

**EVALUACIÓN HIDROLÓGICA Y CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA
LA LEJIA (TOLEDO, NORTE DE SANTANDER): IMPLICACIONES PARA SU PLAN
DE MANEJO AMBIENTAL.**

SANDRA MILENA GOMEZ PEÑARANDA

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIA
PLAN DE ESTUDIOS DE MAESTRIA DE INGENIERIA AMBIENTAL
PAMPLONA, N. DE S.
2018**

EVALUACIÓN HIDROLÓGICA Y CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA

LA LEJIA (TOLEDO, NORTE DE SANTANDER)

- IMPLICACIONES PARA SU PLAN DE MANEJO AMBIENTAL-.

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL

TÍTULO DE MAGISTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

SANDRA MILENA GOMEZ PEÑARANDA

DIRECTOR

DOCTOR

NELSON JOSUE FERNANDEZ PARADA

BIÓLOGO MARINO UJTL, MSC., PH.D.

PROFESOR TITULAR, UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS DE MAESTRIA DE INGENIERIA AMBIENTAL

PAMPLONA

2018

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
2. OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GENERAL	23
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS	23
3. ESTADO DEL ARTE.....	24
4. MARCO CONCEPTUAL	40
4.1 ORDENAMIENTO DE CUENCAS EN COLOMBIA	40
4.2 ESTADO DEL ORDENAMIENTO DE CUENCAS EN EL DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER.....	46
4.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA	48
5. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	52
5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MICROCUENCA	54
5.2 DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	55
6. METODOLOGIA.....	60
6.1 CARACTERIZACIÓN HIDROLOGICA, MORFOMETRICA Y DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA.....	60
6.1.1 Delimitación de la microcuenca y caracterización hidrológica	60
6.1.2. Caracterización morfométrica	61
6.1.3. Caracterización climática	62

6.2 COBERTURA DEL SUELO	63
6.3 BALANCE HÍDRICO.....	63
6.3.1 Estimación del caudal medio anual.....	64
6.4 CALCULO DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIALES	65
6.4.1 Oferta Hídrica.....	65
6.4.2 Demanda Hídrica.....	66
6.4.3 Índice de escasez	68
6.5 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	69
6.5.1. Selección de puntos de monitoreo.....	70
6.5.2. Toma de muestras.....	74
6.5.3 Cálculo de la carga contaminante.....	75
6.5.4 Índice de calidad del agua superficial (ICAS)	76
6.5.5 Índice de alteración potencial de calidad del agua (IACAL).....	77
7. RESULTADOS.....	79
7.1 DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA Y CARACTERIZACION HIDROLOGICA	79
7.1.1. Patrón de drenaje	81
7.1.2 Densidad de drenaje	82
7.1.3 Morfometría	83
7.1.4 Coeficiente de compacidad	83
7.1.5 Longitud del cauce principal	84
7.1.6 Altura media.....	84
7.1.7 Curva Hipsométric	86

7.1.8 Pendiente media del cauce	87
7.1.9 Pendiente media (S) de la cuenca.....	87
7.1.10 Tiempo de concentración	87
7.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	89
7.2.1 Precipitación.....	89
7.2.2 Temperatura	92
7.2.3 Zonificación climática.....	95
7.3 COBERTURA DEL SUELO	97
7.4 BALANCE HÍDRICO.....	101
7.4.1 Precipitación.....	101
7.4.2 Evapotranspiración.....	102
7.4.3 Escorrentía.....	104
7.4.4 Precipitación efectiva	110
7.4.5 Infiltración.....	111
7.4.6 Estimación del caudal medio anual.....	111
7.5 OFERTA HÍDRICA.....	112
7.5.1 Curva de duración de caudal estación Peña de los micos (LIMNIMETRICA)	113
7.5.2 Curva de duración de caudal microcuenca Quebrada la Lejía	118
7.5.3 Caudal ambiental.....	122
7.6 DEMANDA HÍDRICA	123
7.6.1 Demanda hídrica sector agrícola.....	125
7.6.2 Demanda hídrica sector pecuario	126
7.6.3 Demanda hídrica para el consumo humano o doméstico (m ³ /año)	130

7.6.4 Demanda hídrica total	131
7.7 ÍNDICE DE ESCASEZ	132
7.8 CALIDAD DE AGUA	133
7.8.1 Resultados datos in situ	134
7.8.2 Resultados datos exsitu	140
7.8.3 Resultados Caudal Promedio	146
7.9 CÁLCULO DE CARGAS CONTAMINANTES	147
7.10 ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICO)	148
7.10.1 Significancia de los índices	149
7.10.2 Índice de contaminación por materia orgánica – ICOMO	149
7.10.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos – ICOSUS	153
7.10.4 Índices de contaminación por pH – ICOPH	154
7.10.5 Índice de contaminación por Mineralización – ICOMI	154
7.11 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)	155
7.12 ÍNDICE DE ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL)	157
8. DISCUSION	160
8.1 IMPLICACIONES AMBIENTALES DE LA MORFOMETRÍA Y PATRONES DE DRENAJE.	160
8.2 IMPLICACIONES AMBIENTALES DE LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA.....	161
8.3. IMPLICACIONES AMBIENTALES DE OFERTA Y DEMANDA HIDRICA.	162
8.3.1. Oferta Hídrica.....	162
8.3.2. Usos y Consumos de agua.....	164
8.4 IMPLICACIONES AMBIENTALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA.....	167

CONCLUSIONES	170
RECOMENDACIONES.....	173
BIBLIOGRAFÍA	176
ANEXOS	182

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1, Resultados de análisis fisicoquímicos de la calidad del agua del Plan de Ordenación y Manejo de la Microcuenca de la Quebrada El Arenoso (CORPOAMAZONIA, 2009).....	33
Tabla 2, Resultados de análisis fisicoquímicos de calidad del agua en el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Microcuenca Dolores Fuente (CORPONARIÑO, 2009).....	34
Tabla 3, Resultados y Límites máximos permisibles de análisis fisicoquímicos de calidad del agua del Plan de Manejo Integrado de la Microcuenca del río Zhululum, (Peñaherrera, 2011).....	34
Tabla 4, Rangos de Calidad de agua propuestos por Índice WIQ, (Peñaherrera, 2011).	35
Tabla 5, zonificación hidrográfica norte de Santander	46
Tabla 6, criterios para la elaboracion de plan de manejo de la microcuenca (decreto 1076 de 2015)	53
Tabla 7, Umbrales críticos de presión. Índice de escasez.....	69
Tabla 8, Sitios evaluados para la selección de los puntos a monitorear	71
Tabla 9, Coordenadas Puntos de muestreo seleccionados. Quebrada La Lejía	72
Tabla 10, Parámetros evaluados durante la caracterización de las aguas.	75
Tabla 11, Drenajes microcuenca Quebrada la Lejia	80
Tabla 12, Categorías y clasificación densidad de drenaje	82
Tabla 13, Densidad de drenaje.....	83
Tabla 14, Parámetros iniciales	83
Tabla 15, Cota menor, mayor y media del área de la microcuenca	84

Tabla 16, Factores cálculo elevación media	85
Tabla 17, Factores determinación curva hipsométrica	86
Tabla 18, Pendiente media del cauce de la cuenca	87
Tabla 19, Resultados caracterización morfométricas de la cuenca.....	88
Tabla 20, Valores medios mensuales de precipitación	90
Tabla 21, Valores medios mensuales de Temperatura.....	93
Tabla 22, Zonificación climática para el área de la microcuenca Quebrada la Lejía	96
Tabla 23, Resultados análisis de la cobertura de la Tierra.....	98
Tabla 24, Cálculo del número de curva	107
Tabla 25, Caudales medios, máximos y mínimos mensuales multianuales (m ³ /s). Peña de los Micos	115
Tabla 26, Calculo Factor Q/mensual	119
Tabla 27, Cálculo caudal medio mensual multianual microcuenca Quebrada la Lejía	119
Tabla 28, Cálculo para obtener la curva de duración de caudal Quebrada la Lejia.....	120
Tabla 29, Concesiones en el área de influencia del proyecto.	123
Tabla 30, Demanda anual de agua por cultivo permanente, establecidos por el IDEAM.	126
Tabla 31, Demanda sector agrícola en la microcuenca la Lejia.	126
Tabla 32, Demanda hídrica sector avícola.....	127
Tabla 33, Demanda hídrica sector porcícola.....	127
Tabla 34, Demanda hídrica sector caprino	128
Tabla 35, Demanda hídrica sector bovino	129
Tabla 36, Demanda total Sector Pecuario.....	129
Tabla 37, Demanda para el consumo humano o doméstico.....	130

Tabla 38, Demanda Total para la microcuenca	131
Tabla 39, Cálculo índice de escasez	132
Tabla 40, Resultados análisis in situ. Zona alta. (Captación Municipal).....	134
Tabla 41, Resultados análisis in situ. Zona media	135
Tabla 42, Resultados análisis in situ. Zona Baja	136
Tabla 43, Resultados Solidos suspendidos totales.....	141
Tabla 44, Resultados DBO Y DQO (MG/L)	141
Tabla 45, Resultados Nitrógeno total y Fosforo total.	141
Tabla 46, Resultados Coliformes fecales y totales.	141
Tabla 47, Resultados promedios durante las campañas de monitoreo.....	142
Tabla 48, Caudal promedio puntos Quebrada.....	146
Tabla 49, Calculo de carga contaminante.	148
Tabla 50, Significancia de los índices de contaminación	149
Tabla 51, Calculo índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).....	151
Tabla 52, Calculo índice de contaminación por Solidos Suspendidos Totales (ICOSUS).....	153
Tabla 53, Calculo índice de contaminación por pH (ICOPH)	154
Tabla 54, Calculo índice de contaminación por mineralización (ICOMI)	155
Tabla 55, Variables y Ponderaciones Para el Caso de 6 Variables.....	155
Tabla 56, Calificación de la Calidad del Agua según los Valores que tome el ICA	156
Tabla 57, Índice de Calidad del Agua – ICA.....	156
Tabla 58, Oferta hídrica en año medio y año seco para la microcuenca Quebrada la Lejía.	157
Tabla 59, Carga contaminante de variables.	158
Tabla 60, Categorización del IACAL.	158

Tabla 61, Resultados IACAL año medio y seco para la microcuenca..... 159

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1, Cobertura de servicio de energía en los predios encuestados	57
Gráfica 2, Tenencia de la tierra en los predios encuestados.	58
Gráfica 3, Curva Hipsométrica	86
Gráfica 4, Variación media mensual de precipitación en mm.	90
Gráfica 6, Variación media mensual de temperatura en °C.....	93
Gráfica 8, Estimación para datos faltantes de caudal para noviembre de 1996.....	114
Gráfica 9, Caudal medio mensual multianual estación Peña de los micos.	116
Gráfica 10, Curva de duración de caudales mensuales, estación Peña de los Micos.	117
Gráfica 11, Curva de duración de caudal Quebrada la Lejía	121
Gráfica 12, Comportamiento del oxígeno disuelto en la microcuenca.	137
Gráfica 13, Comportamiento del pH en la microcuenca.....	138
Gráfica 14, Comportamiento de la turbidez en la microcuenca.....	139
Gráfica 15, Comportamiento de la conductividad en la microcuenca	140
Gráfica 16, Comportamiento de los Solidos suspendidos totales. C111	143
Gráfica 17, Comportamiento de la DBO Y DQO, en la microcuenca la Lejía.....	144
Gráfica 18, Comportamiento de los Coliformes fecales y totales, en la microcuenca la Lejía. .	145
Gráfica 19, Comportamiento de los caudales aforados en la microcuenca.	147

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1, Modelo digital de terreno (MDT) para la microcuenca EL Prado (CORNARE, 20012)	32
Figura 2, Fases de los Planes de manejo de microcuencas.	44
Figura 3, Ubicación microcuenca la Lejía en las subzonas hidrográficas	48
Figura 4, Localización General del área de estudio.	55
Figura 5, Limites Municipio de Toledo, Norte de Santander.	56
Figura 6, Distribución de predios encuestados Veredas El Naranjo y Toledito	58
Figura 7, Diagrama de ubicación de los puntos de muestreo	70
Figura 8, Ubicación de los puntos de monitoreo seleccionados para el estudio.	73
Figura 9, Delimitación microcuenca Quebrada la Lejía	81
Figura 10, Patrón de drenaje pinnado microcuenca la Lejía.....	82
Figura 11, Estaciones meteorológicas del IDEAM, utilizadas para datos de precipitación.	92
Figura 12, Estaciones meteorológicas del IDEAM, utilizadas para datos de temperatura.	95
Figura 13, Zonificación climática.....	97
Figura 14, Cobertura de la tierra microcuenca Quebrada la Lejía.	100
Figura 15, Mapa de Precipitación	102
Figura 16, Mapa de Evapotranspiración	104
Figura 17, Mapa con usos del suelo para el número de curva	106
Figura 18, Mapa de permeabilidad del suelo para el número de curva	107

Figura 19, Mapa número de curva	109
Figura 20, Mapa de Precipitación efectiva.	110
Figura 21, Metodología para el cálculo del caudal disponible	112
Figura 22, Ubicación de la estación peña de los micos con respecto a la microcuenca Quebrada la Lejía.	118
Figura 23, Ubicación de las concesiones de agua otorgadas en el área de estudio.....	125

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1, Detalle de la metodología para la caracterización hidrográfica, delimitación de la microcuenca y la determinación de la calidad del agua en la quebrada la lejia.....	182
Anexo 2, Descripción de las quebradas analizadas para la priorización del area de estudio para el desarrollo del trabajo de grado.....	219
Anexo 3, Descripción de las coberturas encontradas en la zona luego de la verificación en campo	224
Anexo 4, Detalle de la metodología y resultados para el cálculo de la esorrentía	234
Anexo 5; Glosario	238

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo de investigación fue realizado gracias al apoyo de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental Corponor, y su director general el Dr Rafael Navi Gregorio Angarita Lamk, por permitir la consulta de información, acceso a los servicios de laboratorios, y equipos.

Al equipo técnico de la Subdirección de Recursos Naturales, quien con su experiencia, disponibilidad y apoyo se logró consolidar cada uno de los capítulos de esta investigación.

A la unidad nacional de parques de Colombia y especialmente al equipo de trabajo del Parque Natural Nacional Tamá, por su interés y apoyo en el proceso de recopilación de información de campo y desarrollo de encuestas.

A mi Director de Tesis, quien con sus orientaciones permitió generar una investigación orientada a la solución de problemáticas reales en el territorio.

A la Universidad de Pamplona y todos los docentes de la Maestría en Ingeniería Ambiental, quien de una u otra manera aportaron conocimientos y orientaciones para el desarrollo de este trabajo de grado.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi Señor, guía e iluminación en todo momento.

*A mis padres Jorge y Graciela, quien con su gran amor y ejemplo han motivado el
cumplimiento de este logro.*

*A mi esposo Francisco por su gran amor, apoyo y comprensión durante el desarrollo de la
maestría; hombre que admiro profundamente por su capacidad de cumplir metas.*

*A mis Hijos Mariangel y Juan Francisco por ser mi fuente de inspiración y motivación para
seguir adelante.*

RESUMEN

En este trabajo, se realizó una valoración de las características hidrológicas y de calidad del agua de la microcuenca La Legía, ubicada en el municipio de Toledo, Norte de Santander. Fuente hídrica considerada estratégica por la comunidad, el municipio y Corponor, para el desarrollo socioeconómico de la región. La metodología de esta investigación contempló: (i) La delimitación espacial de la microcuenca a escala 1:10.000; mediante el uso del software ArGis e imágenes de satélite de resolución 5 metros. (ii) La caracterización morfométricas, climatología e hidrológica con el fin de conocer las características de la quebrada y su oferta hídrica. (iii) La determinación de la calidad del agua se realizó mediante aforos de caudal en 3 puntos predefinidos de muestreo. Se tuvo en cuenta además, los resultados del análisis geoespacial, la morfométricas de la cuenca e inspecciones de campo. En estos mismos puntos se realizaron (iii) tomas de muestras para determinar parámetros físico-químicos. Posteriormente, se valoró la calidad de agua a través de indicadores de contaminación y calidad. Los resultados espaciales visualizados muestran que, la Microcuenca tiene una extensión de 1.358,9 has y una longitud del cauce principal de 9.273 km, el 80% de su territorio se encuentra sobre pendientes altas (2100-3000 msnm). Los análisis hidrológicos sugieren que la oferta hídrica de la microcuenca es de 172,85 L/seg y el caudal ecológico calculado mediante la construcción de curvas sintéticas es de 71,45 l/seg, La demanda calcula teóricamente es solo el 48% de la demanda concesionada en la región. La calidad del agua es considerada como buena en las zonas altas y regulares en la media en la zona baja. Las implicaciones que tiene la caracterización hidrológica y de calidad, para el plan de manejo ambiental consideran que los ordenamiento y la administración del recurso

hídrico debe realizarse desde dos aspectos: EL técnico; con la aplicación de metodologías adecuadas para la caracterización de los componentes físico naturales, y el social; con la participación amplia y concertada de la comunidad que habita en el territorio, con el fin de establecer medidas adecuadas y de fácilmente aplicables, para la conservación de los recursos naturales y desarrollo sostenible de la región.

Esta tesis muestra, que las caracterizaciones para determinar la disponibilidad de agua desde la cantidad y calidad son un requerimiento esencial para la planeación sostenible. En consecuencia, los resultados obtenidos generaron conocimiento de base importante para la de toma de decisiones que implicará la generación del plan de manejo

INTRODUCCIÓN

Colombia ubicada en un lugar geográficamente estratégico, es un país con una gran diversidad ecológica; considerada por muchos investigadores como una de las principales naciones con mayor riqueza hídrica; la cual se representa en tres aspectos: la extensa red superficial de agua que recorre casi todo el territorio, las condiciones del suelo para almacenar aguas subterráneas y el importante sistema de aguas estancadas como lagos, lagunas, humedales y demás. Sin embargo, y pese a lo anterior, esta importante oferta hídrica, no se encuentra accesible en calidad y cantidad para todos los habitantes, ya que en muchas regiones, la población no cuenta con agua adecuada para satisfacer las necesidades básicas de consumo y desarrollo productivo.

Así mismo, la oferta hídrica del país se encuentra cada día más amenazada, y sectores que antes presentaban buenos índices de disponibilidad, hoy están en conflicto por el uso del agua. Situación generada por la inadecuada implementación de las políticas de planeación de los territorios; puesto que no se ha logrado articular de manera adecuada los aspectos técnicos con la rigurosidad que estos requieren y el conocimiento ancestral y cultural de las población que lo habitan, aspecto de gran importancia a la hora de establecer medidas de manejo ya que, es de manera conjunta con habitantes de las regiones como se debe realizar la ordenación, el manejo y los acuerdos para la preservación de los ecosistemas y los recursos naturales.

La caracterización hidrológica y de calidad del agua son elementos básicos para el manejo y administración de los recursos hídricos, ya que permiten conocer de manera detallada las características y susceptibilidades de las cuencas hidrográficas; insumo de gran importancia a la

hora de establecer medidas para el adecuado manejo de los suelos, del agua, y la biodiversidad. El departamento Norte de Santander, al igual que en el resto del país presenta una importante red hídrica, sin embargo son muy pocas las zonas con información base, adecuada para la toma de decisiones acertadas, lo cual ha generado en algunos casos, desconocer la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios y su resiliencia o capacidad de asimilación de los mismos, en el momento de la administración del recurso.

El siguiente trabajo de grado, se realiza, con el fin de conocer el comportamiento hidrológico y el estado de la calidad del agua de la Microcuenca La Lejía, ubicada en el municipio de Toledo en el departamento Norte de Santander, aplicando metodologías ajustadas a la realidad del territorio ya que esta zona no cuenta con instrumentación y datos históricos, que permita la implementación de metodologías estándar; Así mismo el estudio realiza un análisis de los resultados obtenidos y discusiones orientadas a la definición de políticas de manejo, con el fin de generar conocimiento para la formulación Plan de Manejo Ambiental de la Microcuenca, de manera que se logre articular las características reales de la zona, con las posibilidades de desarrollo social y económico de las poblaciones que la habitan; logrando el sostenimiento y la preservación de los recursos naturales en el tiempo, y la permanencia de la población en la región.

El estudio se realiza a una escala 1:10000 tal como lo requiere la norma colombiana (decreto 1640 del 02 de agosto de 2012, y la guía del Ministerio de Ambiente para la elaboración de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuenca (PMAM)), de manera que la planificación del territorio responda también a los requerimiento que de orden nacional se tienen establecido para este tipo de ecosistemas.

Esta investigación está organizado de la siguiente manera: En la sección uno, dos y tres se presentan los objetivos, el estado del arte y el marco conceptual establecido para la investigación; La sección cuatro describe el área de estudio elegida, de acuerdo a una matriz de priorización. En la sección cinco, se presenta la metodología utilizada para abordar los objetivos planteados. En el capítulo seis se presentan los resultados obtenidos, en desarrollo de los objetivos fijados; donde también se realiza un análisis e interpretación de los mismos. En la sección siete se presentan las discusiones con implicaciones y orientación para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental; y finalmente en capítulo ocho y nueve se presentan las conclusiones y las recomendaciones planteadas por el autor. Adicionalmente el documento contiene un anexo, donde se puede encontrar, el detalle de la metodología, los resultados del trabajo de campo, en cuanto a verificación de coberturas, encuestas, carteras de aforo y evidencias de la socialización realizada a la comunidad.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización hidrológica y evaluación de la calidad del agua en la microcuenca de la Quebrada La Lejía ubicada en el municipio de Toledo, departamento Norte de Santander como insumo para la formulación del Plan de Manejo Ambiental de Microcuenca, desde la base de la generación de conocimiento.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Delimitar y caracterizar morfológica e hidrológicamente la microcuenca de la Quebrada la Lejía.
- Calcular la oferta y demanda hídrica con el fin de determinar la capacidad de abastecimiento actual de la microcuenca.
- Realizar aforos y monitoreos de calidad de agua en diferentes puntos de la microcuenca de acuerdo a las condiciones de la fuente hídrica.
- Calcular índices de calidad del agua para diferentes tramos de la microcuenca a partir de información derivada de mediciones y aforos realizados.
- Analizar los resultados obtenidos, con el fin de generar recomendaciones orientado al uso y manejo de la microcuenca.

3. ESTADO DEL ARTE

La escasez de agua en el planeta se ve afectada por la contaminación dada por la mano del hombre, la explotación del recurso y sobre todo el mal uso dado a fuentes, como las cuencas y microcuencas. En este sentido, siendo el agua fundamental para la vida, los países llevan a cabo proyectos de investigación enfocados al mejoramiento de estos recursos que nos brinda la naturaleza. Estas investigaciones son fundamentales para conseguir la realización de Planes de Manejo, ya sea Ambientales o Integrados, de los recursos ambientales, como lo son las fuentes hídricas. Los Planes de Manejo de Microcuenca -PMMC- son una herramienta que tiene como finalidad contribuir a la gobernanza en los municipios al promover la planificación del desarrollo en una microcuenca (Rivera, 2008).

Para llevar a cabo un Plan de Manejo Integrado a una fuente hídrica, como las cuencas o las microcuencas, es fundamental llevar a cabo investigaciones a fondo en los distintos aspectos o parámetros que hacen parte del buen funcionamiento de estos. Entre estos se encuentran, aspectos climáticos, morfométrico, componente biótico, caracterización socioambiental y componente hídrico. Este último el de más relevancia, ya que está compuesto por, la oferta hídrica, calidad del agua y la demanda y usos del agua.

En Colombia, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) son las entidades encargadas del planeamiento del uso de los recursos naturales en su área de jurisdicción, y es el decreto Ley 2811 de 1974, Código de los Recursos Naturales, el que fija las principales disposiciones que regulan las acciones de estas entidades en las cuencas hidrográficas como unidades mínimas de planificación (CORPOAMAZONÍA - ECOINTEGRAL LTDA, 2009). Es por para el

planeamiento del manejo ambiental de la microcuenca La Lejía, es importante conocer las metodologías y procedimientos utilizados en otras regiones y países, para así aplicar las mejores técnicas en el Plan de Manejo Ambiental a la microcuenca La Lejía.

Climáticos: Existen diversas clasificaciones climáticas que varían según los métodos utilizados para realizar la zonificación de los tipos de clima o bioclimas, sus escalas de expresión cartográfica y la tecnología disponible para el momento en que se utilizaron dichos métodos (Orrego, R., Matus, F, Morales, S. L., Canessa, M. F., & Mattar, C., 2006). Algunos de estos sistemas de clasificación se encuentran actualmente en desuso; sin embargo, la selección para su empleo depende del objetivo que se persiga (Sánchez, S. N. & Garduño, L. R, 2008). En los últimos años, la utilización de técnicas automatizadas para el procesamiento y representación de la información producida, unida al empleo de métodos estadísticos y geoestadísticos permiten procesar una gran cantidad de datos y obtener de manera relativamente sencilla, rápida y precisa mapas de gran calidad, en comparación con los métodos manuales tradicionales (PINEDA, N., y otros, 2011). Para la regionalización climática digitalizada de la microcuenca del río Monaicito, ubicada en México, mediante el sistema Thornthwaite, Pineda y colaboradores utilizan un interpolador geoestadístico (2011). Para esto recopilaron información de 10 estaciones que se encuentran dentro y fuera del área de estudio. Para verificar la consistencia de los datos de las series pluviométricas se aplicó el método de doble ploteo de masas (Guevara, D. J. M., 2003). Con esa investigación demostraron que el sistema Thornthwaite y el uso del interpolador geoestadístico Surfer, son útiles para generar información sobre los elementos precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial anual (ETP) de la microcuenca del Río Monaicito, para obtener la cartografía climática digitalizada en el periodo estudiado.

Morfométricos: El análisis morfométrico de una cuenca es de gran importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico e hidrológico, así como para inferir indirecta y cualitativamente la estructura, características y forma y respuesta hidrológica (Mendez y Marcucci, 2006). (Carvajal, L, Ariza, L. A., & Ortiz, F, 2005) para la Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la microcuenca Guanayas, ubicada en el departamento del Meta, siguieron la metodología de ecología del paisaje para la elaboración de la cartografía base y temática, bajo la plataforma Autocad 2000, complementándose con el sistema de información Arc View 3.2. Con los resultados obtenidos elaboraron mapas a escala 1:50.000 como el mapa base, paisajes fisiográficos, hidrológico, división político administrativa, suelos, zonas de vida, pendientes, geológico, de clases agrológicas, erosionabilidad, clasificación climática, áreas de amenazas y riesgos, uso potencial, unidades de Paisaje, áreas de interés ambiental, puntos de muestreo, entre otros. El Decreto 2857 dice que la caracterización morfométrica de una microcuenca, idealmente debe ser el punto de partida de las investigaciones limnológicas, ya que a partir de esta se puede determinar la ubicación de las estaciones de colecta de manera metódica; adicionalmente, se genera una idea global sobre el funcionamiento del sistema teniendo en cuenta las áreas de interfase agua-aire y agua-sedimento (MINAGRICULTURA, 1981). Sin embargo, los aspectos morfométricos en sistemas lóticos han sido poco estudiados en Colombia, es por esto que (Montoya, Y. & Montoya, B, 2009) tuvieron como objeto de investigación establecer las características morfométricas básicas de la microcuenca de la quebrada Los Andes. Para esto realizaron trabajo en planos y trabajo en campo, para así poder hacer una comparación de lo obtenido en mapas y la realidad. El trabajo en planos lo realizaron con la ayuda de la cartografía de la región en escala 1:20.000, con esto realizaron la demarcación de la microcuenca para determinar los parámetros morfométricos básicos tales como el área y la

forma de la cuenca, sus límites, patrones de drenaje, clases de pendientes, cobertura vegetal, uso potencial, actual e inadecuado del suelo y las zonas erosionadas. Se empleó la cartografía digitalizada y procesada en el software Autocad 2004. En otras investigaciones se usan cartografías de mayor escala 1:50.000 utilizando el Sistema de información Geográfica (SIG) Arc View 9.2 (Martinez de la Cruz et al., 2013). Con esta metodología se ha logrado determinar el tamaño y forma real de la microcuenca, tipos de pendientes, su área y por consiguiente su densidad y frecuencia de drenaje. De este modo, se concluye que a partir del estudio de algunas características morfométricas se puede teorizar sobre el funcionamiento ecológico del sistema, lo que puede dar pautas para las investigaciones limnológicas subsiguientes y sobre la gestión ambiental en la zona.

Componente biótico: Diversas investigaciones, realizadas por distintos autores, para las formulaciones de planes de manejo a diferentes microcuencas de Colombia y el mundo, han demostrado que el procedimiento utilizado para la caracterización de los componentes bióticos, como lo son la flora y la fauna, se ha mantenido a lo largo del tiempo. Se trata del desplazamiento por la zona de interés, haciendo así una investigación de tipo exploratorio y de corte cualitativo. Esto a cargo de un equipo conformado integralmente por profesionales de las diversas áreas interesadas en el proyecto. Entre estos trabajos en los últimos años, sólo por citar algunos de ellos, podemos mencionar los de: (Carvajal, L, Ariza, L. A., & Ortiz, F, 2005); Burbano (2008); (Romero, B. & Ponce, N, 2009); (Idrovo, A. & Peñaherrera, D. , 2001); Martínez de la Cruz et al. (2013). El resultado obtenido por este procedimiento es la identificación de las diversas clases de vegetación que se encuentran en la zona, las cuales se pueden clasificar de acuerdo al interés. De la misma forma ocurre con la diversidad de fauna

encontrada. Para esto, (Gordon, M. & Montoya, J., 2007) utilizaron el sistema de zonas de vida Holdridge, que es un esquema para la clasificación de las diferentes áreas terrestres según su comportamiento global bioclimático. (Idrovo, A. & Peñaherrera, D. , 2001), por su parte, discuten que en el manejo a la microcuenca del río Chuilla, ubicada en Ecuador, en la identificación de la flora, se realizó un listado de especies con nombres comunes conocidas por las personas de la zona, lo cual valora el conocimiento local, a la lista de nombres locales se adicionan nombres científicos, lo que deja a nivel local una base de datos claves para el seguimiento futuro.

Socioambiental: Cuando se abordan los problemas socioambientales de la actualidad, se debe destacar el hecho de que el conocimiento referente al conjunto de certezas de la naturaleza, es arrasado por nuevas incertidumbres que ya no dependen de causas naturales solamente: ellas dependen de la intervención activa del hombre sobre el mundo y de las interacciones de este para con la naturaleza (Henríquez, 2007). Por esto, conocer las características demográficas de la población asentada en un territorio es de gran importancia, pues permite orientar de manera más adecuada los planes y proyectos que se dirigen a fortalecer el desarrollo local. El fin es establecer las acciones tendientes a mejorar las condiciones de vida de las poblaciones (CORNARE, 2009). El reto de mejorar una situación compleja requiere de un trabajo conjunto de las instancias de gobierno y de la población, pues además de involucrar cuestiones técnicas, implica buscar un cambio de conducta y promover la utilización de nuevas prácticas de manejo del agua (BENEZ, M. C., KAUFFER MICHEL, E. F., & ALVAREZ GORD, 2010). Para el desarrollo de esta descripción generalmente se utiliza tanto información secundaria como primaria, esta última, se obtiene mediante censos y encuestas a la población y así obtener información sobre las

condiciones tanto socioambientales como socioeconómicas reales de la zona, así lo demuestran distintos autores, entre los cuales se mencionan a Carvajal et al. (2005); CORPOAMAZONIA (2009 (BENEZ, M. C., KAUFFER MICHEL, E. F., & ALVAREZ GORD, 2010); (Daza, S., 2011) ; (DAZA, M. C, REYES, A, LOAIZA, W. , & FAJARDO, M., 2012); (Velasstegui, V. & Quishpe, C. , 2013); (Miranda, C, Rosa, L, Gonçalves, N, Oliveira, F, & Bonito, J, 2016). Este método de trabajo de campo, donde comunitarios participan contribuyendo con su conocimiento local, es importante en el registro de informaciones sobre la historia oral de la comunidad, la descripción y la identificación de los impactos ambientales, la localización de manantiales, la localización de áreas impactadas, usos de la tierra, entre otros, además de identificar problemas socioeconómicos y ambientales más importantes de la microcuenca, a partir de la percepción local (Miranda, C, Rosa, L, Gonçalves, N, Oliveira, F, & Bonito, J, 2016). Con toda la información recolectada, en este ámbito, es posible determinar todo lo relacionado con las actividades económicas realizadas por la población, perteneciente a la microcuenca, tales como la agricultura, aprovechamiento forestal y ganadería. También se obtiene la información esclarecida de los cultivos de mayor relevancia, tanto ambiental, como económicamente. Es importante tener conocimiento de las actividades realizadas en la zona, ya que algunas de ellas pueden causar variaciones en el ecosistema de la cuenca, como, por ejemplo, la ganadería, que se ha convertido en una de las principales causas de deforestación en la región amazónica (Rivero, S., Almeida, O., Ávila, S., & Oliveira, W., 2009).

