de mayo de 2015, determina las zonas de Ronda para la quebrada Mancilla. En su artículo primero resuelve: “Determinar como zona de Ronda de protección de la Quebrada Mancilla, la franja comprendida entre la línea de niveles promedios máximos de los últimos 15 años y una línea paralela a esta última, localizada a 30 metros a lado y lado del cauce...”(Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR., 2015).

El Decreto 050 de 2018, "Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones". (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018).

5.4. MARCO GEOGRÁFICO

5.4.1. Localización y Descripción

La Microcuenca quebrada Mancilla está clasificada como de tercer orden: pertenece a la parte alta de la cuenca del río Botello que a su vez pertenece a la subcuenca del río Bogotá (Ilustración 1). Se encuentra ubicada en el sector Nororiental del Municipio de Facatativá Cundinamarca.

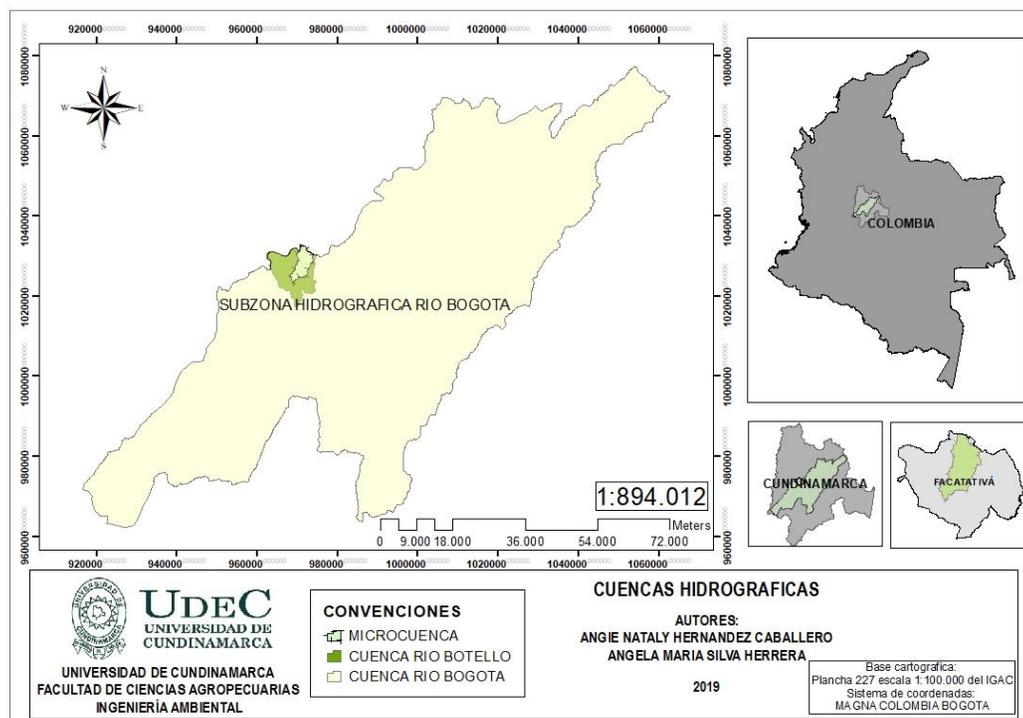


Ilustración 1: Orden jerárquico de las cuencas.

Elaboración: Autores

El área de la microcuenca se delimito tomando como punto de partida el nacimiento de la quebrada Mancilla y como punto final la desembocadura de esta con el río los Andes, lugar a partir del cual este toma el nombre de río Botello. Gracias al procesamiento del Modelo de elevación digital- DEM, se identificó que la quebrada cuenta con una longitud aproximada de 10,25 km. A lo largo del cauce es alimentada por afluentes como las Quebradas Cerro Negro, Santa Ana y El Retiro, además de algunos drenajes directos. En su recorrido la quebrada atraviesa las veredas san Rafael, Mancilla y parte de la zona urbana del municipio de Facatativá. (Vargas, 2017a).

5.4.2. Hidrología

En la sabana de Bogotá, el sistema de aguas superficiales lo constituyen 15 cuencas hidrográficas, siendo la de mayor tamaño la cuenca del río Balsillas, esta a su vez posee sus subcuencas principales las cuales son las del: río Subachoque, Bojacá y Balsillas. En particular, la subcuenca del río Subachoque ocupa el 60 % del total de la cuenca del río Balsillas, y acoge parte de los municipios de Subachoque, El Rosal, Madrid, Funza, Mosquera y Facatativá (Pérez, 2000).

La microcuenca quebrada Mancilla pertenece a la cuenca del río Balsillas está formada por la confluencia de pequeños manantiales provenientes de los cerros del Dintel y Cerro Negro, los cuales están ubicados en la norte de la vereda Mancilla. (Contraloría de Cundinamarca, 2010).

El sistema hidrográfico de la microcuenca está conformado por una serie de quebradas que se unen para formar la quebrada mancilla en la Cota de los 2.800 msnm, en la cota de los 2602 msnm la quebrada desemboca en el Río Los Andes, punto a partir del cual este toma el nombre de Botello. En la ilustración 2, se muestra la red hidrológica presente en Facatativá y en la microcuenca quebrada Mancilla, dicha ilustración corresponde además a la representación cartográfica de la cuenca en estudio. Se puede observar que la quebrada presenta una dirección de flujo en sentido NE-SW, que se encuentra en la parte nororiental del municipio, y como en el recorrido la quebrada atraviesa parte de la cabecera municipal, hasta llegar a su punto de desembocadura en el río Botello.

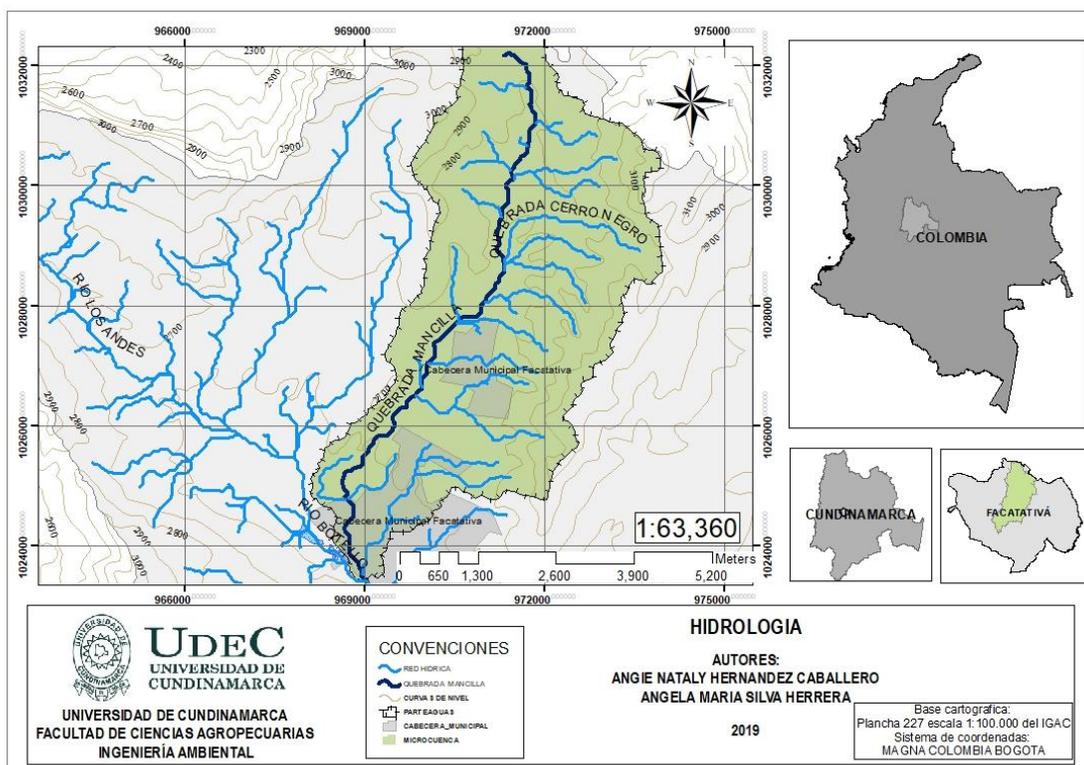


Ilustración 2. Hidrología de la microcuenca.

Elaboración: Autores

6. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente estudio se recopiló información secundaria, correspondiente a estudios previos desarrollados en el área de estudio, datos de estaciones meteorológicas obtenidos de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, modelos de elevación digital obtenidos de la USGS (NASA) (USGS-NASA, s.f.), e información cartográfica disponible para consulta pública generada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. A partir de esto se realizaron diferentes procedimientos que permitieron su procesamiento y análisis.

6.1. CARACTERIZAR LA MICROCUENCA EN TÉRMINOS MORFOMÉTRICOS, DE COBERTURA VEGETAL, CALIDAD Y USOS ACTUALES DEL AGUA.

6.1.1. Morfometría del Área de estudio

6.1.1.1. Delimitación cartográfica

La información cartográfica recopilada para la elaboración de mapas en el desarrollo del presente trabajo se obtuvo de planchas del IGAC, escala 1:25000 y 1:100000. Principalmente se utilizó la Plancha 227, que se descargó de la base de datos del IGAC en formato Shapefile.

Dada la necesidad de representar cartográficamente el área de estudio y su correspondiente red hídrica superficial, se generaron mapas de la microcuenca en análisis, el área de estudio correspondió a sistemas de agua loticos, por lo que se procedió a segmentar la red de drenaje y a

delimitar la cuenca a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) que posee un tamaño de celda de 12,5 metros, este DEM se obtuvo de la base de datos geográficos de la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos.

A partir del DEM, se obtuvo una representación vector y ráster de la red de drenaje, y por medio de la herramienta Hydrology del software ArcGIS 10.5 se logró la digitalización de la Red de drenaje y la delimitación de la microcuenca quebrada Mancilla, como producto de esta primera parte se obtuvieron las diferentes salidas gráficas asociadas a la microcuenca en análisis (Ilustraciones 1 y 2).

6.1.1.2. Determinación de variables morfométricas

Las variables morfométricas corresponden a las características físicas más comunes de las cuencas y son de estimación práctica. Se obtuvieron a partir del procesamiento digital del DEM, por medio de ArcGIS 10.5. Entre estas variables se distinguen las geométricas (área, perímetro, longitudes, pendientes, entre otras), las hipsométricas (curva hipsométrica); y las variables derivadas que se determinan por relaciones entre las variables directas (densidad de drenaje, relieve, factor de forma, etcétera). Esta caracterización morfométrica permite interpretar el comportamiento hidrológico de la cuenca, así como puede brindar indicios de las características del ecosistema.

Para el caso de los parámetros que requieren cálculos, se utilizó la tabla 3, en la cual se presenta la ecuación, una descripción y la interpretación del parámetro.

Tabla 3. Ecuaciones e interpretación de parámetros morfométricos.

PARÁMETRO	ECUACIÓN	INTERPRETACIÓN
<p>Coefficiente de Compacidad (Gravelious)</p>	$Kc = 0,28 * \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$ <p><i>Ecuación 1. Coeficiente de compacidad</i></p> <p>Donde, Kc: Coeficiente de compacidad (Adimensional) P: Perímetro (Km) A: Área (Km²)</p>	<p>Clase Kc₁= Entre 1 y 1,25; corresponde a forma redonda a oval redonda. Clase Kc₂ =Entre 1,25 y 1,5; corresponde a forma oval redonda a oval oblonga. Clase Kc₃= Entre 1,5 y 1,75; corresponde a la forma oval oblonga a rectangular oblonga. Clase Kc₄ = Mayor a 1,75; corresponde a forma rectangular oblonga.</p>
<p>Rectángulo equivalente</p>	<p>Para la construcción del rectángulo, se parte del perímetro (P), y el área de la cuenca (A). Si el lado menor y mayor del rectángulo son, respectivamente L1 y L2; entonces:</p> $P = 2 * (L_1 + L_2) = \frac{K_c * \sqrt{A}}{0,28}$ <p><i>Ecuación 2. Cálculo del rectángulo equivalente a partir del perímetro</i></p> <p>Siendo: $L_1 * L_2 = A$ <i>Ecuación 3. Área de la cuenca</i></p> <p>La solución de ese sistema de ecuaciones sería:</p> $L_1 = \frac{K_c * \sqrt{A}}{1,12} * \left[1 - \sqrt{1 - \left[\frac{1,12}{K_c} \right]^2} \right]$ <p><i>Ecuación 4. Lado menor del rectángulo equivalente</i></p>	

PARÁMETRO	ECUACIÓN	INTERPRETACIÓN
	$L_2 = \frac{K_c * \sqrt{A}}{1,12} * \left[1 + \sqrt{1 - \left[\frac{1,12}{K_c} \right]^2} \right]$ <p><i>Ecuación 5. Lado mayor del rectángulo equivalente</i></p> <p>Para que esta representación sea posible es necesario que se cumpla la condición $K_c \geq 1,12$.</p>	
Factor de forma	$F = \frac{A}{Lm^2}$ <p><i>Ecuación 6. Factor de forma</i></p> <p>Donde: F: Factor de forma (adimensional) A: Área de la cuenca (Km²) Lm: Longitud de máximo recorrido (Km)</p>	<p>F > 1: Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas.</p> <p>F < 1: Cuenca alargada, baja susceptibilidad a las avenidas.</p>
Tiempo de Concentración	$Tc = \left \frac{0,870 * L^3}{H} \right ^{0,385}$ <p><i>Ecuación 7. Tiempo de concentración. Kirpich California</i></p> <p>Donde: Tc: Tiempo de concentración (Hora) L: Longitud del cauce principal de la cuenca (Km) H: La diferencia entre las dos altitudes o elevaciones extremas del cauce principal de la cuenca (m)</p>	

PARÁMETRO	ECUACIÓN	INTERPRETACIÓN
Densidad de Drenaje	$Dd = \frac{\sum L_i}{A}$ <p><i>Ecuación 8. Densidad de drenaje, método de Horton</i></p> <p>Donde: Dd: Densidad del drenaje $\sum L_i$: Suma de las longitudes de los drenajes que se integran en la cuenca (Km) A: Área de la cuenca (Km²)</p>	
Constante de estabilidad del río (C)	$C = \frac{A}{\sum L_i}$ <p><i>Ecuación 9. Constante de estabilidad del río</i></p> <p>Donde: C: Constante de estabilidad del río $\sum L_i$: Suma de las longitudes de los drenajes que se integran en la cuenca (Km) A: Área de la cuenca (Km²)</p>	
Pendiente media del cauce	$\%S = \left[\frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^2 * 100\%$ <p><i>Ecuación 10. Pendiente media del cauce, método Taylor-Schwarz</i></p> <p>Donde: S: Pendiente media del cauce (m/m) L: Longitud del cauce principal de la cuenca (m) L_i: Longitud promedio de todos los cauces de orden i (m) S_i: Pendiente de cada uno de los tramos en que se subdivide la longitud del</p>	

PARÁMETRO	ECUACIÓN	INTERPRETACIÓN
	cauce principal (m/m).	
<p>Índice de Torrencialidad (C_T)</p>	$C_T = \frac{n_1}{A}$ <p><i>Ecuación 11. Índice de torrencialidad</i></p> <p>Donde: C_T: Índice de torrencialidad (Km⁻²) N₁: Número de corrientes de primer orden A: Área de la cuenca (Km²)</p>	

6.1.2. Análisis de Coberturas

Para la elaboración del mapa de coberturas y su posterior análisis se usó como insumo la base de datos geográfica generada en el marco del proyecto: “ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL PROCESO DE FRAGMENTACIÓN DE BOSQUES EN LA MICROCUENCA RÍO BOTELLO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”, elaborado en el año 2018 por estudiantes de la universidad de Cundinamarca, y que dentro del alcance del mismo incluye la zona de la microcuenca quebrada Mancilla, esta GDB fue procesada por medio del Software ArcGIS 10.5 recortando su información con respecto al límite de la microcuenca de manera que se pudo identificar las áreas correspondientes a bosques y áreas seminaturales, territorios agrícolas y territorios artificializados, para los años de 1985, 2001 y 2018. De manera que se puede entender como el aumento de las actividades antrópicas en la zona ha influido en la conformación paisajística de la misma y como esto tiene incidencia sobre los servicios ecosistémicos relacionados con el aprovisionamiento de agua en la zona.

6.1.3. Calidad del Agua

El componente de calidad de agua por medio de información secundaria, revisando y analizando el estudio: “EFECTO DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA USADA PARA CONSUMO HUMANO EN LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA MANCILLA (FACATATIVA)” desarrollado por estudiantes de la universidad de Cundinamarca en el año 2017. El estudio inició por la caracterización

de la zona de estudio, en la que se identificaron puntos de vertimiento, usos del suelo y las actividades antrópicas que se desarrollan, para determinar la calidad del agua realizaron muestreos y análisis de laboratorio de diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de importancia dado que la quebrada actualmente sirve de fuente de abastecimiento de agua para los habitantes de la zona.

6.1.4. Determinación de los usos del agua en la microcuenca en estudio

A partir de la información secundaria suministrada por la CAR, correspondiente a los reportes de las concesiones asignadas por la Dirección Regional Sabana de occidente en el municipio de Facatativá desde el año 1978, se realizó un análisis espacial que consistió en digitalizar sus coordenadas de captación de manera que se pudo identificar cuáles de estas concesiones se encuentran dentro de la microcuenca en estudio, con esta información se obtuvo una representación cartográfica de los puntos de concesión legalizados por la autoridad ambiental.

Con la anterior información se logró calcular la cantidad de agua que ha sido captada dentro de la microcuenca quebrada mancilla, valor que se comparó con el balance hídrico, de manera que se determina si existe sobre explotación de esta.

6.2. CALCULAR Y EVALUAR EL BALANCE HÍDRICO Y CAUDAL ECOLÓGICO DE LA MICROCUENCA

6.2.1. Determinación del balance hidro-climatológico y superficial de la microcuenca

Para realizar el balance hidro-climatológico de la microcuenca, se tuvieron en cuenta los valores mensuales multianuales de precipitación y evapotranspiración que fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas de la CAR, a partir de este cálculo se determinaron los meses del año que presentan exceso, déficit hídrico y almacenamiento.