Componente Hídrico: Para realizar la caracterización hidrológica de una microcuenca es necesario recolectar series de registro de variables hidrológicas tales como: caudales, análisis fisicoquímicos y microbiológicos. La resolución temporal y espacial de estas permite determinar

el alcance de las estimaciones de las variables asociadas en la zona de estudio. Es preferible que las muestras recolectadas para realizar los análisis necesarios en este componente sean tomadas de diferentes puntos de la microcuenca, pueden ser mínimo tres, en la parte alta, media y baja, de esta, y también en diferentes épocas climáticas del año, es decir, una toma de muestras en época de verano o sequía y otra en época de invierno o lluviosa. De esta forma se podrá tener información suficiente para conocer un caudal promedio de la cuenca y también conocer los distintos comportamientos de la hidrología de la microcuenca una época del año y la otra. Todas las quebradas como los ríos cambian significativamente desde el nacimiento hasta la desembocadura; en su forma, en el caudal y en la calidad del agua, desde el punto de vista físico, químico y biológico, si se tienen en cuenta que a lo largo de su curso varía: la topografía del terreno, el clima, la vegetación y el desarrollo de las diferentes actividades humanas, factores que tienen relación directa e indirecta con los cuerpos de agua (CORPONARIÑO, 2009).

Caudal: Es el volumen por unidad de tiempo, que pasa por la sección transversal de una corriente. También se puede definir como el agua que se mueve en un cauce definido (Manrique, 2008). La capacidad de suministro de una fuente de agua se determina mediante el afloramiento en épocas de invierno y sequía, este procedimiento se efectúa con el fin de conocer las variaciones de caudal y estimar si la fuente es susceptible de entregar el agua suficiente para la demanda (Daza, S., 2011). En diversas investigaciones se pueden encontrar varias metodologías para conocer el caudal de la microcuenca. En algunos planes de manejo se obtienen los caudales en puestos de control de entes gubernamentales o empresas públicas, como por ejemplo, en el realizado por (CORPOAMAZONÍA - ECOINTEGRAL LTDA, 2009), obtuvieron los datos por los aforos realizados por CORPOAMAZONIA, otro caso es el de plan

realizado por (CARDER, 2012), donde los datos de caudal fueron suministrados por la Empresa de Servicios Públicos del municipio de La Virginia. Un último ejemplo de este caso, es el realizado por (Velasgüi, V. & Quishpe, C. , 2013), que obtuvieron los datos del SIG AGRO, con los datos promedios durante 39 años.

También están las investigaciones en las que se utilizan métodos convencionales para hallar el caudal de una microcuenca, como lo realizó CORPONARIÑO en el 2009, donde se realizó por dos metodologías, el primero fue el Método de flotador, utilizado también por (Idrovo, A. & Peñaherrera, D. , 2001) en el cual se toma dos puntos con una distancia determinada. En cada uno de estos puntos se calcula la profundidad promedio y posteriormente se realiza mediciones del tiempo en que el flotador tarda en efectuar el recorrido entre los puntos A y B. y el Método Volumétrico, que consiste en captar la corriente o flujo en caída libre en un recipiente debidamente graduado en un tiempo determinado.

(Daza, S., 2011) obtiene los datos de caudal por medio de un micromolinete que arroja datos de revoluciones por minuto, obteniendo de manera directa la velocidad correspondiente. Por otra parte, CORNARE en 2009 utiliza el balance hidrológico a largo plazo a partir de los mapas de precipitación y evaporación media multianual, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. 1.**

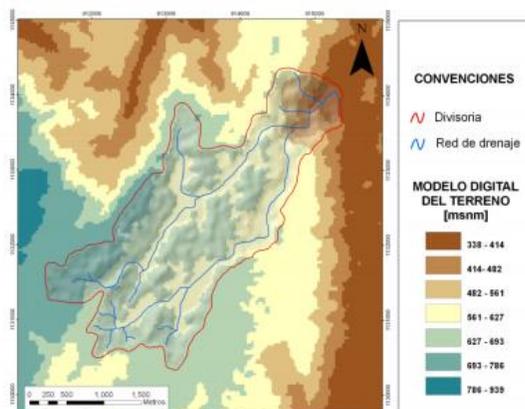


Figura 1, Modelo digital de terreno (MDT) para la microcuenca EL Prado (CORNARE, 20012)

Independientemente del método utilizado para hallar el caudal, esta información es indispensable para, conocer la cantidad de agua disponible en una cuenca o microcuenca para el desarrollo de las actividades que se realizan en ella, es de gran importancia para su sostenibilidad en el tiempo (CARDER, 2012).

Calidad del agua: La calidad del agua generalmente es determinada a través de la caracterización físico-química y microbiológica de las muestras tomadas en lugares puntuales de la microcuenca.

Los análisis fisicoquímicos que se realizan para conocer la calidad del agua son varios, entre lo que se destacan algunos, por ser los más usados regularmente, como lo son, la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales, Alcalinidad, Dureza, Nitratos, entre otros. Por otra parte, los análisis microbiológicos, suelen ser pocos, pero de mucha importancia, entre los que se exigen ante la norma, están Coliformes Totales y Coliformes Fecales. Autores de diversos planes de manejo a microcuenca o fuentes hídricas, realizan estos análisis, para conocer la calidad del agua en estudio. Estos análisis generalmente tienen un protocolo ya establecido y son realizados en laboratorios especializados. Los autores de diversos planes de manejo, generalmente, después de obtener resultados de estos

análisis, los tabulan para así tener una “plantilla” de la calidad del agua y fácilmente hacer una comparación con los valores admitidos por la ley ambiental. Resaltaremos a los siguientes autores, (CORPOAMAZONÍA - ECOINTEGRAL LTDA, 2009); (CORNARE, 2009); (CORPONARIÑO, 2009); (Idrovo, A. & Peñaherrera, D. , 2001) y (Velasategui, V. & Quishpe, C. , 2013).

Tabla 1, Resultados de análisis fisicoquímicos de la calidad del agua del Plan de Ordenación y Manejo de la Microcuenca de la Quebrada El Arenoso (CORPOAMAZONÍA - ECOINTEGRAL LTDA, 2009)

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	VALOR
Alcalinidad total	Volumétrico	mg/l de CaCO ₃	11.5
Cloruros	Volumétrico	mg/l de Cl ₂	4.1
Coliformes totales	Filtración por membrana	UFC/100 ml	100
Conductividad	Conductimétrico	umhos/cm	23
DBO	Respirométrico	mg/l	6
DQO	Fotométrico	mg/l	22
Dureza calcica	Volumétrico	mg/l de CaCO ₃	9.2
Dureza total	Volumétrico	mg/l de CaCO ₃	18.0
Fosfatos	Fotométrico	mg/l de PO ₄	0.11
Hierro total	Fotométrico	mg/l de Fe	0.21
Nitritos	Fotométrico	mg/l de NO ₂	0.002
Oxígeno disuelto	Galvanométrico	mg/l de O ₂	6.0
pH	Potenciométrico	Unidades	7.2
Sólidos totales volátiles	Nefelométrico	mg/l de SO ₄	7.9
Turbiedad	Nefelométrico	UNT	4.4

Tabla 2, Resultados de análisis fisicoquímicos de calidad del agua en el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Microcuenca Dolores Fuente (CORPONARIÑO, 2009)

Parámetro	Desembocadura	Tambillo	Motilón 1	Motilón 2	Chorrera Negra	Toma alta	B Popular
pH	7	6.95	7.07	6.90	7.02	7.02	6.90
Color UCP	37.83	47.28	17.28	61.17	23.94	11.72	32.8
Turbiedad UNT	9.8	1.6	4.3	3.2	6.2	4.2	4.3
Conductividad us/cm	71.3	17.7	28.2	17.6	30.3	4.03	45.7
Alcalinidad mg/L	32.8	12.8	27	10.8	19.2	26.8	22.8
Acidez m/L	7	6.8	7.8	9	6	6	3.0
Dureza mg/L	35	15.6	23.2	19.2	20.4	26.4	22
Cloruros mg/L	7.65	4.69	3.70	4.89	4.19	3.95	1.04
Calcio mg/L	18.8	9.6	13.4	8.4	10	12.4	11
Magnesio mg/L	16.2	6	9.8	10.8	10.4	14	11
Hierro mg/L	1.04	0.26	0.73	0.73	0.54	0.22	1.0
Fosfatos mg/L	0.35	0.29	0.11	0.23	0.16	0.06	2.1
Sulfatos mg/L	20.9	ND	ND	7.22	ND	ND	8.8
Amonio mg/L	0.75	0.58	0.16	0.37	0.47	0.30	0.63
Nitratos mg/L	2.67	2.67	1.09	3.94	1.09	3.94	2.0
Nitritos	0.0246	0.0055	0.006	0.0063	0.0047	0.0011	0.0050
Grasa y aceites mg/L	14	8	8	10	6	12	14
Anhidrido carbónico mg/L	2.09	1.87	2.09	1.65	2.2	2.31	2.25
Oxígeno disuelto %	63	76	77	76	78	78	120
DBO5	3.42	0.57	0.18	0.38	0.60	0.40	0.19
DQO	1.42	54.88	23.52	62.72	1.10	0.79	15.7
Sólidos totales mg/L	131	85	121	88	95	118	88
Sólidos Disueltos mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos mg/L	13	10	12	14	19	34	25
Sólidos sedimentables mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tabla 3, Resultados y Límites máximos permisibles de análisis fisicoquímicos de calidad del agua del Plan de Manejo Integrado de la Microcuenca del río Zhululum, (Idrovo, A. & Peñaherrera, D., 2001).

Límites máximos permisibles para agua de consumo humano y domestico con tratamiento convencional en época de verano										
Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo permisible	A	B	C	D	E	F	G
Amonio	NH4	mg/l	0,05	0,21	0	0	0	0	0	0
Coliformes Totales	nmp/100 ml	/	3 000	16000	16000	1700	220	90	500	12
Coliformes Fecales	nmp/100 ml	/	600	16000	16000	1300	220	90	90	12
DBO	DBO5	mg/l	2	0,99	1,09	1,09	1,06	1,00	1,22	1,20
Dureza	CaCO3	mg/l	50	29,17	20,83	18,93	28,37	27,71	15,65	20,66
Cloruros	Cl	mg/l	250	0,66	0,11	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5	1,68	2,77	2,54	2,07	4,53	3,10	2,33
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10	0	0	0	0	0	0	0

Es importante que estos análisis se realicen a las todas las muestras tomadas en los distintos puntos determinados, para conocer la diferencia que existe en la calidad del agua entre dichos puntos, también es recomendable, realizar estos análisis por triplicado a cada muestra para así realizar un promedio de los resultados y tener un valor más acertado.

Para el análisis de los datos fisicoquímicos obtenidos por (Idrovo, A. & Peñaherrera, D. , 2001) utilizaron el índice WIQ (Water Index Quality) de la página <http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm>. Donde compararon los resultados con los de la tabla de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 4, Rangos de Calidad de agua propuestos por Índice WIQ, (Idrovo, A. & Peñaherrera, D. , 2001).

Valor WIQ	Calidad
100 – 90	Excelente
90 – 70	Bueno
70 – 50	Moderado
50 – 25	Malo
25 – 0	Muy malo

Y para analizar los resultados obtenidos en las pruebas microbiológicas se utilizó la tabla del índice de Número Más Probable (NMP) (Idrovo, A. & Peñaherrera, D. , 2001).

La gestión integral del recurso hídrico (GIRH), comprende actividades de conservación, protección y educación ambiental asociadas con el uso y manejo del agua; por lo tanto, la sensibilización y reflexión que deben generar los programas y proyectos que tiendan a conservar dicho recurso, deben contar también con las herramientas necesarias para promover cambios en los aspectos culturales, y en los mecanismos de acción y participación de las comunidades, con el fin de proteger las fuentes de agua como abastecedoras y productoras del recurso hídrico (Arroyave-Rojas, 2012).

Aunque los POMCA se propusieron como un mecanismo para abordar de una manera más integral el uso, manejo y conservación del agua, en el que se deben seguir una serie de seis fases: 1. Aprestamiento; 2. Diagnóstico (estado actual de la cuenca con sus diferentes usos del suelo y agua); 3. Prospectiva (construcción del territorio ideal); 4. Formulación (planteamiento de programas, proyectos y estrategias); 5. Ejecución, y 6. Seguimiento (evaluación de indicadores ambientales y de gestión), aún persisten varios desafíos, muchos de los cuales fueron destacados por (Suarez, 2007). Quizás aún estamos a tiempo para entender y tomar la iniciativa frente a la conservación del recurso hídrico en Colombia, particularmente en la región Andina (GUEVARA, G., 2014).

Los primeros estudios encontrados para caracterización de agua se evidencian desde el año 1997, tal es el ejemplo de (RAMIREZ & Restrepo, 1997) , cuyo trabajo consistió en la determinación y fundamentación de cuatro índices de contaminación (ICO) para caracterización de aguas continentales, como complemento en la determinación de la calidad de las aguas superficiales por medio de indicadores de calidad (ICA), debido según ellos a incongruencias de este método haciendo muy general y no específica para determinados parámetros de medición de contaminación de aguas, los cuales si ofrecen los cálculos ICOS y que pueden representar de una manera más específica el grado de contaminación de una fuente hídrica.

Posteriormente en el año 2008, (Herbert Augusto Infante Romero 2008), realizaron un ajuste metodológico al índice de escasez propuesto por el IDEAM, en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Pamplonita, logrando tener datos más acertados en la espacialización y delimitación de la oferta hídrica los cuales fueron verificados en campo. EL resultado final consistió en la adaptación de la metodología logrando una mayor precisión del índice, contribuyendo de esta manera a la gestión del recurso hídrico de manera que se logre una

adecuada administración y uso eficiente del mismo.

En Chile los investigadores (Gayoso, 2008), aplicaron métodos de conocimiento base y clasificación difusa para predecir la calidad del agua en tres comunas de ese país. El trabajo consistió en el análisis espacial y modelación de datos con base en el conocimiento del territorio, con el fin de predecir de una manera rápida y económica la calidad del recurso hídrico. Para el análisis de la información cartográfica se utilizó herramientas informáticas como Arcview GIS 3.2, ArcGIS 8.0 e Idrisi Kilimanjaro. La metodología consistió en consulta a expertos, selección de variables y elaboración de coberturas temáticas, clasificación difusa de indicadores y validación en campo utilizando el parámetro de turbiedad por su facilidad de medición. Los resultados finales reflejan que factores como coberturas vegetales, pendientes, uso del suelo, e infraestructura como afectan de manera directa la calidad del agua en una zona determinada.

En Colombia (Meza, 2012), se realizaron muestreos a las quebradas El Diamante, La Oliva y el río Chinchiná, ubicadas en la cuenca alta del río Chinchiná del departamento de Caldas, con el fin de evaluar la calidad del agua y la composición de los macroinvertebrados en zonas de río provistas de vegetación ribereña nativa, vegetación exótica y zonas sin vegetación. Los muestreos fueron realizados en tres épocas diferentes: invierno, verano e intermedio; haciendo tres repeticiones por sustrato (Hojarasca, Roca y Sedimento Fino). Los resultados arrojados en el estudio indican que existe una relación directa de la vegetación ribereña con el estado y composición de los macroinvertebrados; señalando que en la zona de vegetación nativa se presenta una mejor calidad del agua, convirtiéndose factor determinante para su presencia y mantenimiento

En el año 2013 los investigadores (Reinoso F, 2013) desarrollaron un trabajo en el río Opia en el Departamento del Tolima, Colombia, analizando la calidad del agua, mediante la utilización

de métodos biológico y físico Químicos. El estudio permito identificar grupos de macro invertebrados bioticadores como complemento a la evaluación físico química tradicional generando un análisis más integral sobre el estado de la fuente hídrica, los resultados arrojaron diferentes niveles de contaminación en cada una de las estaciones evaluadas, predominando el índice de contaminación por mineralización. En cuanto al estado biótico de la fuente, el estudio arrojó una importante riqueza y diversidad de macroinvertebrados acuáticos, siendo los órdenes Díptera y Ephemeroptera los de mayor abundancia.

Ese mismo año (Posada, 2013), establecieron índices de calidad ambiental tomando como base en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura, en el río Medellín ubicado en el Valle de Aburrá, Colombia; durante la investigación se establecieron la correlación de estos parámetros de acuerdo a la temperatura y la presión atmosférica, y su comportamiento esperado en aguas limpias o poco contaminadas. Los autores utilizaron datos de 20 estaciones a lo largo del río y en sus afluentes, monitoreando parámetros como Oxígeno disuelto (OD), temperatura del agua (T), temperatura del aire del lugar (TA), conductividad, nitrógeno, metales, y microorganismos. Finalmente se concluye que el río presenta una variabilidad del oxígeno disuelto y la temperatura, debido principalmente a condiciones internas y externas tales como: vertimientos industrial y domésticos, afluentes, condiciones atmosféricas, entre otros.

En el contexto internacional se han destacado trabajos como el desarrollo por (Hidalgo, 2014), los cuales utilizaron el índice Canadiense CCME_WQI, para evaluar la calidad de las aguas de la cuenca del río Naranjo, perteneciente a la provincia de Las Tuna, en Cuba. Para el cálculo de este índice se integran factores que representan alcance, el cual define el porcentaje de variables fuera del rango sobre el total de variables; el cual relaciona el número de datos fuera del rango sobre el total de los datos y la amplitud definida como la medida entre la desviación que existe

en los datos determinados por la magnitud de los excesos de cada dato que se encuentre fuera de los rangos aceptados. El autor concluye que el método presenta características de fácil interpretación la cual puede ser recomendada para dar a conocer no solo a la comunidad académica si no al público en general sobre el estado de las fuentes hídricas.

4. MARCO CONCEPTUAL

El marco teórico para el desarrollo de la metodología que conlleve al cumplimiento de los objetivos de esta investigación ha sido estructurado en los siguientes componentes: el relacionado con el contexto del ordenamiento de cuencas en Colombia, el relacionado con la situación actual del ordenamiento de cuencas en Norte de Santander y el asociado a la evaluación de calidad de agua en corrientes hídricas del cual también se dio una mirada al ámbito nacional y al regional.

4.1 ORDENAMIENTO DE CUENCAS EN COLOMBIA

Dada la problemática por el manejo del recurso hídrico a nivel mundial se ha generado una gran preocupación debido al incremento de la demanda y a los impactos que esta genera a las cuencas hidrográficas a medida que la sociedad crece y se desarrolla. El agua es considerada el motor de desarrollo y la base de sustento de la economía de cualquier país, y por lo tanto su uso, manejo y aprovechamiento debe realizarse de forma equilibrada sin afectar la resiliencia del ecosistema.

Colombia por su localización geográfica y la variabilidad de regímenes climáticos es considerada como uno de los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, la disponibilidad del recurso hídrico es cada vez menor ya que la mayor población y las actividades socioeconómicas del país se ubican en regiones con baja oferta hídrica, donde se

evidencia necesidades hídricas insatisfechas e impactos cada vez mayores sobre el agua, (Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico)

De acuerdo a lo anterior y debido a la complejidad que demanda el manejo de los recursos hídricos se hace necesario realizar una gestión integrada alrededor del agua, que incluya la articulación de políticas, normas, directrices, instituciones y comunidad, con el fin de orientar el manejo, aprovechamiento y uso de los recursos naturales de manera armónica con la capacidad de oferta y resiliencia de los mismos.

Una de las acciones más importantes que tuvo su primer antecedente a través del entonces HIMAT, con la cual se buscó facilitar la planeación del recurso hídrico en Colombia fue la zonificación hidrográfica del territorio por la cual se dividió el país en cinco Áreas hidrográficas (1-Caribe, 2- Magdalena - Cauca, 3- Orinoco, 4- Amazonas y 5-Pacífico) que a su vez están divididas en Zonas Hidrográficas a su vez subdivididas en Subzonas Hidrográficas.

Otras de las primeras acciones dirigidas al mejoramiento de la gestión del recurso hídrico basadas en la aplicación de lo dispuesto en el Código Nacional de los Recursos Naturales (Decreto 2811 de 1974) comprenden la implementación instrumentos como las concesiones de aguas, la reglamentación de corrientes, los permisos de vertimientos y los planes de ordenación de cuencas hidrográficas. Posteriormente, con la entrada en vigencia de la Ley 99 de 1993, el Ministerio de Ambiente inicia la formulación políticas relacionadas con el recurso hídrico y en el año 2010 culmina la formulación de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico del País (2010-2022) estableció dentro de su estrategia de planificación la necesidad de priorizar, formular e implementar los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas a desarrollar en las

cuencas objeto de ordenación y manejo que correspondan a sub-zonas hidrográficas o de nivel subsiguiente según definición del IDEAM.

El decreto 1640 de 2012 establece que los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (conocidos comúnmente como POMCA) son “el instrumento a través del cual se realiza la planeación del adecuado uso del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna; y el manejo de la cuenca, entendido como la ejecución de obras y tratamientos, con el propósito de mantener el equilibrio entre el aprovechamiento social y el aprovechamiento económico de tales recursos, así como la conservación de la estructura físico -biótica de la cuenca y particularmente del recurso hídrico”.

Para el ordenamiento de niveles inferiores al de Subzona hidrográfica, como es el caso de la microcuenca La Lejía que hace parte de la Subzona hidrográfica del Río Chitagá, el Decreto 1640 de 2012 en su Artículo 5 dispone que el instrumento de planificación y manejo sea el Plan de Manejo Ambiental de Microcuenca.

Se indica igualmente en el Decreto 1640 de 2012 que las autoridades ambientales realizarán la priorización y selección de las microcuencas para las cuales se realiza el mencionado plan, teniendo en cuenta aquellas que en las que se presenten o prevean al menos una de las condiciones establecidas en el Artículo 57:

1. Desequilibrios físicos, químicos o ecológicos del medio natural derivados del aprovechamiento de sus recursos naturales renovables.
2. Degradación de las aguas o de los suelos y en general de los recursos naturales renovables, en su calidad y cantidad, que pueda hacerlos inadecuados para satisfacer los requerimientos del desarrollo sostenible de la comunidad asentada en la microcuenca.

3. Amenazas, vulnerabilidad y riesgos ambientales que puedan afectar los servicios ecosistémicos de la microcuenca, y la calidad de vida de sus habitantes.
4. Cuando la microcuenca sea fuente abastecedora de acueductos y se prevea afectación de la fuente por fenómenos antrópicos o naturales.

Las diferentes experiencias de formulación e implementación de los POMCA han demostrado que la planificación del manejo del agua requiere de instrumentos locales aplicados a nivel de unidades más pequeñas que las subzonas hidrográficas, como las microcuencas. La microcuenca, al ser la parte más pequeña de la pirámide, es el punto en donde se reúnen todos los aspectos de manera más cercana y se convierte en el mejor lugar para planificar el uso y manejo de los recursos naturales, en la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas de producción y los diferentes medios de vida. Es en este espacio donde ocurren las interacciones más fuertes entre el uso y manejo de los recursos naturales (acción antrópica) y el comportamiento de estos mismos recursos (reacción del ambiente). Ningún otro ámbito que pudiera ser considerado (municipio, caserío, finca, asociación de productores y productoras, cooperativa, etc.) guarda esta relación de forma tan estrecha y tangible. (FAO, 1999)

La planificación de microcuenca facilita la vinculación y participación de una manera más acertada de las comunidades que se ven más afectadas por cualquier cambio en los recursos naturales utilizados para la producción (suelo, agua, bosques). De esta manera se favorece una mayor conciencia sobre la necesidad de promover cambios en la formas de actuar sobre la microcuenca.

Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas

Los planes de manejo ambiental de microcuencas, se encuentran reglamentados en el Decreto 1640 de 2012 (Título V Capítulo I; artículos 54 y siguientes); y son el instrumento de planificación, ordenación y manejo que corresponde a las cuencas que son más pequeñas que las subzonas hidrográficas o que el nivel subsiguiente de las mismas, es decir cuya área de drenaje es menor a 500 Km².

Las diferencias que guardan los planes de manejo ambiental de microcuencas respecto a los POMCA son principalmente el potencial de formulación de proyectos más específicos que respondan con más eficiencia a las problemáticas del agua, la obtención de un diagnóstico que muestra una mejor imagen del territorio y una formulación de más fácil incorporación a los planes de ordenamiento territorial y a los planes de desarrollo municipal.

Las fases para la elaboración de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas se presentan en la Figura 2, Fases de los Planes de manejo de microcuencas.



Figura 2, Fases de los Planes de manejo de microcuencas.

1. Fase de aprestamiento: Comprende la conformación del equipo técnico, el cronograma de trabajo y las estrategias de socialización participación y logística, entre otros.

2. Fase de Diagnóstico : Contiene la caracterización de la problemática presente en la microcuenca generada por desequilibrios del medio natural, la degradación en cantidad o calidad de los recursos naturales renovables, los riesgos naturales y antrópicos estableciendo las causas, los impactos ambientales, entre otros aspectos.
3. Fase de Formulación: Es la fase durante la cual se definen los proyectos y actividades a ejecutar por la autoridad ambiental competente, con el fin de solucionar la problemática identificada en el diagnóstico, estableciendo el cronograma de ejecución, costos y responsables.
4. Fase de Ejecución: Es la fase de implementación de los proyectos y actividades formulados.
5. Fase de Seguimiento y Evaluación: Verificación de resultados de proyectos ejecutados respecto a mediante indicadores formulados para cada una de las metas establecidas.

En comparación con los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas no contemplan el desarrollo de una fase prospectiva y su fase de diagnóstica es menos general haciendo énfasis en la problemática por la cual se selecciona la microcuenca para ser objeto de formulación del plan.

La ausencia de fase prospectiva implica que no se incluye una zonificación del suelo que se constituya en determinante ambiental como si ocurre con los POMCA.

En desarrollo de este trabajo se busca contribuir con insumos para la fase de diagnóstico del Plan de Manejo Ambiental de la microcuenca de la Quebrada La Lejía, a partir de una caracterización hidrológica y de calidad del agua. Ya que no existe POMCA formulado para la subzona hidrográfica correspondiente, es decir, la del Río Chitagá, se procurará obtener un diagnóstico más amplio en cuanto al estado actual de la microcuenca a la vez que se caracteriza la problemática de que es la que abastece al casco urbano del municipio de Toledo, a lo que se le

suma la carga de los habitantes de las veredas en las que se encuentra la microcuenca, la estación ECOPETROL del oleoducto Caño Limón – Coveñas y el distrito de riego de ASOCEDRAL, esto muestra la importancia económica, social y ambiental que tiene la microcuenca de la Quebrada la Lejía en el municipio de Toledo; y será un insumo de gran importancia para que en el momento que se requiera la Corporación Autónoma Regional para la Frontera Nororiental decida junto con otras entidades del área realizar el Plan de Manejo Ambiental de la Microcuenca para ordenar su área y establecer parámetros y límites de uso para conservar o mejorar sus características ambientales y no se vea afectada la oferta de agua, y por ende todos los que dependen del agua que brinca el afluente.

4.2 ESTADO DEL ORDENAMIENTO DE CUENCAS EN EL DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER.

De acuerdo con la zonificación de unidades hidrográficas del IDEAM, en Norte de Santander la estructura hidrográfica hasta el nivel subzona hidrográfica es la presentada en Tabla 5.

Tabla 5, zonificación hidrográfica norte de Santander

<i>Área hidrográfica</i>	<i>Zona hidrográfica</i>	<i>SZH</i>	<i>Nombre subzona hidrográfica</i>	<i>Resolución Aprobación vigente</i>
<i>Caribe</i>	Catatumbo	1601	Rio Pamplonita	Res. 00761 de 2014 (ajuste)
		1602	Rio Zulia	Res. 0963 de 2010
		1603	Rio Nuevo Presidente - Tres Bocas (Sardinata - Tibú)	
		1604	Rio Tarra	

<i>Área hidrográfica</i>	<i>Zona hidrográfica</i>	<i>SZH</i>	<i>Nombre subzona hidrográfica</i>	<i>Resolución Aprobación vigente</i>
		1605	Río Algodonal (Alto Catatumbo)	Res: 0949 de 2010
		1606	Río Socuavo del norte y río Socuavo del sur	
		1607	Bajo Catatumbo	
		1608	Ríos del Sureste y directos del río Oro	
<i>Magdalena</i>	Medio Magdalena - Río Lebrija	2319-02	Río Lebrija y otros	
		2319-05	afluentes directos al	
		2319-06	Magdalena	
	Medio Magdalena - Quebrada el Carmen	2321-01	Quebrada el	
		2321-02	Carmen y otros	
		2321-03	fluentes directos al Magdalena	
<i>Orinoco</i>	Arauca	3701	Río Chitagá	
		3702	Río Margua	
		3703	Río Cobugón - Río Cobaría	
	Apure	3901	Alto río Apure	

Fuente: IDEAM 2013

CORPONOR, como institución encargada de la elaboración de los POMCA de las subzonas hidrográficas localizadas en su jurisdicción priorizó las subzonas hidrográficas Río Pamplonita, Río Zulia y Río Algodonal para elaboración de POMCA por su importancia en la región y por ser las cuencas donde se encuentra asentada la mayoría de la población del departamento.

Para el caso de la Subzona hidrográfica del Río Chitagá, en la que se ubica la microcuenca de la Quebrada La Lejía no se ha realiza POMCA, y este es considerado también un criterio para iniciar un proceso de Plan de Manejo de la misma, de acuerdo a lo establecido en la normatividad vigente.

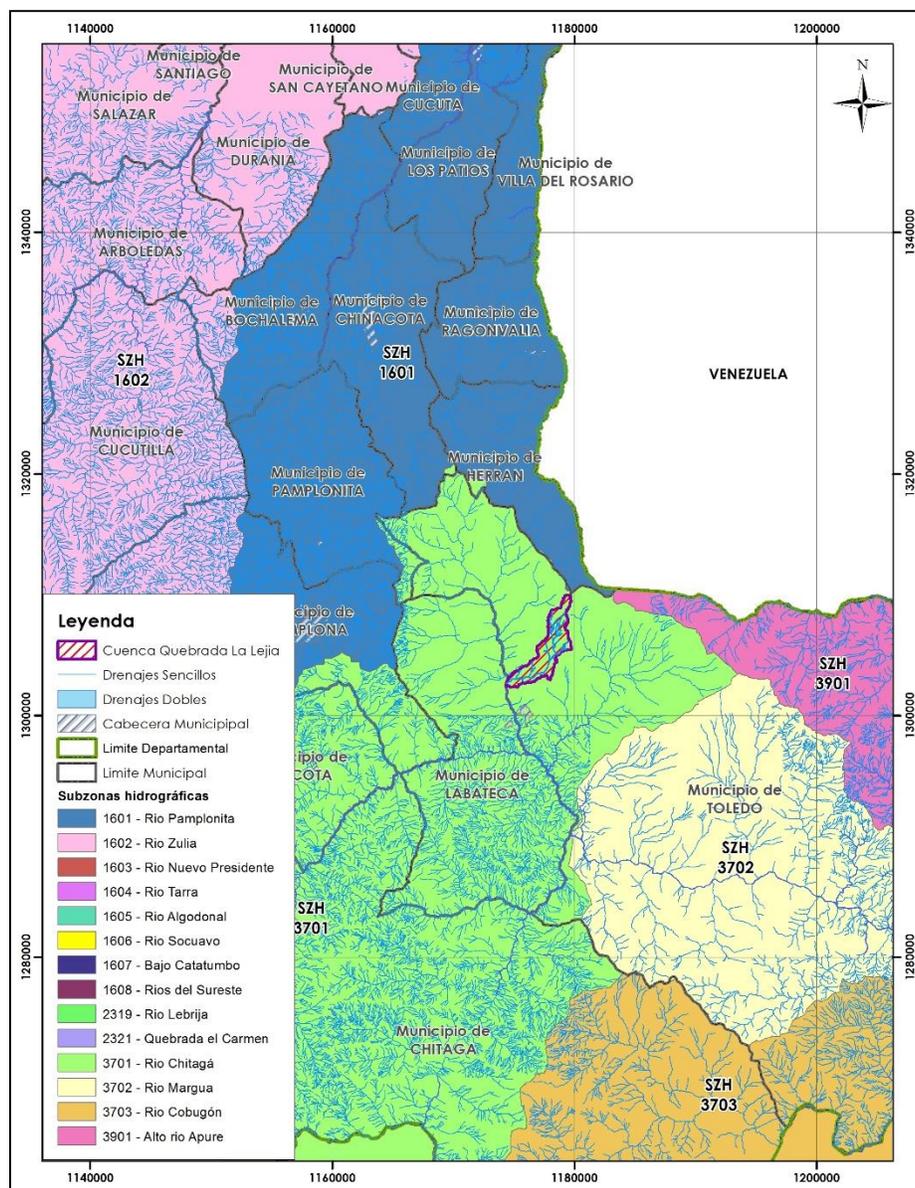


Figura 3, Ubicación microcuenca la Lejía en las subzonas hidrográficas

4.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA

El país cuenta con un marco normativo en materia de calidad de agua, el cual ha permitido la implementación de políticas sectoriales en relación a la vigilancia y control de la calidad del

recurso, estas políticas buscan garantizar en todo el territorio nacional el monitoreo, la prevención y el control de los riesgos para garantizar la calidad del recurso hídrico de la nación. A continuación se presenta una recopilación de las normas y políticas en materia de calidad del recurso hídrico.

En el año de 1984 se expide el Decreto 1594, en él se encuentran definidas las características de calidad que deben cumplir las fuentes hídricas, para posibilitar los diferentes usos como: consumo humano y domésticos, preservación de la flora y fauna, agropecuario, recreativo e industrial. La norma establece que en los lugares donde existen varios usos, los criterios de calidad de agua a cumplir deben ser el del uso más exigente (Gómez, 2014).

Para el año 2000 el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), dio los lineamientos para establecer los niveles de tratamiento de agua para consumo humano en función a la calidad de la fuente de abastecimiento, desde la desinfección y estabilización hasta tratamientos específicos.

El Decreto 1575 de 2007 (Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007), es el marco legal en Colombia que orienta las acciones de vigilancia de la calidad del agua, establece las responsabilidades, procedimientos e instrumentos para realizar las acciones de control y vigilancia. Resulta de gran importancia este Decreto ya que considera los Índices de Calidad del Agua (ICA), como uno de los instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo, reglamentando el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA). (Torres, 2009).

A nivel Institucional, la vigilancia de la calidad del agua es desarrollada por las autoridades de salud de los municipios, distritos y departamentos de Colombia, de forma descentralizada conforme a la autonomía política y administrativa de los territorios. Están deben realizar el

monitoreo rutinario y continuo de las características microbiológicas y físico químicas del agua, para conocer el estado del agua y garantizar a la población el acceso a agua en calidades compatibles con los valores de potabilidad establecido mediante la resolución 2115 de 2007 (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

En el año 2010, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expide la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico-PNGIRH (2010- 2022), que establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo del recurso hídrico en el país. Esta política busca garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente.

En este aspecto y de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010), como insumo técnico para la planificación y la gestión integrada del recurso hídrico en el marco del PNGIRH; se propuso un sistema de indicadores hídricos que muestran las distintas condiciones de presión y afectación, vulnerabilidades con enfoque de riesgo y proyecciones de la demanda atendiendo un modelo de análisis integrado para el complejo hídrico nacional.

En Colombia la medición de parámetros físico-químicos es una actividad rutinaria (IDEAM, 2014), Sin embargo, no ha sido así el cálculo de índices de calidad de agua, aunque están siendo aplicados por algunas corporaciones autónomas regionales. Sin embargo y a pesar del gran esfuerzo realizado en el país, algunos de estos indicadores, apenas están planteados debido a la poca densidad de puntos de colección de datos y su falta de sistematización y estandarización (Samboni Ruiz, 2007).

En el año 2015 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expide la resolución 631 del 17 de mayo de este mismo año; en el cual define los parámetros y límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

De igual manera el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, tiene definido el protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua, en la cual se estable los métodos para la observación y medición de aguas superficiales de niveles, caudales y sedimentos, el procesamiento y calidad de la información hidrológica básica de aguas superficiales, entre otros aspectos de interés; Así mismo esta misma entidad expidió la guía para monitoreo de vertimientos de aguas superficiales y subterráneas, donde se establece los procedimientos para la medición de caudal, la selección de los sitios de muestreo, el tipo de muestreo, la toma de muestra, protocolos de conservación, entre otros.

5. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La selección del área de estudio se realizó siguiendo los criterios establecidos en el artículo 57 del decreto 1640 de 2012 (recopilado en el decreto único reglamentario 1076 de 2015), para lo cual se aplicó una matriz de priorización y selección que permitió la identificar la microcuenca de la quebrada La Lejía como área de estudio para llevar a cabo el desarrollo de los objetivos planteados en la presente investigación. De este análisis fueron excluidas las microcuencas que se encuentran en cuencas ordenadas ya que como lo establece la norma, los planes de manejo ambiental aplican para microcuencas ubicadas en subzonas hidrográficas que no cuente con planes de ordenación y manejo.

A continuación se presenta la matriz de priorización y selección de la microcuenca llevado a cabo en el presente estudio.

Tabla 6, criterios para la elaboracion de plan de manejo de la microcuenca (decreto 1076 de 2015)

ITEM	CRITERIOS	MICROCUENCAS						
		Q. La Viuda (Mpio Chitaga)	Q. El Arpero (Municipio Chitaga)	Q. La Lejia (Mpio de Toledo)	Q. Chorreritas (Mpio Cachira)	Q. El Caraño (Mpio de la Esperanza)	Q. El Tigre (Mpio de El Carmen)	Q. El Salto ((Mpio de El Carmen)
1	Desequilibrios físicos, químicos o ecológicos del medio natural derivados del aprovechamiento de sus recursos naturales renovables							
2	Degradación de las aguas o de los suelos y en general de los recursos naturales renovables, en su calidad y cantidad, que pueda hacerlos inadecuados para satisfacer los requerimientos del desarrollo sostenible de la comunidad asentada en la microcuenca							
3	Amenazas, vulnerabilidad y riesgos ambientales puedan afectar los servicios ecosistémicos de la microcuenca, y la calidad de vida de sus habitantes							
4	Cuando la microcuenca sea fuente abastecedora de acueductos y se prevea afectación de la fuente por fenómenos antrópicos o naturales”							
OBSERVACION	En aquellas microcuencas que no hayan sido incluidas en un proceso de formulación de un POMCA que esté aprobado o en proceso de aprobación, la autoridad ambiental competente elaborará el plan de manejo ambiental de Microcuenca, previa selección y priorización del mismo							

En el documento de anexos se realiza una descripción de cada una de las quebradas analizadas para la priorización.

De acuerdo a la matriz anterior la Quebrada La Lejía, cumple con todos los criterios de priorización y selección para la formulación del Plan de Manejo Ambiental; adicionalmente esta microcuenca presenta un interés especial para su ordenación por varias entidades como Parques Nacionales de Colombia por su influencia con el Parque Natural Nacional Tamá, así como también por la administración municipal de Toledo y la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental Corponor; lo anterior justifica el desarrollo del presente proyecto de investigación en esta área de estudio.

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MICROCUENCA

La microcuenca de la Quebrada La Lejía está ubicada en el Municipio de Toledo, departamento de Norte de Santander, tiene un área de 13,58 Km²; nace a una altura aproximada de 2850 m.s.n.m., y corresponde a un cuerpo de agua de carácter permanente que tributa sus aguas al Río Culagá a los 1500 m.s.n.m. Sus aguas presentan una dirección este - oeste, siendo las quebradas Los Remansos y El Venado sus principales tributarios.

La microcuenca de la Quebrada la Lejía pertenece a la subcuenca del Río Culagá, la cual pertenece a su vez a la subzona hidrográfica del Río Chitagá. Limita al oeste y noroeste con la microcuenca de la Quebrada el Trapiche, al este y noreste con la subcuenca del Río Jordán, al suroeste con la microcuenca de la Quebrada la Bolsa y el Río Culagá y al sureste con la microcuenca de la Quebrada Toledito.

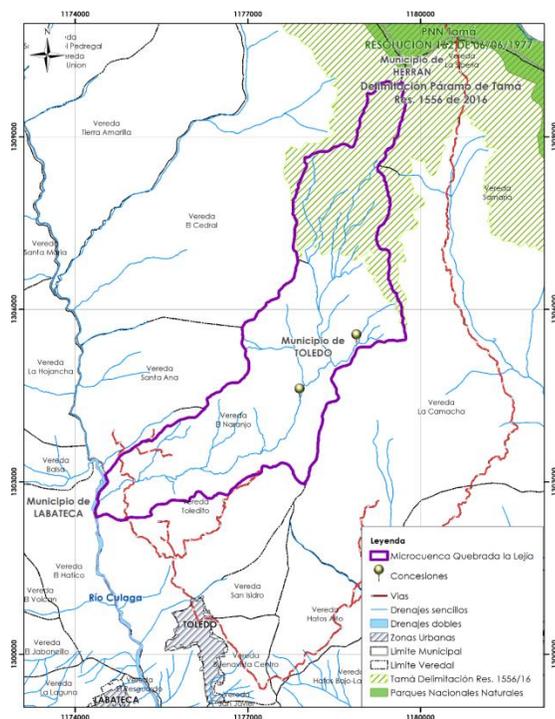


Figura 4, Localización General del área de estudio.

En la parte más alta de la microcuenca predomina cobertura de herbazales característicos de la zona de páramo, la parte alta y media de la cuenca presenta cobertura de Bosque denso del ecosistema Bosque alto andino, con algunas franjas de Pastos limpios y Vegetación secundaria, en la parte baja de la cuenca hay Bosque de Galería o Ripario, cultivos transitorios y permanentes junto a pastos limpios y enmalezados.

La autoridad ambiental regional presente en la zona es la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental – CORPONOR.

5.2 DESCRIPCIÓN SOCIOECONÓMICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La caracterización socioeconómica de la microcuenca fue desarrollada mediante el levantamiento de información primaria, por medio de la aplicación de encuestas en toda la zona

de estudio, la cual fue desarrollada con el apoyo del personal del Parque Nacional Natural Tamá; así mismo se utilizó información secundaria obtenida del Esquema de Ordenamiento Territorial y el Plan de Desarrollo local para periodo 2016 - 2019. A continuación se presenta las principales características de la zona y el área de estudio.

La quebrada la Lejía se encuentra ubicada en el municipio de Toledo, el cual posee una superficie de 157.790,95 Ha que equivalen al 7.176% de la superficie total del departamento, siendo así el segundo municipio con mayor extensión territorial del departamento después de Tibú; comparte 72,614 Km de frontera con la República Bolivariana de Venezuela y Hace parte de los municipios de la provincia de Pamplona.

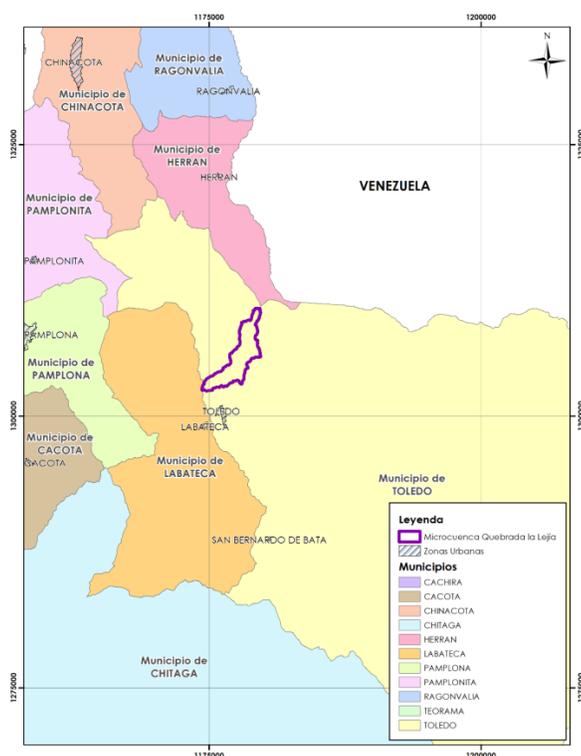


Figura 5, Límites Municipio de Toledo, Norte de Santander.

De acuerdo a la información estadística oficial (censo Dane 2005) y proyectada para el año 2017, el municipio de Toledo presenta con una población de 17.285 habitantes, de los cuales el

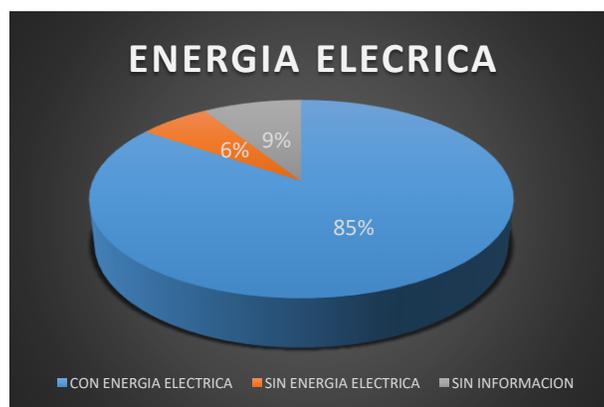
74,14 % (12.815 hab,) se encuentran el área rural y 4.470 habitantes, se ubican en el casco urbano representando el 25,86%, del total de su población.

La microcuenca la Lejía comprende las veredas El Naranjo y Toledito; donde se realizaron encuestas para conocer la cantidad de habitantes del área, su condición socioeconómica, actividad agropecuaria entre otros; en total se aplicaron 78 encuestas de las cuales **35** se realizaron en la vereda el Naranjo y en **43** de la vereda Toledito.

De los predios encuestados se encontró una población de 285 habitantes de los cuales 80 habitan el área de la microcuenca Quebrada la Lejía.

De los 78 predios encuestados 57 cuentan con acueducto del Distrito Asocedral, 14 no están conectados a ningún acueducto por lo cual captan directamente de la Quebrada La Lejía y 7 de ellos no brindaron información. El uso del agua principalmente en la zona es: Domestico, agrícola y pecuario.

Cuentan con servicio de energía eléctrica 66 de los 78 predios, 5 de estos no cuentan con el servicio y en 7 predios no tienen información al respecto. A continuación se presenta en la gráfica 1, la información relacionada con este servicio público.



Gráfica 1, Cobertura de servicio de energía en los predios encuestados

En cuanto a la tenencia de la tierra; 57 de los 78 predios encuestados son propios, 9 son tenedores, 3 están en arriendo y 9 no presentan información. La grafica 2, ilustra los resultados de las encuestas en la temática de tenencia de tierras



Gráfica 2, Tenencia de la tierra en los predios encuestados.

Los cultivos que más se presentan son Café en 43 de los predios, caña de azúcar, en 20 predios y pastos en 17 predios, además de esto la mayoría de los predios cuentan con huerta, y algunos tienen pequeños frutales y de hortalizas. En el siguiente mapa se muestran los predios encuestados en cada una de las veredas.

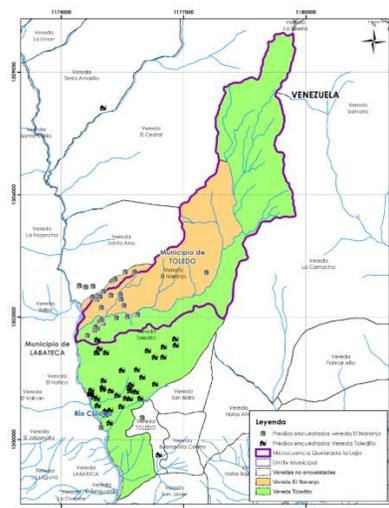


Figura 6, Distribución de predios encuestados Veredas El Naranjo y Toledito

Se observa en la figura anterior que algunos de los predios encuestados no concuerdan con los límites de la vereda, esto se debe a que los límites establecido geográficamente por el EOT (Esquema de Ordenamiento Territorial) no son bien conocidos por los habitantes de la zona. Según las encuestas realizadas en la vereda Toledito, 10 predios de esta zona se consideran por sus habitantes de la vereda El Naranjo.

6. METODOLOGIA.

6.1 CARACTERIZACIÓN HIDROLOGICA, MORFOMETRICA Y DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA.

6.1.1 Delimitación de la microcuenca y caracterización hidrológica: La hidrografía se elaboró con base en cartografía escala 1:10.000, en cumplimiento a lo establecido en el decreto 1640 de 2012, expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para Planes de Manejo de Microcuencas. La imagen obtenida fue de satélite sensor RapidEye con resolución de 5 metros y un DEM de 12,5 metros de resolución. Posteriormente, se realizó una verificación de los drenajes con puntos en campo tomados mediante navegadores de GPS.

Esta fase contó con los siguientes pasos preliminares:

- Delimitación de la cuenca:
 - Generación de curvas de nivel cada 10 metros y verificación de su consistencia con los drenajes.
 - Los drenajes considerados inicialmente fueron los existentes en la plancha IGAC 1:25.000 y posteriormente fueron ajustados con la imagen y el DEM.
- Verificación que la línea divisoria de aguas cortara perpendicularmente las curvas de nivel y que pasara, estrictamente por los puntos de mayor nivel topográfico.
- Determinación del patrón de drenaje teniendo en cuenta su definición como la forma que toma la red de drenaje de acuerdo a la geomorfología del terreno.

○ Determinación de la densidad de drenaje que es la cantidad de afluentes que surten al cauce principal. La fórmula utilizada se expresa en la ecuación 1 (Ec. 1), descrita a continuación, la cual relaciona los cursos de agua expresados en Km, con el área total del microcuenca expresada en Km².

$$D = \frac{L(Km)}{A(Km^2)} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde

L: es longitud total de los cauces en la microcuenca

A: es el área de la microcuenca.

La densidad del drenaje, refleja la influencia de la topografía, geología, suelos, cobertura en la cuenca y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento en la cuenca y su respuesta a los eventos de precipitación

6.1.2. Caracterización morfométrica: La morfométricas describe las características de la forma de la cuenca que inciden en del comportamiento de caudales

Los índices analizados fueron los siguientes:

- Coeficiente de compacidad de Gravelius.
- Índice de alargamiento
- Factor de Forma
- Índice de asimetría
- Longitud del cauce principal (LC)
- Altura media

- Curva Hipsométrica
- Pendiente Media del Cauce (Pm)
- Pendiente Media (S) de la Cuenca
- Tiempos de Concentración (Tc)

En el anexo 1 se presenta con más detalle la descripción de cada uno de estos parámetros y las fórmulas utilizadas para su cálculo dentro de esta investigación.

6.1.3. Caracterización climática: Para realizar la caracterización climática de la cuenca, se utilizó el raster del departamento Norte de Santander, que obedece a la interpolación de datos de las estaciones que se encuentran distribuidas en territorio y otras cercanas al departamento.

Una vez seleccionadas las estaciones se analizan los registros de los siguientes parámetros:

- Temperatura: media mensual y anual
- Precipitación: media mensual y anual.
- Evaporación: A partir de temperatura y precipitación.

La clasificación climática de un territorio consiste en dividirlos de acuerdo a características de homogeneidad y a los parámetros climáticos como precipitación y temperatura. De las metodologías existentes para el caso de la microcuenca La Lejía se escogió la clasificación de Caldas y el modelo climático de Lang. En el documento de anexos se describe con más detalles estas metodologías.

6.2 COBERTURA DEL SUELO

Para construir la cobertura del suelo se utilizó como insumo una imagen de satélite del sensor RapidEye con resolución espacial de 5 metros de diciembre de 2016, la imagen según su proveedor es idónea para escala 1:12000 en parte plana y 15000 en partes de mayor pendiente. Por esta razón se realizó una malla de puntos de comprobación en campo, además con la ayuda de personal del Parque Nacional Natural Tamá, se obtuvo información sobre actividad agropecuaria en la parte más intervenida de la microcuenca lo que permite garantizar una interpretación acorde con la escala exigida, es decir la obtención de cartografía a escala 1:10.000 para los planes de manejo ambientales de microcuencas.

6.3 BALANCE HÍDRICO

EL balance hídrico es una herramienta para cuantificar la oferta hídrica en una cuenca, está basado en las entradas y salidas del sistema con respecto al tiempo y a los diferentes elementos presentes en el ciclo hidrológico, se representa en la siguiente ecuación:

$$P - ETR - Esc - Inf \pm \Delta S + Q_i = 0 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm) (evaporación + transpiración)

Esc: Escorrentía (mm)

Inf: Infiltración

ΔS : Almacenamiento

Q_i : Caudal de entrada

En el anexo ** se describe con más detalle cada uno de los parámetros a analizar para el cálculo del balance hídrico.

6.3.1 Estimación del caudal medio anual: El cálculo del caudal medio anual se realizó por medio de la ecuación 3.

$$Q_m = 3.17 \times 10^{-8} * A_c * P_e \quad \text{Ec. 3}$$

Donde

A_c : Área de la cuenca (m²).

P_e : Precipitación efectiva de la cuenca (m).

ETR: Evapotranspiración real media anual de la cuenca (m).

Q_m : Caudal medio anual (m³/s).

Para la anterior ecuación fue necesario espacializar los valores de precipitación los valores de precipitación media anual para la microcuenca, usando los datos de las estaciones más cercanas ya que en el área no hay ninguna estación.

La ETR se explica en el capítulo de anexos y se genera de acuerdo a los valores de temperatura dados por las estaciones cercanas al área de la microcuenca, primeramente con estos valores, se especializo la temperatura para obtener un promedio en el área.

La escorrentía total u oferta hídrica total disponible, se calculó con el balance hídrico en una escala anual. Para tal fin se utilizaron software de sistemas de información geográfica para que por medio de un algebra de mapas se genere el valor para la zona de la microcuenca.

6.4 CALCULO DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIALES

6.4.1 Oferta Hídrica: En lo que refiere a la oferta hídrica de agua, se hace necesario contemplar los conceptos de oferta hídrica total superficial y oferta hídrica disponible.

El Estudio Nacional del Agua -ENA (IDEAM, 2010) define la oferta hídrica total como el volumen de agua que escurre por la superficie integrando de los sistemas de drenaje superficial. En otras palabras, el volumen de agua que no se infiltra ni se evapora y que por tanto se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lenticos.

La oferta hídrica superficial disponible se define como el volumen de agua resultante de sustraer de la oferta hídrica superficial total el denominado caudal ambiental, es decir, volumen requerido para el sostenimiento del ecosistema y del sistema fluvial y en cierta medida el caudal mínimo para los usuarios (IDEAM, 2010)

Por lo anterior, el cálculo de la oferta hídrica superficial disponible precisa el cálculo inicial de la oferta hídrica superficial total y del caudal ambiental. El cálculo de oferta hídrica superficial total puede ser realizado por revisión de series históricas de estaciones, cuando están son suficientes en el área de estudio, por aplicación de un ejercicio de modelamiento hidrológico o por aplicación de la ecuación de balance hídrico. En el caso de la microcuenca La Lejía no se cuenta con ninguna estación de medición del nivel de agua que permita tener registros suficientes espacial y temporalmente del caudal del cauce principal ni de sus tributarios de manera que

ninguna de las dos primeras metodologías de cálculo es posible. La aplicación de la ecuación de balance hídrico que conlleva a la estimación de un rendimiento hídrico (escorrentía) y posterior estimación del caudal medio anual de la microcuenca es la forma más adecuada para obtener la oferta ante un área con alta escasez de datos.

En lo que respecta al cálculo del caudal ambiental, al no existir información de caudales diarios multianual que permita construir la curva de duración de caudales medios diarios para la microcuenca, se realizó el cálculo a partir de la información de caudales de la estación limnigráfica Peña de los Micos localizada sobre el Río Margua y se estableció un factor de proporcionalidad de acuerdo con la relación entre el área de la microcuenca la Lejía y el área aferente a la estación Peña de los Micos.

El caudal ambiental a partir de la curva de duración de caudales (en este caso se dispone de curva de duración de caudales de la estación Peña de los Micos) se calculó encontrando en esta curva el caudal (m³/S) correspondiente al percentil Q75 o Q85, es decir los caudales que son excedidos el 75% y el 85% de días durante el año, los cuales se asocian con el caudal base del río que debe ser mantenido para sostenimiento del ecosistema y para cubrir la dotación mínima de usuarios durante épocas de estiaje.

6.4.2 Demanda Hídrica: La demanda hídrica de acuerdo con la definición presentada en el ENA de 2010 (IDEAM, 2010) corresponde al agua extraída del sistema natural para suplir los diferentes tipos de consumo como el consumo humano, el productivo y el necesario para el equilibrio de los ecosistemas. La demanda hídrica comprende no solamente el uso que implica sustracción o consumo del agua sino también la retención temporal de la misma. En este sentido

la demanda corresponde a la sumatoria de los consumos para los diferentes usos más el agua extraída no consumida. La ecuación inicial que define la demanda es la siguiente:

$$Dh = \sum c + Aenc \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

Dh: demanda hídrica

C: consumos sectorial, doméstico y de ecosistemas

Aenc: agua extraída no consumida sectorial y doméstico

Las demandas sectoriales presentes en la microcuenca de la quebrada La Lejía corresponden a las de consumo humano o doméstico y al sector primario (agrícola y pecuario), pues no se realiza actividad industrial, minero-energética, acuícola de importancia ni de prestación de servicios por lo cual la ecuación simplificada es la relacionada como ecuación 5:

$$Dh = Ch + Csp + Aenc \quad \text{Ec. 5}$$

Dh: demanda hídrica

Ch: consumo humano

Csp: consumo sector primario

Aenc: agua extraída no consumida sectorial y doméstico

El cálculo de cada una de las demandas sectoriales se realizó siguiendo las directrices del IDEAM que fueron implementadas para el Estudio Nacional del Agua de 2010, y su metodología se presenta en el anexo No. 1.

Luego de calculada la demanda hídrica de todos los sectores y obtenida la sumatoria, es decir, la demanda hídrica total, esta fue contrastada con la demanda hídrica correspondiente a la sumatoria de los caudales de concesión otorgados por CORPONOR en el área de estudio.

6.4.3 Índice de escasez: La ecuación 6, presentada a continuación fue la empleada para el cálculo del índice de escasez, la cual establece la relación entre la Oferta Hídrica Neta Superficial y la Demanda Total de Agua ejercida en el desarrollo de actividades económicas y sociales.

$$I_E = \frac{D}{O_n} * 100 \quad \text{Ec. 6.}$$

Donde

I_E : Índice de escasez (%)

D : Demanda de agua (m_3)

O_n : Oferta hídrica superficial neta (m_3)

La escasez se registra cuando la cantidad de agua tomada de las fuentes existentes es tan grande que se suscitan conflictos entre el abastecimiento de agua para las necesidades humanas, las ecosistémicas, las de los sistemas de producción y las de las demandas potenciales (IDEAM, 2004)

Tabla 7, *Umbrales críticos de presión. Índice de escasez*

Categoría	% de Oferta Hídrica Utilizada	Interpretación
ALTO	>40%	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda.
MEDIO	20 – 40%	Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y 40 % de la oferta disponible es necesario en ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda.
MODERADO	10 – 20%	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo. Se debe interpretar un mejor sistema de monitoreo y seguimiento del agua y desarrollar proyecciones del recurso a corto y largo plazo.
BAJO	<10%	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico en términos de calidad.

(IDEAM, 2004)

6.5 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Para la caracterización y evaluación de la calidad del agua en la microcuenca La Lejía, se establecieron varias etapas entre ellas:

- La selección de puntos de monitoreo
- la identificación de parámetros a evaluar
- la realización de las campañas de monitoreo
- el análisis de muestra in situ y ex situ,
- El procesamiento de datos y análisis de los resultados, y
- El cálculo de los índices de calidad y de contaminación.

En el desarrollo de la fase de caracterización y evaluación de la calidad del agua, se utilizó La metodología establecida en la Guía para monitoreo de Vertimientos, aguas superficiales y subterráneas emitida por el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (IDEAM, 2010)

6.5.1. Selección de puntos de monitoreo: Para la selección de los puntos de monitoreo Se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos: principales fuentes hídricas Tributarias, demanda del recurso, vertimientos de residuos, descarga a otra fuente hídrica, entre otros. En la figura 7 se presenta una ilustración de la red hídrica utilizada para la selección de los puntos a monitorear.

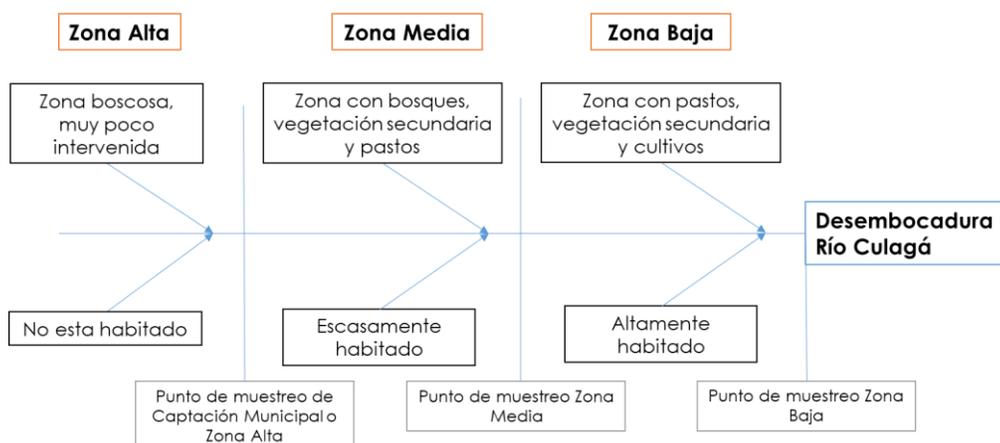


Figura 7, Diagrama de ubicación de los puntos de muestreo

La figura anterior muestra los criterios tenidos en cuenta para la selección de los puntos de monitoreo, donde se describe las características de las coberturas y el grado de intervención socioeconómica de la zona.

En la tabla No. 8, se presenta la descripción de los sitios de mayor interés para el desarrollo de las campañas de monitoreo; donde se realiza un análisis de su importancia, su acceso, y coordenadas geográficas.

Tabla 8, *Sitios evaluados para la selección de los puntos a monitorear*

SITIO DE MUESTREO Y AFORO	LATITUD	LONGITUD	IMPORTANCIA	ACCESO
Captación municipal (Zona alta)	7° 20' 44,88"	- 72,466442	Recoge las aguas de la zona deshabitada de la microcuenca. Punto de gran importancia ya que en esta zona se encuentra la captación más importante que tiene la quebrada, la cual abastece el acueducto municipal del Municipio de Toledo, La brigada del Ejército Nacional y la estación de Ecopetrol.	Difícil acceso, vía vereda Toledito y posterior caminata hasta el punto de 2 km aproximadamente
Zona Media	7° 20' 15,47"	- 72,473900	Recoge las aguas de la zona con baja intervención del área de la microcuenca. Es una zona de quietamiento de las aguas y donde se presentan algunos vertimientos especialmente de la vereda Toledito. Fue seleccionado para evaluar el comportamiento de la calidad en este tramo. De igual manera se quiso analizar el comportamiento de la calidad del agua con característica	Acceso 1,2 Km caminando, desde el fin de la vía vereda Toledito.

SITIO DE MUESTREO Y AFORO	LATITUD	LONGITUD	IMPORTANCIA	ACCESO
			geomorfológicamente, muy diferente.	
Zona Baja	7° 20' 00,26"	- 72,492894	Recoge los vertimientos de la parte más habitada y en donde se presenta mayor actividad económica de la microcuenca. Así mismo es un punto de interés, para conocer el estado de las aguas antes de la confluencia con río Culagá,	Fácil Acceso, cerca al puente del cruce de la Quebrada la Lejía con la vía Chinácota - Toledo
El Venado. (solo Aforos)	7° 20' 54,9"	- 72,465694	Se obtiene el dato de caudal de un importante afluente de la Quebrada.	Caminata de unos 600 metros sin camino desde el punto captación municipal
Antes de la unión con el venado. (solo Aforos)	7° 20' 52,8"	- 72,466222	Se obtiene el dato de caudal de otro afluente de la Quebrada.	Caminata de unos 800 metros sin camino desde el punto El venado

De acuerdo a lo anterior, finalmente se escogieron cinco puntos para realizar monitoreo de caudal y tres para hacer la caracterización físico-química y bacteriológica del agua (Tabla 9).

Tabla 9, *Coordenadas Puntos de muestreo seleccionados. Quebrada La Lejía*

Sitio de muestreo y aforo	Latitud	Longitud
Captación Municipal	7° 20' 44,88"	72° 27' 59,15"
Zona media	7° 20' 15,47"	72° 28' 26,04"
Zona baja.	7° 20' 00,26"	72° 29' 34,42"
Venado (Solo Aforo)	7° 20' 54,9"	72° 27' 56,5"
Antes de la unión venado (Solo Aforo)	7° 20' 52,8"	72° 27' 58,4"

Estos puntos de monitoreo se escogieron para obtener resultados de la calidad del agua antes de la captación municipal. También para conocer la calidad después de pasar por la zona más habitada.