La tabla 4 resume la cantidad de años con información y las estaciones usadas en el balance hidro-climatológico, además en la ilustración 3 se presenta la ubicación de las estaciones.

Tabla 4. Estaciones y datos meteorológicos usados

ESTACIÓN	ESTE	NORTE	ALTURA (m.s.n.m)	CANTIDAD DE AÑOS
Venecia	964155	1027480	2673	27
Manjui	965100	1022500	3260	
El Tesoro	1022540	1022540	2610	

Elaboración: Autores

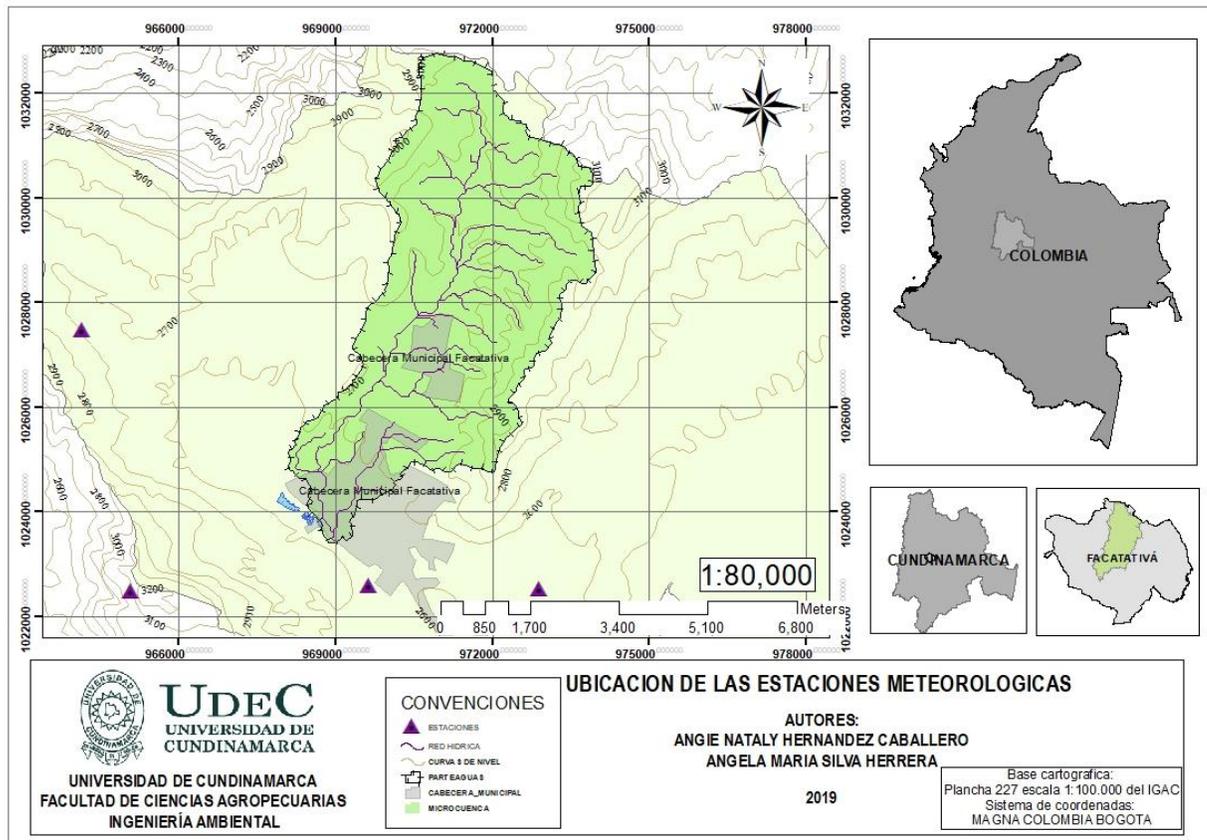


Ilustración 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Elaboración: Autores

Para el balance hídrico superficial, se aplicó la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Balance hidrológico

$$P = EVT + ES + I$$

P = Precipitación

EVT = Evapotranspiración

ES = Escorrentía

I = Infiltración

En el caso de la precipitación y evapotranspiración los datos usados fueron los correspondientes a los valores dados por las estaciones climatológicas de la CAR, la escorrentía se calculó al realizar la conversión del valor de los caudales dado en m³/s a mm, y finalmente para el valor de la infiltración fue hallado a partir del despeje de la ecuación 12 antes mencionada.

El cálculo de esto está ligado a la cantidad y calidad de la información disponible en la red de estaciones y número de años de sus registros, por lo que se analizó la información suministrada por la CAR, haciendo los procedimientos para completarla o descartar la que no sea confiable de ser necesario, todo esto con análisis estadísticos de los datos, para proceder luego a realizar el cálculo del balance hídrico de la microcuenca en estudio.

Para el la estimación de los datos faltantes se utilizó el método estadístico de la razón de los valores normales (Instituto Colombiano de hidrologia meteorologica y adecuacion de tierras- Himat, 1990) este se usa cuando se desconoce el valor de la precipitación de un determinado mes o año en una estación, pero se conoce el valor registrado este mismo mes o año en algunas otras estaciones que por sus características fisiográficas y climatológicas se consideran como representativa de la primera, pueden estimarse dichas cantidades en función de los valores medios mensuales o anuales mediante la siguiente relación:

$$P_X = \frac{1}{n} \left[\frac{N_X}{N_A} P_A + \frac{N_X}{N_B} P_B + \frac{N_X}{N_C} P_C \right]$$

Ecuación 13. Razón de los valores normales

n= Número de estaciones de referencia

Fácilmente se puede apreciar que el valor de la precipitación faltante (PX), es estimado como la media aritmética de los valores registrados en las estaciones A, B, y C (PA, PB, PC) corregidos por el factor NX/NA , NX/NB y NX/NC respectivamente donde N se refiere al valor medio del mes o año faltantes y los subíndices corresponden a las estaciones en mención.

6.2.2. Cálculo del caudal ecológico para la quebrada Mancilla

Para (E. Parra, 2012), los métodos hidrológicos o de los caudales históricos, se basan en el análisis de las características del régimen hidrológico natural como factor clave en la organización del ecosistema, estos métodos se consideran sencillos de desarrollar además de ser los más extendidos a nivel mundial para el cálculo del caudal ecológico; se basan en el cálculo de un caudal mínimo teórico el cual es suficiente para mantener las características del ecosistema. Para estos métodos, el caudal ecológico se establece a partir de parámetros estadísticos representativos.

Los criterios que se usaron para definir el caudal ecológico fueron (Parra, 2012):

1. El caudal ecológico corresponde al 10 % del valor del caudal medio mensual multianual del río.
2. El caudal ecológico corresponde al 25 % de del caudal mínimo medio mensual multianual.

3. El caudal ecológico es la media de los caudales mínimos mensuales registrados durante una serie de años.
4. Se considerará como caudal ecológico el caudal de permanencia en la fuente durante el 95% del tiempo.

Además de lo anterior, se hace necesario la elaboración de la curva de duración de caudales, en la cual se emplean registros históricos disponibles de caudales medios reportados en las estaciones limnimétricas existentes en la microcuenca, para el caso de estudio se emplearon las estaciones Altamira y Puente Brasilia, las cuales presentan la siguiente información (Tabla 5) y su ubicación (Ilustración 4):

Tabla 5. Estaciones limnimétricas.

ESTACIÓN	ES TE	NO RTE	ALTURA (m.s.n.m)	CANTIDAD DE AÑOS
ALTAMIRA	968 786	1024 636	2570	14
PTE. BRASILIA	969 460	1026 800	2636	26

Fuente: CAR. Elaboración: Autores

Dado que el dato de caudales adoptado en el presente estudio corresponde al promedio de los caudales medios mensuales multianuales de ambas estaciones, se emplearon los 14 años que tienen en común las dos series históricas (2004 a 2017) y con esta serie de datos se procedió al cálculo de las frecuencias para generar la curva de duración de caudales.

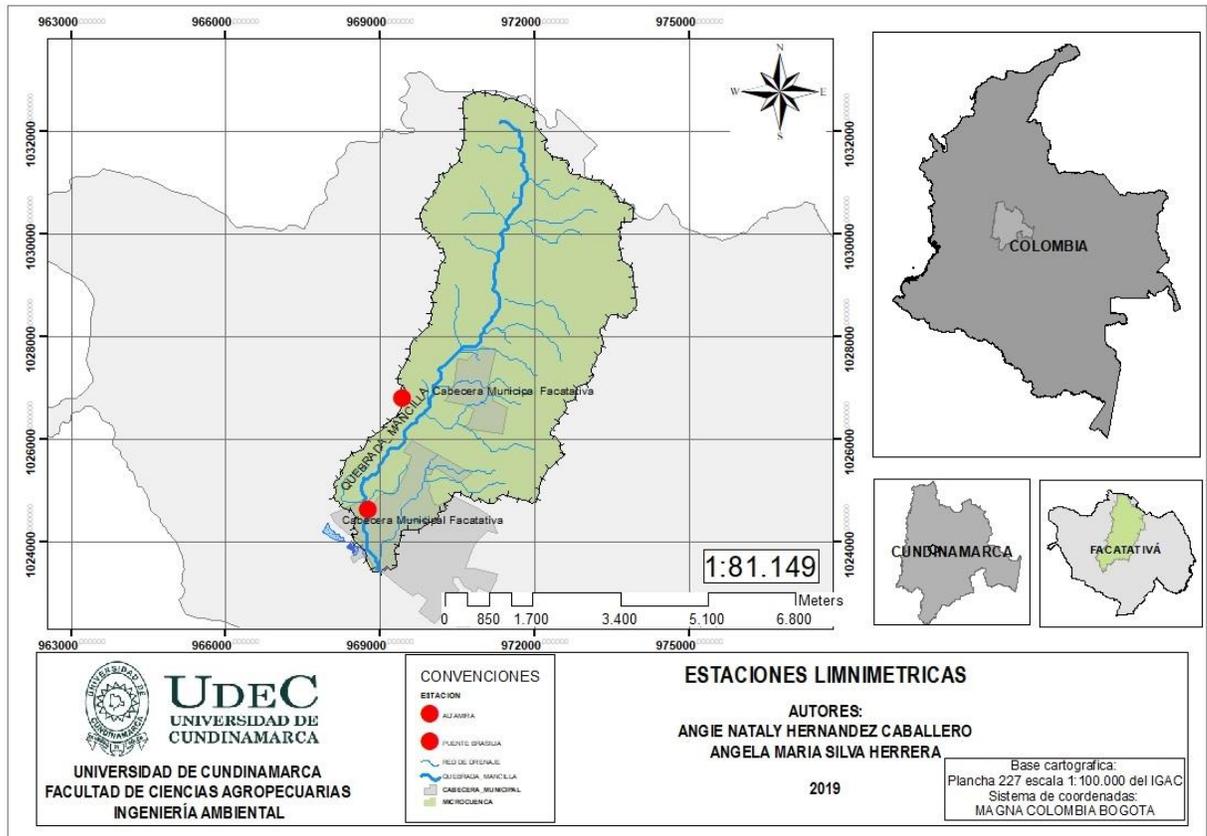


Ilustración 4. Ubicación de las estaciones limnimétricas.

Elaboración: Autores

Los registros de caudales medios mensuales fueron organizados de menor a mayor independientemente de su cronología, a partir de este listado se definieron diez intervalos de clase dada la cantidad de años con registro, para cada intervalo de clase se calcula la frecuencia de ocurrencia, el porcentaje y la probabilidad de excedencia o porcentaje acumulado (probabilidad empírica de un caudal de ser igualado o excedido en un determinado porcentaje de tiempo). A partir de estos cálculos se determinan las curvas de duración de caudales para ambas estaciones.

6.3.PROPONER ACCIONES PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA QUEBRADA MANCILLA

Con el fin de formular las estrategias de gestión, se realizó un diagnóstico inicial desde distintos componentes, a partir de un análisis geoespacial y de información secundaria proveniente de diversas instituciones y estudios resientes en la zona. Esta caracterización permitió determinar las condiciones naturales de la microcuenca, además de las que presenta producto de las actividades antrópicas existentes en la misma. Se busca de esta manera que las estrategias de gestión que se generan a partir del Balance hídrico y el Caudal ecológico calculados en el estudio sean lo más aterrizadas a la situación actual, de manera que las recomendaciones contemplen aspectos ambientales, sociales y de gobernabilidad del recurso hídrico.

7. RESULTADOS Y ANALISIS

7.1. CARACTERIZACION DE LA MICROCUENCA

7.1.1. MORFOMETRIA DEL AREA DE ESTUDIO

7.1.1.1. Valores obtenidos por medio de la digitalización

Tabla 6. Parámetros Morfométricos obtenidos con ArcGIS.

Parámetro	Resultado
Área Total	27,24 Km ² (Microcuenca, según tabla 1)
Perímetro	28,30 Km.
Longitud del Cauce principal	10,25 Km
Pendiente media de la cuenca	19,64%; (Accidentado, según tabla 2)
Longitud red hídrica	73,59 Km

Elaboración: Autores

- **Curvas de nivel**

Para la microcuenca quebrada Mancilla las cotas inician desde 3172 m.s.n.m hasta los 2602 m.s.n.m; como se evidencia en la Tabla 7 y con estas alturas se realizó un mapa hipsométrico de la microcuenca (Ilustración 5).

Tabla 7. Cotas de la zona de estudio.

CURVA DE NIVEL (msnm)
2602,00
2673,25
2744,50
2815,75
2887,00
2958,25
3029,50
3100,75
3172,00

Elaboración: Autores

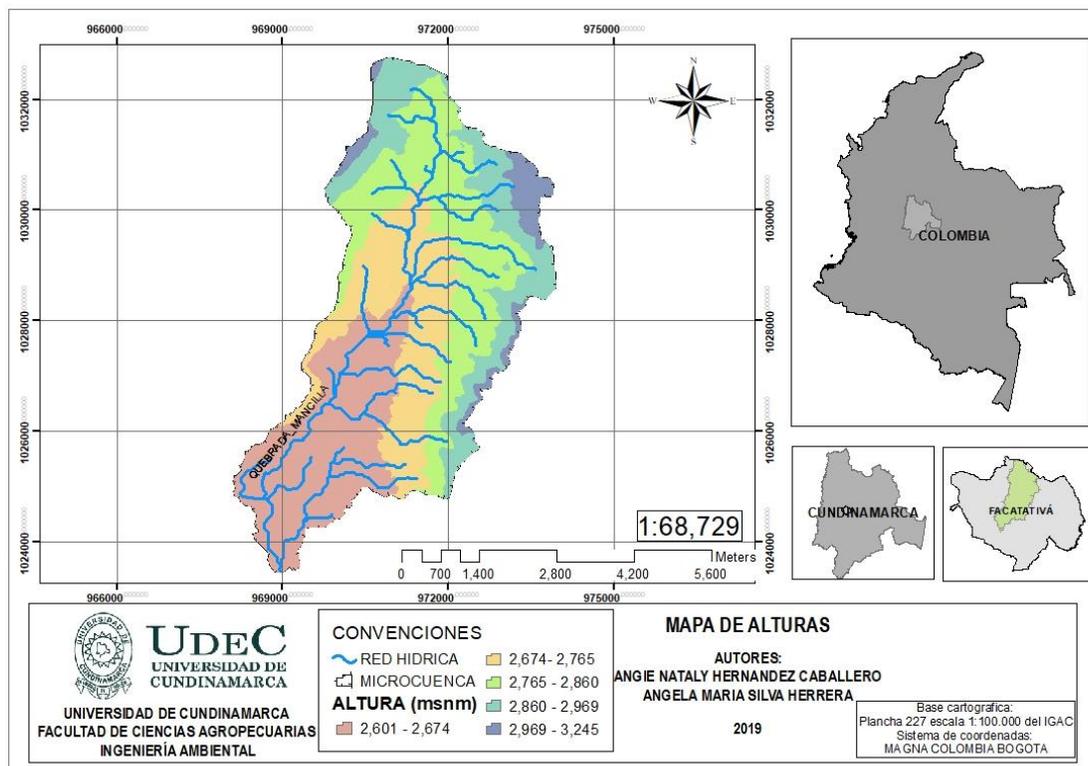


Ilustración 5. Mapa hipsométrico de la microcuenca.

Elaboración: Autores

- **Curva Hipsométrica**

Para realizar la curva hipsométrica de la microcuenca quebrada Mancilla, se realizaron los cálculos que se muestran en la tabla 5 y se obtuvo como resultado el gráfico 1

Tabla 8. Áreas parciales y acumuladas para elaboración de Curva Hipsométrica.

ALTITUD	AREAS PARCIALES		AREAS ACUMULADAS			
			POR DEBAJO		POR ENCIMA	
m.s.n.m.	Km2	(%)	(KM2)	(%)	KM2	(%)
Punto más bajo						
2602	0,00	0,00	0,00	0,00	27,20	100

ALTITUD	AREAS PARCIALES		AREAS ACUMULADAS			
			POR DEBAJO		POR ENCIMA	
2673,25	7,65	28,14	7,65	28,14	19,55	71,86
2744,5	5,03	18,47	12,68	46,62	14,52	53,38
2815,75	4,91	18,07	17,59	64,68	9,61	35,32
2887	5,29	19,46	22,89	84,14	4,31	15,86
2958,25	2,60	9,56	25,49	93,71	1,71	6,29
3029,5	1,19	4,37	26,68	98,08	0,52	1,92
3100,75	0,25	0,91	26,93	98,99	0,27	1,01
3172	0,27	1,01	27,20	100	0,00	0,00
Punto más alto						
TOTAL	27,20	100				

Elaboración: Autores.