En la figura 8 se muestra la ubicación de los puntos de vertimientos.

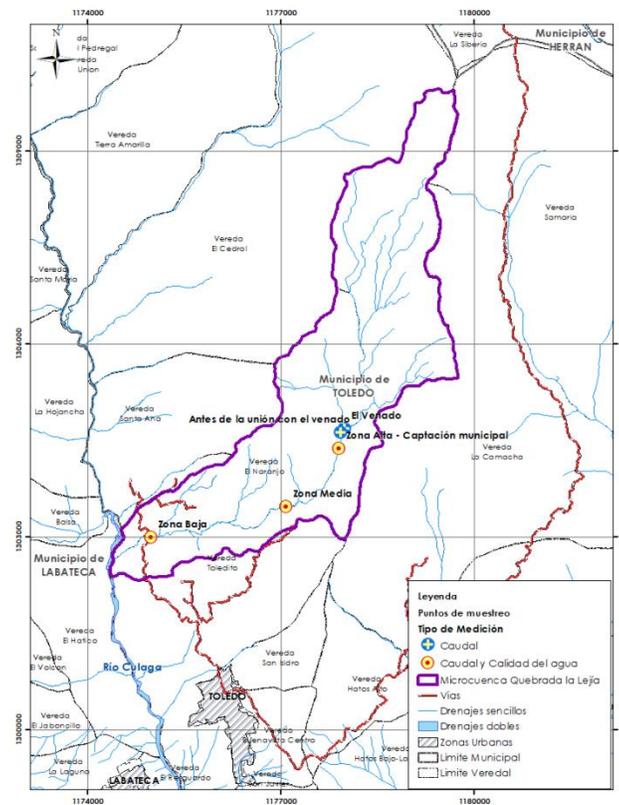


Figura 8, Ubicación de los puntos de monitoreo seleccionados para el estudio.

La medición de caudal se realizó con un molinete tipo OTT C2 205102 con hélice 2/199077; que mide la velocidad en un único punto, de igual manera se estableció una metodología la cual consiste en dividir la sección transversal en anchos de igual tamaño, teniendo especial cuidado de que por cada una de estos anchos no circule un caudal superior al 10% del total circulado en el tramo evaluado.

6.5.2. Toma de muestras: La toma de muestras se realizó de acuerdo a la metodología del IDEAM, para muestreo compuesto, la cual consiste en la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados.

Se realizaron mediciones en dos periodos diferentes de tiempo con el fin de contar con una mayor cantidad de datos que permitiera una mejor interpretación sobre la calidad de la fuente hídrica.

Las fechas en que se realizaron los monitoreos de calidad fueron los siguientes:

- Primer monitoreo: 22 de noviembre de 2016
- Segundo monitoreo: 23 de mayo de 2017

La duración del monitoreo fue de 12 horas seguidas, en los tres puntos descritos anteriormente. Durante la jornada se recolectaron muestras para análisis de parámetros físico químico y microbiológico. La recolección de las muestras para análisis físico químicos se realizó cada hora hasta completar el periodo de la muestra compuesta correspondiente a 6 horas de la siguiente manera: 6 am- 11: am y de 12:00 m a 5 Pm.

Las muestras fueron almacenadas en recipientes de 6 litros, y enviadas al laboratorio ambiental de Corponor para su respectivo análisis. Durante el periodo de recolección las muestras fueron preservadas a una temperatura inferior a los 4°C. Estas muestras fueron rotuladas y contaron con su respectiva hoja de custodia solicitada por el laboratorio.

La recolección de las muestras para análisis de los parámetros microbiológicos, fue realizada en recipientes de vidrio estériles rotulados previamente. La muestra fue tomada de manera puntual, en un tramo medio de la quebrada. El procedimiento consistió en introducir el frasco

cerrado dentro de la fuente hídrica, el mismo sentido del flujo, para luego ser abierto dentro del agua y cerrado una vez se encontrara totalmente lleno. Estas muestras fueron preservadas a temperaturas inferiores a 4°C y enviadas al laboratorio para su respectivo análisis.

En la siguiente tabla se presentan los parámetros evaluados para el desarrollo de esta investigación.

Tabla 10, *Parámetros evaluados durante la caracterización de las aguas.*

PARAMETROS IN SITU	PARAMETROS EXSITU	
	Microbiológicos	Físico químicos
pH	Coliformes totales	Sólidos suspendidos totales
Temperatura		Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
Turbidez	Coliformes Fecales	Demanda Química de Oxígeno (DQO)
Conductividad		Nitrógeno total
OD		Fosforo total

6.5.3 Cálculo de la carga contaminante: La carga contaminante es una unidad de medida que indica la masa de contaminación por unidad de tiempo vertida a una fuente hídrica. El resultado es obtenido al multiplicar el caudal promedio por la concentración de la sustancia contaminante, por el factor de conversión de unidades y por el tiempo diario de vertimiento.

La fórmula utilizada para este cálculo es la presentada en la ecuación No. 7:

$$(Concentración) * (Caudal) = Carga$$

$$Kg/l * l/d = Kg/d \quad Ec. 7$$

6.5.4 Índice de calidad del agua superficial (ICAS): El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo **j** en el tiempo **t** (IDEAM, 2010).

La fórmula para el cálculo del indicador es la que se presenta en la ecuación 7.

$$ICAS_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n w_i * I_{ikjt} \right) \quad Ec. 8$$

Dónde:

ICA_{njt} : Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua **j** en el tiempo **t**, evaluado con base en **n** variables.

W_i : Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad **i**.

I_{ikjt} : Es el valor calculado de la variable **i** (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo **j**, registrado durante la medición realizada en el trimestre **k**, del período de tiempo **t**.

n: Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; **n** es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

6.5.5 Índice de alteración potencial de calidad del agua (IACAL): El Índice de alteración potencial de la calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la razón existente entre la carga de contaminante que se estima recibe una subzona hidrográfica **j** en un período de tiempo **t** y la oferta hídrica superficial, para año medio y año seco, de esta misma subzona hidrográfica estimada a partir de una serie de tiempo, el indicador refleja la alteración potencial de la calidad de los sistemas hídricos superficiales en una subzona hidrográfica dada. Permite reconocer zonas susceptibles a los tipos de contaminación estimada en la medida que la categoría de amenaza es calificada como alta y muy alta en un intervalo de tiempo específico. (IDEAM, 2013).

En la ecuación 8 se presenta las fórmula de cálculo del indicador para año medio.

Para año medio

$$IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^n catiacal_{ijt-añomed}}{n} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde

$IACAL_{jt-añomed}$: Es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una microcuenca **j** durante el período de tiempo **t**, evaluado para una oferta hídrica propia de un año medio.

$Catiacal_{ijt-añomed}$: Es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la

variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la microcuenca j durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un año medio.

n : Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

Para el cálculo del índice de alteración potencial de la calidad del agua para año seco se presenta en la ecuación 9

$$IACAL_{jt-año seco} = \frac{\sum_{i=1}^n catiacal_{ijt-año seco}}{n} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde

$IACAL_{jt-año seco}$: Es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una microcuenca j durante el período de tiempo t , evaluado para una oferta hídrica propia de un año seco.

$Catiacal_{ijt-año seco}$: Es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la microcuenca j durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un año seco.

n : Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

7. RESULTADOS

7.1 DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA Y CARACTERIZACION HIDROLOGICA

La Microcuenca la Lejía fue delimitada cartográficamente, a escala 1:10.000, utilizando una imagen de satélite del sensor Rapidey, año 2016 con resolución de 5 metros; lo cual generó un importante insumo para la obtención de información, que permitiera el análisis detallado y a mayor precisión de las características hidrológicas, geomorfológicas y de cobertura de la tierra.

De acuerdo a lo anterior se pudo establecer que el área de la microcuenca es de 1.358 has, representando el 0,86% del territorio municipal, cuenta con 19 drenajes permanentes y su cauce principal tiene una longitud de 9,27 km.

La microcuenca nace y desemboca dentro de la jurisdicción de Toledo, y representa un ecosistema de gran importancia para el desarrollo socioeconómico de la localidad, ya que de esta depende el suministro de agua para el total de la población urbana.

Con la aplicación de Arc Hydro Tools en ArcGis, se definieron cada uno de los drenajes de la microcuenca, especificando como se presenta en la tabla No. 11, la longitud de cada uno de ellos.

Tabla 11, *Drenajes microcuenca Quebrada la Lejía*

Nombre del drenaje	Longitud (Km)
Quebrada La Lejía	9,273
Quebrada Aguablanca	2,995
Quebrada El Remanso	1,701
Quebrada El Venado	1,485
Tributario Q. Aguablanca 01	0,814
Tributario Q. Aguablanca 02	1,241
Tributario Q. Aguablanca 03	0,609
Tributario Q. Aguablanca 04	0,636
Tributario Q. El Remanso 01	0,557
Tributario Q. El Remanso 02	0,330
Tributario Q. El Venado	0,928
Tributario Q. La Lejía 01	2,126
Tributario Q. La Lejía 02	0,964
Tributario Q. La Lejía 03	0,890
Tributario Q. La Lejía 04	1,395
Tributario Q. La Lejía 05	0,931
Tributario Q. La Lejía 06	0,419
Tributario Q. La Lejía 07	1,553
Tributario Q. La Lejía 08	0,463
Total	29,309

En total la microcuenca la Lejía está compuesta por 19 drenajes con una longitud total de 29,3 km, los cuales tributan al cauce principal, que desemboca a su vez, en el río Culagá, perteneciente a la subzona hidrográfica del río Chitagá.

En la figura 9, se muestra el resultado del relieve y la forma que tiene la microcuenca, donde se puede evidenciar que cerca del 80% del territorio presente altas pendientes que varían desde los 2100 a los 3000 msnm; las zonas de color rojizo son las consideradas de alta montaña con incidencia en la zona de paramo; así mismo la figura muestra cada una de los drenajes existentes y la forma que estos presentan.

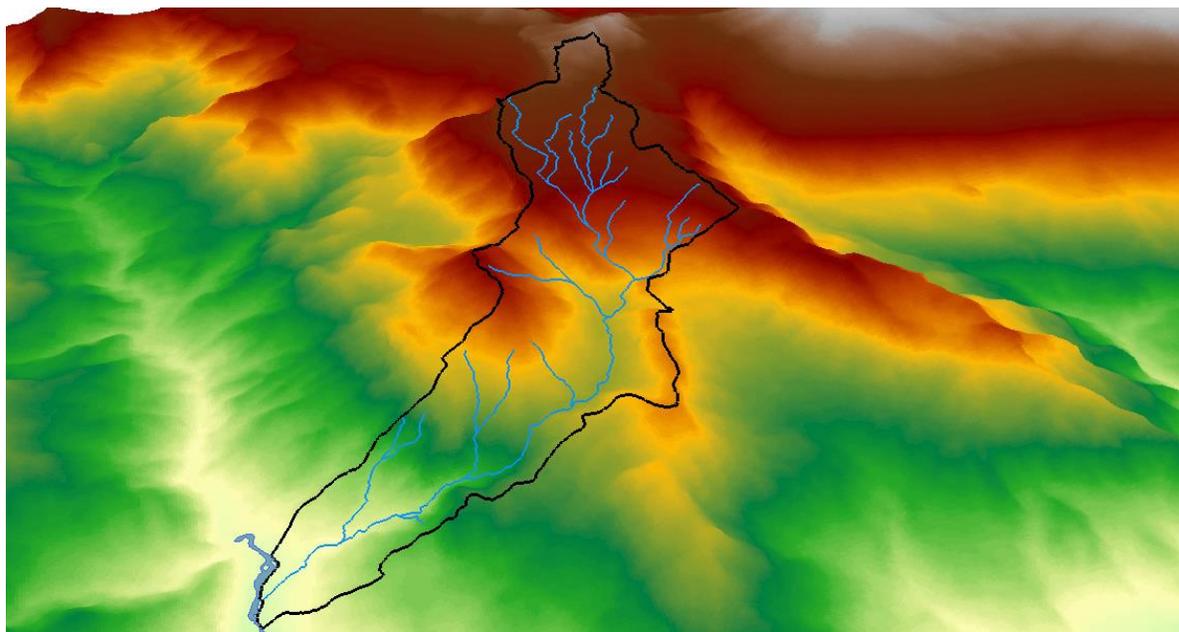


Figura 9, Delimitación microcuenca Quebrada la Lejía

7.1.1. Patrón de drenaje: La microcuenca Quebrada la Lejía cuenta con un patrón de drenaje de carácter de pluma o pinnado. Es decir, su drenaje es dendrítico modificado con cantidad de tributarios cortos, debido que los afluentes son fuertemente paralelos unos a otros. Su nombre se atribuye por el parecido que presenta con las formas de las ramas de los pinos. Se generan cuando se tienen litologías de moderada permeabilidad, pendientes moderadas a altas, y laderas bajas. En la siguiente figura se muestra el patrón de drenaje de la microcuenca, donde se ilustra la forma que toma la red hídrica de acuerdo a la geomorfología del terreno.

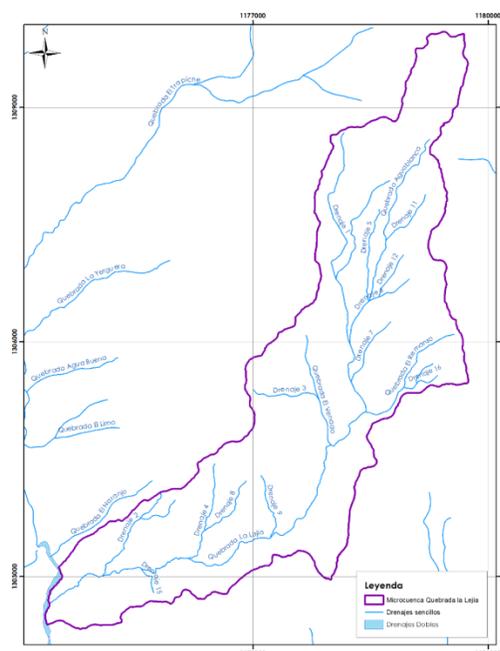


Figura 10, Patrón de drenaje pinnado microcuenca la Lejía

7.1.2 Densidad de drenaje: Tal como se mencionó en el capítulo 5, la densidad del drenaje, es la cantidad de afluentes que surten al cauce principal. Este parámetro relaciona los cursos de agua expresados en Km, con el área total del microcuenca expresada en Km²; para ello se utilizó la ecuación 1 descrita en ese capítulo. La siguiente tabla muestra categorías y clasificación del drenaje de acuerdo a los resultados.

Tabla 12, *Categorías y clasificación densidad de drenaje*

Densidad de drenaje		
1	2	3
0,1 – 1,8	1,81 – 3,6	Mayor a 3,61
Baja	Moderada	Alta

(CORTOLIMA, 2008)

Este es un índice importante, puesto que refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, en la cuenca hidrográfica, y está relacionado con el tiempo de salida del

escurrimiento superficial de la cuenca; la densidad del drenaje de la microcuenca objeto de estudio es la siguiente:

Tabla 13, *Densidad de drenaje*

Nombre de la cuenca	Área (Km ²)	Longitud (Km)	Densidad de drenaje	Clasificación
Quebrada La Lejía	13,58	29,31	2,15	Moderada

Lo anterior refleja que la microcuenca es bien drenada, por tanto debería responder, de forma rápida, ante eventos de precipitación.

7.1.3 Morfometría: Las características morfométricas de la cuenca son los siguientes:

Tabla 14, *Parámetros iniciales*

Características morfométricas de la Microcuenca Quebrada la Lejía	
Longitud axial (Km)	8,988
Área(Km2)	13,589
Perímetro (Km)	24,645
Ancho máximo	2,849

7.1.4 Coeficiente de compacidad: En el coeficiente de compacidad de Gravelius el grado de aproximación de este a uno (1) indica que tan redonda es la cuenca, señalando la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua., Entre más bajo sea K_c , mayor será la concentración de agua, y entre mayor sea el K_c mayor será la irregularidad de la cuenca.

De acuerdo a lo anterior la microcuenca tienen un coeficiente de compacidad de 1,87 clasificada como de oval oblonga a rectangular oblonga, con tendencia baja a las crecidas, una pendiente de cauce principal alta y un valor muy bajo en la densidad de drenaje generando bajos volúmenes de escorrentía.

7.1.5 Longitud del cauce principal: La longitud del cauce principal de la Quebrada La Lejía es de **9,273 Km.**

7.1.6 Altura media: Con curvas de nivel creadas en el software Global Mapper (www.globalmapper.com/) a partir del DEM ALOS PARSAL de resolución 12,5 metros se obtuvo curvas de nivel cada 10 metros para toda el área de la cuenca, con estos datos se obtuvo el valor de la cota menor y la cota mayor del área de la cuenca, las cuales se presentan en la tabla No. 15.

Tabla 15, *Cota menor, mayor y media del área de la microcuenca*

Cota menor (m)	Cota mayor (m)	Cota media (m)
1510	1620	1565
1620	1730	1675
1730	1840	1785
1840	1950	1895
1950	2060	2005
2060	2170	2115
2170	2280	2225
2280	2390	2335
2390	2500	2445
2500	2610	2555
2610	2720	2665
2720	2830	2775
2830	2940	2885
2940	3050	2995

Para implementar el cálculo de la ecuación de elevación media se necesitan los factores calculados en la siguiente tabla.

Tabla 16, Factores cálculo elevación media

ai(m2)	Ci (m)	ai*ci(m3)
444340,70	1565	695393199,88
86739,53	1675	1435038716,45
469984,63	1785	838922560,01
556684,22	1895	1054916590,88
467701,14	2005	937740778,88
1452618,04	2115	3072287162,98
1708739,34	2225	3801945041,16
1435912,44	2335	3352855551,42
1266239,54	2445	3095955681,95
1098666,00	2555	2807091627,09
1281240,85	2665	3414506864,61
1392037,24	2775	3862903345,47
815792,93	2885	2353562594,22
342283,04	2995	1025137701,93

Elevación media de la microcuenca

$\sum (a_i * c_i) [Km_3]$	31748,257
$A [Km_2]$	13,589
$H [Km]$	2336,324

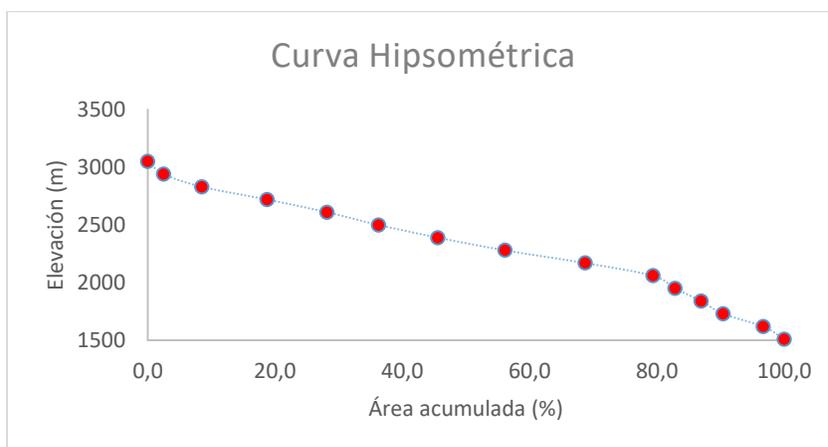
La elevación media de la cuenca sirve para determinar la curva hipsométrica. Este también se convierte en un criterio de la variación para conocer cuál es la escorrentía en el área y también es de ayuda para la caracterización climática de la zona.

7.1.7 Curva Hipsométrica

Tabla 17, Factores determinación curva hipsométrica

Cota menor	Área acumulada (m2)	Porcentaje
1510	13588979,64	100,00
1620	13144638,94	96,73
1730	12287899,41	90,43
1840	11817914,78	86,97
1950	11261230,57	82,87
2060	10793529,43	79,43
2170	9340911,385	68,74
2280	7632172,041	56,16
2390	6196259,599	45,60
2500	4930020,056	36,28
2610	3831354,057	28,19
2720	2550113,207	18,77
2830	1158075,966	8,52
2940	342283,0389	2,52
3050	0,00	0,00

En la siguiente gráfica se representa lo datos generados de la curva hipsométrica, la cual indica el porcentaje del área en la microcuenca de acuerdo a la elevación.



Gráfica 3, Curva Hipsométrica

De la curva anterior se puede concluir que la cuenca se encuentra en estado de equilibrio o fase de madurez, además sugiera que esta, en su gran mayoría (80%), se encuentra ubicada sobre una pendiente fuerte en terreno montañoso entre los 2100 y 3000 msnm; y un 20% sobre una pendiente moderada en terreno del valle del río Margua.

7.1.8 Pendiente media del cauce: Así mismo se realizó el cálculo de la pendiente media del cauce principal de la microcuenca, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla

Tabla 18, *Pendiente media del cauce de la cuenca*

Longitud del cauce principal (m)	Cota mayor – cota menor (m)	Pendiente media (m/m)	Pendiente media (%)
9273,22	1540	0,166	16,607

La pendiente media del cauce principal es de **16,6%** lo que refleja que la microcuenca se encuentra en un área cuya pendiente es fuerte.

7.1.9 Pendiente media (S) de la cuenca: La pendiente media relaciona la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo. Los resultados arrojan que la microcuenca La Lejía, tiene una pendiente media de 31,43% categorizada como muy fuerte; dado que la zona estudio se encuentra conformada por una zona montañoso, con pendientes que generalmente sobrepasan los 30 grados. Esta condición influye de manera directa en los procesos de escurrimientos, ya que al aumentar la pendiente del terreno, aumenta la velocidad del agua y se acortan los tiempos de concentración. (Mármol, 2006)

7.1.10 Tiempo de concentración: Para el cálculo del tiempo de concentración se utilizaron los siguientes datos:

LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (KM)	9,273
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA (%)	31,43
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN KIRPICH (H)	0,575

El tiempo de concentración hace referencia al tiempo que tarda una gota de agua en llegar desde el punto hidráulicamente más alejado a la desembocadura de la cuenca, el cual para la microcuenca de la Quebrada la Lejía, arroja un valor de 0,575 horas, es decir media Hora aproximadamente.

En la tabla siguiente, se presenta cada uno de los resultados obtenidos durante la caracterización morfométricas de la microcuenca

Tabla 19, *Resultados caracterización morfométricas de la cuenca.*

PARAMETRO	RESULTADO.
Coefficiente de compacidad de Gravelius	1,872; De oval oblonga a rectangular oblonga.
Índice de alargamiento	3,154; Muy alargada (MUA)
Factor de Forma	0,168. Muy Poco Achatada
Índice de asimetría	48,262 Índice de asimetría derecho AF_D ; 51,738 Índice de asimetría izquierdo AF_I
Longitud del cauce principal (LC)	9,273 Km.
Curva Hipsométrica	(80%), se encuentra ubicada sobre una pendiente fuerte en terreno montañoso entre los 2100 y 3000 msnm; y un 20% sobre una pendiente moderada en terreno del valle del rio Margua
Pendiente Media del Cauce (Pm)	16%, Pendiente fuerte.
Pendiente Media (S) de la Cuenca	31,43 % muy fuerte

Tiempos de Concentración
(Tc) Media hora aproximadamente.

7.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El clima es conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región, condicionado al estado medio de la atmósfera, determinado a lo largo de un período de tiempo de varias décadas (idealmente tres o más). Los principales elementos constituyentes del clima son: la radiación solar, que incide de forma fundamental en la temperatura, de la que se tiene en cuenta la máxima, la mínima y la temperatura media, así como la amplitud u oscilación térmica en distintos períodos de tiempo, la precipitación, de la que se registra su cantidad, naturaleza, persistencia e intensidad y su distribución estacional y los vientos, cuyas características se ven notablemente influenciadas por las oscilaciones térmicas.

A continuación, se realiza la identificación y descripción para el área de la microcuenca de las condiciones climáticas mensuales multianuales, de temperatura y precipitación.

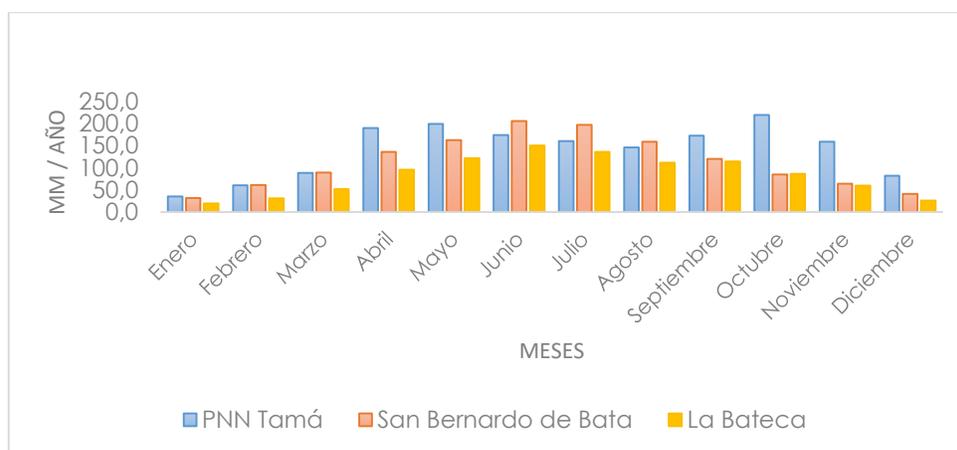
7.2.1 Precipitación: Para el cálculo de la precipitación se tuvieron en cuenta las estaciones pluviométricas más cercanas a la microcuenca la Lejía, las cuales son: (PNN Tamá, San Bernardo de Bata y Labateca,). La estación del PNN Tamá es climatológica por lo tanto sus datos fueron utilizados para el análisis de otros parámetros; estas estaciones son administradas por el Ideam y reportan los siguientes datos:

Tabla 20, Valores medios mensuales de precipitación

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
PNN Tamá (climatológica ordinaria)	35,3	60,7	88,0	189,5	198,5	173,5	160,3	145,5	172,4	219,1	158,5	81,9
San Bernardo de Bata (pluviométrica)	31,9	61,3	88,7	135,7	162,3	205,5	196,6	158,6	120,0	85,0	64,0	40,8
Labateca (pluviométrica)	19,3	31,3	51,9	95,2	121,6	149,7	135,5	111,3	113,9	86,6	59,6	25,8

La tabla anterior muestra los datos registrados en promedio para cada uno de los meses del año, de las estaciones analizadas para el desarrollo de esta investigación. Los datos reportados son los promedios para un periodo de análisis de 1980 al 2010 (30 años).

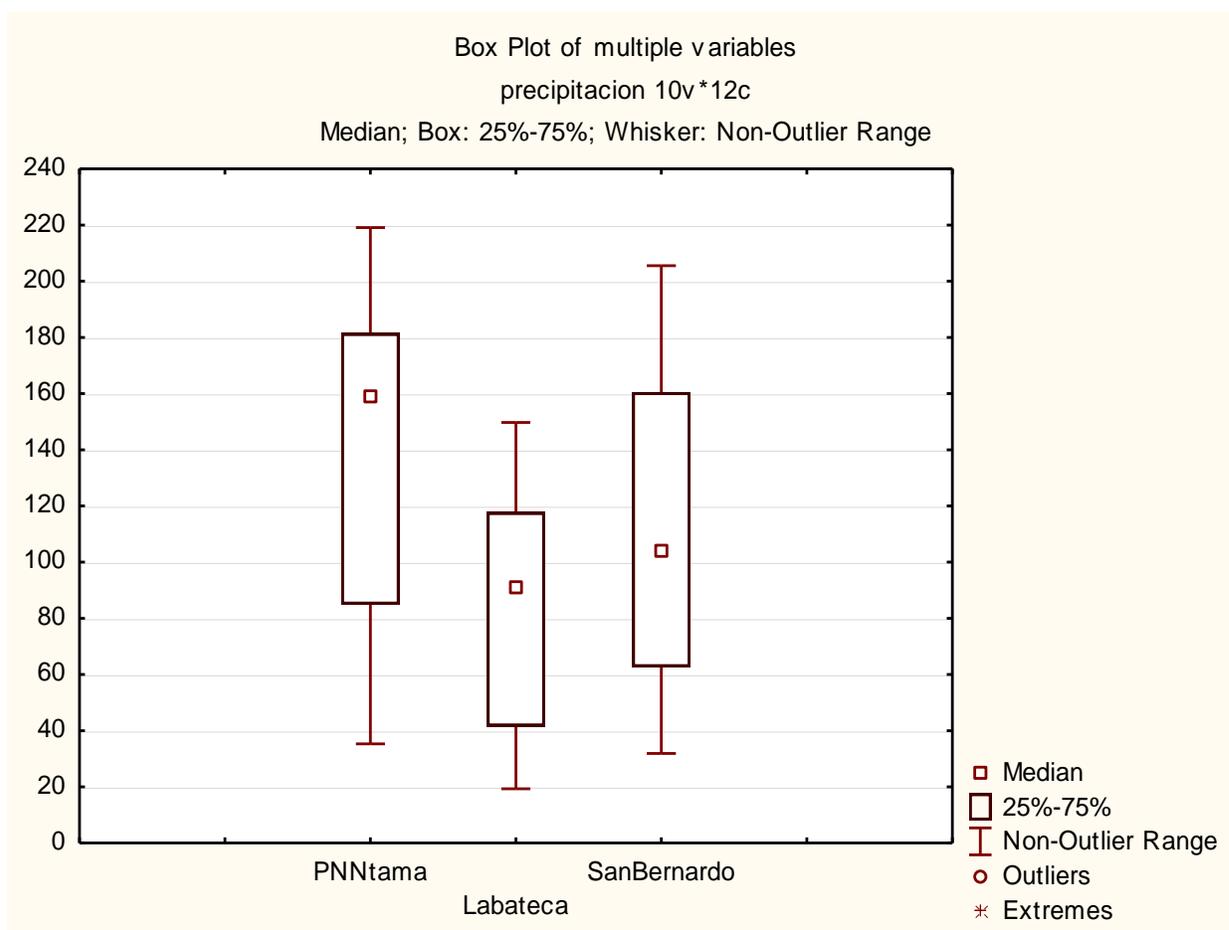
De igual manera y con el fin de visualizar el comportamiento de los resultados de la precipitación en cada una de las estaciones, se muestra en la gráfica 4, la representación de cada una de ellas.



Gráfica 4, Variación media mensual de precipitación en mm.

La gráfica anterior muestra la variación de la precipitación media mensual aplicable al área de influencia del proyecto, las cuales fueron tomadas de acuerdo a los datos generados de las estaciones pluviométricas, ubicados en las localidades de Labateca, San Bernardo de Bata del municipio de Toledo y del PNN Tamá.

Mediante la aplicación del software Statistica, se obtuvo la gráfica box Plots, con lo cual se observa el comportamiento de los datos mensuales en cada una de las estaciones de medición de precipitación, y la mediana de cada uno de estos



Gráfica 5, Box Plots del comportamiento de las precipitaciones en los tres puntos de monitoreo.