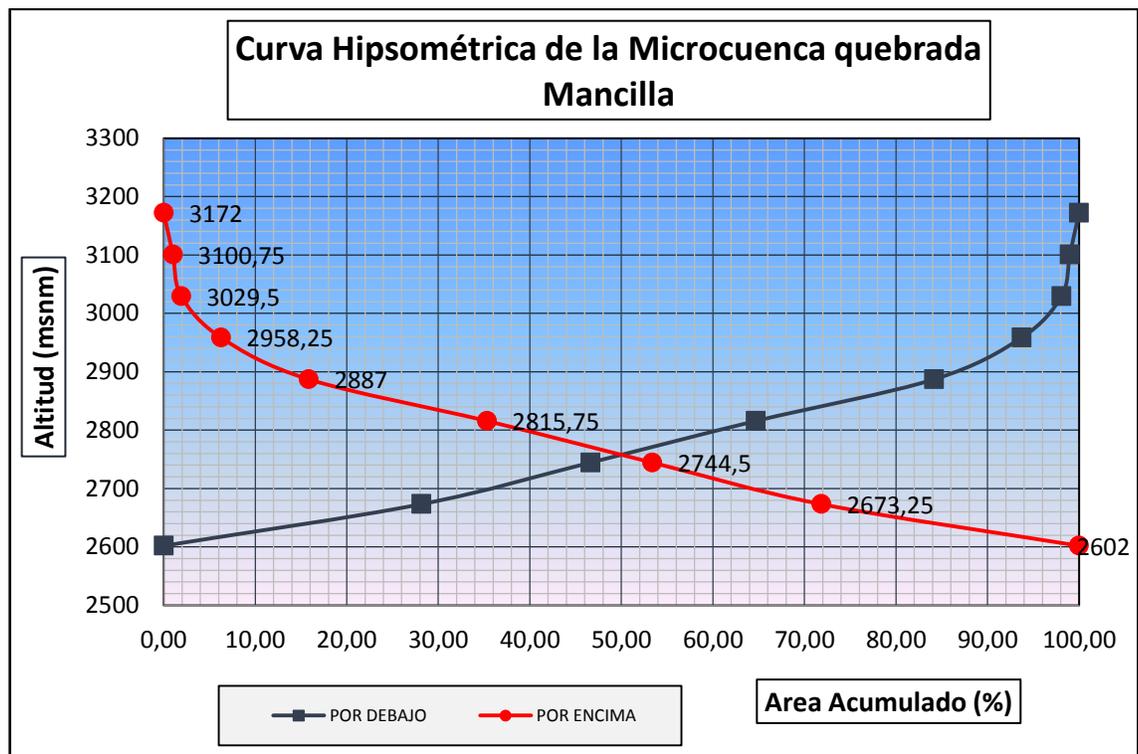


Gráfico 1. Curva Hipsométrica de la microcuenca quebrada Mancilla.

Elaboración: Autores.

Según (Cahuana Andia & Yugar Morales, 2009), existen tres curvas hipsométricas correspondientes a tres cuencas hipotéticas, las cuales tienen potenciales evolutivos distintos. La curva superior (A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (C) es típica de una cuenca sedimentaria. Quedando así, representan distintas fases de la vida de los ríos:

Curva A: Cuenca en fase juventud

Curva B: Cuenca en fase madurez

Curva C: Cuenca en fase de vejez

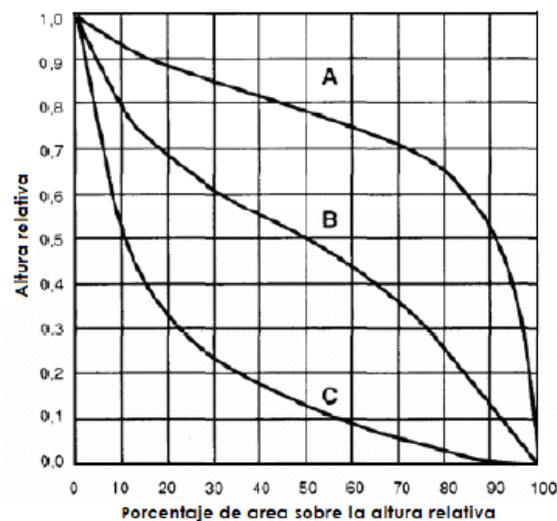


Gráfico 2. Clasificación de curvas hipsométricas.

Fuente: (Cahuana Andia & Yugar Morales, 2009)

Teniendo en cuenta lo anterior, la microcuenca quebrada Mancilla, es una cuenca en fase de vejez además de ser sedimentaria; esta tiene una altitud media de 2760 m.s.n.m (punto de intersección entre la curva roja y la azul).

- **Orden de Red de drenaje**

El número de orden es una clasificación que se les da a los diferentes cauces y que toman un determinado valor, de acuerdo con el grado de bifurcación. Para el caso de la microcuenca quebrada Mancilla, se obtuvo la red a partir del procesamiento digital; y se obtuvo como resultado la ilustración 6.

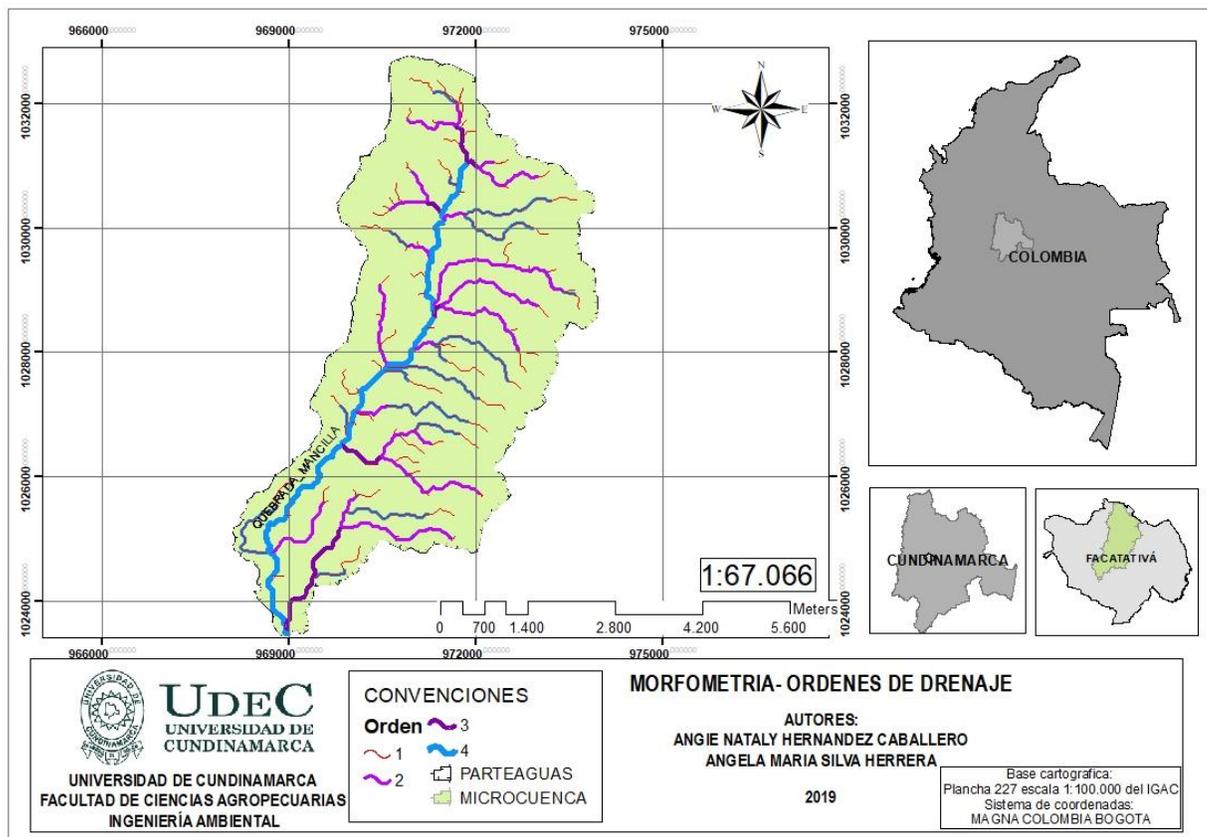


Ilustración 6. Orden de la red de drenaje.

Elaboración: Autores

Además de lo anterior se obtuvo la tabla 9, en la cual se muestra el número total de cauces que hay para cada uno de los órdenes.

Tabla 9. Número total de cauces para cada orden.

Número de orden	Número total de cauces
1	74
2	27
3	8
4	1

Elaboración: Autores.

7.1.1.2. Valores Calculados

a. Coeficiente de Compacidad (Gravelious)

Reemplazando la ecuación 1, con los datos de perímetro y área; se obtuvo que:

$$Kc = 0,28 * \left[\frac{28,30 \text{ Km}}{\sqrt{27,24 \text{ Km}^2}} \right]$$

$$Kc = 1,5$$

Una cuenca con tendencia circular tiene un coeficiente mínimo igual a 1, existe mayor tendencia a las crecientes cuanto más próximos sea el valor a la unidad, cuanto más irregular sea la hoya (cuenca), mayor será su Kc . Para la microcuenca se obtuvo un factor de compacidad de valor de 1,5, dado que el valor del coeficiente de Gravelious se encuentra entre 1.5 y 1.75 esta se caracteriza como oval oblonga y presenta una baja tendencia a las crecidas (Gonzalez & Ortegón, 2016).

b. Rectángulo equivalente

Reemplazando las ecuaciones 4 y 6 respectivamente, con los datos de Kc y área; se obtuvieron los lados del rectángulo equivalente:

$$L_1 = \frac{1,5 * \sqrt{27,24 \text{ Km}^2}}{1,12} * \left[1 - \sqrt{1 - \left[\frac{1,12}{1,5} \right]^2} \right]$$

$$L_1 = 2,34 \text{ Km}$$

$$L_2 = \frac{1,5 * \sqrt{27,24 \text{ Km}^2}}{1,12} * \left[1 + \sqrt{1 - \left[\frac{1,12}{1,5} \right]^2} \right]$$

$$L_2 = 11,64 \text{ Km}$$

A partir de los datos obtenidos, se determinó la distancia entre las curvas de nivel en el rectángulo equivalente se utilizan los valores presentados en la tabla 10 y se obtuvo como resultado el gráfico 3.

Tabla 10. Áreas y anchos para el rectángulo equivalente.

Cota (m.s.n.m)	Área Parcial (Km2)	Ancho (Km)
2602	0	0
2673,25	7,65	3,27
2744,5	5,03	2,15
2815,75	4,91	2,1
2887	5,29	2,26
2958,25	2,6	1,11
3029,5	1,19	0,51
3100,75	0,25	0,11
3172	0,27	0,12

Elaboración: Autores.

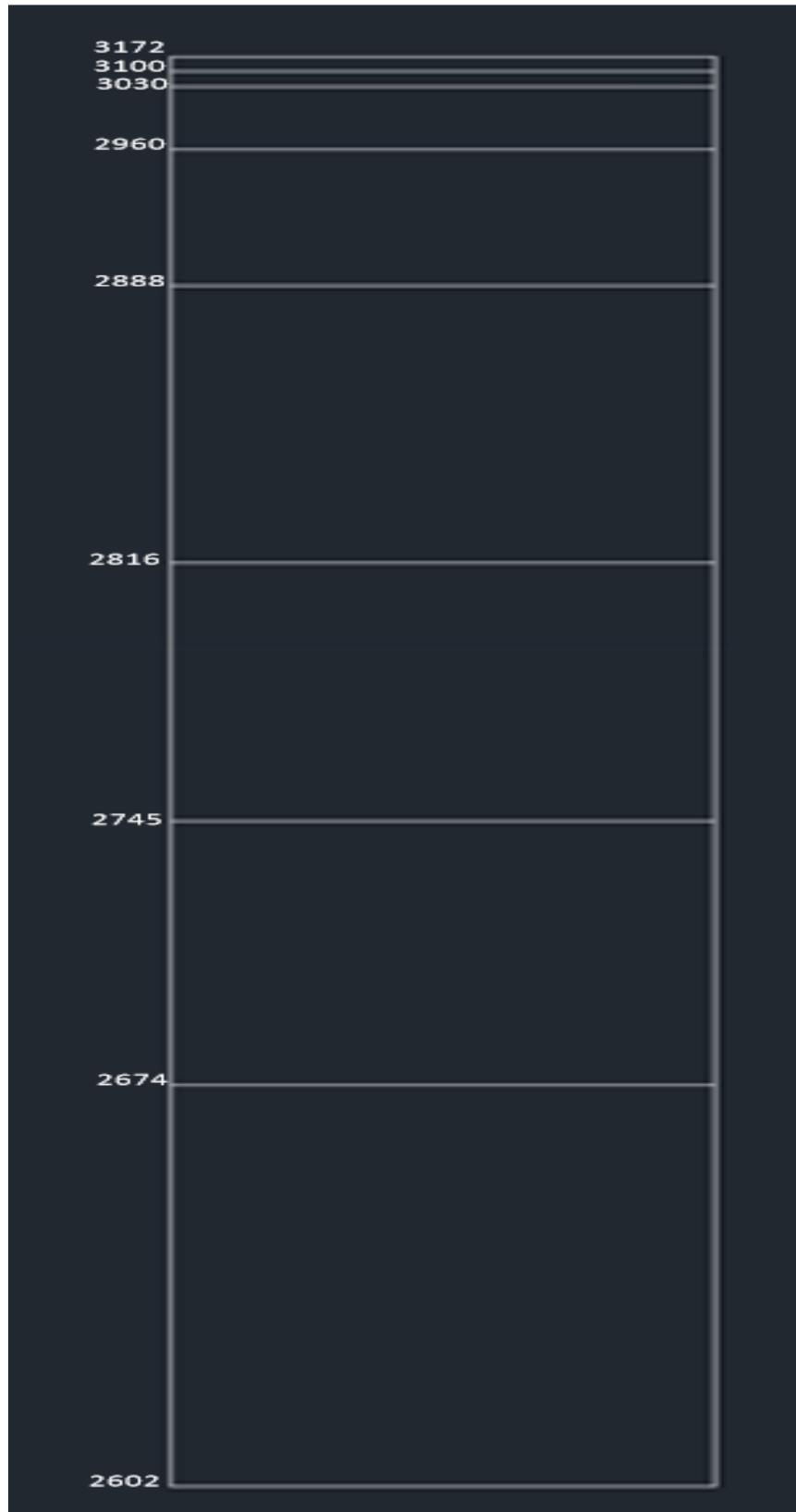


Gráfico 3. Rectángulo equivalente de la microcuenca quebrada Mancilla

c. Factor de forma

Reemplazando la ecuación 6, con los datos de A y Lm; se obtuvo que:

$$F = \frac{27,24 \text{ Km}^2}{(9,55 \text{ Km})^2}$$

$$F = 0,30$$

Para la microcuenca se obtuvo un factor de forma de valor de 0,30; por lo cual se clasifica la microcuenca como alargada con baja susceptibilidad a las avenidas. (Reyes Trujillo et al., 2010)

d. Tiempo de Concentración

Reemplazando la ecuación 7, se obtuvo que:

$$Tc = \left| \frac{0,870 * 10,25^3}{(3172 - 2602)} \right|^{0,385}$$

$$Tc = 1,21 \text{ Horas}$$

El tiempo de concentración de la microcuenca quebrada Mancilla es de 1,21 horas, lo cual es un tiempo moderado para cuencas alargadas, que permitiría un desarrollo relativamente acelerado de avenidas. (Sánchez Angulo, s. f.)

e. Densidad de Drenaje

Reemplazando la ecuación 8, con los datos de A y $\sum Li$; se obtuvo que:

$$Dd = \frac{73,59 \text{ Km}}{27,24 \text{ Km}^2} = 2,70$$

Jiménez citado en (Reyes Trujillo et al., 2010), considera que valores de Dd próximos a 0,5 Km/ Km² corresponden a una cuenca pobremente drenada, mientras que valores de 3,5 Km/ Km² o mayores indican una red de drenaje eficiente. La microcuenca presento un valor de densidad de drenaje de 2,70 Km/ Km²; lo cual indica que tiene buena densidad de drenaje.

f. Constante de estabilidad del río (C)

Reemplazando la ecuación 9, con los datos de A y $\sum Li$; se obtuvo que:

$$C = \frac{27,24 \text{ Km}^2}{73,59 \text{ Km}} = 0,37$$

El valor obtenido para la microcuenca es bajo lo que indica la presencia de rocas débiles, escasa o nula vegetación y baja capacidad de infiltración del suelo, es decir mayor erodabilidad. (Reyes Trujillo et al., 2010)

g. Pendiente media del cauce

Al tener el perfil del cauce principal (gráfico 4), se procedió a separar los diez tramos con la misma longitud y se procedió a realizar las estadísticas presentes en la tabla 11.

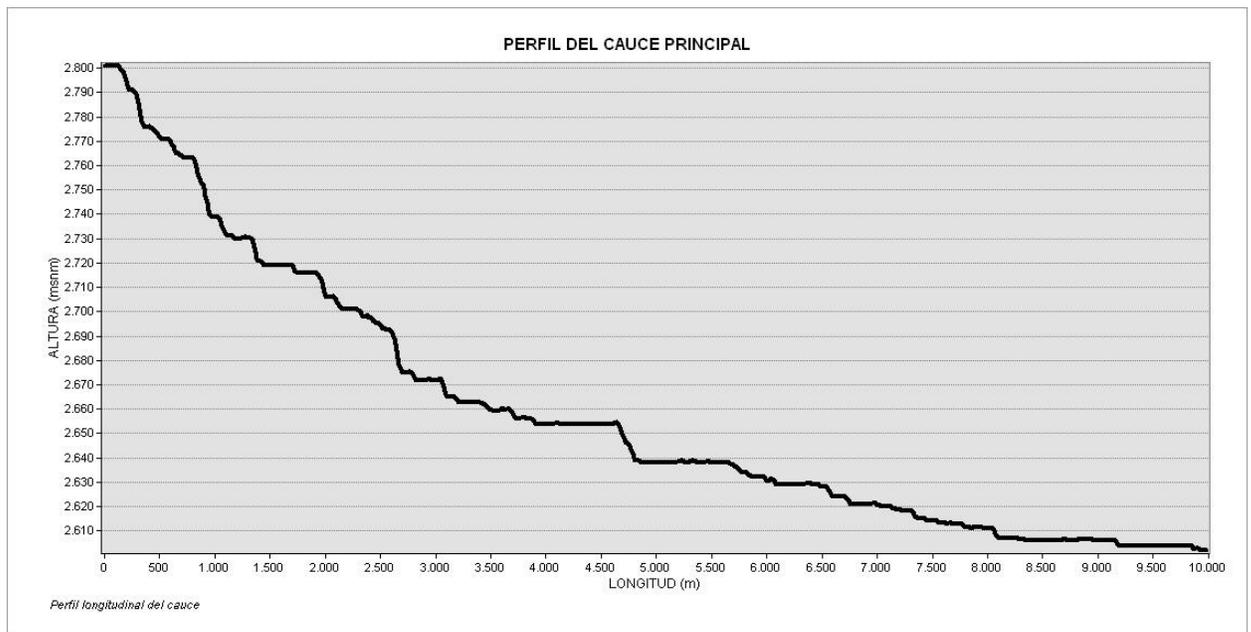


Gráfico 4. Perfil del cauce principal.

Elaboración: Autores

Tabla 11. Pendiente media del cauce.

NÚMERO DE TRAMOS	LONGITUD DEL TRAMO (m)	COTA MAX (m.s.n.m)	COTA MIN (m.s.n.m)	S_i	$\frac{Li}{\sqrt{S_i}}$
1	1024,8	2800,00	2740	0,05855	4235
2	1024,8	2740,00	2706,06	0,03312	5631
3	1024,8	2706,06	2670	0,03519	5463
4	1024,8	2670,00	2660	0,00976	10374
5	1024,8	2660,00	2638	0,02147	6994
6	1024,8	2638,00	2629	0,00878	10935
7	1024,8	2629,00	2618	0,01073	9892

8	1024,8	2618,00	2607	0,01073	9892
9	1024,8	2607,00	2604	0,00293	18941
10	1024,8	2604,00	2602,00	0,00195	23198
Longitud total	10248			$\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{S_i}}$	105555

Elaboración: Autores.

Reemplazando la ecuación 10, con los datos de A y $\sum L_i / (S_i)^{1/2}$; se obtuvo que:

$$S = \left[\frac{10248}{105555} \right]^2 * 100\%$$

$$S = 0,94\%$$

h. Índice de Torrencialidad (C_T)

Reemplazando los datos en la ecuación 11, se obtuvo que:

$$C_T = \frac{74}{27,24 \text{ Km}^2} = 2,72 \text{ Km}^{-2}$$

El índice de torrencialidad para la microcuenca indica que el cauce principal tiene una capacidad torrencial moderadamente alta. (Sánchez Angulo, s. f.)

7.1.2. Coberturas vegetales

Dentro de las coberturas vegetales presentadas en la vereda Mancilla, se observan principalmente bosques secundarios en las partes altas, lomas, laderas y montañas; cultivos de pastos mejorados, y algunos puntos de reforestación en la ronda de la quebrada. Además

se ha encontrado que debido a la deforestación de la cabecera y el nacimiento de la quebrada, se disminuye la infiltración del agua y crece el riesgo del desbordamiento del cauce y de represamiento de la misma (Vargas, 2017b.), Esto está asociado además a la forma de la cuenca que se confirma teóricamente a través del análisis morfométrico realizado (sección 7.1.1.2), en el cual se observa que la cuenca presenta baja infiltración y alta erodabilidad (sección 7.1.1.2 numeral f), un capacidad torrencial moderadamente alta (sección 7.1.1.2 numeral h), y un tiempo de concentración relativamente bajo (sección 7.1.1.2 numeral d), lo que combinado con la pérdida de coberturas vegetales genera riesgo de desbordamiento y represamiento de cauces, además de hacer más corta la vida útil de embalses que se instalen en las partes bajas de la microcuenca en estudio producto del arrastre y depósito de sedimentos en estas obras de almacenamiento.

Tabla 12. Coberturas de la tierra, microcuenca.

ÁREA EN Km ²			
AÑO	Bosques y áreas seminaturales	Territorios agrícolas	Territorios artificializados
1985	12.1908	13.3899	1.2459
2001	8.7895	15.6801	2.357
2018	8.9185	14.0624	3.3845

Fuente: (Perez & Rodriguez, 2018)

El siguiente mapa (Ilustración 7) muestra las variaciones de coberturas a lo largo de los años desde 1985 hasta el 2018, se puede notar una clara disminución de las áreas correspondientes a Bosques y Territorios Seminaturales (45% a 33% del área de la microcuenca) y una pérdida de conectividad entre los relictos de bosques entre los años de 1985 a 2001 asociado al incremento en las actividades agropecuarias asociadas a la cobertura de “Territorios Agrícolas” y al incremento de los territorios destinados para el desarrollo urbano, representados como la cobertura de Territorios Artificializados.

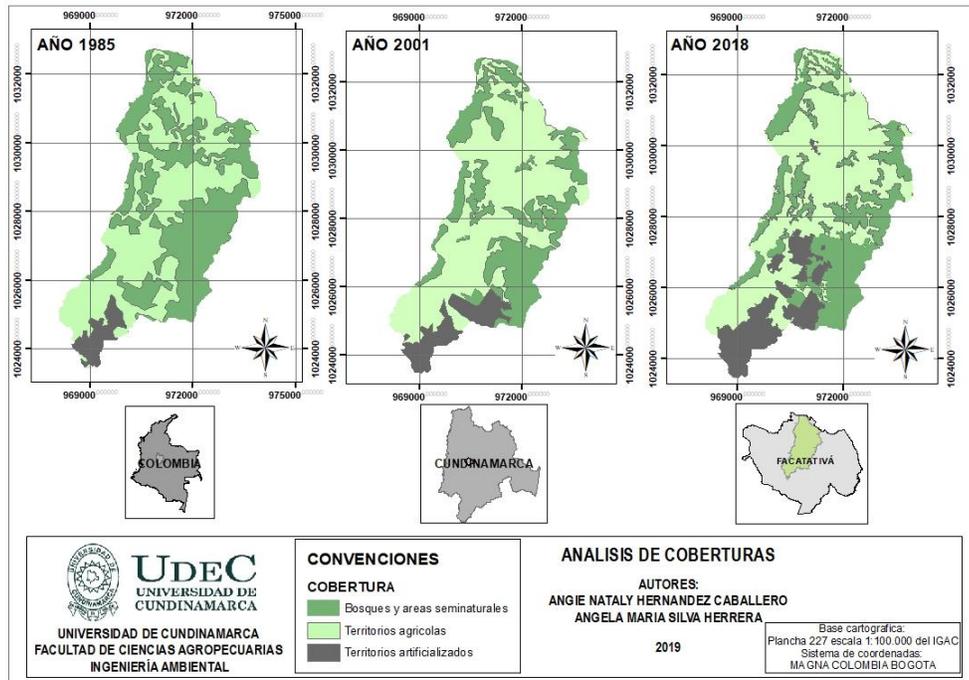


Ilustración 7. Coberturas microcuena,

Fuente: (Perez & Rodriguez, 2018)

Se puede notar además como las zonas de ronda asociadas al cauce principal de la microcuena (quebrada Mancilla) no presentan coberturas adecuadas para el mantenimiento de las características de hábitat del ecosistema, dado que se observan territorios agrícolas en la parte central de la microcuena en donde discurre la quebrada Mancilla, se observan territorios agrícolas (color verde claro) con usos del suelos prohibidos para las zonas de conservación (Administración municipal Facatativa, 2002).

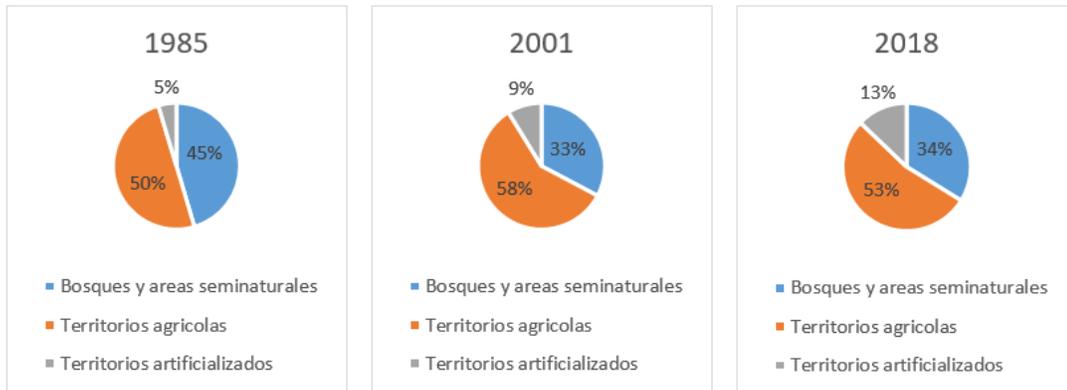


Gráfico 5. Porcentaje de coberturas

Elaboración: Autores.

Entre los años 2001 y 2018 (Gráfico 5) se presentó un aumento mínimo en la cobertura asociada a bosques, esto posiblemente ligado a procesos de reforestación dentro de la microcuenca, adicional a esto se debe evaluar qué tipos de especies fueron empleadas en la revegetalización, dado que el aumento en esta cobertura puede deberse a la generación de cultivos de especies madereras como el eucalipto. De igual manera se puede observar que continúa en aumento la cobertura de territorios artificializados, relacionados con el aumento en las áreas de viviendas y zonas urbanas relacionadas (Gráfico 6).

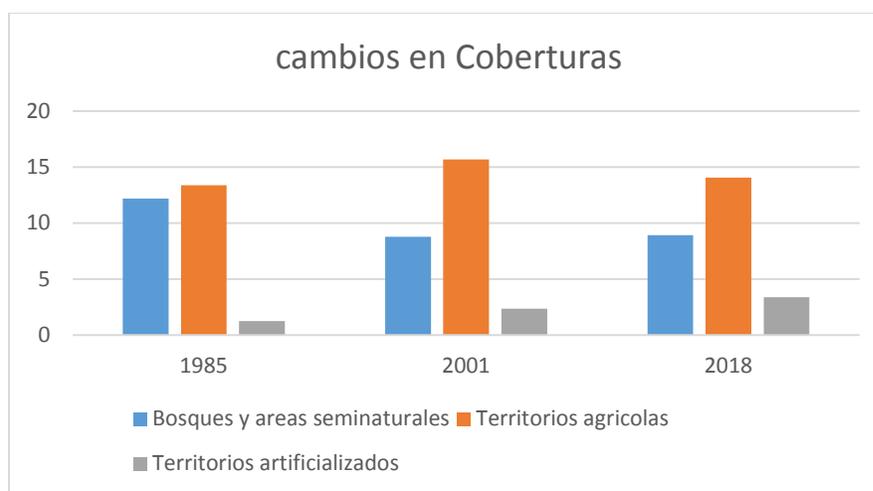


Gráfico 6. Cambios en las coberturas

Elaboración: Autores.

Según el análisis espacial desarrollado (buffer o zona de influencia) generado a la red hídrica de la microcuenca a partir de Arcgis 10.5; las zonas de protección a la ronda de los cuerpos hídricos (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR., 2015) en el área de estudio se encuentran representadas por medio del polígono rojo en el mapa anterior (ilustración 8) tiene un área de 2,57 km², en los cuales existen 0,42 km² en la cobertura de bosques y áreas seminaturales, 1,57 km² a territorios agrícolas y 0,58 km² a territorios artificializados.

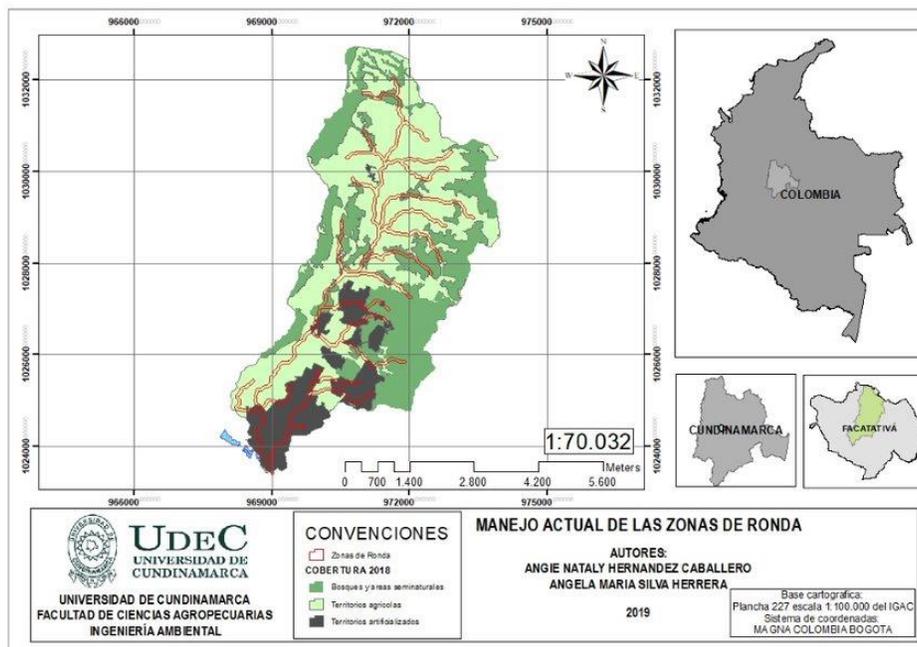


Ilustración 8: Manejo actual de las Zonas de Ronda.

Elaboración: Autores.

Teniendo en cuenta el POT (Administración municipal Facatativa, 2002) de Facatativa en el artículo 266 Usos del suelo Rural, en el tipo de suelo número 5: “Áreas periféricas a nacimientos de agua, cauces de ríos, quebradas, arroyos, lagos, lagunas, embalses y humedales (Zona de Ronda y Protección Ambiental)” caracterizado por ser franjas de suelo

de 30 metros, medidos paralelamente al nivel máximo de agua a cada lado de los cauces de la quebrada, cuyos usos del suelo son:

- Uso principal: Conservación de suelos y restauración de la vegetación adecuada para la protección de los mismos.
- Usos compatibles: Recreación pasiva o contemplativa.
- Usos condicionales: Captación de aguas o incorporación de vertimientos siempre y cuando no afecten el cuerpo de agua, ni se realice sobre los nacimientos. Construcción de infraestructura de apoyo para las actividades de recreación, embarcaderos, desagüe de instalaciones de acuicultura y extracción de material de arrastre.
- Usos prohibidos: Usos agropecuarios, industriales, agroindustriales, urbanos y sub-urbanos, loteo y construcción de vivienda, minería, disposición de residuos sólidos, tala y rocería de la vegetación.

Considerando que asociados a las coberturas de territorios agrícolas (61% del área) y territorios artificializados (22% del área) (colores verde claro y gris; ilustración 8), se encuentran los usos del suelo catalogados como prohibidos para la zona de protección o ronda hídrica de los cauces en las microcuencas, se identifica que el 83% del área correspondiente a las zonas de ronda, presenta actualmente usos del suelo caracterizados como prohibidos, que afectan la disponibilidad y calidad del agua que discurre por la microcuenca.

7.1.3. Calidad del Agua

La información de la calidad de agua del presente capítulo es obtenida a partir del estudio realizado por Parra y Rivera 2017. La calidad del agua de la quebrada Mancilla se ha visto modificada a lo largo de los años producto de las actividades antrópicas que se desarrollan en su área de influencia, entre estas actividades se identifican extensiones de cultivos de papa, arveja, maíz, hortalizas y flores los cuales han aumentado su impacto sobre la cantidad y calidad del agua de la quebrada.

Según el Plan de Saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) del municipio, citado por Parra (2017) en los corredores de protección hídrica de los cuerpos de agua se han presentado invasión de viviendas, con la producción de basuras y escombros asociadas, lo que afecta el cauce de las corrientes.

La quebrada Mancilla actualmente se ve afectada por escorrentía de cultivos, vertimientos de aguas residuales domésticas y pecuarias, en la parte alta de la quebrada se puede notar como la ganadería es la actividad más recurrente, seguida de la agricultura (Parra & Rivera, 2017)

La población de la vereda Mancilla se abastece directamente de la quebrada Mancilla en un 43%, otro 43% se abastece de agua subterránea y otro porcentaje el 14% de acueductos veredales los cuales a su vez se abastecen y tratan de agua de la quebrada.

La tabla 13 muestra las principales actividades desarrolladas en la parte alta de la microcuenca:

Tabla 13. Actividades antrópicas- parte alta microcuenca,

Actividad	Porcentaje
Ganadería	46
Agricultura	36
Porcicultura	9
Conservación de bosques	9

Fuente: (C. Parra & Rivera, 2017)

Las actividades con mayor incidencia en el área de estudio generan contaminación por materia orgánica (escorrentía de aguas residuales pecuarias) y contaminación con agroquímicas, dado que un 37% de los terrenos agrícolas emplean fertilizantes químicos y el 25% pesticidas. (C. Parra & Rivera, 2017)

Dentro del desarrollo del trabajo de grado mencionado se realizaron muestreos en tres puntos de la parte alta de la microcuenca escogidos por ser cercanos a lugares de captación de agua para el abastecimiento humano, los resultados obtenidos con respecto a las actividades antrópicas que se llevan a cabo en la zona de estudio son:

Tabla 14: Resultados de calidad del agua.