A continuación se presenta el mapa con la ubicación cartográfica de las estaciones de medición de la precipitación, utilizadas para el desarrollo de la investigación

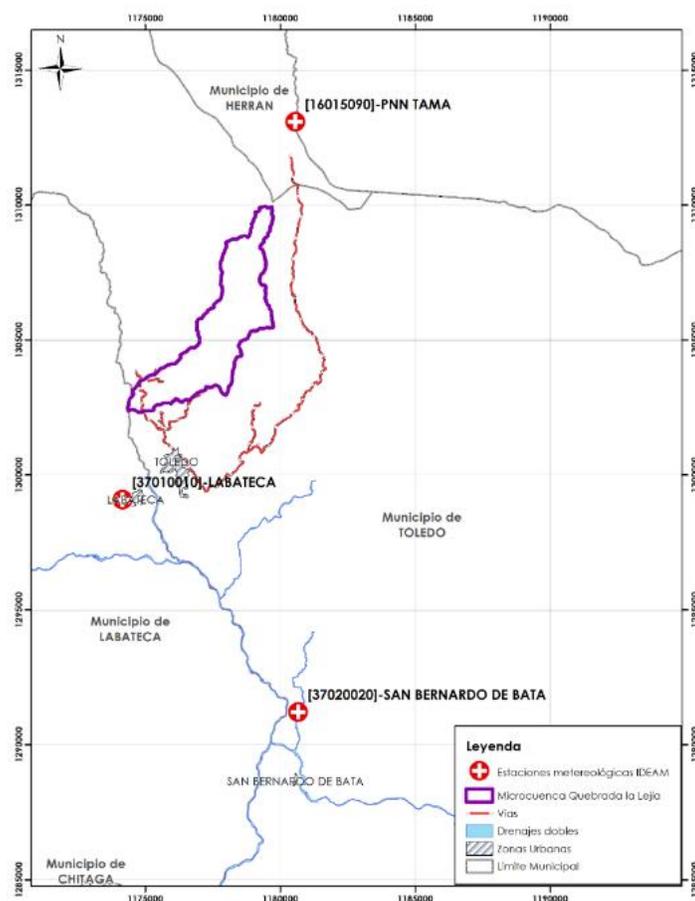


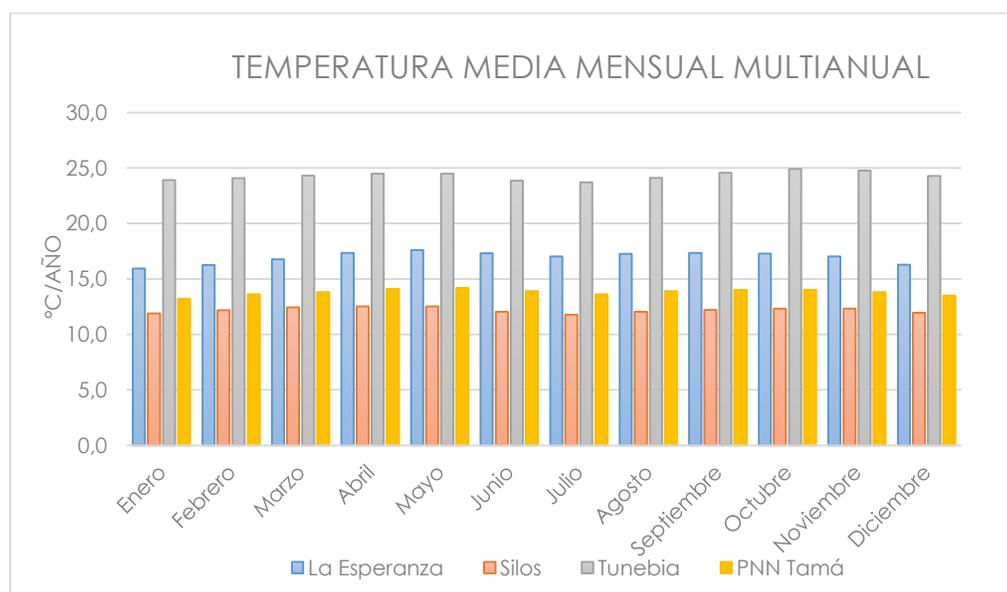
Figura 11, Estaciones meteorológicas del IDEAM, utilizadas para datos de precipitación.

7.2.2 Temperatura: La temperatura media corresponde al promedio de las temperaturas observadas en el curso de un intervalo de tiempo determinado, en tanto que las temperaturas extremas corresponden al valor más alto (máximo) y más bajo (mínimo), presentados en el transcurso de tal intervalo. Para el desarrollo del estudio, se utilizó las estaciones climatológicas, de la zona más cercana a la microcuenca, las cuales reportan los siguientes resultados:

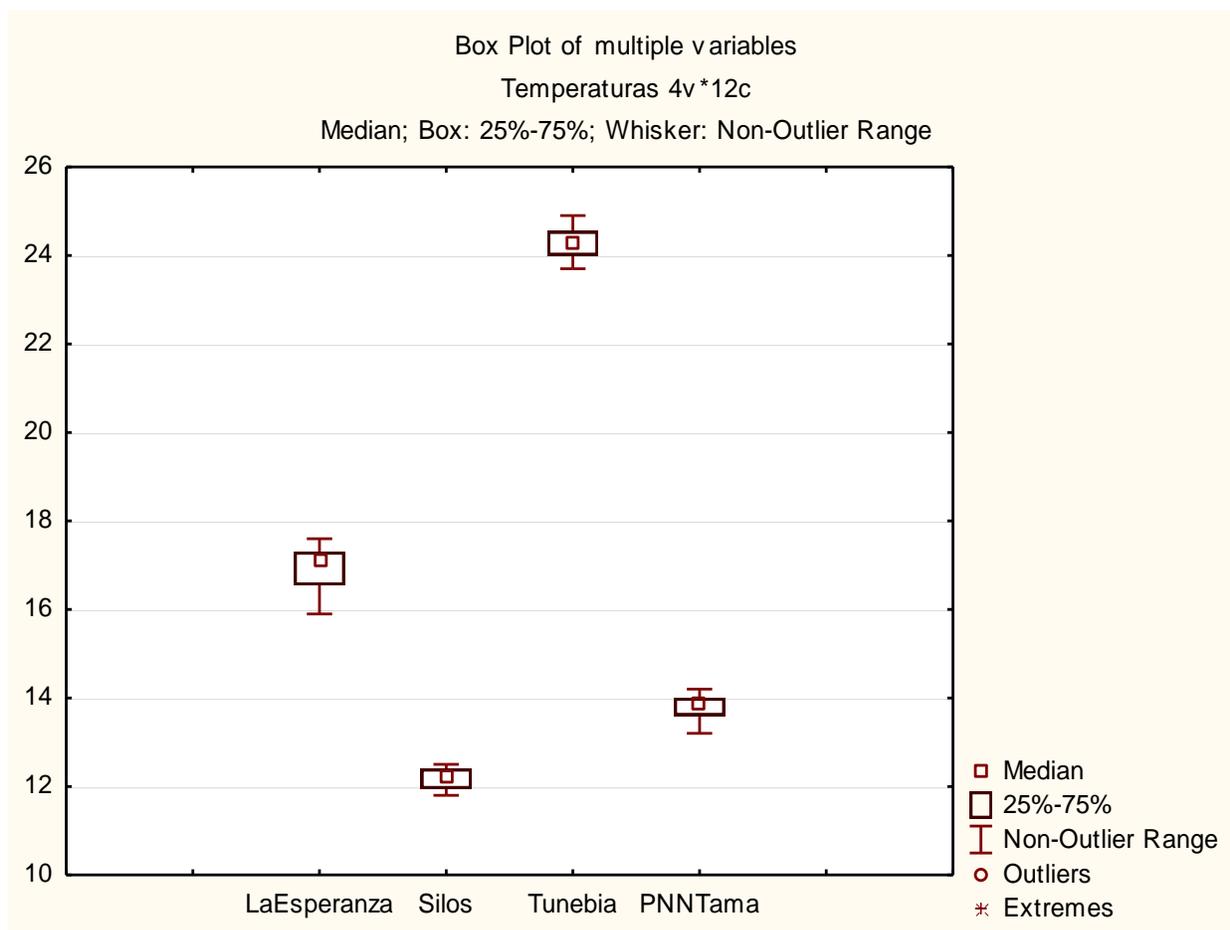
Tabla 21, *Valores medios mensuales de Temperatura*

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
La Esperanza	15,9	16,2	16,8	17,3	17,6	17,3	17,0	17,2	17,3	17,3	17,0	16,3
Silos	11,9	12,2	12,5	12,5	12,5	12,0	11,8	12,0	12,2	12,3	12,3	11,9
Tunebia	23,9	24,1	24,3	24,5	24,5	23,9	23,7	24,1	24,6	24,9	24,8	24,3
PNN Tamá	13,2	13,6	13,8	14,1	14,2	13,9	13,6	13,9	14	14	13,8	13,5

Para el análisis de la temperatura, se utilizó el raster del departamento que obedece a la interpolación de datos de las estaciones que se encuentran distribuidas en territorio de Norte de Santander y otras cercanas al departamento. La Grafica No. 6, muestra el comportamiento mensual de la temperatura reportada en cada una de las estaciones evaluadas.

Gráfica 6, *Variación media mensual de temperatura en °C.*

A continuación se presenta el Box Plot del comportamiento de la temperatura en las 4, estaciones, donde se puede apreciar las medias de cada uno de los punto evaluados.



Gráfica 7, *Box Plot de Temperatura*

La gráfica anterior muestra el comportamiento de la temperatura media mensual reportada por estaciones climatológicas ubicadas en las zonas más cercanas al área de estudio. Las cuales están ubicada en el Municipio de Ragonvalia llamada Estación La Esperanza; En el Municipio de Silos, en el Municipio de Herrán y la denominada Tunebia ubicada en el municipio de Cubará.

A continuación se presenta el mapa de ubicación de las estaciones climatológicas analizadas para el desarrollo de esta investigación.

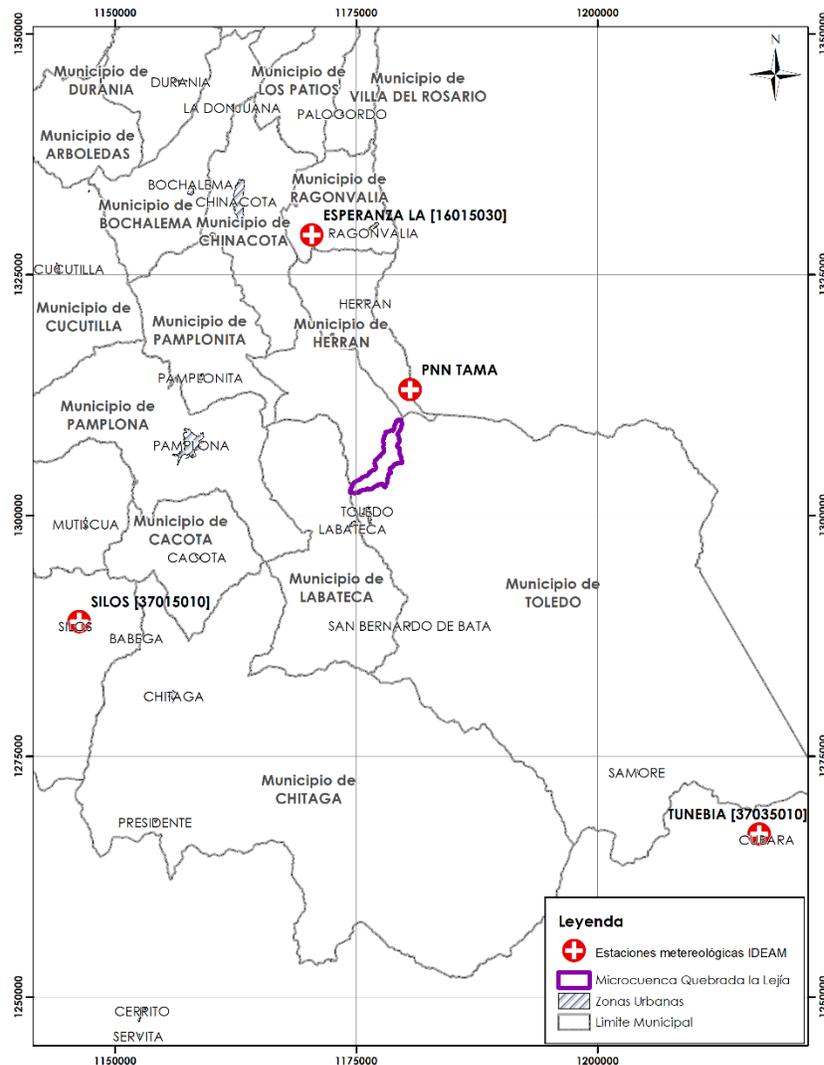


Figura 12, Estaciones meteorológicas del IDEAM, utilizadas para datos de temperatura.

7.2.3 Zonificación climática: Tal como se comentó en el capítulo 5, la zonificación climática fue realizada de acuerdo a la metodología Caldas y el modelo climático de Lang. Los resultados reportan que en el área de la microcuenca La Lejía, se encuentran cinco (5) tipos de clima, los cuales se presentan en la siguiente tabla

Tabla 22, Zonificación climática para el área de la microcuenca Quebrada la Lejía

No.	Tipo climático	Símbolo	Área (Ha)	Porcentaje %
1	Templado Semihúmedo	Tsh	202,35	14,89
2	Templado Semiárido	Tsa	52,40	3,86
3	Frio Semihúmedo	Fsh	592,02	43,55
4	Frio Húmedo	FH	509,85	37,51
5	Paramo Bajo Húmedo	PbH	2,68	0,20
Total área microcuenca Quebrada la Lejía			1359,30	

Los resultados obtenidos muestran que el 18,75% de la microcuenca se encuentra ubicada en el piso térmico Templado; y el 81,6%, en clima Frio, siendo este, el clima predominante en la microcuenca. La zona tiene un pequeño porcentaje en clima de paramo, representando 0,20% del total del área. El resultado de la zonificación climática se encuentra ilustrado en la figura 13, que se muestra a continuación.

Tabla 23, Resultados análisis de la cobertura de la Tierra

COBERTURA						NOM	ÁREA (ha)	% ÁREA
<i>1. Territorios artificializados</i>	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.2. Tejido urbano discontinuo				Tud	0,482	0,04
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados			Rv	3,633	0,27
	1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera	1.3.1.3. Explotación de carbón			Zem	0,515	0,04
<i>2. Territorios agrícolas</i>	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.2. Caña	2.2.1.2.2. Caña panelera		Cñp	3,703	0,27
		2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.2.2.2. Café	2.2.2.2.1. Café con sombrío		Cfs	24,655	1,81
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios				Pl	118,76	8,86
		2.3.2. Pastos arbolados				Pa	18,936	1,41
		2.3.3. Pastos enmalezados				Pe	14,042	1,05
<i>3. Bosques y áreas seminaturales</i>	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque Denso	3.1.1.1. Bosque Denso Alto	3.1.1.1.1. Bosque Denso Alto de Tierra Firme		Bdaf	763,92	56,98

		3.1.1.2. Bosque Denso Bajo	3.1.1.2.1. Bosque Denso Bajo de Tierra Firme	Bdbf	151,6 6	11,3 1	
		3.1.4. Bosque de Galería y ripario	3.1.4.2. Bosque ripario	Br	65,51 9	4,89	
3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arborescente	3.2.1 Herbazal	3.2.1.1. Herbazal denso	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme	3.2.1.1.1. 2. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	Hdn a	55,31 7	4,13
	3.2.1 Herbazal	3.2.1.2. Herbazal abierto	3.2.1.2.2. Herbazal Abierto Rocoso		Har	109,4 1	8,16
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición				Vst	28,32 5	2,11
	TOTAL ÁREA					1358, 9	100, 0

La cobertura que cuenta con mayor presencia en el área es la de Bosque denso alto de tierra firme con un porcentaje de 56,98%.

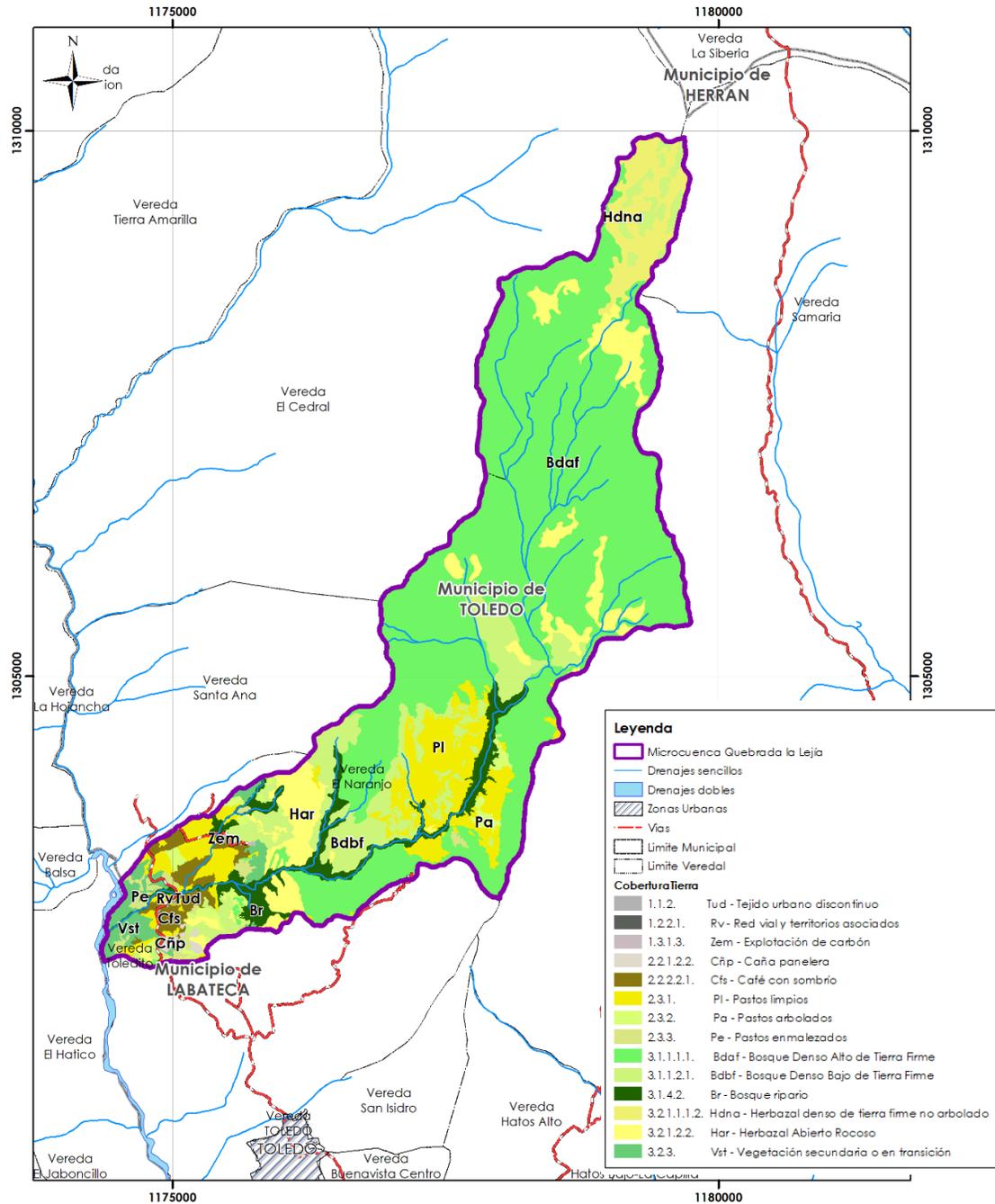


Figura 14, Cobertura de la tierra microcuenca Quebrada la Lejía.

En el anexo 3, se presenta una descripción de cada uno de los tipos de cobertura existentes en la microcuenca, la cual se acompaña con fotografías de apoyo, que permite reconocer el territorio en la zona. Esta información se obtuvo gracias a la verificación en campo de cada una de las

coberturas definidas por la metodología, e identificadas en las imágenes. La verificación en campo consistió en una importante fase, ya que permitió reducir errores en la interpretación, generando una mayor confiabilidad del trabajo realizado.

7.4 BALANCE HÍDRICO.

Tal como se mencionó en el capítulo de metodología, el balance hídrico es una herramienta para cuantificar la oferta hídrica en una cuenca, está basado en las entradas y salidas del sistema con respecto al tiempo, y a los diferentes elementos presentes en el ciclo hidrológico. La fórmula del balance hídrico se describe en capítulo 5, y es la relacionada como ecuación No. 2. La cual se presenta nuevamente para facilitar la interpretación de los resultados.

$$P - ETR - Esc - Inf \pm \Delta S + Q_i = 0 \quad \text{Ec.2}$$

Dónde:

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm) (evaporación + transpiración)

Esc: Escorrentía (mm)

Inf: Infiltración

ΔS : Almacenamiento

Q_i : Caudal de entrada

7.4.1 Precipitación: La precipitación para el Balance Hídrico calculó con de acuerdo al RASTER elaborado por CORPONOR con las estaciones del IDEAM y otras entidades que están

en el departamento y sus alrededores. Los resultados arrojan que en el área de la microcuenca la precipitación media anual es de **1288,02 mm**. En la figura siguiente se presenta el mapa de precipitación correspondiente a la zona de estudio.

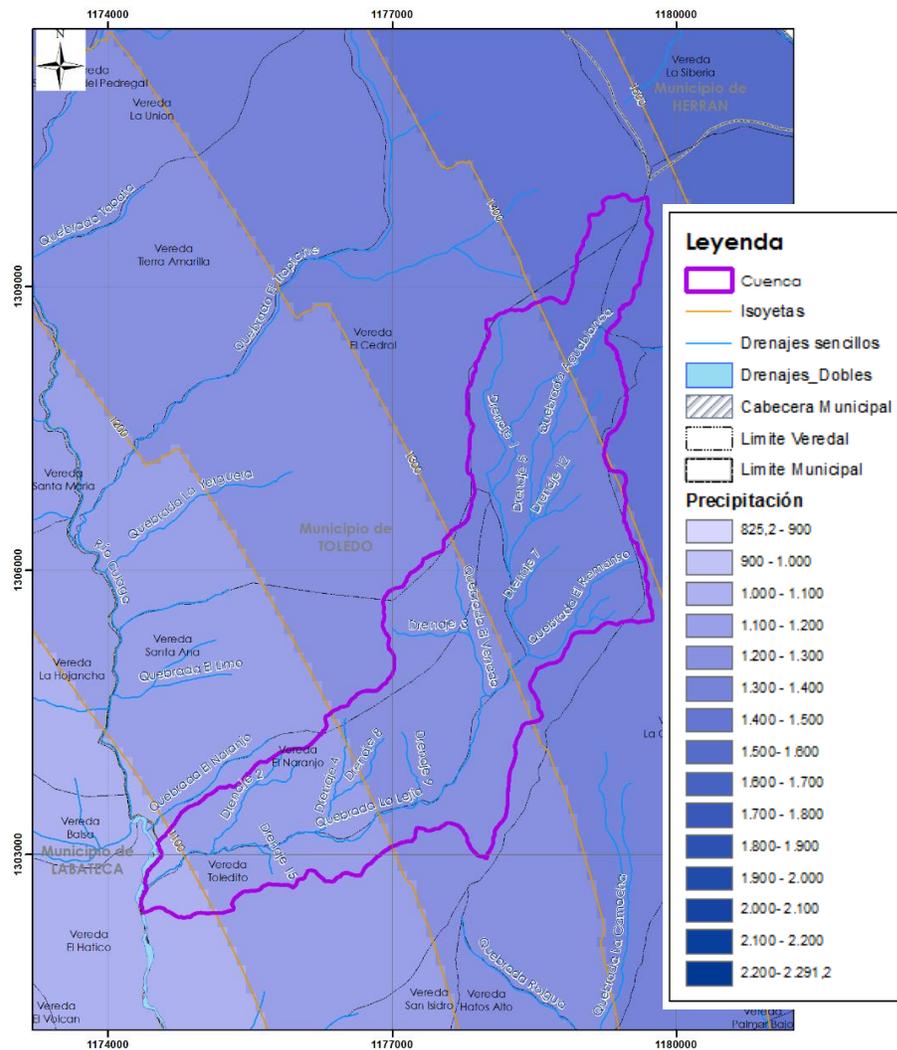


Figura 15, Mapa de Precipitación

7.4.2 Evapotranspiración: Al igual que la precipitación este parámetro fue calculado con el uso de la herramienta de ArcGis, y utilizando la fórmula de Turc, para el cálculo de la evapotranspiración en la zona de la microcuenca la Lejía. Esta fórmula tiene una importante

ventaja para este estudio; ya que debido a la poca disponibilidad de datos en la zona de estudio, esta permite el cálculo de la evapotranspiración utilizando como variables solo la temperatura y la precipitación.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{Ec. 11}$$

$$L = 300 + 25t + 0,05t^3$$

Donde

ETR: Evapotranspiración Real

P: Precipitación

t: temperatura

De acuerdo a lo anterior la evapotranspiración real media anual de la microcuenca es de **761,98 mm**, la cual se ilustra en la siguiente figura

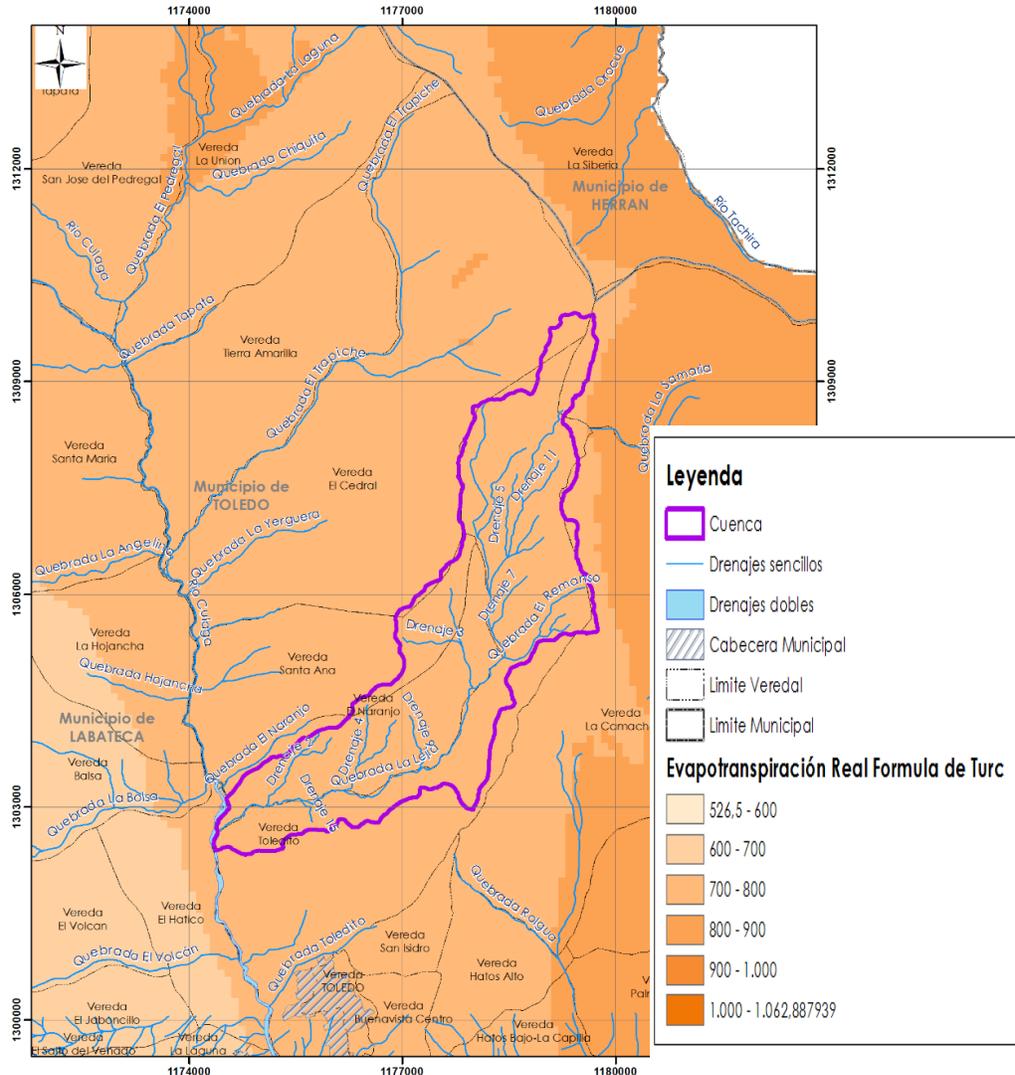


Figura 16, Mapa de Evapotranspiración

7.4.3 Escorrentía: El cálculo de la escorrentía fue realizado mediante la metodología del número de curva, la cual es un parámetro empírico que se calcula con el método desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) actualmente Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS) de los EEUU; y tiene en cuenta variables como cobertura, suelos y pendientes. Los resultados pueden analizarse de la siguiente manera: a mayor número de curva mayor escorrentía, y a menor número de curva menor escorrentía y por lo tanto mayor

infiltración. Este cálculo también puede ser utilizado para determinar los riesgos de erosión hídrica en una zona.

7.4.3.1 Número de curva: El número de curva se calculó tomando como variables el uso del suelo, la pendiente y la permeabilidad del suelo. Para la variable de uso del suelo se utilizó el insumo de cobertura del suelo, con la cual se equiparó a cada una de las categorías establecidas por la metodología Corine Land Cover. En el mapa siguiente se muestra las categorías de coberturas existentes en la zona de estudio.

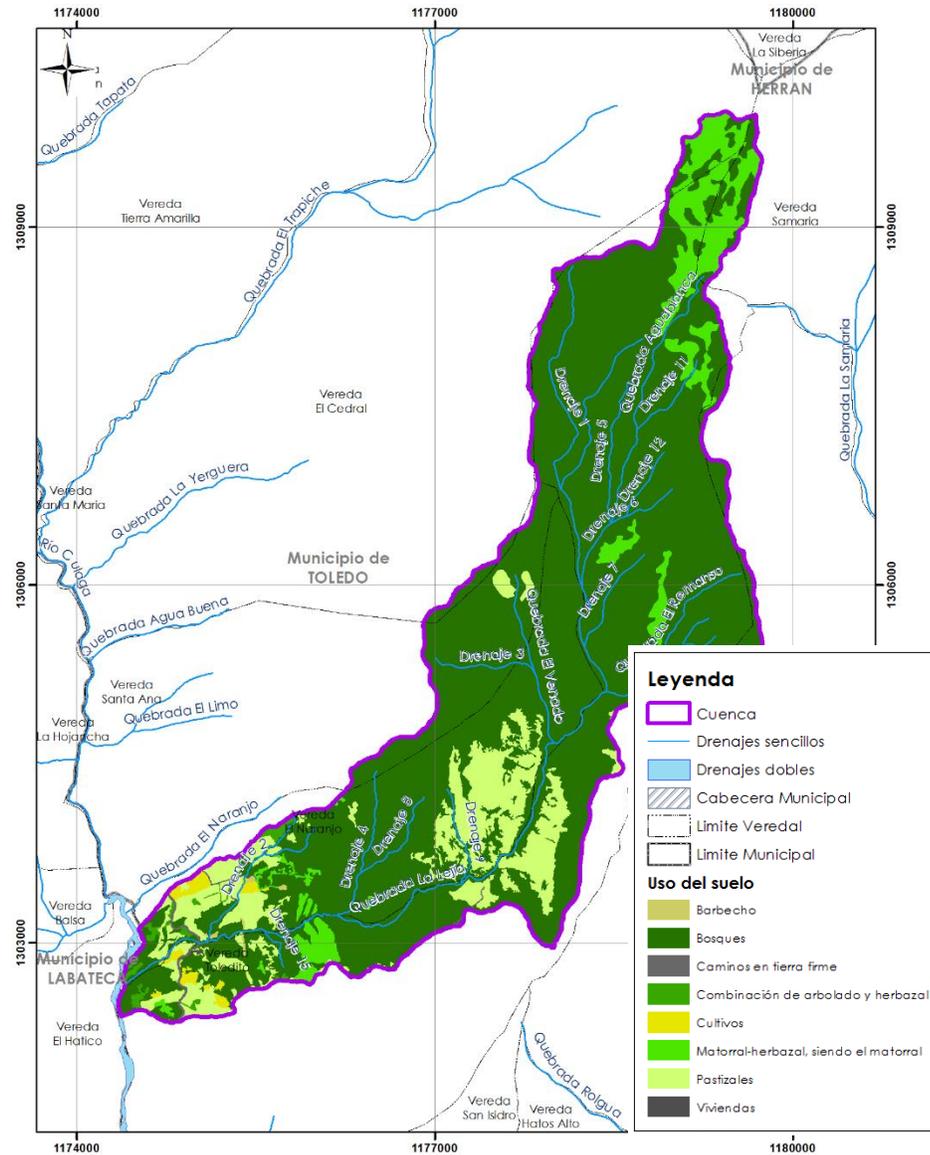


Figura 17, Mapa con usos del suelo para el número de curva

Para calcular la permeabilidad del suelo se utilizó el mapa de unidades de suelo de Colombia, para el departamento de Norte de Santander (IGAG, 1999); con este insumo se obtuvo las características de permeabilidad de cada unidad y se equiparó con las estipuladas por la metodología del número de curva, obteniendo así las unidades necesarias para este cálculo.