PARAMETRO	UNIDAD	EPOCA SECA	EPOCA DE LLUVIAS	CUMPLIMIENTO*	ACTIVIDAD ASOCIADA
Cloruros	mg/l Cl	10,5	14,16	CUMPLE	Uso de fertilizantes en la agricultura
DQO	mg/l de O ₂	36	171,6	NO CUMPLE	ganadería en zonas cercanas a la ronda de la quebrada

Tensoactivos	mg/l	0,3	0,3	CUMPLE	Vertimientos de aguas domesticas con trazas de jabones y detergentes
Fenoles	mg/l	0,1	0,1	NO CUMPLE	Prácticas agrícolas inadecuadas; monocultivos y uso excesivo de plaguicidas; asociados además a la descomposición de materia orgánica o la existencia de tensoactivos
Fosfatos	mg/l de P	0,21	0,51	NO CUMPLE	Uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas que aportan fosforo soluble al agua
Grasas y aceites	mg/l	0,238	0,2	NO CUMPLE	Presencia de margarinas, aceites, mantecas de cerdo y grasas de origen vegetal por actividades agropecuarias
Hierro	mg/l de Fe	1,4	0,56	NO CUMPLE	Descarga de vertimientos agrícolas a la quebrada mancilla y Desprendimiento del fondo del cauce, el aumento en época seca se debe a un menor caudal con la consecuente menor dilución del mismo
Nitratos	mg/l	2,13	8,1	CUMPLE	Uso de fertilizantes nitrogenados, y arrastre de lixiviados; malas prácticas agrícolas como los monocultivos y el uso excesivo de plaguicidas
Nitritos	mg/l	0,14	0,25	CUMPLE	Aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados que al no ser asimilados completamente por las plantas se infiltran al suelo hasta que alcanzan cuerpos hídricos; suelos de uso agrícola o ganadero en cercanías a la quebrada
Turbiedad	UNT	6,8	24,13	NO CUMPLE	Está asociada a la forma de la cuenca y a la pendiente del cauce principal que genera arrastre de sedimentos, en la época de fuertes precipitaciones se ve incrementada por este mismo fenómeno
pH	mg/l	7,1	8,13	CUMPLE	El aumento del caudal en época de lluvias genera un aumento en el caudal que causa un arrastre de sedimentos e incrementa el potencial de hidrogeno

Plaguicidas totales	mg/l	0,32	0,13	NO CUMPLE	Uso de plaguicidas organoclorados y organofosforados, dentro de los análisis de laboratorio se encontraron compuestos como Coumaphos y Dichlorvos que generan afectaciones a la salud humana
Escherichia Coli	UFC/ 100 ml	78	1280	NO CUMPLE	Contaminación del agua con heces fecales humanas o de animales; efecto de las actividades ganaderas y porcícolas sobre la quebrada.
Coliformes totales	UFC/ 100 ml	532	1600	NO CUMPLE	Arrastre de excretas provenientes de los predios ganaderos aledaños a la quebrada; influencia del lavado de suelos ganaderos; vertimiento de aguas residuales domésticas y materia orgánica en descomposición.

Fuente (C. Parra & Rivera, 2017)

El cumplimiento analizado en la tabla 14 es con respecto a la Resolución 2115 de 2007, el Decreto 1594 de 1984 y las guías de calidad del agua de la Organización Mundial de la Salud (C. Parra & Rivera, 2017).

Con respecto a todos los parámetros considerados en el estudio se logra notar fácilmente como las distintas actividades antrópicas tienen una relación directa con la calidad del agua, el punto más alto de muestreo tiene la influencia directa de actividades agrícolas intensivas, mientras que los otros dos puntos tienen mayores valores en parámetros asociados con actividades de ganadería y aguas residuales domésticas. Estas alteraciones en la calidad se deben además a que no se han logrado establecer límites reales entre las fincas productoras y las zonas de protección o ronda de la quebrada mancilla de manera que la mayoría de impactos de estas actividades van directo al cuerpo hídrico.

7.1.4. Usos actuales del agua

Dentro del análisis espacial del reporte de concesiones de agua superficial otorgadas por la CAR en la zona de estudio se encontraron nueve concesiones, que llevan captando de cuerpos hídricos pertenecientes a la microcuenca quebrada Mancilla, desde hace aproximadamente 6 años.

La tabla 15 muestra las actividades económicas asociadas a los predios que cuentan actualmente con concesiones de agua otorgadas.

Tabla 15. Actividades económicas de las concesiones.

ACTIVIDADES ECONOMICAS CON CONCESIONES	
ACTIVIDAD AGROPECUARIA	73%
ACTIVIDAD PECUARIA NO ESPECIALIZADA	3%
CAPTACION Y TRATAMIENTO DE AGUA	23%
GANADERIA ESPECIALIZADA	1%

Elaboración: Autores

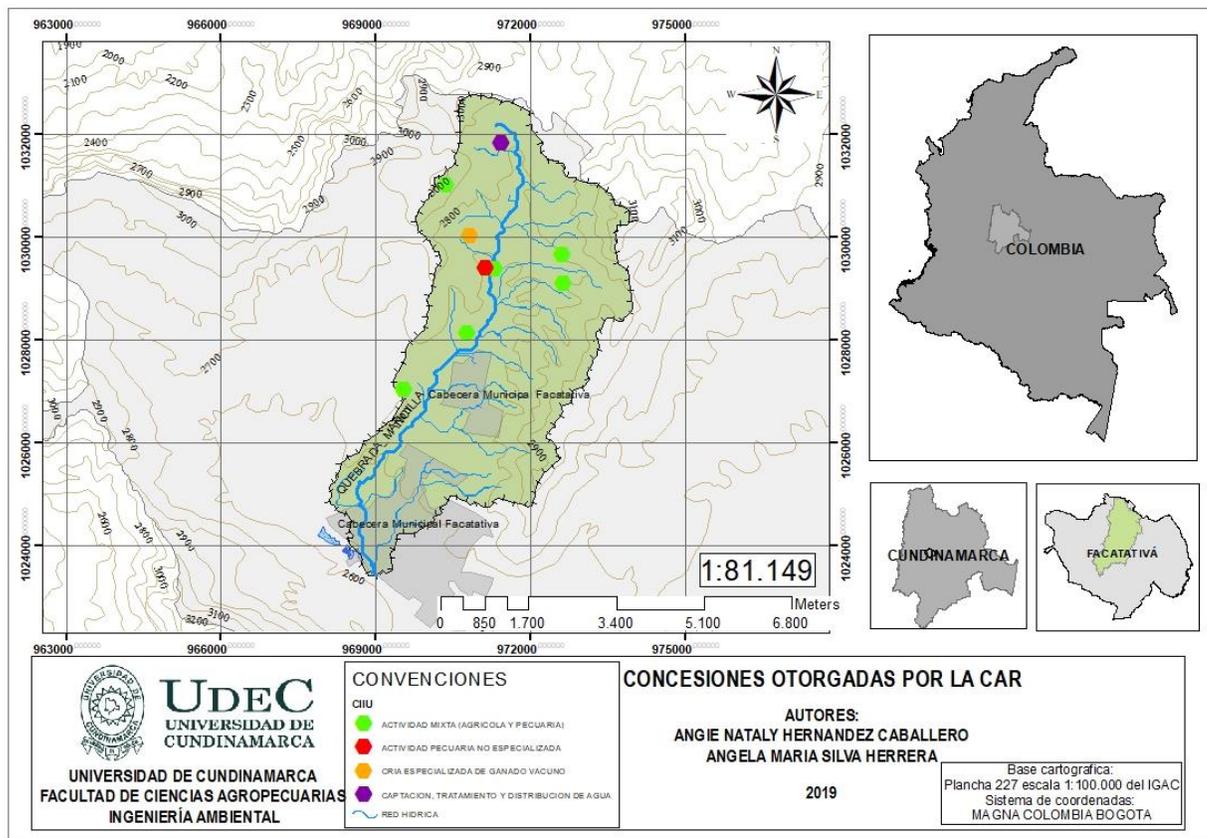


Ilustración 9. Concesiones otorgadas por la CAR.

Elaboración: Autores

Según la información anterior (tabla 15 e ilustración 9) se puede notar que la mayor cantidad de predios que cuentan con concesiones de agua son los que se dedican a actividades agropecuarias, las cuales se caracterizan por tener requerimientos hídricos elevados y por afectar condiciones de calidad del agua cuando no se llevan a cabo de manera adecuada.

La tabla 16 muestra la cantidad de agua captada en metros cúbicos por segundo (m^3/s), según cada uno de los usos del agua en la microcuenca en estudio, desde que se otorgaron las mencionadas concesiones.

Tabla 16. Caudal-concesiones otorgadas por la CAR.

USO	Caudal otorgado (m ³ /s) al día	Caudal captado mensualmente (m ³ /s) al mes	Relación porcentual
DOMESTICO	0,001307	0,03921	67%
PECUARIO	0,00023	0,0069	12%
AGRICOLA	0,00042	0,0126	21%
TOTAL	0,001957	0,05871	

Elaboración: Autores

Considerando que los usuarios de las concesiones estén captando con exactitud el caudal otorgado diariamente y llevando este valor a la cantidad en m³/s que se toma de manera mensual, se logra identificar que la demanda hídrica para la microcuenca en estudio, con respecto a la información disponible es de cerca de 0,06 m³/s cada mes.

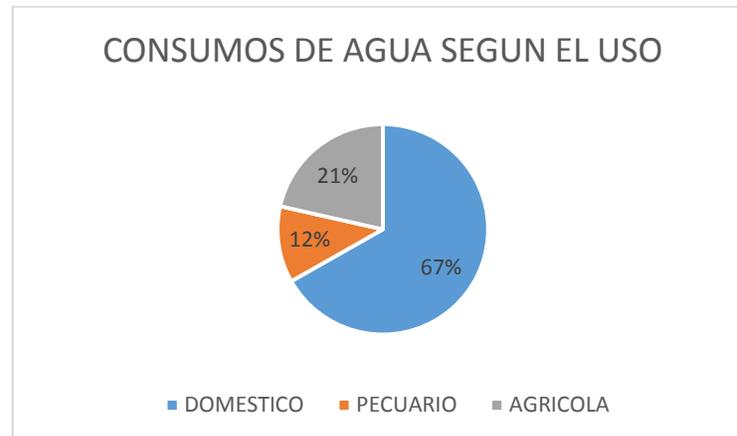


Gráfico 7. Caudal captado

Elaboración: Autores

Según el gráfico 7, el uso principal en la microcuenca en estudio corresponde al doméstico, esto es de vital importancia considerando la calidad del agua analizada en el capítulo anterior (tabla 14); en el que se puede notar el incumplimiento en parámetros como

Fosfatos, Grasas y Aceites; con respecto a los requerimientos de calidad de agua para el consumo humano. Además de presentar concentraciones de elementos como fenoles y plaguicidas totales con características de toxicidad, que podrían representar riesgos a la salud humana, e indicadores microbiológicos como E- coli y Coliformes que son un claro indicio de contaminación por materia orgánica en descomposición y que también representan posibles daños a la salud de ciertos sectores de la población, como lo son los niños o adultos mayores, que pueden tener comprometidos sus sistemas inmunológicos.

Cabe aclarar que los parámetros analizados en el estudio citado en este documento solo tienen puntos de muestreo en la parte alta de la microcuenca, por lo que es importante prestar atención a como está diluyéndose la contaminación en la microcuenca, dado que de cierto modo se puede decir que ya algunos metros abajo del nacimiento del cauce principal se empieza a presentar contaminación, por lo que el agua captada por las concesiones de agua ya puede presentar alteraciones de calidad que pueden interferir en los usos destinados para el recurso hídrico.

7.2. CALCULO Y ANALISIS DEL BALANCE HIDRICO Y EL CAUDAL ECOLOGICO

7.2.1. Balance hídrico

7.2.1.1. *Balance hidro-climático*

Para los análisis de precipitación de la microcuenca quebrada Mancilla se utilizaron las estaciones de Venecia, El Tesoro y Manjui, se usaron datos desde 1991 hasta el 2017, pues

durante estos 27 años los registros se encontraban completos; el resultado del promedio se presenta en la tabla 17.

Tabla 17. Precipitación mensual multianual por estación y su promedio.

MES	ESTACIONES			PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)
	VENECIA (mm)	EL TESORO (mm)	MAJUI (mm)	
ENERO	47,55	32,29	28,87	36,24
FEBRERO	57,93	56,75	42,96	52,55
MARZO	92,61	97,65	81,65	90,64
ABRIL	101,67	109,28	101,31	104,09
MAYO	88,04	106,01	97,06	97,04
JUNIO	47,03	75,17	47,93	56,71
JULIO	43,47	71,28	50,59	55,11
AGOSTO	44,35	68,79	49,15	54,10
SEPTIEMBRE	53,29	83,97	50,46	62,57
OCTUBRE	111,29	123,81	109,64	114,91
NOVIEMBRE	124,74	118,85	104,00	115,86
DICIEMBRE	71,16	64,32	48,54	61,34

Elaboración: Autores

Con la totalidad de los datos de precipitación se elaboró un gráfico de líneas de las tres estaciones (Gráfico 8), en donde se puede observar que la precipitación presenta un comportamiento bimodal con valores máximos en los meses de marzo- mayo y octubre-noviembre; cuyos valores registrados oscilan entre los 90-116 mm/mes. En general en el transcurso del año los valores se encuentran entre los 36 mm/mes a 116 mm/mes; siendo el valor más bajo en el mes de enero y el más alto en el mes de noviembre.

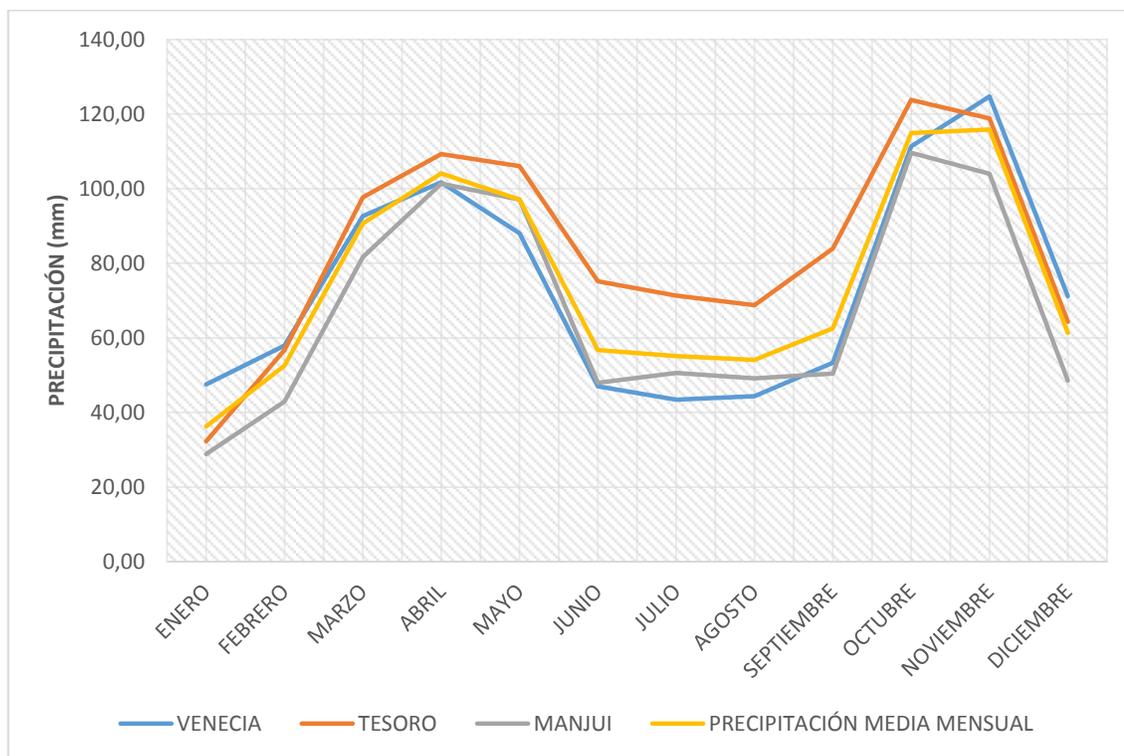


Gráfico 8. Gráfico de líneas de la precipitación.

Elaboración: Autores

El valor de evapotranspiración se determinó teniendo como referencia la estación de Venecia, para esta se completó la serie de datos multianuales en los meses faltantes por medio del promedio, el resultado se presenta en la tabla 18, en la cual se presenta valores fluctuantes entre 67,69 mm/mes y 81,39 mm/mes; siendo el valor más bajo en el mes de noviembre y el más alto en marzo.

Tabla 18: Valores de evapotranspiración

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
EVT (mm)	77,63	75,53	81,39	75,97	71,84	71,92	72,5	76,1	79,81	79,0	67,69	75,09

Fuente CAR

A partir de los parámetros anteriores (Tabla 17-columna 5 y Tabla 18) se realizó un balance entre la precipitación y la evapotranspiración, esto con el fin de determinar los meses de déficit y exceso en el año (Tabla 19)

Tabla 19: Relación Precipitación- Evapotranspiración

MES	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)	EVAPOTRANSPIRACION MEDIA MENSUAL MULTIANUAL (mm)	DEFICIT Y/O EXCESO
ENERO	36,24	77,63	-41,39
FEBRERO	52,55	75,69	-23,14
MARZO	90,64	81,30	9,34
ABRIL	104,09	75,97	28,12
MAYO	97,04	71,84	25,20
JUNIO	56,71	72,01	-15,30
JULIO	55,11	72,80	-17,69
AGOSTO	54,1	76,10	-22,00
SEPTIEMBRE	62,57	79,82	-17,25
OCTUBRE	114,91	79,00	35,91
NOVIEMBRE	115,86	67,69	48,17
DICIEMBRE	61,34	75,09	-13,75

Elaboración: autores

La tabla 20 muestra el balance hidroclimatológico del área en estudio con base a sus variables climatológicas de forma anual multianual, según la CAR (2008) se considera una capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo de 50 mm

Tabla 20. Balance hidro- climatológico.

Parámetros	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
Precipitación (mm)	36,24	52,55	90,64	104,09	97,04	56,71	55,11	54,10	62,57	114,91	115,86	61,34	901,16
Evapotranspiración (mm)	77,63	75,69	81,30	75,97	71,84	72,01	72,80	76,10	79,82	79,00	67,69	75,09	904,95

Parámetros	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
Pe - EVT (mm)	- 41,39	- 23,14	9,34	28,12	25,20	- 15,30	- 17,69	- 22,00	- 17,25	35,91	48,17	- 13,75	
Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo (mm)	50,00												
Reserva de humedad (mm)	8,61	26,86	50,00	50,00	50,00	34,70	32,31	28,00	32,75	50,00	50,00	36,25	
Déficit (mm)	41,39	23,14	0,00	0,00	0,00	15,30	17,69	22,00	17,25	0,00	0,00	13,75	150,53
Excedente (mm)	0,00	0,00	9,34	28,12	25,20	0,00	0,00	0,00	0,00	35,91	48,17	0,00	146,74

Elaboración: Autores.

El gráfico 9 muestra el comportamiento de las variables climatológicas anteriores (tabla 20), se observa que los meses de marzo, abril, mayo, octubre y noviembre, los valores de precipitación están por encima de la evapotranspiración, de manera que se generan excesos de agua en la microcuenca, mientras que para los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto, septiembre y diciembre existen déficit hídricos, dado que la evapotranspiración se encuentra por encima de la precipitación, lo que genera que para compensar este valor el suelo disminuya su reserva natural de agua, esto está asociado al comportamiento bimodal de las precipitaciones las épocas secas.

Cabe aclarar que los excesos de agua no indican necesariamente escorrentía en las épocas que se presentan, si no que cuando en el balance existen excesos no hay pérdida en la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, cuando por el contrario la evapotranspiración está por encima de la precipitación (hay déficit), no indica que el suelo haya llegado a una capacidad de almacenamiento nula (Castañeda & Jimenez, 2018).

Para los meses con exceso cuando su valor está por encima de la capacidad máxima de almacenamiento de agua que tiene el suelo, este se colmata y los excedentes si tienden a convertirse en escorrentía superficial.

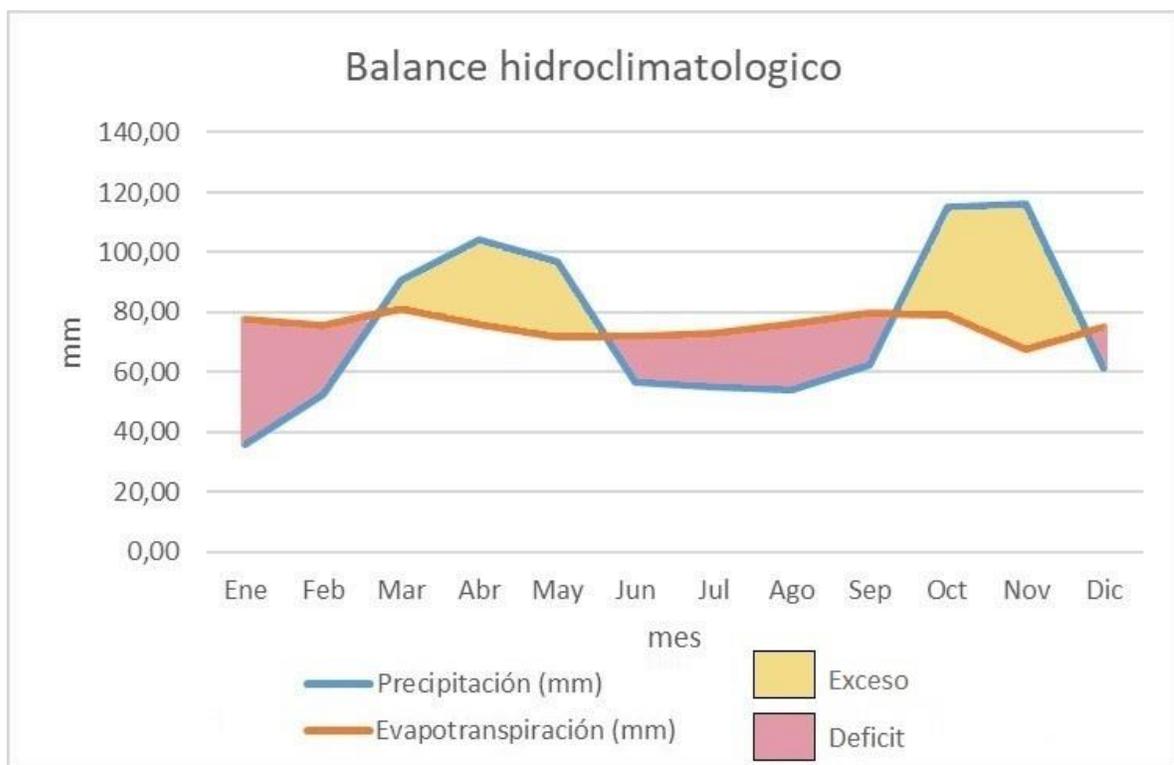


Gráfico 9. Balance hídrico de la microcuenca quebrada Mancilla.

Elaboración: autores

7.2.1.2. Caudales

El análisis de los caudales se realizó a partir de los datos de valores medios, máximos y mínimos de los caudales mensuales obtenidos por las estaciones ALTAMIRA y PTE. BRASILIA; los datos de esta fueron completados por medio del método de la media aritmética con el fin de obtener un valor representativo y confiable de la estación.

Para esta estación ALTAMIRA se utilizó la serie histórica de datos de 26 años, desde 1991 hasta 2017; los cuales se presentan en la tabla 19, y nos muestran la distribución de los caudales mínimos, máximos y medios en el área y su variación mensual.

Tabla 21. Caudales mínimos, medios y máximos de la estación ALTAMIRA.

Caudal (Q) ALTAMIRA (m ³ /s)			
MES	MÍNIMO	MEDIO	MÁXIMO
ENERO	0,168	0,269	0,584
FEBRERO	0,137	0,235	0,557
MARZO	0,120	0,354	1,063
ABRIL	0,177	0,845	2,668
MAYO	0,151	0,346	2,041
JUNIO	0,127	0,192	0,294
JULIO	0,117	0,152	0,212
AGOSTO	0,089	0,118	0,180
SEPTIEMBRE	0,074	0,099	0,205
OCTUBRE	0,071	0,154	0,442
NOVIEMBRE	0,144	0,714	3,853
DICIEMBRE	0,274	0,655	1,687
Q multianuales	0,137	0,344	1,149

Elaboración: Autores.

Para el caso de la estación PTE. BRASILIA se trabajó con 14 años desde 2003 hasta 2017; los valores resultantes se presentan en la tabla 20, nos muestran la distribución de los caudales mínimos, máximos y medios en el área y su variación mensual.

Tabla 22. Caudales mínimos, medios y máximos de la estación PTE. BRASILIA.

Caudal (Q) PTE BRASILIA (m ³ /s)			
MES	MÍNIMO	MEDIO	MÁXIMO
ENERO	0,051	0,105	0,218
FEBRERO	0,053	0,116	0,284
MARZO	0,071	0,203	0,524
ABRIL	0,106	0,258	0,556

Caudal (Q) PTE BRASILIA (m ³ /s)			
MES	MÍNIMO	MEDIO	MÁXIMO
MAYO	0,119	0,257	0,531
JUNIO	0,081	0,144	0,261
JULIO	0,057	0,118	0,226
AGOSTO	0,054	0,101	0,184
SEPTIEMBRE	0,035	0,072	0,729
OCTUBRE	0,044	0,120	0,353
NOVIEMBRE	0,133	0,368	1,237
DICIEMBRE	0,115	0,251	0,485
Q multianuales	0,077	0,176	0,466

Elaboración: Autores

Con el fin de obtener un valor de caudales representativo para el área de estudio se calculó el promedio de los datos registrados en la estación Altamira ubicada aguas arriba y la estación Pte. Brasilia que se encuentra cercana al punto final de la cuenca ubicado en la desembocadura de la quebrada en el río Botello (Ilustración 3).

Al realizar el promedio de ambas estaciones se obtuvo como resultado los siguientes datos de caudales para la microcuenca:

Tabla 23: Caudales de la microcuenca

Caudal (Q) de la microcuenca (m ³ /s)			
MES	MÍNIMO	MEDIO	MÁXIMO
ENERO	0,110	0,207	0,401
FEBRERO	0,095	0,180	0,421
MARZO	0,096	0,277	0,794
ABRIL	0,142	0,761	1,612
MAYO	0,135	0,351	1,286
JUNIO	0,104	0,160	0,278
JULIO	0,087	0,111	0,219
AGOSTO	0,072	0,104	0,182
SEPTIEMBRE	0,055	0,064	0,467
OCTUBRE	0,058	0,129	0,398
NOVIEMBRE	0,139	0,695	2,545
DICIEMBRE	0,195	0,584	1,086
Q multianuales	0,107	0,30	0,808

Elaboración: autores

Como se nota en el siguiente gráfico 10, el caudal medio mensual multianual oscila entre 0,085 y 0,55 m³/s para el área en estudio o lo que es igual entre 85 y 551 litros cada segundo, sin embargo se aprecia que para la serie histórica también hay caudales altos que llegan hasta los 2,5 m³/s, esto hace clara la necesidad de gestionar la recuperación de los cauces y zonas de ronda (ver sección 7.1.2) de manera que en épocas con alto flujo se eviten desbordamientos e incluso afectación de estructuras urbanas que estén muy cercanas a las fuentes hídricas.

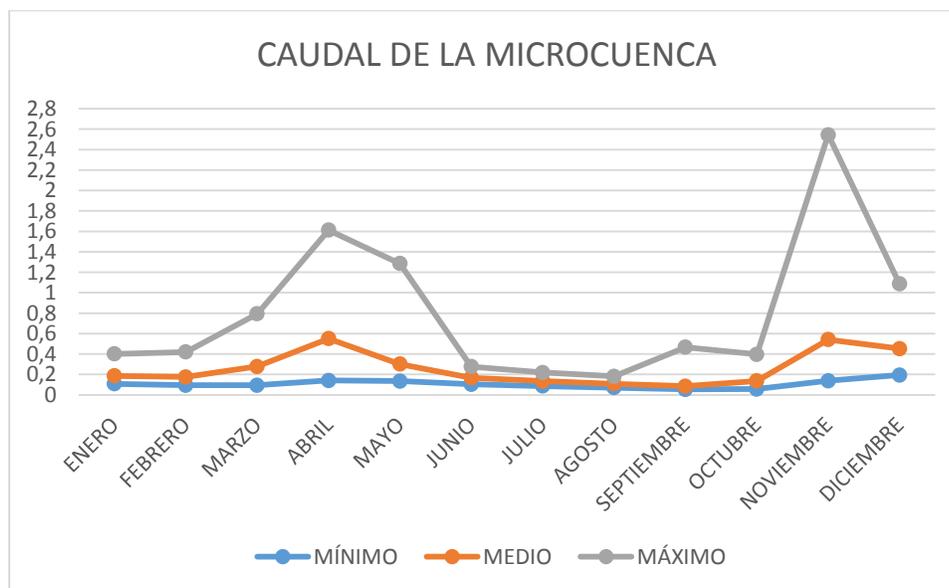


Gráfico 10: Caudales mínimos, medios y máximos de la microcuenca

Elaboración: Autores.

7.2.1.3. Escorrentía

Teniendo en cuenta el área de influencia de la zona de estudio de 27,24 Km² (Tabla 6) y los valores de caudales medios mensuales multianuales presentes en la Tabla 23, se realizó la transformación de los datos de caudal (m³/s) a altura de lámina de agua (mm), está

conversion consistió en multiplicar el caudal por mil y dividirlo en el área de la microcuenca en m^2 .

En la tabla 24 se presenta la conversión realizada para la obtención del valor de la escorrentía.

Tabla 24. Conversión de unidades. Caudal (m³/s) a Escorrentía (mm).

MES	CAUDAL (m ³ /s)	ESCORRENTIA (mm)
ENERO	0,207	0,0000076
FEBRERO	0,180	0,0000066
MARZO	0,277	0,0000102
ABRIL	0,761	0,0000279
MAYO	0,351	0,0000129
JUNIO	0,160	0,0000059
JULIO	0,111	0,0000041
AGOSTO	0,104	0,0000038
SEPTIEMBRE	0,064	0,0000023
OCTUBRE	0,129	0,0000047
NOVIEMBRE	0,695	0,0000255
DICIEMBRE	0,584	0,0000214
PROMEDIO	0,30	0,0000111

Elaboración: autores

7.2.1.4. Balance Hídrico superficial

Dentro del balance hídrico superficial se contempla además de la información climatológica correspondiente a la sección 7.2.1.1 los valores de caudales medios mensuales multianuales existentes en la microcuenca en estudio y a partir de la ecuación 12, en donde se establece que las entradas son iguales a las salidas.

Se debe tener en cuenta que para hallar el valor de la infiltración se despejo la ecuación 12 y se obtuvo como resultado la siguiente ecuación:

Ecuación 14. Cálculo de la infiltración

$$I = P - EVT - ES$$

En la siguiente tabla se presenta el balance hidrológico de la microcuenca quebrada Mancilla.

Tabla 25. Balance hidrológico mensual multianual microcuenca quebrada Mancilla

MES	PRECIPITACIÓN (mm)	EVAPOTRANSPIRACIÓN (mm)	ESCORRENTIA (mm)	INFILTRACIÓN (mm)
ENERO	36,24	77,63	0,0000069	-41,39
FEBRERO	52,55	75,53	0,0000064	-22,98
MARZO	90,64	81,39	0,0000102	9,25
ABRIL	104,09	75,97	0,0000202	28,12
MAYO	97,04	71,84	0,0000111	25,20
JUNIO	56,71	71,92	0,0000062	-15,21
JULIO	55,11	72,5	0,0000050	-17,39
AGOSTO	54,10	76,1	0,0000040	-22,00
SEPTIEMBRE	62,57	79,81	0,0000031	-17,24
OCTUBRE	114,91	79	0,0000050	35,91
NOVIEMBRE	115,86	67,69	0,0000199	48,17
DICIEMBRE	61,34	75,09	0,0000166	-13,75
TOTAL	901,15	904,47	0,0001146	-3,32

Elaboración: autores

En la gráfica 11 (y tabla 25) se puede observar los valores mensuales multianuales de la ecuación del balance hidrológico, por medio de esta se puede notar que la infiltración está en relación directa con la precipitación mensual; además se debe tener en cuenta que en temporadas de sequía la infiltración es negativa, es decir que en esos períodos de tiempo el suelo pierde humedad, teóricamente se identifica además que la cuenca presenta baja

infiltración producto de sus características morfométricas como la constante de estabilidad del río y el tiempo de concentración (ver sección 7.1.1.2 numerales f y d).

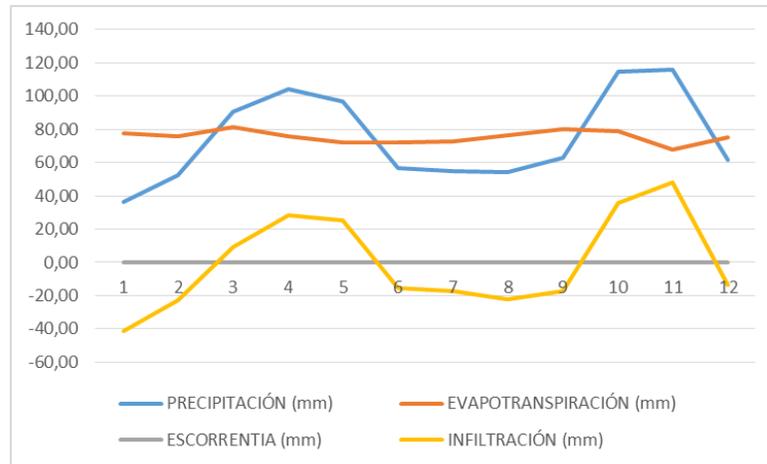


Gráfico 11. Comparación entre las variables del balance hidrológico

Elaboración: Autores.

Desarrollando y reemplazando la ecuación 12 con los valores totales de la Tabla 25, se tiene que:

$$901,15 \text{ mm} = 904,47 \text{ mm} + 0,0001146 \text{ mm} + (-3,32 \text{ mm})$$

$$901,15 \text{ mm} = 901,15 \text{ mm}$$

Con lo anterior se comprueba que el balance hidrológico cumple con el concepto de conservación de masas según el cual las entradas de agua son iguales a las salidas.

7.2.2. Curva de duración de caudales (CDC)

En la tabla 22 se presenta la información estadística necesaria para realizar la curva de duración de caudales.

Tabla 26: Información CDC.

Intervalos	frecuencia	%	% acumu
6,509	1	0,6	0,6
6,184	0	0,0	0,6
5,859	0	0,0	0,6
5,534	0	0,0	0,6
5,210	0	0,0	0,6
4,885	0	0,0	0,6
4,560	1	0,6	1,2
4,236	0	0,0	1,2
3,911	0	0,0	1,2
3,586	0	0,0	1,2
3,262	1	0,6	1,8
2,937	0	0,0	1,8
2,612	0	0,0	1,8
2,288	0	0,0	1,8
1,963	0	0,0	1,8
1,638	2	1,2	3,0
1,314	1	0,6	3,6
0,989	8	4,8	8,3
0,664	18	10,7	19,0
0,340	136	81,0	100,0
0,015	168	100,0	

Elaboración: Autores

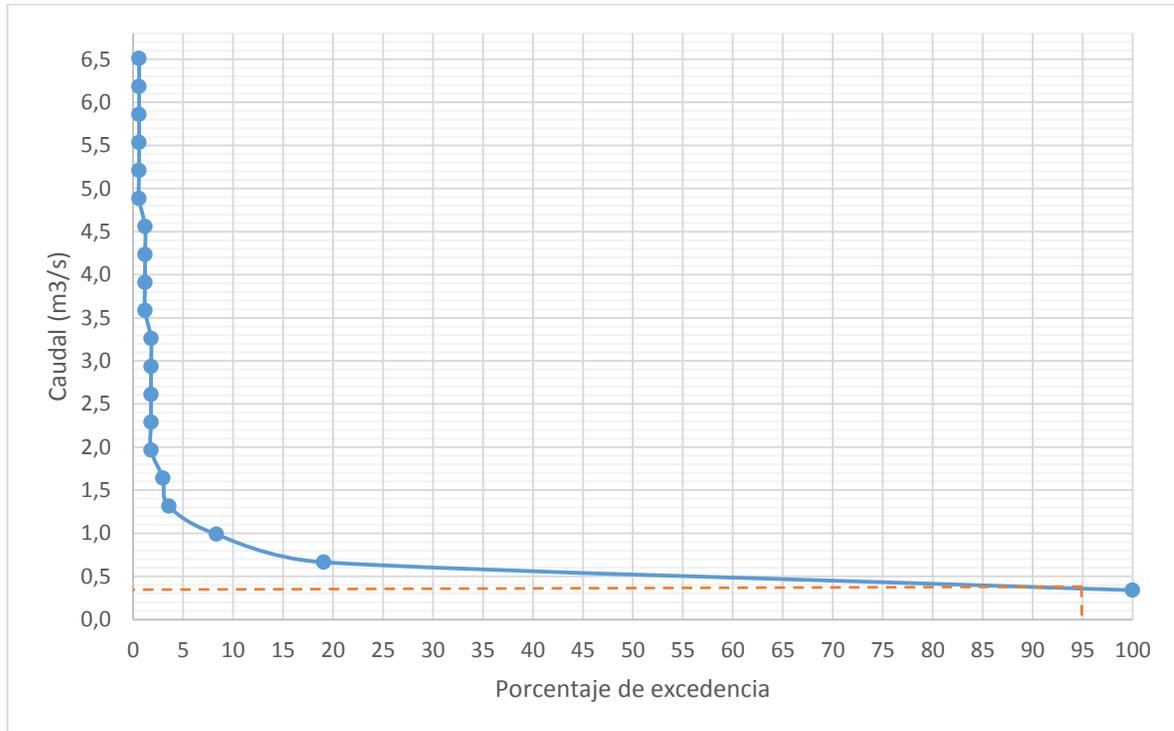


Gráfico 12. Curva de duración de caudales de la microcuenca

Elaboración: autores

La CDC permite observar gráficamente la frecuencia de ocurrencia de caudales de la serie histórica, para el caso cerca del 92% del tiempo se encuentran por debajo de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los mayores caudales tienen una muy baja probabilidad de excedencia (menor al 10%). Caudales altos están asociados a temporadas invernales fuertes que presentan poca recurrencia en el tiempo, pero deben ser contemplados considerando que la cuenca presenta un tiempo de concentración muy bajo (Ver sección 7.1.1.2) y una pendiente que la hace vulnerable a avenidas torrenciales y arrastre de sedimentos hacia la parte baja de la cuenca caracterizada por tener un relieve plano (Ver Gráfico 4).