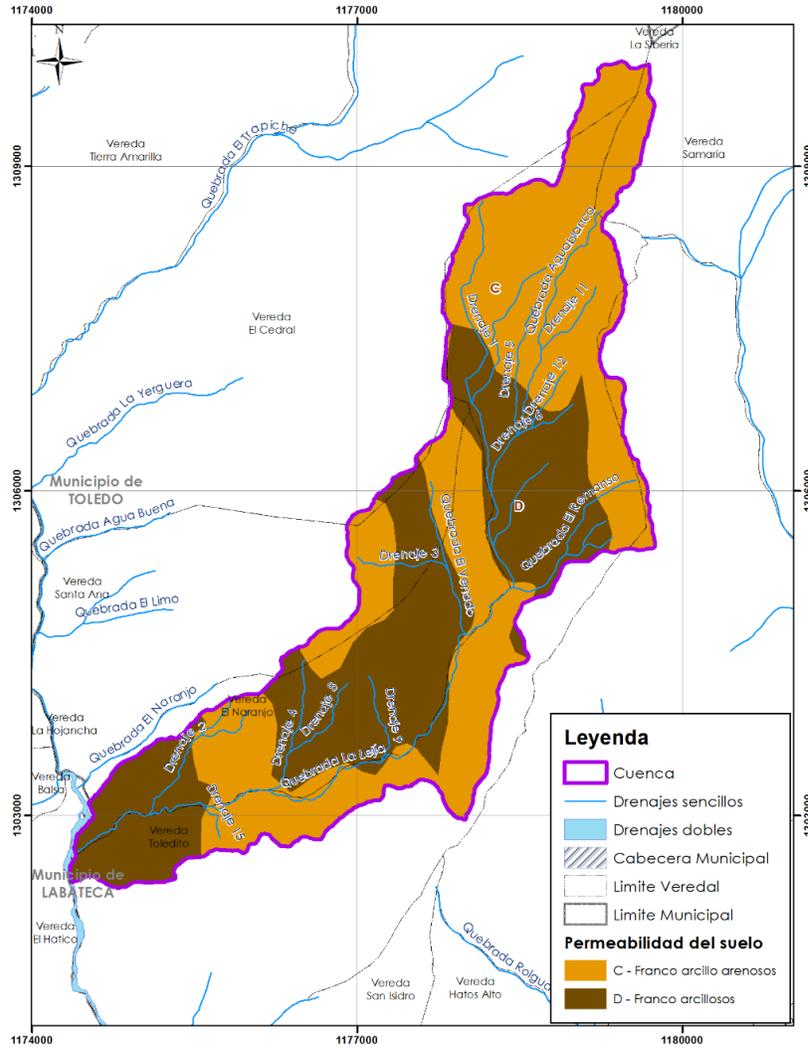


Figura 18, Mapa de permeabilidad del suelo para el número de curva

Las condiciones hidrológicas del suelo en la zona se determinaron de acuerdo a lo observado en las visitas de campo, en las que se evidenció las condiciones de uso en áreas de Bosque, Matorral-Herbazal Buenas, dadas la escasa actividad humana en la zona; en cuanto a los Pastizales y Cultivos de la zona si se evidenció especialmente en los cultivos condiciones hidrológicas pobres dada la alta tasa de actividad humana en estas áreas. En la siguiente tabla se muestra el cálculo de número de curva de acuerdo a cada uno de los parámetros evaluados.

Tabla 24, Cálculo del número de curva

USO DEL SUELO	PERMEABILIDAD DEL SUELO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA (CN)	
Barbecho	C	Franco arcillo - arenosos	91	
Barbecho	D	Franco arcillosos	94	
Bosques	C	Franco arcillo - arenosos	Buenas	63
Bosques	D	Franco arcillosos	Buenas	69
Caminos en tierra firme	C	Franco arcillo - arenosos		90
Caminos en tierra firme	D	Franco arcillosos		92
Combinación de arbolado y herbazal	C	Franco arcillo - arenosos	Buenas	72
Combinación de arbolado y herbazal	D	Franco arcillosos	Buenas	79
Cultivos	C	Franco arcillo - arenosos	Pobres	88
Cultivos	D	Franco arcillosos	Pobres	91
Matorral-herbazal, siendo el matorral	C	Franco arcillo - arenosos	Buenas	65
Matorral-herbazal, siendo el matorral	D	Franco arcillosos	Buenas	73
Pastizales	C	Franco arcillo - arenosos	Buenas	70
Pastizales	D	Franco arcillosos	Buenas	79
Viviendas	C	Franco arcillo - arenosos		82
Viviendas	D	Franco arcillosos		86

Los resultados obtenidos de la metodología de número de curva, fueron cartografiados y se presentan en la figura 19, donde se puede observar que en las zonas más transformadas presentan mayor número de curva indicando mayores niveles de escorrentía y por lo tanto menores valores de infiltración; con lo que se pudiera concluir de igual manera que esta zonas tendrán mayor riesgo de erosión hídrica; condición que debe ser tomada en cuenta, en las fases de formulación del plan de manejo ambiental de la microcuenca, de manera que se puedan implementar de

manera concertada con la comunidad técnicas adecuadas para el manejo de suelos y la productividad de la zona.

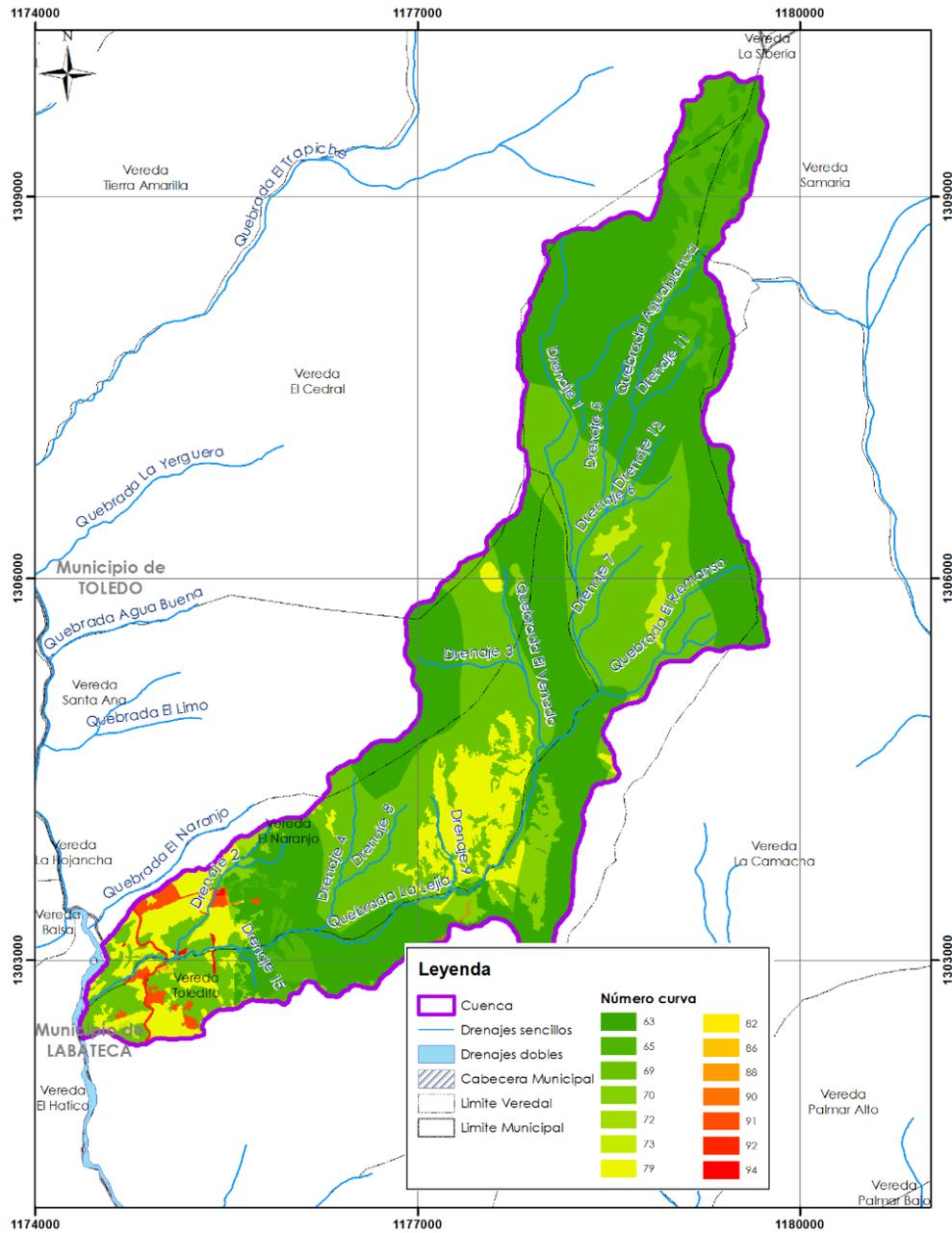


Figura 19, Mapa número de curva

7.4.4 Precipitación efectiva: El cálculo se obtuvo mediante el uso del software ArcGis, utilizando los Raster de Precipitación, Evapotranspiración y el resultante del número de curva. El valor generado en la zona de estudio reporta una Precipitación efectiva media de **401.26 mm**. A continuación se presenta el mapa con la cartografía generada para precipitación efectiva.

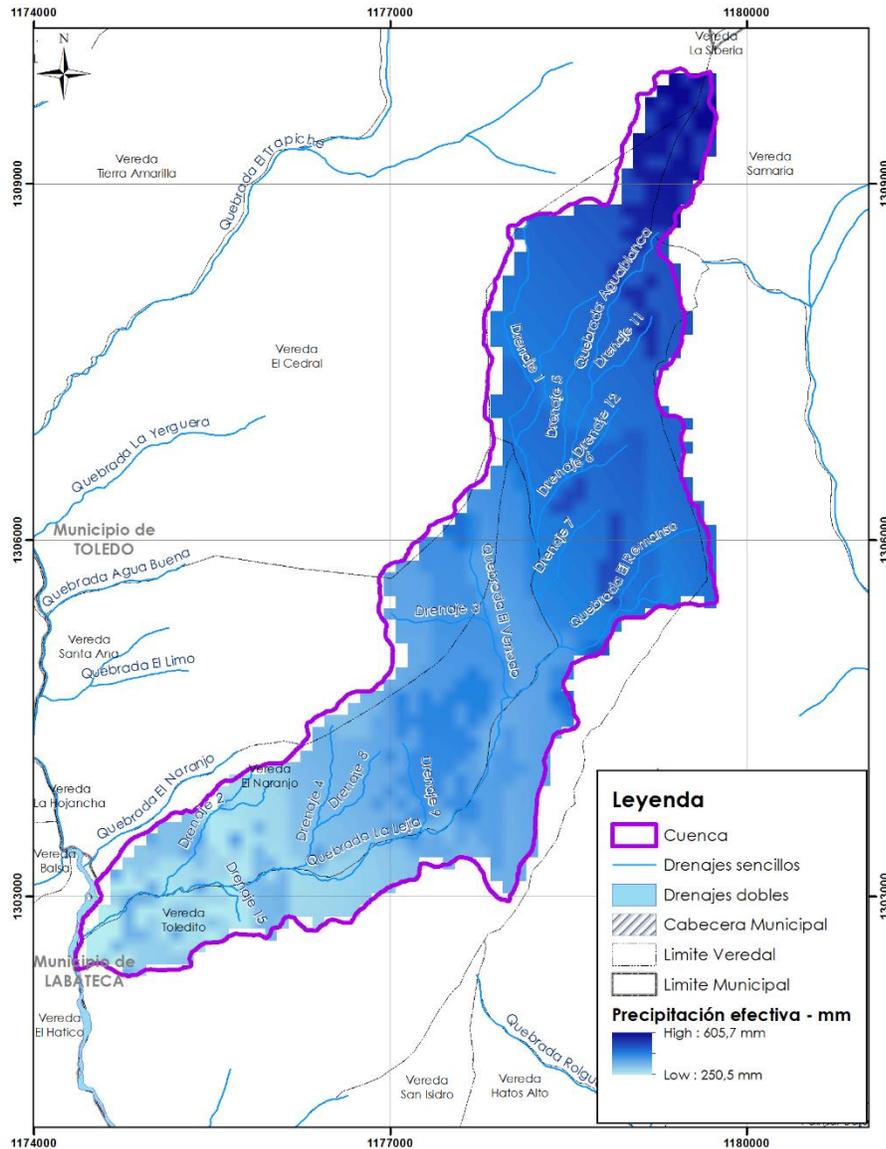


Figura 20, Mapa de Precipitación efectiva.

7.4.5 Infiltración: La infiltración en el área de estudio una vez determinada la precipitación efectiva es de **124,78 mm**, siendo esta la resta de la precipitación efectiva y la evapotranspiración a la Precipitación total del área.

7.4.6 Estimación del caudal medio anual: El cálculo del caudal medio anual se se realizó mediante la ecuación No. 3 que se describe en el capítulo de metodología, la cual relaciona la precipitación efectiva con el área de la cuenca en m².

$$Q_m = 3.17 \times 10^{-8} * A_c * P_e \quad Ec. 3$$

Dónde:

A_c: Área de la cuenca (m²).

P_e: Precipitación efectiva de la cuenca (m).

ETR: Evapotranspiración real media anual de la cuenca (m).

Q_m: Caudal medio anual (m³/s).

Una vez se obtuvo la Precipitación efectiva media para la zona, se efectuó el cálculo de la ecuación para la estimación del caudal medio anual que dejó como resultado del balance hídrico un **Q_m = 0,17285 m³/s** o el equivalente a **172,85 L/s**. Este resultado es la oferta teórica con la que cuenta la microcuenca de acuerdo a sus características climáticas, morfométrica y del uso del suelo que tiene el área en la que está ubicada.

7.5 OFERTA HÍDRICA

Para el cálculo de la oferta hídrica disponible se siguió la metodología que se describe a continuación:

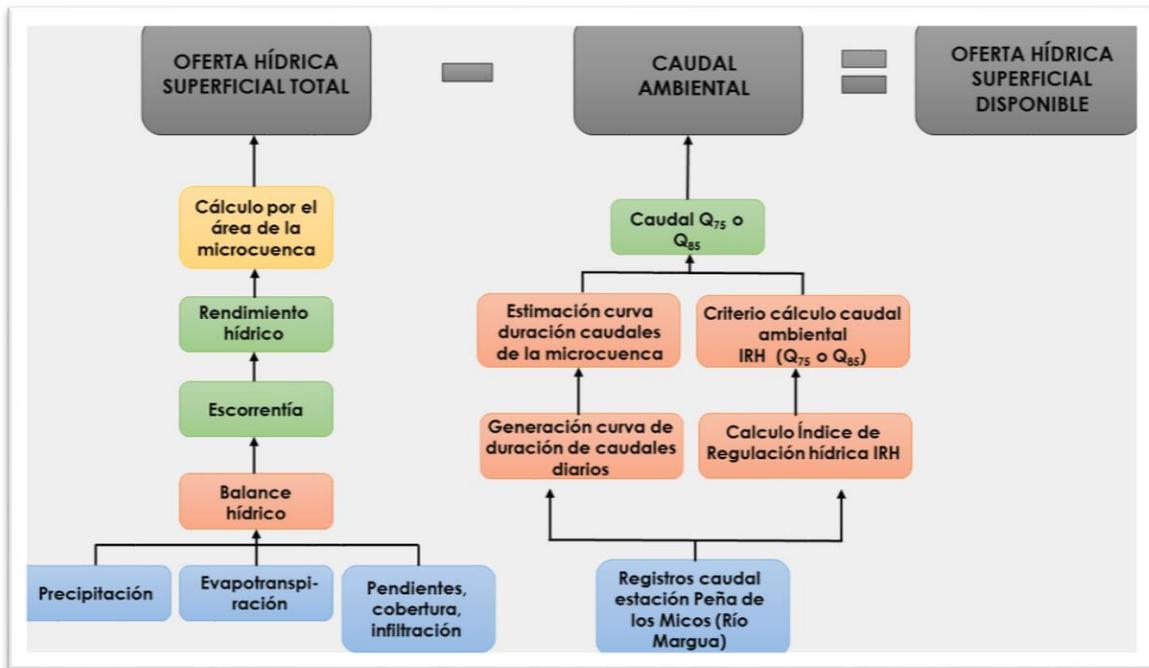


Figura 21, Metodología para el cálculo del caudal disponible

De acuerdo a los cálculos anteriores, se cuenta con la oferta hídrica superficial total la cual corresponde a **172,85 L/s**; sin embargo para conocer la oferta hídrica superficial disponible, es necesario conocer el caudal ecológico de la zona, la cual fue estimada mediante la metodología de curva de duración de caudales, que se explica a continuación. Es importante mencionar que debido a que en la microcuenca La Lejía no se cuenta con estaciones para la medición de caudal, fue necesario realizar el cálculo de la curva de duración de caudales para la estación Peña de los Micos,

ubicada sobre el río Culagá, área que presenta características climáticas similares; y de esta forma crear la curva sintética para la microcuenca La Lejía.

7.5.1 Curva de duración de caudal estación Peña de los micos (LIMNIMETRICA): La curva de duración de caudales nos indica el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos. Además la curva indica el valor del caudal en función de la frecuencia de su ocurrencia. Este cálculo se obtuvo utilizando los datos de la estación limnimétrica denominada Peña de los Micos ubicada sobre el río Culagá para los periodos 1984-2014.

Al obtener los datos de la estación por parte del IDEAM para los periodos entre 1984 al 2014, se evidencio la falta de algunos de estos datos por lo que se hizo una estimación de los datos faltantes.

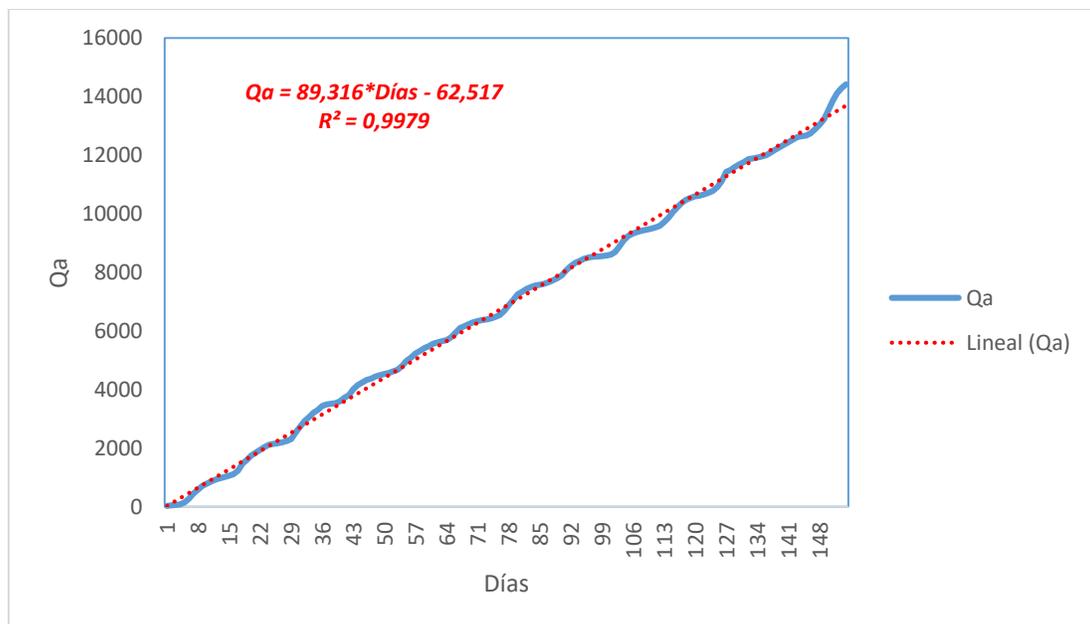
Para el presente análisis se usó el método estadístico de auto-correlación para el cual se debe considerar

1. Las series a utilizar deberán tener como mínimo 10 años de registro.
2. Los valores medios de un periodo mayor a 15 años deben calcularse solo cuando estén disponibles los datos de al menos un 87% de los años registrados, y siempre y cuando no falten los valores de más de 6 meses consecutivos.
3. Los valores anuales deberían calcularse como el promedio de los 12 valores normales mensuales, sin tener en cuenta la variabilidad en la duración de los meses.

Los datos de caudales por si solos no siguen una relación lineal, por lo tanto, el método trabaja con el caudal acumulado, mediante la siguiente metodología de auto correlación:

1. Identificar y resaltar la ubicación de los datos faltantes.
2. Graficar la variable total mensual acumulada en m³ contra la posición de los datos hasta una posición anterior al primer dato faltante y se añade la regresión lineal simple.
3. El dato faltante corresponde a la pendiente de la regresión lineal.
4. Llenada la casilla del procedimiento anterior, se repite el paso 3 hasta el siguiente dato faltante y se llena la casilla con la pendiente de la nueva gráfica.

La siguiente gráfica, obtenida para la estación Peña de los Micos, se puede observar la ecuación de regresión y el coeficiente de correlación de la regresión lineal que se presenta para hacer el llenado de datos faltantes para el mes de noviembre del año 1996.



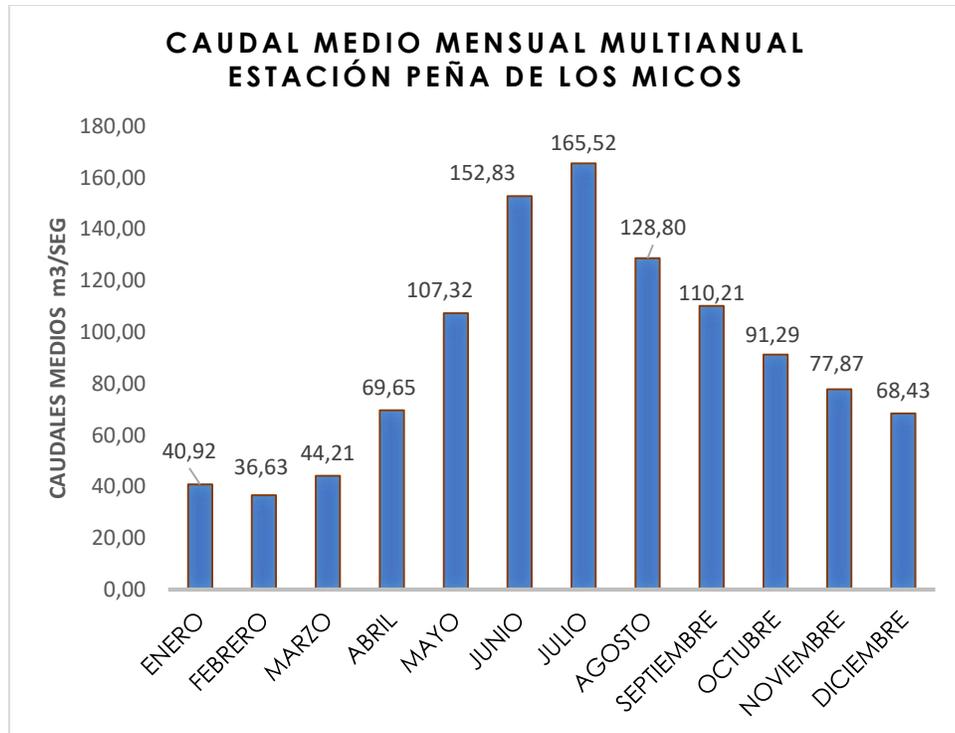
Gráfica 8, Estimación para datos faltantes de caudal para noviembre de 1996

Para el caso de estudio de la microcuenca Quebrada la Lejía se obtuvo datos de caudales medios, máximos y mínimos de la estación limnigráfica del IDEAM Peña de los Micos para cada mes entre los años 1984 – 2014, el cálculo de la curva de duración solo se tuvo en cuenta los registros medios de cada mes.

Tabla 25, Caudales medios, máximos y mínimos mensuales multianuales (m³/s). Peña de los Micos

CAUDAL m³/s			
	MEDIOS	MAXIMOS	MÍNIMOS
ENERO	40,92	177,20	14,19
FEBRERO	36,63	84,55	10,01
MARZO	44,21	149,20	12,11
ABRIL	69,65	158,40	15,72
MAYO	107,32	227,40	31,96
JUNIO	152,83	312,50	85,10
JULIO	165,52	330,00	94,04
AGOSTO	128,80	246,40	62,50
SEPTIEMBRE	110,21	175,80	67,40
OCTUBRE	91,29	175,30	58,58
NOVIEMBRE	77,87	105,00	42,20
DICIEMBRE	68,43	149,60	27,72
VR. ANUAL	95,33	330,00	10,01

Los resultados de los caudales máximos, medios y mínimos se observan en la siguiente gráfica, los cuales pueden ser analizados por cada uno de los meses del año.



Gráfica 9, Caudal medio mensual multianual estación Peña de los micos.

Como se puede observar en la gráfica anterior los mayores caudales se observan durante los meses de Junio, Julio y Agosto, y los menores durante los meses de enero, febrero y Marzo, esto se debe a que en esta zona se presenta un régimen de lluvias monomodal, diferente al resto del departamento donde se presentan dos ciclos de lluvias definidos.

La metodología para el cálculo de la curva de duración de caudales fue la siguiente:

1. Toma del registro histórico de caudales medios y organización de caudales de mayor a menor.
2. Se calcula la frecuencia absoluta para cada valor del registro
3. Se estimó la frecuencia relativa, con la siguiente ecuación:

$$fr_i = \frac{f_i}{n} * 100$$

Ec. 12

Dónde:

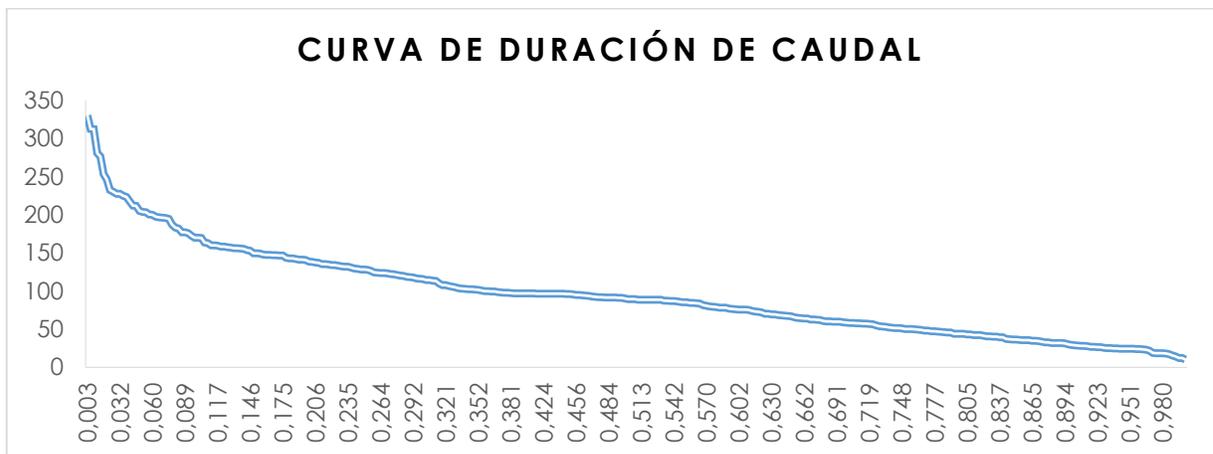
Fri: frecuencia relativa por registro

Fi: frecuencia absoluta por registro

N: número total de registro

4. Se procedió a hacer el acumulado de la frecuencia relativa.
5. Por último, se graficó la frecuencia relativa acumulada contra los caudales medios no repetidos.

En la siguiente grafica se ilustra la probabilidad de tiempo, de un caudal para ser igualado o excedido, lo denominado como curva de duración de caudales para la estación Peña de los Micos.



Gráfica 10, *Curva de duración de caudales mensuales, estación Peña de los Micos.*

La curva de duración de caudales para la estación Peña de Los Micos indica que el 3% del tiempo la zona tiene un caudal que excede los 250 m³/seg; y que el 85% del tiempo el río Culagá tiene un caudal por debajo de los 50m³/seg

7.5.2 Curva de duración de caudal microcuenca Quebrada la Lejía: Al obtener la curva de duración de caudales de la estación Peña de los micos ubicada a **16,381 Km** de la desembocadura de la microcuenca en el Río Culagá, se procedió a realizar el cálculo de duración de caudales de la quebrada la Lejía objeto de estudio.

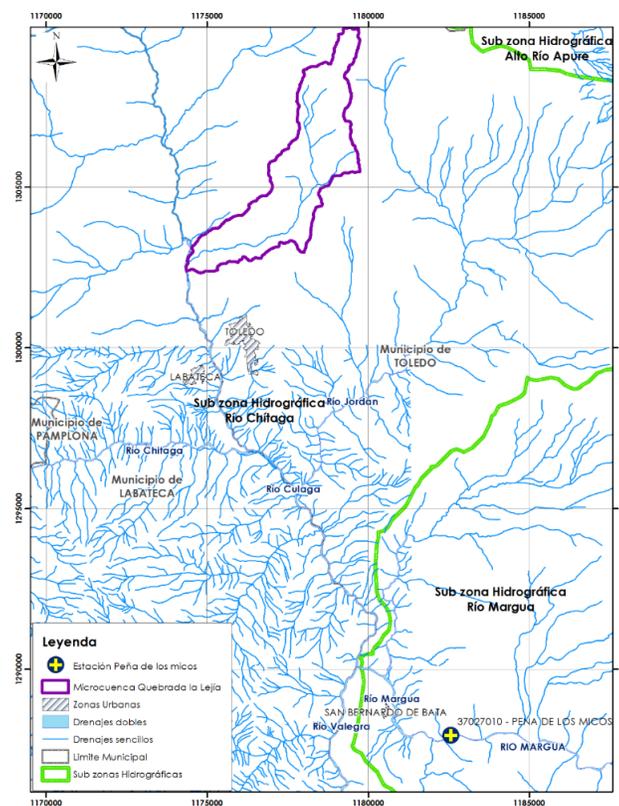


Figura 22, Ubicación de la estación peña de los micos con respecto a la microcuenca Quebrada la Lejía.

Para determinar el caudal ecológico de la microcuenca se obtuvo el caudal medio mensual multianual de la serie de datos de la estación peña de los micos entre los años 1984 al 2014. Al

caudal medio anual de cada uno de los meses, se le dividió el caudal medio mensual multianual, con el que se obtuvo un factor que nos muestra el comportamiento del caudal cada mes con respecto al promedio anual.

Tabla 26, *Calculo Factor Q/mensual*

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Factor Q/mensual
ENERO	40,92	0,43
FEBRERO	36,63	0,38
MARZO	44,21	0,46
ABRIL	69,65	0,73
MAYO	107,32	1,13
JUNIO	152,83	1,60
JULIO	165,52	1,74
AGOSTO	128,80	1,35
SEPTIEMBRE	110,21	1,16
OCTUBRE	91,29	0,96
NOVIEMBRE	77,87	0,82
DICIEMBRE	68,43	0,72
Vr. ANUAL	95,33	1

Al obtener el factor de comportamiento del caudal en cada uno de los meses, se multiplica al caudal medio anual que se obtuvo por el cálculo del balance hídrico de la microcuenca en m³/s que es del **0,17285**. Al efectuar esta operación se obtuvo los caudales medios mensuales multianuales para cada mes para la microcuenca Quebrada la Lejía.

Tabla 27, *Cálculo caudal medio mensual multianual microcuenca Quebrada la Lejía*

Q medio anual Quebrada la Lejía	Factor Q mensual	Q medio mensual multianual Quebrada la Lejía
	0,1729	ø
ENERO	0,43	0,074
FEBRERO	0,38	0,066
MARZO	0,46	0,080
ABRIL	0,73	0,126
MAYO	1,13	0,195

JUNIO	1,60	0,277
JULIO	1,74	0,300
AGOSTO	1,35	0,234
SEPTIEMBRE	1,16	0,200
OCTUBRE	0,96	0,166
NOVIEMBRE	0,82	0,141
DICIEMBRE	0,72	0,124

Para determinar la curva de duración de caudales de la Quebrada la Lejía se tomó los percentiles desde el Q_1 hasta el Q_{95} , de la curva de duración de caudal de la estación Peña de los micos, estos datos nuevamente se dividieron con el caudal medio anual obtenido de la estación y se obtuvo un factor del comportamiento del caudal con respecto a cada percentil.

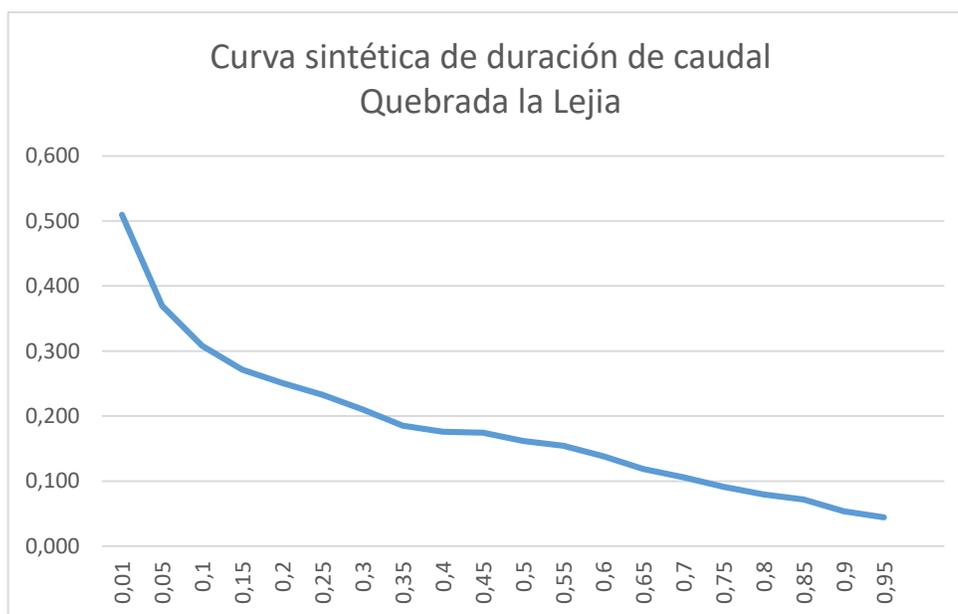
Una vez se obtuvo el factor de comportamiento del caudal, este fue multiplicado por el caudal medio anual de la microcuenca y con base a estos caudales se elaboró el gráfico de la curva de duración de caudales para la microcuenca Quebrada la Lejía.