La curva anterior (gráfico 12), permite además determinar el caudal ecológico por medio del método del IDEAM, caudal que se mantiene el 95% del tiempo, el cual se caracteriza por propender la conservación del ecosistema, manteniendo el flujo hídrico en las condiciones normales, para el presente estudio se obtuvo un valor de 0,3 m³/s.

7.2.3. Caudal ecológico

De acuerdo con el registro de caudales (tabla 23) de la microcuenca se procedió a realizar el cálculo del caudal ecológico (Q_e) por los tres primeros métodos de cálculo (ver sección 6.2.2.), para el último valor se usó la curva de duración de caudales (Gráfico 11) gráficamente se determinó el valor de caudal que ha permanecido el 95% del tiempo en las series históricas analizadas. Como resultado se obtuvo la tabla 27.

Tabla 27. Valores de Caudal ecológico (Q_e) por diferentes metodologías.

CAUDAL ECOLÓGICO (m ³ /s)	
Método	Resultado
10% DEL VALOR Q MEDIO MENSUAL MULTIANUAL	0,03
25% DEL VALOR Q MINIMO MEDIO MENSUAL MULTIANUAL	0,027
MEDIA DE LOS Q MINIMOS MENSUALES REGISTRADOS	0,107
PERMANENCIA 95% DEL TIEMPO	0,3

Elaboración: autores

Se puede observar que los últimos dos métodos se caracterizan por procurar más hacia la conservación de los cuerpos hídricos. Para el presente estudio se determinó como caudal ecológico ideal el correspondiente a 0,3 m³/s teniendo en cuenta que este método es recomendado por el IDEAM y que al ser el caudal que el cuerpo hídrico conserva durante un 95% del tiempo las condiciones ecosistémicas de la microcuenca deben estar adaptadas

esta magnitud de caudal razón por la cual la gestión de los recursos naturales en la zona debe propender por garantizarlo.

7.2.4. Caudal máximo aprovechable para el abastecimiento de la población de la microcuenca

En busca de garantizar una gestión del recurso hídrico adecuada, se hace la comparación entre los caudales que ofrece la microcuenca (tabla 23) y el caudal ecológico que debe mantener el ecosistema en pro de garantizar su conservación, el cual para el presente estudio se determinó como el obtenido por medio del método 4 de caudales ecológicos, correspondiente al caudal que está en la red hídrica el 95% del tiempo (Tabla 25 y gráfico 11) la diferencia entre estos dos valores de caudal corresponde entonces al máximo caudal que se puede aprovechar en la zona de estudio, como se observa a continuación.

Tabla 28: Caudales máximos aprovechables

MES	Q medio	Q ecológico	Q máx. aprovechable
ENE	0,207	0,3	<u>-0,093</u>
FEB	0,180	0,3	<u>-0,120</u>
MAR	0,277	0,3	<u>-0,023</u>
ABR	0,761	0,3	0,461
MAY	0,351	0,3	0,051
JUN	0,160	0,3	<u>-0,140</u>
JUL	0,111	0,3	<u>-0,189</u>
AGOS	0,104	0,3	<u>-0,196</u>
SEPT	0,064	0,3	<u>-0,237</u>
OCT	0,129	0,3	<u>-0,171</u>
NOV	0,695	0,3	0,395
DIC	0,584	0,3	0,284
Promedio	0,302	0,3	0,002

Elaboración: autores

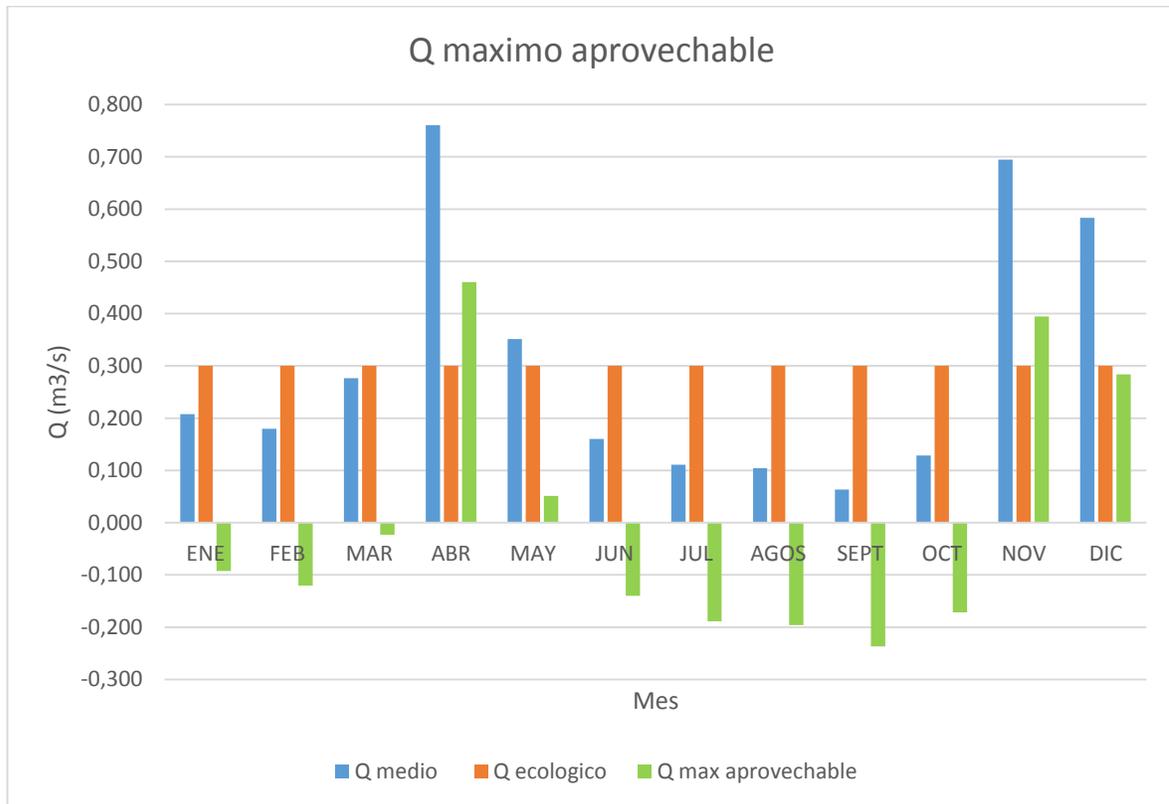


Gráfico 13. Caudal máximo aprovechable

Elaboración: Autores.

Como se puede observar en el gráfico 13 y la tabla 28, teniendo como meta de conservación el caudal ecológico calculado con el método 4 (ver tabla 27) con un valor de 0,3 m³/s, existe un caudal aprovechable negativo para ocho de los meses del año, esto permite inferir que la mayoría del año la fuente tiende a los escasos del recurso hídrico. Razón por la cual se corrobora la Resolución de la CAR que la declara como agotada, en función de esto la autoridad ambiental tiene que ejercer un control muy riguroso de las concesiones de agua existentes, las cuales claramente no están considerando la conservación del caudal ecológico como parámetro de gestión, y debe evitar otorgar nuevas

hasta que se logren restaurar características del ecosistema que permitan una mayor conservación del recurso hídrico y permitan conservar el caudal ecológico calculado.

Considerando los valores anuales únicamente se tiene un caudal máximo aprovechable de 0,002 m³/s es decir 20 l/s; lo que claramente representa un riesgo hacia el abastecimiento de las poblaciones. Por otro lado se observa además que solo existe Caudal aprovechable en los meses de abril, mayo, noviembre y diciembre lo que obedece al comportamiento bimodal de las temporadas de altas precipitaciones.

Se logra inferir adicionalmente que la quebrada mancilla presenta un comportamiento intermitente en el cual sus caudales medios están por debajo del caudal ecológico en gran parte del año, lo que a su vez soporta que los registros de las estaciones limnimétricas tengan meses del año con valores de caudal muy cercanos a 0 (CAR, 2018)

7.2.5. Relación entre los caudales disponibles y la demanda

Considerando los valores de caudales para la serie histórica encontrada (tabla 23), la demanda hídrica existente en la microcuenca en m³/s al mes (tabla 16) y el caudal ecológico calculado por las diferentes metodologías (tabla 25) se obtiene el siguiente análisis.

Tabla 29. Relaciones caudales disponibles vs demanda hídrica

MES	Caudal Medio (m ³ /s)	DEMANDA HIDRICA	DIFERENCIA	CAUDAL ECOLOGICO			
				METODO 1	METODO 2	METODO 3	METODO 4
ENE	0,207	0,06	0,14742857	0,026	0,027	0,107	<u>0,3</u>
FEB	0,180	0,06	0,11978571	0,026	0,027	0,107	<u>0,3</u>
MAR	0,277	0,06	0,21678571	0,026	0,027	0,107	<u>0,3</u>

MES	Caudal Medio (m ³ /s)	DEMANDA HIDRICA	DIFERENCIA	CAUDAL ECOLOGICO			
				METODO 1	METODO 2	METODO 3	METODO 4
ABR	0,761	0,06	0,70053571	0,026	0,027	0,107	<u>0,3</u>
MAY	0,351	0,06	0,29110714	0,026	0,027	0,107	<u>0,3</u>
JUN	0,160	0,06	0,10028571	0,026	0,027	<u>0,107</u>	<u>0,3</u>
JUL	0,111	0,06	0,05114286	0,026	0,027	<u>0,107</u>	<u>0,3</u>
AGOS	0,104	0,06	0,04421429	0,026	0,027	<u>0,107</u>	<u>0,3</u>
SEPT	0,064	0,06	0,0035	<u>0,026</u>	<u>0,027</u>	<u>0,107</u>	<u>0,3</u>
OCT	0,129	0,06	0,06875	0,026	0,027	<u>0,107</u>	<u>0,3</u>
NOV	0,695	0,06	0,63475	0,026	0,027	0,107	0,3
DIC	0,584	0,06	0,52353571	0,026	0,027	0,107	0,3
Promedio	0,30	0,06	0,24	0,03	0,03	0,11	0,30

Elaboración: Autores

Partiendo de la relación entre el Caudal disponible en la cuenca (Caudal medio mensual multianual), y la demanda hídrica generada únicamente por las concesiones de agua ubicadas dentro del área en estudio, se observa como para la mayoría de meses del año no se está logrando la conservación del caudal ecológico empleado en el estudio, correspondiente al caudal existente en el 95% del tiempo de la serie analizada, dicho caudal solo se está conservando en los meses de abril (mes con mayores precipitaciones mensuales multianuales), noviembre y diciembre, los cuales corresponden a los que presentan excesos de agua (Grafico 9) suficientes para que se generen escorrentías considerables traducidas en caudales que incluyen el caudal ecológico.

Estos meses corresponden además a los meses con mayores precipitaciones presentadas en la cuenca (tabla 20) que luego de que ha sucedido la infiltración hasta que el suelo completa su capacidad de almacenamiento, se genera escorrentía superficial que se ve representada en mayores caudales conservando el Q_e , para el mes de octubre se observa que a pesar de que tiene precipitaciones altas (114,9 mm), no caudal considerable, esto se

debe a que el mes anterior presenta un déficit hídrico que se compensa con parte del agua almacenada en el suelo, de manera que el agua precipitada tiene a infiltrarse primero hasta completar la capacidad máxima de almacenamiento de agua y el excedente de esto es el que se convierte realmente en escorrentía generando los caudales que se presentan completando el balance hídrico superficial de la cuenca, en los meses de noviembre y diciembre por el contrario el suelo ya ha alcanzado su capacidad de almacenamiento por lo que la mayoría del exceso de agua se constituye en escorrentía, que al llevarse a términos de caudal y compararse con el caudal extraído de forma constante (demanda), permite la conservación del Caudal ecológico con mayor tendencia a la protección ambiental de la fuente hídrica.

7.3. ESTRATEGIAS DE MANEJO

7.3.1. Gestión del riesgo

7.3.1.1. Riesgo por desbordamientos e inundaciones

Según el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2019), los factores que favorecen la ocurrencia de este fenómeno son:

- Ocupación de cauce y construcción aledañas a ríos y quebradas
- Deforestación en los nacimientos de los ríos y quebradas, en los que se pierde la cubierta de bosque, haciendo que el agua fluya rápidamente hacia los arroyos, elevando sus niveles.
- Alteración al sistema hídrico, es decir, taponamientos por la mala disposición de escombros y residuos sólidos.

- El material vegetal y sedimentación arrastrados por la corriente, los cuales se detienen en algunas zonas causando represamientos e inundaciones.

Con lo anterior y con algunos resultados del presente trabajo, se puede decir que las inundaciones en el municipio de Facatativá se presentan en los meses de marzo, abril, mayo octubre y noviembre (ver Gráfico 8), los cuales son los meses con mayor precipitación en el municipio, estas provocan un aumento en el caudal transportado haciendo que se presente un mayor flujo de agua que en ocasiones supera el límite del cauce provocando las inundaciones. Asimismo las actividades madereras y agropecuarias favorecen la amenaza, ya que requiere la tala de árboles (genera erosión lo que aumenta la cantidad de sedimentos arrastrados por la quebrada) y zonas de pastoreo (genera la compactación del suelo haciendo que reduzca la capacidad de infiltración) haciendo que no exista una zona de amortiguamiento.

Además las inundaciones se encuentran enlazadas con algunos de los resultados de la morfometría como lo son: el índice de torrencialidad, la constante de estabilidad del río (sección 7.1.1.2. numerales H y F respectivamente), y la pendiente media de la cuenca (Tabla 6), ya que según los resultados de estos, la microcuenca tiene una capacidad torrencial alta, una baja capacidad de infiltración (mayor erodabilidad) y un relieve accidentado, lo que provoca un arrastre de sedimentos que son alojados en la parte baja de la microcuenca lo que incrementa el riesgo de la zona a las inundaciones.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se pueden presentar unas estrategias o medidas para la mitigación y prevención ante las inundaciones, las cuales serían:

Tabla 30. Estrategias Riesgo inundación

			CORTO PLAZO	LARGO PLAZO
REDUCCIÓN		AMENAZA	Establecer sistemas de alertas a partir del valor que se obtuvo del tiempo de concentración (sección 7.1.1.2. numeral D); con esto se daría conocimiento a la comunidad, además de que se podría responder adecuada y rápidamente ante la inundación.	Restringir la frontera agropecuaria y la tala de árboles.
			Creación de zonas de amortiguamiento cercanas a la población.	Reglamentar adecuadamente los futuros proyectos urbanísticos.
			Limpieza y mantenimiento de los afluentes.	Cumplimiento de la protección y usos del suelo y de las rondas de los cuerpos hídricos.
		VULNERABILIDAD	Reforestar especies nativas y recuperar las zonas forestales protectoras de la microcuenca, especialmente en los nacimientos. Esto con el fin de reducir los riesgos que puede tener la población y disminuir la vulnerabilidad del suelo ante la erosión y el arrastre de sedimentos.	Vigilancia, control y seguimiento a proyectos de vivienda y urbanismo, y de ser posible realizar estudios de asentamiento a la población que se encuentra en zonas de inundación.
			Talleres y capacitaciones de educación ambiental, gestión del riesgo y buenas prácticas agrícolas.	
			Divulgar el Plan municipal de gestión del riesgo.	

Elaboración: Autores

7.3.2. Gestión del recurso hídrico

Considerando que la fuente hídrica presenta una demanda constante de agua, que actualmente no se está conservando del caudal ecológico (Tabla 29) y que no existe un caudal máximo aprovechable para la mayoría de los meses (Gráfico 13), no es recomendable que la autoridad ambiental siga otorgando concesiones en la microcuenca y se vuelve prioridad hacer el seguimiento a las concesiones actuales otorgadas además de identificar las posibles captaciones fraudulentas presentes en la microcuenca.

Con el fin de gestionar adecuadamente el recurso hídrico disponible con base en el balance hidroclimatológico (Tabla 20), aprovechando el recurso abundante en las épocas de lluvia de manera que no se presenten inundaciones asociadas a las mismas y que se prevea el abastecimiento para las épocas secas; en los meses con excesos estas cantidades adicionales de agua deben ser manejadas de manera que se puedan almacenar para las épocas de sequía en pro de que la población no sufra desabastecimiento. Para esto se tienen diferentes opciones en las que se debe contar con infraestructura que permita el almacenamiento del excedente de agua generado por las altas precipitaciones, a continuación, se presentan dos alternativas de manejo:

- Construcción de embalses para el almacenamiento superficial del recurso: Esta posibilidad presenta algunos beneficios como el control de inundaciones y el

almacenamiento de agua para uso doméstico, industrial y pecuario; sin embargo presenta problemáticas económicas, sociales y ambientales como afectaciones en el flujo, calidad y cantidad de agua, modificaciones en el uso del suelo y alteraciones de los componentes ecosistémicos. El arrastre de sedimentos que ya fue identificado para la microcuenca, puede complicar el mantenimiento e incrementar los costos de los embalses haciendo que la vida útil de estos se reduzca, razón por la cual para emplear esta alternativa de manejo se debe partir de una línea base muy robusta que evalúe los impactos ambientales, económicos y sociales que dichas estructuras tienen asociados.

- Recarga de acuíferos, para esta alternativa se debe tener en cuenta que se deben desarrollar estudios técnicos de los depósitos de agua subterránea en la zona, además evaluar la infraestructura y procesos necesarios para el desarrollo de esta recarga. Por medio de esta alternativa se buscaría almacenar y disponer del recurso en las épocas de sequía del municipio, se reducirían las pérdidas por evaporación respecto a los embalses superficiales, se derivarían los volúmenes excedentes de las inundaciones y avenidas para su almacenamiento como una medida temporal y de gestión además que se evitaría la pérdida de suelos aptos para desarrollos económicos o asociados a zonas de protección ambiental.
- Según la FAO (2013), la captación y aprovechamiento de agua lluvia consiste en una serie de técnicas de manejo para ciertas épocas del año que puede ser de gran utilidad para predios rurales con desarrollos agrícolas o ganaderos. Para el uso de

esta opción frente al desabastecimiento de agua que se puede presentar en los meses del año ya identificados (Gráfico 9) en primera instancia se evalúa en los predios que pretendan emplear esta opción la forma más adecuada de captar el agua lluvia, a partir de esto se realiza la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia, de manera que en épocas de déficit hídrico las comunidades tengan reservas de agua para sus actividades socioeconómicas.

Además de lo anterior, para la correcta gestión del recurso se propone:

- Requerir a los titulares de las concesiones un programa del uso eficiente y ahorro del agua – PUEAA, que sean consecuentes con las extensiones del terreno, las actividades económicas que se desarrollan y la cantidad del caudal que están tomando del cauce. Esto en el marco de la ley 373 de la ley 373 de 1997; decreto 1090 de 2018 y resolución 1257 de 2018.
- Con el fin de reducir la presión de actividades antrópicas hacia el recurso hídrico, se recomienda implementar un programa de pago de servicios ambientales o de incentivos (económicos o en especie) que estén enfocados en la mejora del recurso, esto a partir del cambio de las prácticas degradantes de los sistemas de producción; mantenimiento y conservación de las áreas boscosas, entre otros. Con el objetivo de crear un sistema de pago que genere ingresos que contribuyan a la preservación del recurso hídrico.

7.3.3. Restauración de coberturas

Establecer un Plan de Manejo Ambiental para la quebrada Mancilla, que sea conocido por la comunidad donde se contemplen programas de revegetalización de las especies, implementación de corredores ribereños, protección de las márgenes hídricas de la quebrada, esto con el fin de evitar que las actividades antrópicas continúen afectando la disponibilidad y calidad del recurso, en el marco de estos procesos se debe procurar aumentar las coberturas naturales y garantizar la conectividad entre los relictos de bosque de manera que sirvan para la conservación de especies vegetales y la repoblación de especies animales asociadas a los ecosistemas que se encuentran en la microcuenca.

Coordinar entre los entes gubernamentales, la autoridad ambiental, y la comunidad, proyectos que permitan aumentar las coberturas de bosques de especies nativas en especial en las áreas correspondientes a zonas de ronda de los cauces de manera que estos sirvan como barreras naturales para evitar y prevenir el arrastre de contaminantes y sedimentos hacia el cuerpo hídrico, permitiendo que este recupere su calidad ideal además de que se logre conservar el caudal mínimo necesario para mantener las características del ecosistema. Para esto se deben destinar los recursos y los profesionales adecuados que permitan delimitar en campo las áreas dentro de los predios que pertenecen a zonas de rondas o protección. Los dueños de estos predios se comprometerían a preservar estos lugares para lo cual deben recibir la capacitación adecuada de manera que entiendan la importancia de preservar estos lugares, tanto para la protección ambiental como para el

cumplimiento legal de cada una de sus actividades económicas, así como para mitigar riesgos naturales asociados a la variabilidad climática de la zona.

Diseñar programas y proyectos en el municipio, en el cual se promocióne la participación ciudadana con el fin de que estos identifiquen y valoren la situación del recurso además de los impactos negativos que se presenten esto con el fin de proponer estrategias enfocadas al mantenimiento, protección y buen manejo de los recursos; además de la generación de políticas orientadas a la solución de las problemáticas generadas por las inadecuadas prácticas en los diferentes sistemas productivos.

8. CONCLUSIONES

Cada uno de los objetivos planteados en el desarrollo del presente estudio fueron llevados a cabo a pesar de ciertas limitaciones existentes, las cuales se deben a la disponibilidad de los datos, y la aplicación de metodologías generales con la información disponible y a la escala de la microcuenca estudiada.

Según los parámetros morfométricos la microcuenca posee una baja tendencia a las crecidas y susceptibilidad a las avenidas, tiene una baja capacidad de infiltración por lo cual se presenta una mayor erodabilidad y transporte de sedimentos, además cuenta con una buena densidad de drenaje y presenta un relieve de tipo accidentado que junto al tiempo de concentración hace que sea propensa a avenidas torrenciales.

La cobertura correspondiente a bosques y áreas seminaturales se ha ido perdiendo en la microcuenca en especial en la parte alta, correspondiente al nacimiento de la quebrada mancilla, esto es de suma importancia dado que áreas de bosques en los nacimientos tienen una relación directa con las características de calidad y cantidad de agua disponible en las cuencas.

Las actividades antrópicas sobre la microcuenca, especialmente sobre la fuente hídrica condicionan los procesos naturales, afectando el régimen de caudal y calidad del recurso; para evitar estas afectaciones, es importante cumplir con una adecuada gestión del recurso;

muchos de los impactos al recurso hídrico se presentan debido al desconocimiento de las personas sobre la importancia de la quebrada.

Los estudios relacionados al manejo y conservación de cuencas hidrográficas son de vital importancia dado que permiten entender las dinámicas del uso del recurso hídrico, a partir de las condiciones actuales y potenciales de la cuenca.

Las herramientas de Sistemas de Información Geográfica fueron fundamentales para la obtención de capas, y valores necesarios para los análisis realizados, esto combinado con los resultados obtenidos para el balance hídrico y el caudal ecológico de la microcuenca permitió establecer las estrategias de gestión de la misma.

Es necesario que realicen estudios y se genere una nueva legislación en la cual se derogue o actualice la resolución 5064 de 1993 en la cual la quebrada Mancilla se declara como agotada, esto con el fin de no otorgar más concesiones en la quebrada dado que el recurso hídrico se encuentra sobreexplotado. Esta nueva normatividad debe tener en cuenta los diferentes estudios actuales realizados en la microcuenca, en los que se ha demostrado que esta posee una baja calidad del agua, cambios en las coberturas vegetales de la zona, además de considerar que para este caso el caudal ecológico en la mayoría de los meses no se conserva debido a la demanda presentada en la microcuenca.

9. RECOMENDACIONES

Es recomendable que el cálculo del caudal ecológico incluya criterios y metodologías que construyan y estructuren un conocimiento teniendo en cuenta diferentes enfoques no solo hidrológicos, esto con el fin de que el caudal ecológico sea contemplado en los planes de desarrollo y gestión del recurso hídrico bajo un marco legal sólido.

Para una buena gestión integral del recurso hídrico, es necesario que se incentive la administración y el manejo adecuado de los recursos naturales, contribuyendo al bienestar social y económico de los diferentes usuarios presentes en la microcuenca comprometiéndose con el bienestar ecosistémico.

Realizar seguimientos permanentes y sistemáticos a las concesiones actuales otorgadas, además de la identificación e intervención las posibles captaciones fraudulentas presentes en la microcuenca. También se debe realizar la evaluación de conflictos de usos de los suelos, con el fin de identificar las zonas que requieran mayor atención en pro de garantizar el mantenimiento de las características ecosistémicas que proveen servicios ambientales a las comunidades.

Para la adecuada implementación de los planes y proyectos para el manejo de cuencas, es necesario que la comunidad se haga participe de los diferentes procesos ya que esto genera una mayor apropiación, lo que permite llegar a feliz término los planes de gestión y brinda insumos a las autoridades para ejercer control sobre los recursos

Para futuros estudios en el tema, sería importante incluir variables más detalladas en la cuales se incluyan aspectos biofísicos, socioeconómicos y culturales, ya que esto podría evidenciar otras problemáticas o la mejora en la planificación y ordenamiento del recurso.

BIBLIOGRAFÍA

- Administración municipal Facatativa. Plan De Ordenamiento Territorial, 2006 § (2002).
- Administración Municipal Facatativa. (2016). Plan de desarrollo 2016 – 2019 anexo i. análisis situacional municipio de facatativá.
- Alcaldía civica de Facatativa. (2002). Decreto No. 069 de junio 20 de 2002. Facatativa. Recuperado de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos_PDF/5eot - esquema de ordenamiento territorial - componente general - facatativa - cundinamarca - 2002.pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos_PDF/5eot_-_esquema_de_ordenamiento_territorial_-_componente_general_-_facatativa_-_cundinamarca_-_2002.pdf)
- Baeza, D., & Garcia del Jalón, D. (2004). *AVANCES Y ASPECTOS NO RESUELTOS EN LA ESTIMACIÓN DE REGÍMENES DE CAUDALES ECOLÓGICOS*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/373741765/Baeza-Jalon-2002>
- Cahuana Andía, A., & Yugar Morales, W. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología Civ-233, 414.
- Calvo, J., Jiménez, J., González, E., Pizarro, F., & Jiménez, A. (2008). Determinación preliminar del caudal ambiental en el río Tempisque , Costa Rica: el enfoque hidrológico con limitación de datos.
- CAR. (2018). Histórico de series hidrometeorológicas | CAR. Recuperado 23 de mayo de 2019, de <https://www.car.gov.co/vercontenido/2524>
- Castañeda, M. (2015). *Propuesta para la implementacion de tecnicas alternativas con ayudantes de coagulación naturales*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Castañeda, W., & Jimenez, R. (2018). *Interacción Del Río Botello Con El Acuífero De Facatativá, Mediante El Uso Del Modelo Hidrogeológico Conceptual Y Técnicas Hidrogeoquímicas*. Jorge Tadeo Lozano.

Congreso de la república de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. Recuperado de <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>

Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, C. (2019). Municipio de facatativá.

Contraloría de Cundinamarca. (2010). Estado de los recursos naturales y del ambiente de Cundinamarca. Recuperado de http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/attachment/attachments_new/informe.pdf

Corponariño. (2011). PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO QUEBRADA MIRAFLORES. Recuperado de <http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. (1993). Resolución No. 5064 Por la cual se declara agotada la Quebrada Mancilla.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. (2015). Resolución CAR 0977 de 2015. Facatativa.

Diaz, A., & Martinez, J. (2016). *CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y CALCULO DE BALANCE HIDRICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA REPRESA DE LA HIDROELECTRICA DE SANTANDER- MUNICIPIO DE LOS SANTOS, SANTANDER*. UNiversidad Pedagógica y tecnológica de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1881/1/TGT-447.pdf>

Diaz, L., & Alarcon, J. (2018). *ESTUDIO HIDROLÓGICO Y BALANCE HÍDRICO PARA DETERMINAR LA OFERTA Y LA DEMANDA DE AGUA DE LA CUENCA DE LA*

QUEBRADA NISCOTA PARA UN ACUEDUCTO INTERVEREDAL EN NUNCHÍA.

Universidad Católica de Colombia. Recuperado de [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto Final.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15989/1/Proyecto%20Final.pdf)

Diez, J., & Burbano, L. (2006). Ingeniería e investigación. *Ingeniería e Investigación*, 26(1), 58-68. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092006000100008

FAO. (s. f.). La Microcuenca como ámbito de planificación de los recursos naturales. Recuperado de <http://www.fao.org/climatechange/30329-07fbeat2365b50c707fe5ed283868f23d.pdf>

FAO. (2013). *Captación Y Almacenamiento De Agua De Lluvia. Santiago de Chile.* <https://doi.org/10.1111/jce.13019>

Gleick, P. H. (2000). The Changing Water Paradigm - A Look at Twenty-first Century Water Resources Development. *Water International*, 25(1), 127-138. <https://doi.org/10.1080/02508060008686804>

Gobernación de Cundinamarca. (s. f.). Estadísticas Agropecuarias. Recuperado 17 de abril de 2018, de http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeagricultura/Secagriculturadespliegue/asdocumentacion_contenidos/csecreagri_centrodoc_documentos_oficina_asesora_de_planeacion.

Gonzalez, F., & Ortegon, J. (2016). *Calculo del caudal de la cuenca Hidrologica de la Quebrada Guaguaqui, del departamento de Boyacá, por el metodo racional.* Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas .

- Guerra, F., & González, J. (2002). *CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA LA BERMEJA, SAN CRISTÓBAL, ESTADO TÁCHIRA, VENEZUELA*. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/20840/articulo7.pdf;jsessionid=2141D127ECD98F14C3046166D173E79E?sequence=2>
- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (s. f.). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Recuperado de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfología de una cuenca.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfología%20de%20una%20cuenca.pdf)
- IDEAM. (s. f.). *HIDROLOGÍA - IDEAM*. Recuperado 17 de abril de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/hidrologia>
- Instituto Colombiano de hidrologia meteorologica y adecuacion de tierras- Himat. (1990). *Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos*. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/009198/009198.pdf>
- Madroñero, S. M., & Izquierdo, M. L. (2014). *RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO, HERRAMIENTA DE GESTIÓN PARA CONSERVAR LA BIOTA ACUÁTICA*.
- Madroñero, S. M., & Mafla, F. (2013). Caudales Ecológicos Y Su Relación Con El Cambio Y La Variabilidad Climática. *Revista Unimar*, 61-77. Recuperado de <http://www.umariana.edu.co/RevistaUnimar/publicaciones/RevistaUnimar61/assets/basic-html/page63.html>
- Martínez, C., & Fernández, J. (2006). El régimen natural de caudales: una diversidad imprescindible , una diversidad predecible, 153-165.
- Ministerio de Ambiente. Resolución 865 (2004).

Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial. (2004). DECRETO 155 DE 2004, por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/ba-Dec_155_de_2004.pdf

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2018). Decreto 050 de 2018. Recuperado de http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO_50_DEL_16_ENERO_DE_2018.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (2014). Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Recuperado de <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-Ley-2811-de-1974.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (2015). Decreto 1076 de 2015. Recuperado de http://biblioteca.saludcapital.gov.co/img_upload/03d591f205ab80e521292987c313699c/decreto-1076-de-2015.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Guía Técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas POMCAS. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Guía_POMCAS/1._Guía_Técnica_pomcas.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & IDEAM. (2017). Guía metodológica para la estimación del caudal ambiental.

Naciones Unidas. (s. f.). Población | Naciones Unidas.

- Ordoñez Gálvez, J. J. (2011). Cartilla Técnica : Balance Hídrico Superficial. Recuperado de <http://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/12/Balance-Hídrico.pdf>
- Pantoja, N. (2017). *Estimación de caudales ecológicos mediante métodos hidrológicos , hidráulicos y ecológicos en la quebrada El Conejo*. Universidad Pontificia Javeriana.
- Parra, C., & Rivera, D. (2017). *EFEECTO DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y DOMESTICAS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA USADA PARA CONSUMO HUMANO EN LA PARTE ALTA DE LA QUEBRADA MANCILLA (FACATATIVÁ)*. Universidad de Cundinamarca.
- Parra, E. (2012). *Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/9163/1/71194057.2013._Parte1.pdf
- Pérez, A. (2000). La estructura Ecológica Principal de la sabana de Bogotá. Recuperado de www.sogeocol.edu.co
- Perez, Y., & Rodriguez, Y. (2018). Análisis espacio temporal del proceso de fragmentación de bosques en la microcuenca «Rio Botello» mediante el uso de tecnologías de la información geográfica. Facatativa.
- Reyes Trujillo, A., Barroso, F. U., & Carvajal Escobar, Y. (2010). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. (Universidad del Valle, Ed.) (1.^a ed.). Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/j.ctt1rfsqf5>
- Rivera, S. (2013). *METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE CUENCAS RURALES DE PEQUEÑAS DIMENSIONES*. UNAM. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3176/M>

etodología para el análisis hidrológico de cuencas rurales de pequeñas dimensiones.pdf?sequence=1

Rubiano, R. M. (2010a). Facatativá Fortaleza De Piedra Cruce De Caminos, 1-211.

Rubiano, R. M. (2010b). Facatativá Fortaleza De Piedra Cruce De Caminos, 1-211.

Recuperado de <http://www.facatativateamo.com/pdf/recopilacion-de-la-historia-de-Facatativa.pdf>

Sánchez Angulo, D. E. (s. f.). *ESTUDIO MORFOMÉTRICO DEL CAÑO EL BEJUCO AFLUENTE DEL RÍO TOCORAGUA DEPARTAMENTO DE CAUCA*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Secretaria Distrital de Ambiente. (s. f.). POMCA - Secretaria Distrital de Ambiente.

Recuperado 17 de abril de 2018, de <http://ambientebogota.gov.co/pomca>

UNESCO. (s. f.). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur unesco rostlac*.

USGS- NASA. (s. f.). Vertex: ASF's Data Portal.

Vargas, A. M. (2017a). *Diseño del Plan de Manejo Ambiental en la Vereda Mancilla-Facatativá*. Universidad de Cundinamarca.

Vargas, A. M. (2017b). *Diseño del Plan de Manejo Ambiental en la Vereda Mancilla-Facatativá*.

Vega, H. (2011). *Propuesta Para Promover el Manejo Eficiente del Recurso Hídrico en la Microcuenca Alta del Río Botello en el Municipio de Facatativá, Desde el Marco de la Gestión Integral del Agua*. Pontificia Universidad Javeriana.

Yd, G. (s. f.). La curva de duracion de caudales.