Tabla 28, Cálculo para obtener la curva de duración de caudal Quebrada la Lejía

Percentil	<i>Q. curva de duración estación Peña de los micos (m^3/s)</i>	Factor de comportamiento	<i>Q. para la Quebrada La Lejia (m^3/s)</i>	Frecuencia acumulada	<i>Q. medio anual Peña de los micos (m^3/s)</i>	<i>Q. medio anual Quebrada La Lejia (m^3/s)</i>
Q_1	280,9	2,946	0,509	0,01	95,333	0,172
Q_5	203,8	2,138	0,370	0,05		
Q_{10}	169,8	1,781	0,308	0,1		
Q_{15}	149,5	1,568	0,271	0,15		
Q_{20}	138,3	1,451	0,251	0,2		
Q_{25}	128,2	1,345	0,232	0,25		
Q_{30}	115,9	1,216	0,210	0,3		
Q_{35}	102,1	1,071	0,185	0,35		

Q40	97,13	1,019	0,176	0,4
Q45	96,14	1,008	0,174	0,45
Q50	89,32	0,937	0,162	0,5
Q55	85,18	0,893	0,154	0,55
Q60	76,27	0,800	0,138	0,6
Q65	65,5	0,687	0,119	0,65
Q70	58,46	0,613	0,106	0,7
Q75	50,39	0,529	0,091	0,75
Q80	43,73	0,459	0,079	0,8
Q85	39,41	0,413	0,071	0,85
Q90	29,47	0,309	0,053	0,9
Q95	24,33	0,255	0,044	0,95

Con los datos obtenidos en la tabla anterior se construyó la curva de duración de caudales para la zona de estudio, la cual se muestra en la gráfica siguiente. Este insumo es de gran importancia para conocer el caudal ecológico de la microcuenca la Lejía; el cual se refiere al caudal mínimo que debe presentar la fuente hídrica para mantener las funciones ecosistémicas, hidrológicas y de dilución de contaminantes.



Gráfica 11, Curva de duración de caudal Quebrada la Lejía

Como se observa en la gráfica anterior, los caudales presentes durante el 85% del tiempo en la quebrada La Lejía, se encuentran por debajo de los 80 L/seg. Dato de gran importancia para conocer el caudal mínimo que debe permanecer en el cauce para mantener las condiciones biológicas, de regulación y de dilución necesarias de la fuente hídrica.

7.5.3 Caudal ambiental: El caudal ambiental según la metodología del IDEAM establecida en el Estudio Nacional del Agua (2010), se tomó el Q_{85} para el cálculo ya que el Índice de regulación hídrica es mayor a 0,7, esto refleja que el caudal ambiental es igualado o excedido el 85 por ciento del tiempo en la curva de duración de caudal mensual.

El caudal ambiental para la microcuenca según la metodología del IDEAM sería según la tabla anterior de **0,07145 m³/s** o **71,454 L/s** equivalente al **41,33%** del caudal medio anual.

Cabe resaltar que esta no es la única metodología para el cálculo del caudal ambiental, también existen otras opciones que pueden ser tenidas en cuenta como:

1. 10 % del valor del caudal medio mensual multianual.
2. Caudal mínimo histórico de la serie
3. Media de los caudales mínimos mensuales registrados durante una serie de años.
4. Caudal de permanencia en la fuente durante el 90 % del tiempo

Por lo anterior se puede concluir que la oferta hídrica superficial disponible de la microcuenca La Lejía corresponde a 101.396 L/seg.

7.6 DEMANDA HÍDRICA

La actividad humana en cualquier área requiere de recursos, el más importante de estos es el uso del agua que se necesita para el desarrollo de las actividades humanas como para las agrícolas e industriales. De acuerdo a los datos suministrados por Corponor, en el área de la microcuenca de la quebrada La Lejía, existen 2 concesiones, las cuales se muestran en la tabla siguiente; estas concesiones suman un caudal total de **756.864,00 m³/año**, o **24, L/s**.

Tabla 29, Concesiones en el área de influencia del proyecto.

Permiso	Municipio	Descripción	Resol.	L/s	M ³ año	Vigencia	Coord. X	Coord. Y
3807	Toledo	Concesión de agua superficiales a derivar de la corriente de dominio público LOS REMANSOS para beneficio del ACUEDUCTO MUNICIPAL TOLEDO	177	22	693.792,00	02/11/2011	1177899	1304424
11727	Toledo	Concesión de aguas superficiales de la corriente de dominio público denominada QUEBRADA LAS LAJAS, para beneficio de LA JUNTA DE ACCION COMUNAL DE LA VEREDA HATOS ALTO	243	2	63072	12/09/2018	1178845	1305369

Y LA
CAMACHA

TOTAL	24	756.864,00
-------	----	------------

Fuente: Corponor

Como se observa, la zona tiene concesionada un caudal de 756.864 m³/año, las cuales son utilizadas para suplir las necesidades de uso doméstico, consumo humano, agrícola y pecuario.

A continuación se presenta la espacialización de las concesiones otorgadas por la autoridad ambiental, donde se evidencia que efectivamente estas están siendo usadas del área de la microcuenca La Lejía.

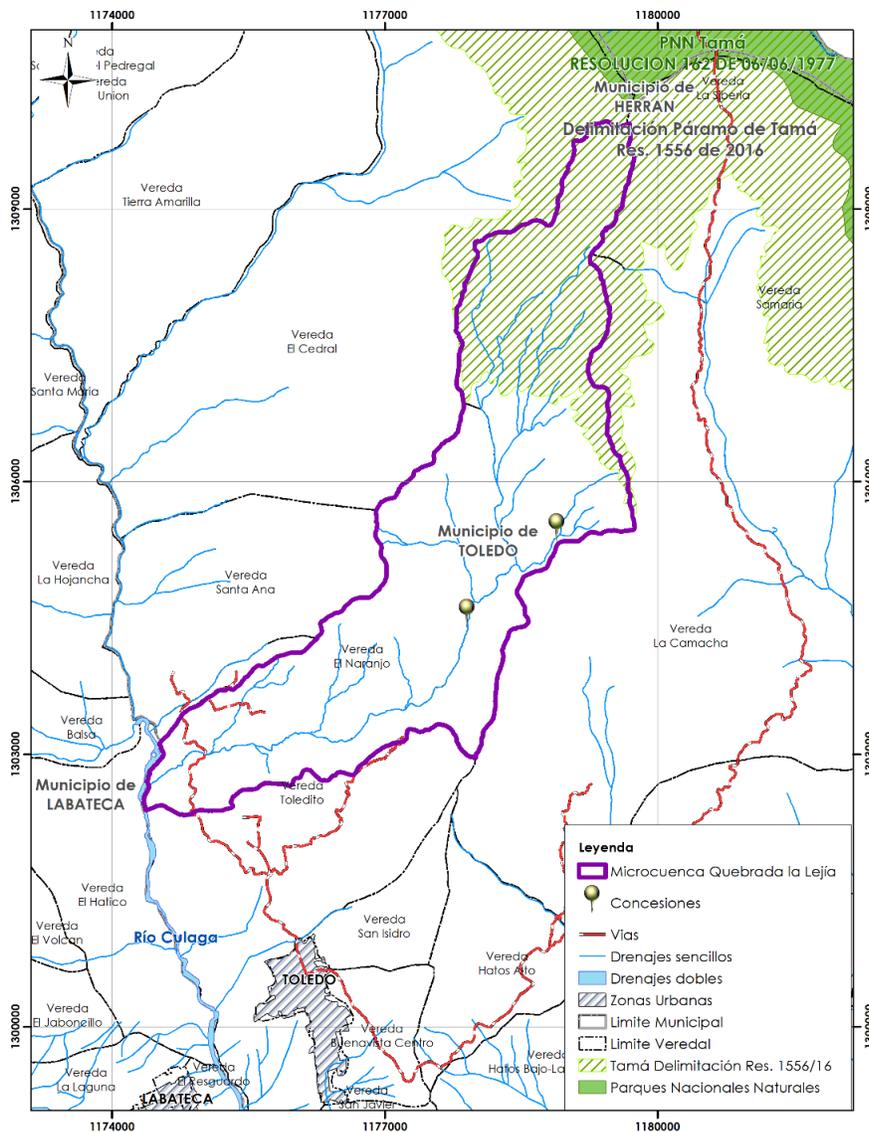


Figura 23, Ubicación de las concesiones de agua otorgadas en el área de estudio.

7.6.1 Demanda hídrica sector agrícola: Para el cálculo de la demanda en el sector agrícola se utilizó la metodología establecida en el Estudio regional del agua, y explicada en el capítulo anterior. En la siguiente tabla se presenta los datos de referencia establecidos por el ENA para los cultivos de mayor presencia en el área de la microcuenca.

Tabla 30, *Demanda anual de agua por cultivo permanente, establecidos por el Ideam.*

<i>Volumen de agua extraída (Mm³/año) en cultivos permanentes (2008)</i>				
<i>Cultivo</i>	Hectáreas	Volumen de agua extraída (Mm³)	Consumo efectivo en cultivo (Mm³)	Volumen de agua extraída no consumida (Mm³)
<i>Café</i>	693.238	1.211	787	424
<i>Caña panelera</i>	204.407	23	15	8

(IDEAM, 2010)

Los cultivos de mayor relevancia en el área de la microcuenca son los de café y caña panelera y de acuerdo a la tabla anterior se establece la demanda de agua para cada hectárea de cultivos en la microcuenca.

Tabla 31, *Demanda sector agrícola en la microcuenca la Lejía.*

<i>Volumen de agua extraída (m³/año) en cultivos permanentes</i>				
<i>Cultivo</i>	Hectáreas	Volumen de agua extraída (m³)	Consumo efectivo en cultivo (m³)	Volumen de agua extraída no consumida (m³)
<i>Café</i>	25,625	44.763,67	29.090,84	15.672,83
<i>Caña panelera</i>	9,25	1.040,82	678,79	362,02
<i>Total Demanda agrícola</i>	45. 804,48			

7.6.2 Demanda hídrica sector pecuario: EL cálculo de la demanda del sector pecuario fue establecido de acuerdo a los módulo de consumo que a nivel nacional se presentan para cada sector, los datos fueron tomados del Estudio Nacional del Agua elaborado por el IDEAM en el año 2010 en su capítulo 5, y aplicados a la información arrojada en las encuestas realizadas en el área de estudio.

Tabla 32, *Demanda hídrica sector avícola*

<i>Inventario avícola</i>		<i>Módulo de consumo fase de cría, levante y terminación (L/día-animales)</i>	<i>Demanda hídrica en fase de cría, levante y terminación (m³/año)</i>
<i>Pollos y gallinas</i>	156	240 (L/día-100 animales)	136,65
<i>Patos</i>	0	370 (L/día-100 animales)	0
<i>Pavos</i>	0	650 (L/día-100 animales)	0
<i>Codornices</i>	0	58 (L/día-100 animales)	0
<i>Sacrificio registrado</i>		<i>Módulo de consumo en fase de sacrificio (L/día-100 aves)</i>	<i>Demanda hídrica en fase de sacrificio registrado (m³/año)</i>
<i>Total aves sacrificadas</i>	156	16	911,04
<i>Inventario avícola</i>		<i>Módulo de consumo en lugares de manejo y beneficio animal (L/día-aves)</i>	<i>Demanda hídrica en lugares de manejo y beneficio (m³/año)</i>
<i>Pollos y gallinas</i>	156		1138,8
<i>Patos</i>	0	20	0
<i>Pavos</i>	0		0
<i>Codornices</i>	0		0
<i>Total (m³/año)</i>			2.186,496

Como se observa en los resultados de la tabla anterior de acuerdo a la información levantada mediante la aplicación de las encuestas, en la zona solo se evidencia cría de gallinas referente al sector avícola, las cuales presentan un requerimiento de 2186 m³/año de agua para el desarrollo de las etapas de cría, levante, terminación y sacrificio

Tabla 33, *Demanda hídrica sector porcícola*

<i>Inventario porcícola</i>		<i>Módulo de consumo fase de cría, levante y terminación (L/día-cabeza)</i>	<i>Demanda hídrica en fase de cría, levante y terminación (m³/año)</i>
<i>Cerdos</i>	12	18	78,84

<i>Sacrificio registrado</i>		Módulo de consumo en fase de sacrificio (L/día-cabeza)	Demanda hídrica en fase de sacrificio registrado (m³/año)
<i>Total animales sacrificados</i>	12	300	1314
<i>Inventario porcícola</i>		Módulo de consumo en lugares de manejo y beneficio animal (L/día-cabeza)	Demanda hídrica en lugares de manejo y beneficio (m³/año)
<i>Total animales</i>	12	10	
<i>Total (m³/año)</i>			1392,84

El sector porcícola reporta muy pocos animales en la zona, de acuerdo a los datos recopilados en campo y a la aplicación de los módulos de consumo, se presenta que este sector demanda un requerimiento de 1.392 m³/año.

Tabla 34, Demanda hídrica sector caprino

<i>Inventario caprino</i>		Módulo de consumo fase de cría, levante y terminación (L/día-cabeza)	Demanda hídrica en fase de cría, levante y terminación (m³/año)
<i>Total caprinos</i>	8	16	46,72
<i>Sacrificio registrado</i>		Módulo de consumo en fase de sacrificio (L/día-cabeza)	Demanda hídrica en fase de sacrificio registrado (m³/año)
<i>Total animales sacrificados</i>	8	250	730
<i>Inventario caprino</i>		Módulo de consumo en lugares de manejo y beneficio animal (L/día-cabeza)	Demanda hídrica en lugares de manejo y beneficio (m³/año)
<i>Total animales</i>	8	10	
<i>Total (m³/año)</i>			776,72

El sector caprino reporta un total 8 animales en la zona de estudio, para un requerimiento de 776,72 m³/año. De la tabla anterior se evidencia que no se establece consumo para sacrificio en mataderos, este valor es tomado como sacrificio en el área del proyecto.

Tabla 35, *Demanda hídrica sector bovino*

<i>Inventario bovino</i>		<i>Módulo de consumo fase de cría, levante y terminación (L/día-cabeza)</i>	<i>Demanda hídrica en fase de cría, levante y terminación (m³/año)</i>
<i>Total Bovinos</i>	108	80 - 110	4.336,2
<i>Sacrificio registrado</i>		<i>Módulo de consumo en fase de sacrificio (L/día-cabeza)</i>	<i>Demanda hídrica en fase de sacrificio registrado (m³/año)</i>
<i>Total animales sacrificados</i>	108	500	19.710
<i>Inventario bovino</i>		<i>Módulo de consumo en lugares de manejo y beneficio animal (L/día-cabeza)</i>	<i>Demanda hídrica en lugares de manejo y beneficio (m³/año)</i>
<i>Total Bovinos</i>	108	40	0
<i>Total (m³/año)</i>			24.046,2

A continuación se presenta de forma resumida el consumo de agua para el sector pecuario de la microcuenca La Lejía.

Tabla 36, *Demanda total Sector Pecuario*

INVENTARIO	M³/AÑO
Bovinos	24046,2
Aves	2.186,49
Caprino	776,72
Porcino	1.392,84
Total sector pecuario	28.402,25

En total el sector pecuario presenta una demanda hídrica de 28.402 m³/año, para el desarrollo de actividades descritas anteriormente.

7.6.3 Demanda hídrica para el consumo humano o doméstico (m³/año): Otro de los sectores de gran demanda del recurso hídrico en la zona, corresponde al de consumo humano; ya que de la microcuenca la Lejía se capta el agua para suministro del acueducto municipal de Toledo en Norte de Santander. El Cálculo del consumo para este sector se realizó de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Técnico para agua potable y saneamiento básico RAS; metodología que también es avalada por el Estudio Nacional del agua. En la siguiente tabla se presenta el resultado de la demanda hídrica para consumo humano.

Tabla 37, *Demanda para el consumo humano o doméstico*

	<i>No. De Habitantes</i>	<i>Nivel de complejidad</i>	<i>Dotación neta máxima (L/hab*día)</i>
<i>Habitantes encuestados que dependen directamente de la microcuenca</i>	80	Medio	175
<i>Censo Municipio (2015)</i>	4470		
<i>Total habitantes</i>	4550		
<i>Total Demanda para el consumo humano o doméstico (m³/año)</i>	290.631,25		

El cálculo de la demanda para consumo humano, de acuerdo a lo establecido por el RAS y el ENA, arroja un valor de 290.631m³/año; sin embargo al revisar el volumen autorizado para el acueducto municipal, este supera en un 238%, lo requerido por el municipio. Este resultado debe ser analizado en la elaboración del PMA, ya que se requiere establecer medidas para el ahorro y

uso eficiente del agua de manera que no se derroche ni malgaste el líquido en las viviendas y en los sistemas de conducción y reparto del agua a cada uno de los hogares.

7.6.4 Demanda hídrica total: Una vez realizado los cálculos para de las demandas de recurso hídrico identificados en la zona se realizó la sumatoria de cada una de esta, cuyo resultado se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 38, *Demanda Total para la microcuenca*

Tipo de Demanda	m³/año
<i>Demanda agrícola</i>	45.804,48
<i>Demanda para el consumo humano o doméstico</i>	290.631,25
<i>Demanda Sector pecuario</i>	28.402,26
Total Demanda	364.837,99

La demanda hídrica fue calculada, teniendo en cuenta las actividades sociales y económicas en el área de estudio, para la cual se utilizó la metodología establecida por el Ideam en el estudio Nacional del Agua, y la información obtenida en las encuestas aplicadas en el sector. El análisis permitió identificar que en la zona existe demanda del recurso hídrico para el desarrollo de las actividades agrícolas, pecuarias y domesticas; los cálculos arrojan que la zona tiene una demanda hídrica 364.671,22 m³ al año; sin embargo al contrastar este valor con la información reportada por Corponor, en las concesiones de agua, se pudo determinar que la demanda hídrica calculada está muy por debajo de lo otorgado, ya que en el área de estudio se encuentra concesionado un caudal de 756.864 m³/año, para el desarrollo de las mismas actividades, valor que duplica lo requerido en la zona, especialmente para el desarrollo de actividades domésticas, ya que el cálculo de la demanda para este sector teniendo en cuenta el número de habitantes del casco

urbano arroja un requerimiento de 290.631 m³/año, y el acueducto municipal tiene autorizado una captación de 693.792 m³/año, es decir casi tres veces más de lo necesario.

7.7 ÍNDICE DE ESCASEZ

El índice de escasez se estableció como la relación entre la Oferta Hídrica Neta Superficial y la Demanda Total de Agua ejercida en el desarrollo de actividades económicas y sociales.

Teniendo una Oferta hídrica total de **5'450.997,6 m³/año** y aplicando sobre esta los factores de reducción por régimen de estiaje (25%) y reducción por fuentes frágiles en cuanto a la reducción de la calidad del agua (25%) (IDEAM, 2004), se estima la oferta hídrica neta disponible para lo cual se emplea la ecuación No. 13:

$$OH_N = OH_T - (OH_T * (R_{FF} + R_{RE})) \quad EC. 13$$

Dónde:

OH_N: Oferta hídrica neta (millones m³/año)

OH_T: Oferta hídrica total (millones m³/año)

R_{FF}: Factor de reducción por fuentes frágiles (%)

R_{RE}: Factor de reducción por régimen de estiaje (%)

La Oferta hídrica neta de la microcuenca es de **2'725.498,8 m³/año**

Tabla 39, *Cálculo índice de escasez*

Microcuenca	Oferta neta (m ³ /año)	Demanda Total (m ³ /año)	Índice de escasez (%)	Categoría
Quebrada la Lejía	2.725.498,80	364.837,99	13,39	MODERADO

Este resultado indica que el uso del agua se está convirtiendo en un limitante para el desarrollo, es importante que con la realización del Plan de Manejo Ambiental de la microcuenca se creen políticas de conservación especialmente para la parte alta en las que se evite la intervención en las áreas de bosque y páramo, y que en la parte baja que las más intervenida y habitada se establezcan mejores prácticas de uso y aprovechamiento, para que los habitantes puedan aumentar la producción de productos para aumentar sus ingresos, pero que este desarrollo no afecte la calidad y la cantidad de agua que tiene la cuenca.

7.8 CALIDAD DE AGUA

Tal como se mencionó en el capítulo de metodología, se realizó la caracterización físico químico y microbiológico de la microcuenca con el fin de determinar su calidad y establecer los índices para tal fin.

Fueron seleccionados tres puntos de monitoreo de calidad, donde se le realizó la campaña de caracterización físico química. Estos tres puntos de monitoreo fueron seleccionados después de realizar un análisis de la dinámica de la microcuenca, donde se tuvieron en cuenta criterios como confluencia con otras quebradas, captaciones de importante interés, vertimiento, y entrega a de las aguas a otra fuente hídrica.

Los puntos evaluados fueron explicados en el capítulo de metodología, A continuación se presenta los resultados obtenidos en las campañas de caracterización

7.8.1 Resultados datos in situ: Durante el desarrollo de los monitoreos se analizaron muestras in situ utilizando un equipo portátil multi parámetro de gama ODEON de sonda digital PONSEL Measure, en donde se determinó hora a hora los siguientes parámetros:

1. Oxígeno disuelto
2. pH
3. Turbidez
4. Conductividad
5. Temperatura del agua y ambiente

Los resultados obtenidos de los datos in situ para el punto de monitoreo No. 1, 2 y 3 ubicados en la zona alta, media y baja se presentan en las tablas No. 40, 41 y 42. En análisis de cada uno de los datos se realiza de manera comparativa en cada uno de los puntos de monitoreo, para cada parámetro medido en campo.

Tabla 40, *Resultados análisis in situ. Zona alta. (Captación Municipal)*

HORA	OXÍGENO DISUELT O (Mg/l)	pH	TURBIDE Z (NTU)	CONDUCTIVIDA D ELECTRICA (μ s/cm)	Tamb (°C)	Tagua(°C)
6:00	6,69	6,10	20,50	102,43	13,0	12,0
7:00	6,60	6,16	18,30	102,51	13,5	13,3
8:00	6,32	6,08	25,18	105,12	12,0	11,5
9:00	6,72	6,12	41,70	102,25	13,5	12,0
10:00	6,68	6,26	18,86	102,79	13,0	12,0
11:00	6,74	6,25	44,76	102,86	14,0	13,0
12:00	6,60	6,13	15,37	102,12	15,0	13,2
13:00	6,73	6,10	10,48	102,42	15,0	13,0
14:00	6,71	6,08	14,71	102,32	15,0	13,5

HORA	OXÍGENO DISUELT O (Mg/l)	pH	TURBIDE Z (NTU)	CONDUCTIVIDA D ELECTRICA (μ s/cm)	Tamb ($^{\circ}$ C)	Tagua($^{\circ}$ C)
15:00	6,70	6,11	14,94	102,32	14,0	13,0
16:00	6,66	4,75	10,85	102,14	13,5	13,0
17:00	6,70	4,77	54,91	102,17	13,0	12,0
Promedio día	6,65	5,91	24,21	102,62	13,71	12,63

Tabla 41, *Resultados análisis in situ. Zona media*

HORA	OXÍGENO DISUELT O (Mg/l)	pH	TURBIDE Z (NTU)	CONDUCTIVIDA D ELECTRICA (μ s/cm)	T amb ($^{\circ}$ C)	Tagua ($^{\circ}$ C)
6:00	6,460	5,600	11,000	102,600	13,500	12,000
7:00	6,500	5,000	11,000	102,600	14,000	12,500
8:00	6,500	5,000	11,500	102,260	14,300	12,800
9:00	6,530	5,100	11,450	102,400	14,600	12,700
10:00	6,430	5,750	12,100	102,250	13,800	12,300
11:00	6,620	5,640	12,970	102,260	14,900	13,000
12:00	6,460	4,790	14,240	102,130	14,000	12,600
13:00	6,470	5,200	12,250	103,800	14,500	12,600
14:00	6,260	5,940	14,000	103,270	14,500	12,600
15:00	6,380	5,070	15,600	103,280	14,200	12,300
16:00	6,260	5,100	15,500	102,600	13,800	13,000
17:00	6,300	5,200	15,000	102,600	13,000	11,800
PROMEDI O	6,431	5,283	13,051	102,671	14,092	12,517

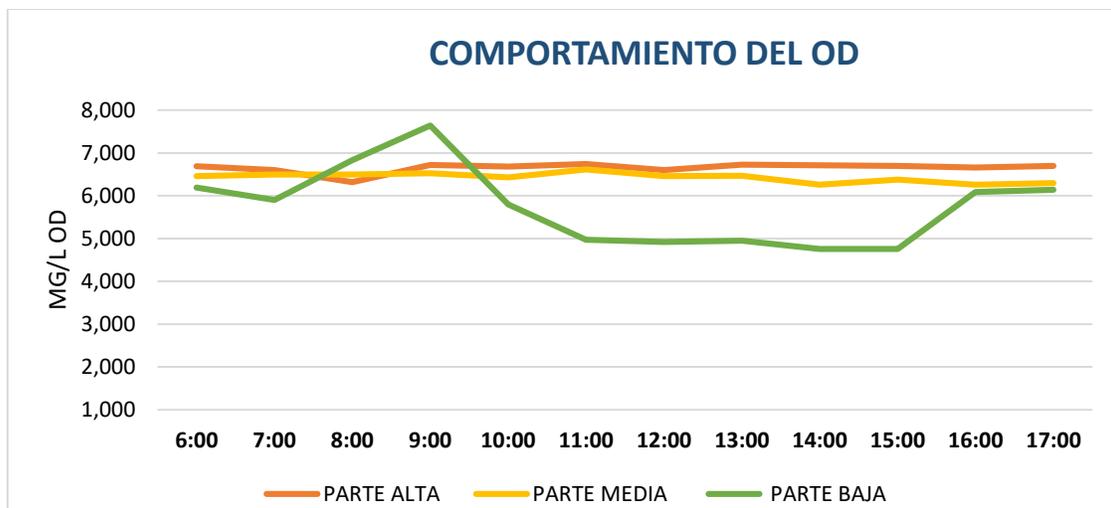
Finalmente en la tabla No. 42 se presentan los resultados de los parámetros obtenidos de las mediciones in situ en la zona baja de la microcuenca. Punto de aforo No. 3. Los resultados

presentados corresponden a los promedios de los obtenidos en las dos campañas de monitoreo (Noviembre de 2016 y mayo de 2017).

Tabla 42, *Resultados análisis in situ. Zona Baja*

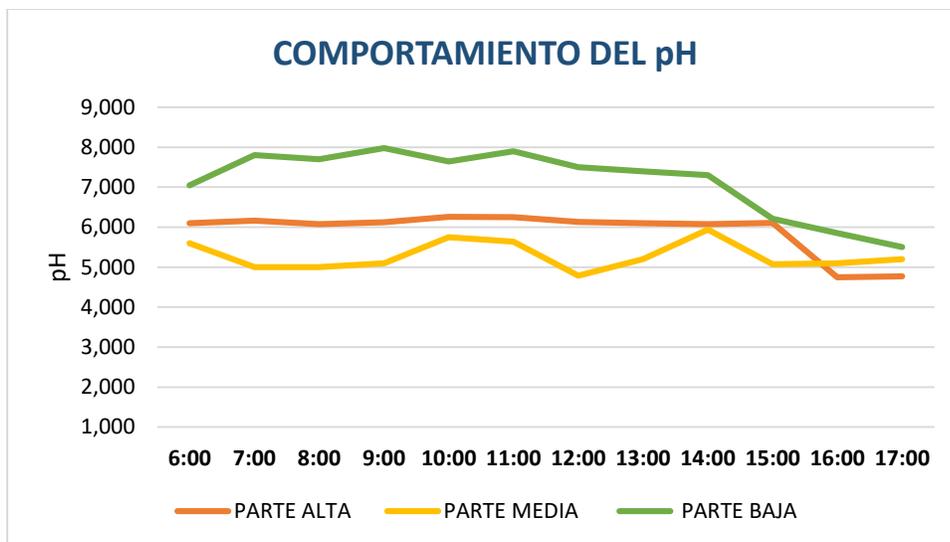
HORA	OXÍGENO DISUELT O (Mg/l)	pH	TURBIDEZ (NTU)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ($\mu\text{s/cm}$)	Tamb ($^{\circ}\text{C}$)	Tagua ($^{\circ}\text{C}$)
6:00	6,19	7,05	41,46	112,26	20,00	14,50
7:00	5,90	7,80	84,72	112,22	17,00	14,80
8:00	6,83	7,70	39,48	111,83	18,00	14,80
9:00	7,64	7,98	71,66	113,93	17,00	14,50
10:00	5,80	7,64	54,59	130,00	17,00	15,00
11:00	4,97	7,90	91,27	122,45	17,00	15,00
12:00	4,92	7,50	89,12	119,48	17,00	15,00
13:00	4,95	7,40	90,00	106,42	18,00	15,00
14:00	4,76	7,30	125,70	104,70	17,00	15,00
15:00	4,76	6,21	56,28	104,80	18,00	15,00
16:00	6,09	5,85	129,40	104,00	18,00	15,00
17:00	6,14	5,50	143,00	104,56	18,00	15,00
Promedio	5,75	7,15	84,72	112,22	17,67	14,88

A continuación se presenta un análisis de cada uno de los datos arrojados durante el desarrollo de la caracterización de la quebrada La Lejía, para las muestras evaluadas in situ.



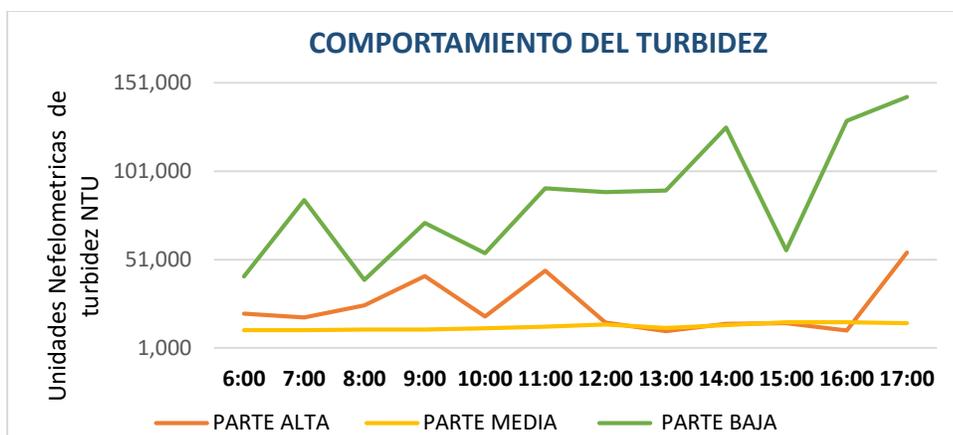
Gráfica 12, Comportamiento del oxígeno disuelto en la microcuenca.

Como se observa en la gráfica anterior el oxígeno disuelto medido en mg/l, se comporta de manera muy similar en la parte alta y media; lugares en los cuales el OD, se mantiene entre los 6 y 7 mg/l, condición que indica una adecuada calidad hídrica en esta zona. Sin embargo en la zona baja de la cuenca se observa una disminución en los reportes de este parámetro, evidenciando una reducción de la calidad del recurso hídrico, situándose en algunas horas del día por debajo de los 5 mg/l. Esta situación se presenta debido a que en esta parte de la cuenca se evidencia el mayor número de asentamientos humanos y la mayor cantidad de actividades económicas lo cual genera vertimientos directos a la microcuenca afectando directamente la condición de la fuente hídrica. Es importante mencionar que de acuerdo a la información levantada en campo mediante la aplicación de las encuestas, la mayoría de las viviendas del sector no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, las cuales son vertidas directamente a la quebrada la Lejía.



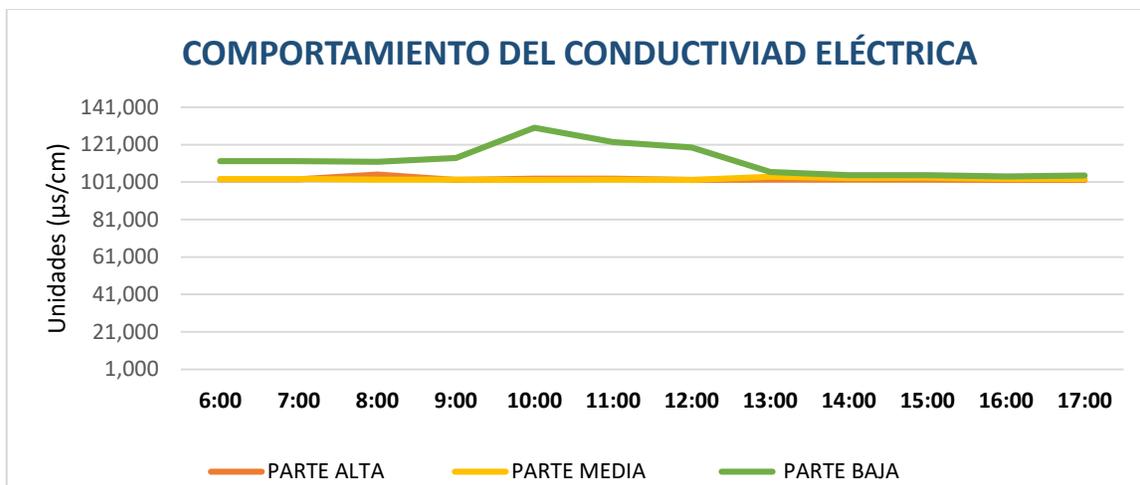
Gráfica 13, *Comportamiento del pH en la microcuenca.*

El pH del agua en la Microcuenca La Lejía, presenta comportamientos diferenciados en cada uno de los puntos de monitoreo. En la zona baja de la cuenca los pH se ubican un poco más básicos durante el día presentando una disminución del pH en el horario de las 4 a 5 pm. La parte media de la cuenca presenta los pH más ácidos situándose ente los 5 a 6; esta situación puede presentarse debido a las características geomorfológicas de la cuenca en este lugar, donde se evidencia una disminución de la velocidad del flujo, lo cual puede influencia en el pH de sus aguas. En la parte alta de la cuenca el pH se ubica en una posición más cercana a la neutralidad debido básicamente al grado de conservación de la zona y la ausencia de vertimientos y actividades socioeconómicas que puedan afectar su comportamiento.



Gráfica 14, *Comportamiento de la turbidez en la microcuenca*

Durante el periodo de monitoreo, la turbidez en la cuenca, presento comportamientos diferentes en cada uno de los puntos evaluados. En la zona alta de la cuenca se presenta un promedio de turbidez de 20,21 NTU, evidenciándose un incremento significativo al finalizar la jornada, esto debido a que durante esta hora se presentaron lluvias en la zona alta de cuenca generando arrastre de material hasta la fuente hídrica. La zona baja de la cuenca presenta los mayores valores de turbidez, observando en algunas horas del día que este parámetro se ubica por encima de los 100 NTU; situación que puede estar asociada a las actividades económicas existentes en la zona; así como también al estado de conservación de la cuenca la cual en la zona baja, la cual presenta menor cobertura boscosa y mayor áreas destinadas para las actividades agropecuarias y zonas transformadas. Se observa un importante incremento de la turbidez al final de la jornada, generada principalmente por la presencia de lluvias y por consiguiente arrastre de sedimentos en suelos desprotegidos.



Gráfica 15, *Comportamiento de la conductividad en la microcuenca*

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua. Por lo tanto, es un parámetro sencillo que permite conocer la cantidad de sólidos disueltos totales en una muestra de agua. El resultado de este parámetro muestra un comportamiento muy similar en la zona alta y media de la cuenca, lugares donde se encuentra mayormente conservado el territorio y altamente despoblado. En la zona baja de la cuenca la conductividad presenta un comportamiento diferente, evidenciándose valores más altos, lo que indica mayor concentración de sólidos disueltos en el agua, el cual puede estar asociado al vertimiento de aguas residuales y residuos a la fuente hídrica.

7.8.2 Resultados datos exsitu: Tal como se describió en el capítulo de metodología, durante los monitoreos se recolectaron muestras cada hora, por periodos de seis (6) horas, para el análisis de parámetros físico químicos y microbiológicos ex situ, los cuales corresponden a: DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno); DQO (Demanda Química de Oxígeno); SST (Sólidos Suspendidos Totales); Coliformes Totales y Fecales; Nitrógeno / Fósforo Totales.

En las tablas 43, 44, 45 y 46, se presentan los resultados obtenidos de las muestras analizadas en laboratorio (ex situ), en cada uno de los periodos de aforos.

Tabla 43, *Resultados Solidos suspendidos totales.*

PARAMETRO	SST (MG/L)			
FECHA	23/11/2016		23/05/2017	
RESULTADOS POR JORNADA	6:00-11:00	12:00-17:00	6:00-11:00	12:00-17:00
ZONA ALTA	<3	<3	<3	3,25
ZONA MEDIA	3,3	7.0	<3	3
ZONA BAJA	5,57	8,71	24,2	79,5

Tabla 44, *Resultados DBO Y DQO (MG/L)*

PARAMETRO	DBO (MG/L)				DQO (MG/L)			
FECHA	23/11/2016		23/05/2017		23/11/2016		23/05/2017	
RESULTADOS POR JORNADA	6:00-11:00	12:00-17:00	6:00-11:00	12:00-17:00	6:00-11:00	12:00-17:00	6:00-11:00	12:00-17:00
ZONA ALTA	<1	<1	3,97	4,04	<10	<10	18,6	14,2
ZONA MEDIA	<1	<1	1,54	1,94	<10	<10	10	7,3
ZONA BAJA	<1	1,42	7,54	7	<10	<10	28,4	44,1

Tabla 45, *Resultados Nitrógeno total y Fosforo total.*

PARAMETRO	NITROGENO TOTAL (mgN/L)				FOSFORO TOTAL (mgP/L)			
FECHA	23/11/2016		23/05/2017		23/11/2016		23/05/2017	
RESULTADOS POR JORNADA	6:00-11:00	12:00-17:00	6:00-11:00	12:00-17:00	6:00-11:00	12:00-17:00	6:00-11:00	12:00-17:00
ZONA ALTA	<3	<3	<3	<3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
ZONA MEDIA	<3	<3	<3	<3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
ZONA BAJA	<3	<3	<3	<3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

Tabla 46, *Resultados Coliformes fecales y totales.*

PARAMETRO	COLIFORMES TOTALES (NMP / 100 ml)				COLIFORMES FECALES (NMP / 100 ml)			
	23/11/2016		23/05/2017		23/11/2016		23/05/2017	
FECHA	6:00- 11:00	12:00- 17:00	6:00- 11:00	12:00- 17:00	6:00- 11:00	12:00- 17:00	6:00- 11:00	12:00- 17:00
ZONA ALTA	46	75	11X10 ²	93	23	15	43	92
ZONA MEDIA	460	240	210	150	15	43	43	43
ZONA BAJA	46x10 ³	46x10 ³	20x10 ²	14x10 ²	46x10 ²	24x10 ²	15x10 ²	75

Finalmente y para realizar una mayor comprensión de los resultados obtenidos en las mediciones ex situ, se presenta en la tabla 47, los resultados promedios para cada uno de los parámetros evaluados.

Tabla 47, Resultados promedios durante las campañas de monitoreo.

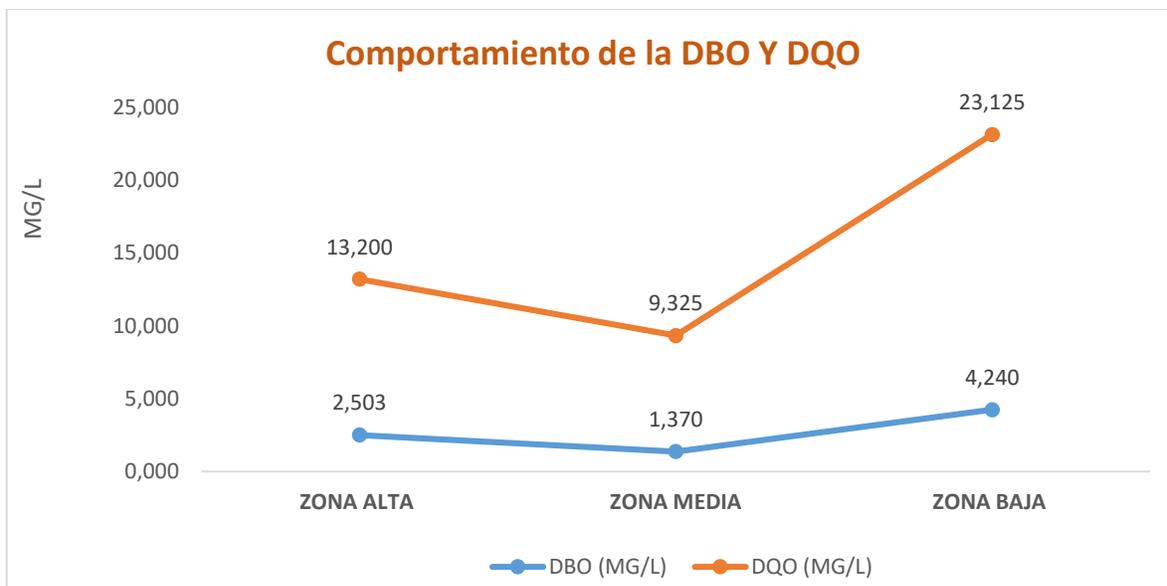
PUNTO DE MONITOREO	SST (MG/L)	DBO (MG/L)	DQO (MG/L)	NITROGENO TOTAL (mgN/L)	FOSFORO TOTAL (mgP/L)	COLIFORMES TOTALES (NMP / 100 ml)	COLIFORMES FECALES (NMP / 100 ml)
ZONA ALTA	3,063	2,503	13,200	3,000	0,200	56,250	43,250
ZONA MEDIA	3,100	1,370	9,325	3,000	0,200	265,000	36,000
ZONA BAJA	29,495	4,240	23,125	3,000	0,200	23850,000	2143,750

En las siguientes gráficas se analiza el comportamiento comparativo en cada punto de monitoreo, de cada uno de los resultados promedios obtenidos para cada parámetro evaluado.



Gráfica 16, *Comportamiento de los Sólidos suspendidos totales. C111*

El comportamiento de los sólidos suspendidos totales en la microcuenca la Lejía, es muy similar en las zonas media y alta, encontrándose valores en algunos casos por debajo de 3 mg/l, sin embargo en la zona baja de la cuenca donde se ubican las mayores actividades económicas y sociales estos valores presentan un incremento significativo, reportando en el monitoreo de mayo de 2017, valores de 79,5 mg/l. Los sólidos suspendidos son transportados por arrastre de las aguas, y es un indicador de la calidad de las aguas superficiales. Los sólidos suspendidos totales son fácilmente sedimentables si presentan tamaños superiores a 0,01 milímetros.

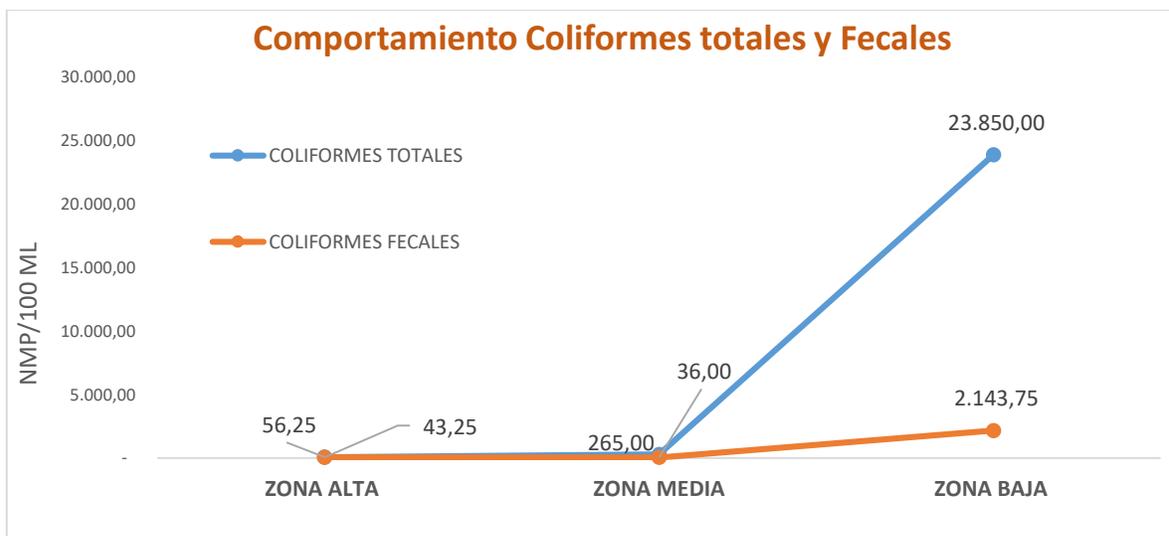


Gráfica 17, Comportamiento de la DBO Y DQO, en la microcuenca la Lejía.

En la gráfica anterior se representa el comportamiento de La DBO y la DQO en la quebrada la Lejía; los cuales son parámetros, que permiten conocer la cantidad de materia orgánica existente en el agua. Como se observa en la ilustración la Demanda Química de Oxígeno, presenta valores mayores a los reportados en la DBO, y esto se debe la DQO mide la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente toda la materia orgánica que presenta la muestra; en tanto la DBO, mide la cada de oxígeno necesario para degradar la materia orgánica degradable en muestra de agua, concluyendo que normalmente de la DQO es mayor que la DBO. Al analizar la gráfica anterior se observan un comportamiento muy similar en los tres puntos monitoreados, sin embargo en la parte media de la cuenca se evidencia los menores valores para cada uno de los parámetros evaluados. Situación que no debería ser normal ya que se esperaría que los valores más bajos se reporten en la zona alta de la cuenca, por estar altamente despoblada y con muy buenos niveles de conservación, con relación a las demás zonas. Esta situación puede explicarse por la capacidad que presenta la fuente hídrica para autodepurarse ya que de la zona alta a la zona media presenta una condición de pendiente importante que puede ayudar a la oxigenación

de las aguas y por lo tanto a mejorar la condición de este parámetro. En la zona baja de la cuenca, se presentan los valores más altos de DBO y DQO, situación que está directamente relacionada con el desarrollo de actividades humanas y productivas. De acuerdo a lo establecido en las normas colombianas, estos parámetros deben situarse por debajo de los 150 mg/l; lo que indica que la quebrada la Lejía presenta buenas condiciones de calidad los parámetros evaluados.

La DBO y la DQO son dos parámetros muy importantes a la hora de caracterizar un agua, no sólo para el consumo humano, sino también a la hora de realizar un vertimiento, ya que podría alterar de una manera muy importante el ecosistema hídrico, por la alteración de las condiciones de oxígeno de la fuente hídrica.



Gráfica 18, *Comportamiento de los Coliformes fecales y totales, en la microcuenca la Lejía.*

En cuanto al análisis microbiológico del agua en la quebrada La Lejía, se analizaron por el método de Número Más Probable, la presencia de Coliformes fecales y totales. Los resultados indican que en la zona alta y media de la cuenca se presentan valores muy similares, los cuales se ubican por debajo de los 500 UFC; no se observan diferencias significativas entre los CF y los

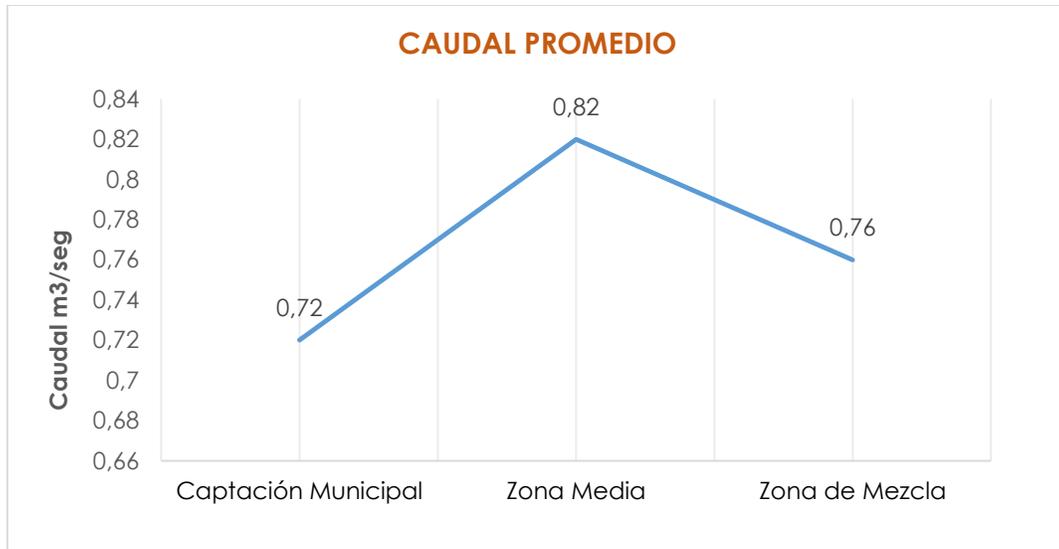
CT; lo que puede significar que las actividades humanas en esta zona son muy pequeñas. En la zona baja de la cuenca se evidencia un número mucho más alto de Coliformes totales y fecales los cuales están asociados a la presencia actividades humanas y productivas, especialmente relacionados con presencia de ganado y animales de sangre caliente.

7.8.3 Resultados Caudal Promedio: El método de medición utilizado fue por vadeo, utilizando un molinete calibrado para tal fin. A continuación se presentan los resultados promedios para cada punto de monitoreo.

Tabla 48, *Caudal promedio puntos Quebrada.*

PUNTOS DE MONITOREO	CAUDAL MEDIDOS POR MOLINETE (m ³ /seg)		
	Noviembre de 2016	Mayo de 2017	Promedio
Captación Municipal	0,41	1,03	0,72
Zona Media	0,46	1,18	0,82
Zona de baja.	0,44	1,08	0,76

A continuación se presenta en la siguiente gráfica el comportamiento de lo caudales medidos en campo durante los periodos de caracterización de las aguas en la quebrada La Lejía.



Gráfica 19, Comportamiento de los caudales aforados en la microcuenca.

Los datos arrojados en los aforos de caudal realizado en cada uno de los puntos de monitoreo, muestran valores muy por encima a los calculados por la metodología de balance hídrico. Según los datos obtenidos en campo, la zona media de la microcuenca presenta los mayores volúmenes de caudal, debido básicamente al aporte de los afluentes que en este punto convergen.

En la zona baja se observa una notable disminución del caudal, debido a la demanda que esta zona presenta por albergar el mayor número de habitantes, los cuales se dedican a actividades agropecuarias principalmente, generando una importante presión sobre la fuente hídrica.

7.9 CÁLCULO DE CARGAS CONTAMINANTES

Para el cálculo de la carga de un contaminante en la fuente hídrica de la quebrada La Lejía, se utilizó la siguiente ecuación No. 7 presentada en el capítulo 5.

$$(Concentración) * (Caudal) = Carga$$

$$Kg/l * l/d = Kg/d \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

Q: Caudal del río en m³/s.

C: Concentración del contaminante, en mg/l ó g/m³.

En la tabla 49, se presenta los resultados del cálculo de la carga contaminante en cada uno de los puntos evaluados.

Tabla 49, *Calculo de carga contaminante.*

PUNTOS DE MONITOREO	CAUDAL (m³/seg)	SST kg/día	DBO kg/día	DQO Kg/día
ZONA ALTA	0,72	190,51	155,68	821,15
ZONA MEDIA	0,82	219,63	97,06	660,66
ZONA BAJA	0,76	1.936,76	278,42	1.518,48

Como se puede observar en la tabla anterior los mayores valores de carga contaminantes se encuentra en la zona baja de la microcuenca, por ser como se ha mencionado anteriormente la zona de mayor población y mayor actividad económica; así mismo el mayor aporte de cargas se lo presenta los parámetros de solidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno, asociado probablemente a vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos y el estado de las cobertura de los suelos.

7.10 ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICO)

A continuación se presenta el cálculo los índices de calidad (ICA) y contaminación (ICO) del agua, para cada uno de los puntos evaluados en la quebrada la Lejía.

Se realizó una selección de los índices de contaminación que pudieran ser calculados de acuerdo a la disponibilidad de datos. Los índices de contaminación calculados son:

ICOMI: Índice de Contaminación por Mineralización

ICOMO: Índice de Contaminación por Materia Orgánica

ICOSUS: Índice de Contaminación por Solidos Suspendidos Totales

ICOPH: Índice de Contaminación por pH

7.10.1 Significancia de los índices: De acuerdo a los estudios y las formulaciones desarrolladas por Alberto Ramírez, se establece el siguiente rango para la interpretación de los resultados de cada uno de los índices de contaminación calculado en la quebrada en estudio.

Tabla 50, *Significancia de los índices de contaminación*

ICO	GRADO DE CONTAMINACION	ESCALA DE COLOR
0 – 0.2	Ninguna	
> 0.2 – 0.4	Baja	
> 0.4 – 0.6	Media	
> 0.6 – 0.8	Alta	
> 0.8 - 1	Muy Alta	

7.10.2 Índice de contaminación por materia orgánica – ICOMO: El Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), se calcula teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{coliformes} + I_{\% \text{ oxígeno}}). \text{ Ec. 14.}$$

Dónde:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \text{ Log}_{10} \text{ DBO (mg/l)}$$

$$\text{DBO} > 30 \text{ mg/L} = 1$$

$$\text{DBO} < 2 \text{ mg/L} = 0$$

$$I_{\text{Coliformes Totales}} = -1,44 + 0,56 \text{ Log}_{10} \text{ Col Tot (NMP/100ml)}$$

$$\text{Coliformes Totales} > 20.000 \text{ (NMP/100ml)} = 1$$

$$\text{Coliformes Totales} < 500 \text{ (NMP/100ml)} = 0$$

$$I_{\text{oxígeno \%}} = 1 - 0,01 \text{ Oxígeno \%}$$

Oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno de 0

En la siguiente tabla se presenta los resultados del cálculo del Índice de Contaminación por Materia Orgánica ICOMO, para cada uno de los puntos de la quebrada la Lejía

Tabla 51, *Calculo índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)*

PUNTO	CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE OXIGENO	OD mg/l	% DE SATURACIÓN DE OXIGENO	COLIFOR MES TOTALES	DB O₅	I. DBO₅	I. COLIFOR MES TOTALES	I. OXIGENO NO %	ICO MO	GRADO DE CONTAMINACIÓN	ESCALA DE COLOR
ZONA ALTA	10.4	5.05	49%	268	1	-0.05	-0.08	0.51	0.13	Ninguna	
ZONA MEDIA	10.2	5.33	2%	350	1	-0.05	0.01	0.48	0.14	Ninguna	
ZONA BAJA	10	5.13	51%	25300	1.2	0.005 43	1	0.49	0.5	Media	

El índice de contaminación por materia orgánica, refleja que en las zonas altas de microcuenca, no presenta valores representativos, que puedan ser clasificados para este indicador; lo que evidencia como ya se había analizado anteriormente el importante grado de conservación que presenta la fuente hídrica en estos sectores. Sin embargo en la zona baja de la quebrada, el índice de contaminación por materia orgánica, presenta un comportamiento muy diferente, la cual se clasifica con un grado de contaminación media, situación que debe ser analizada por las entidades encargadas de la administración de los recursos, de manera que se establezcan medidas de manejo acorde, con el fin de evitar un mayor deterioro de la microcuenca, que ponga en riesgo el equilibrio de la misma.

De igual manera es necesario tener en cuenta que el resultado arrojado con el análisis anterior evidencia que la microcuenca la Lejía está generando un aporte importante de contaminación al río Culagá, el cual se encuentra a muy poca distancia del sitio de monitoreo establecido para el desarrollo de este estudio.

7.10.3 Índice de contaminación por sólidos suspendidos – ICOSUS: La determinación del Índice de Contaminación Por Sólidos suspendidos se realiza mediante la concentración de sólidos suspendidos como único parámetro.

El cálculo de este ICO se realizó para cada uno de los puntos estudiados. La finalidad del cálculo es determinar el grado de contaminación por sólidos suspendidos, asociado básicamente a las descargas de aguas residuales (domesticas, industriales, agrícolas) y la capacidad de recuperación del cauce.

La fórmula empleada para el cálculo del ICO SUS, fue la desarrollada por Alberto Ramírez, la cual se detalla a continuación.

$$ICOSUS = -0,02 + SST \left(\frac{mg}{L} \right). \quad \text{Ec. 15.}$$

Sólidos suspendidos > a 340 mg/L tienen un ICOSUSS =1

Sólidos suspendidos < a 10 mg/L tienen un ICOSUSS = 0

En la siguiente tabla se presentan los resultados del cálculo del ICOSUS para cada uno de los puntos de la quebrada.

Tabla 52, *Calculo índice de contaminación por Solidos Suspendidos Totales (ICOSUS)*

PUNTO	S.S	ICOSUS	GRADO DE CONTAMINACIÓN	ESCALA DE COLOR
ZONA ALTA	3	0.02	Ninguna	
ZONA MEDIA	5.15	0.02	Ninguna	
ZONA DE BAJA	7.14	0.02	Ninguna	

7.10.4 Índices de contaminación por pH – ICOPH: El cálculo del Índice de Contaminación por pH, se determina mediante la medición del potencial de Hidrogeno en cada uno de los puntos de la quebrada.

Para la determinación del ICOPH se utilizó la fórmula propuesta por Ramírez; la cual se muestra a continuación.

$$ICOpH = e^{-31,08+3,45 pH} / 1 + e^{-31,08+3,45 pH}. \quad \text{Ec 16}$$

En la siguiente tabla se presenta los resultados del Índice de Contaminación por pH, para cada uno de los puntos de la quebrada objeto de estudio.

Tabla 53, *Calculo índice de contaminación por pH (ICOPH)*

PUNTO	PH	ICOPH	GRADO DE CONTAMINACION	ESCALA DE COLOR
ZONA ALTA	6.89	0.00067	Ninguna	
ZONA MEDIA	7.77	0.015	Ninguna	
ZONA DE BAJA	7.6	0.0080	Ninguna	

7.10.5 Índice de contaminación por Mineralización – ICOMI: Para el cálculo del ICOMI se emplea la siguiente formula.

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{conductividad} + I_{dureza} + I_{alcalinidad}) \quad \text{Ec. 17}$$

Dónde

$$I_{\text{conductividad}} = \text{Log}_{10} I_{\text{conductividad}} = 3.26 + 1.34 \text{Log}_{10}$$

$$I_{\text{conductividad}} = 10^{\text{Log} I_{\text{conductividad}}}$$

Conductividades mayores a 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tienen un índice de conductividad = 1

En la siguiente tabla se presenta los resultados del cálculo del Índice de Mineralización con relación a la conductividad.

Tabla 54, *Calculo índice de contaminación por mineralización (ICOMI)*

PUNTO	Cond (μs)	ICOMI	GRADO DE CONTAMINACION	ESCALA DE COLOR
ZONA ALTA	1.54	0.0009	Ninguna	
ZONA MEDIA	25.69	0.04	Ninguna	
ZONA BAJA	44.65	0.08	Ninguna	

7.11 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

El procedimiento general consiste en ingresar el valor que, en una determinada medición haya registrado la variable de calidad i , en la curva funcional o ecuación correspondiente y estimar el valor I_{ikjt} .

Tabla 55, *Variables y Ponderaciones Para el Caso de 6 Variables*

Parámetro	Unidad de Medida	Ponderación o Peso de cada Variable
Oxígeno disuelto, OD.	% Saturación	0.17
Sólidos suspendidos totales, SST.	mg/l	0.17
Demanda química de oxígeno, DQO.	mg/l	0.17
NT/PT	-	0.17
Conductividad eléctrica, C.E.	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0.17

pH Unidades de 0.15
pH

De acuerdo a lo establecido en la metodología del Ideam, a continuación se presenta en la tabla 56, la clasificación de la calidad del agua según los valores ICA.

Tabla 56, *Calificación de la Calidad del Agua según los Valores que tome el ICA*

Categorías de Valores que Puede tomar el Indicador	Calificación de la Calidad del Agua	Señal de Alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

FUENTE: Ideam

Aplicando la metodología se presentan los resultados obtenidos, para los tres puntos de monitoreo, los cuales se relacionan en la tabla siguiente.

Tabla 57, *Índice de Calidad del Agua – ICA*

PUNTO	I_{OD}	I_{SST}	I_{DO}	I_{NT/PT}	I_{CON}	I_{Ph}	ICA	Calificación de la Calidad del Agua	Señal de Alerta
ZONA ALTA	0.49	1.00	0,91	0,8	1	0,95	0.87	Aceptable	
ZONA MEDIA	0.52	1.00	0,91	0,8	0,96	1	0.88	Aceptable	
ZONA BAJA	0.51	1.00	0,91	0,8	0,91	1	0.87	Aceptable	

A partir del cálculo de los índices de calidad del agua (ICA) en los tres puntos analizados en la Microcuenca la Lejía, se puede observar que la calificación de la calidad del agua es ACEPTABLE; este resultado puede ser debido a que la Microcuenca la Lejía limita con cultivos

de café, plátano y algunos frutales, cuyos fertilizantes podría hacer variar los parámetros fisicoquímicos.

7.12 ÍNDICE DE ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA (IACAL)

Para el cálculo del IACAL se tiene en cuenta la oferta hídrica en dos condiciones diferentes, en un año medio y en un año seco. La oferta del año medio se toma de la obtenida en el Balance Hídrico realizado para la microcuenca siendo esta de **0,17285 m³/s**, para la oferta hídrica del año seco se obtuvo teniendo en cuenta la curva de duración de caudales para la microcuenca la Lejía de la cual se tomó el caudal que se da para el percentil 95, el cual se considera sería el peor escenario para la cuenca estando esta ya por debajo de su caudal ambiental, este caudal es de **0,25521 m³/s**.

De acuerdo a la metodología establecida por el IDEAM la oferta de año medio y seco deben estar representadas en Millones de metros cúbicos al año.

Tabla 58, *Oferta hídrica en año medio y año seco para la microcuenca Quebrada la Lejía.*

Oferta hídrica	Mm3/año
Oferta año medio	5,451
Oferta año seco	0,805

Un vez se obtiene la oferta, Las variables que se utilizan para el cálculo del indicador son para materia orgánica (DBO, DQO y DQO-DBO), Sólidos Suspendidos (SST), Nutrientes (N Total y P Total), con cada una de estas variables se determinó una carga contaminante tomando como

base las mediciones de calidad de agua y caudales realizadas en Noviembre de 2016 y Mayo de 2017. La carga contaminante se expresa en Toneladas al año para cada una de las variables.

Tabla 59, *Carga contaminante de variables.*

VARIABLES IACAL	CARGA CONTAMINANTE (Ton/año)
Sólidos Suspendidos Totales - (mg/L)	12,43
Demanda Bioquímica de Oxígeno - (mgO ₂ /L)	2,44
Demanda Química de Oxígeno - (mgO ₂ /L)	24,39
Nitrógeno Total - (mgN/L)	7,32
Fosforo Total - (mgP/L)	0,49

Al integrar el valor de las cargas por unidad espacial de análisis dio como resultado la categoría y el valor asignado para cada una de ellas, para el año medio, y el año seco. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 60 nos muestra los resultados obtenidos.

Tabla 60, *Categorización del IACAL.*

Variable	Año medio		Año seco	
	Categoría	Valor	Categoría	Valor
DBO	Media	3	Alta	4
SST	Alta	4	Muy alta	5
DBO - DQO	Alta	4	Muy alta	5
NT	Muy alta	5	Muy alta	5
PT	Alta	4	Muy alta	5

Posteriormente se sumaron las jerarquías obtenidas y se calculó el IACAL para cada periodo, mediante la ecuación:

$$IACAL = \frac{K_1}{Oferta}$$

Tabla 61, Resultados IACAL año medio y seco para la microcuenca

Medición	IACAL Año medio	IACAL Año seco
Noviembre 2016	4	Alta
Mayo 2017	5	Muy alta

Los resultados obtenidos muestran que de acuerdo a cada una de las mediciones la microcuenca no cuenta con una buena calidad del agua dado que en su parte baja recibe vertimientos producto de la actividad agropecuaria, la actividad minera y los asentamientos humanos que se encuentran allí, las mediciones se tomaron durante el mes de noviembre del año 2016 en condiciones normales y en mayo de 2017 en condiciones de invierno, esto afecto las mediciones de Solidos Suspendidos Totales las cuales pasaron de un promedio de 3 mg/L a 51 mg/L. Además de lo anterior el caudal en mayo de 2017 fue muy alto con respecto a la oferta que tiene la microcuenca y esto se vio reflejado en las cargas contaminantes, que fueron muy altas lo que claramente afecto la medida del indicador.

8. DISCUSION

La discusión que se presenta a continuación, examinará las implicaciones que tiene sobre el plan de manejo ambiental los amplios resultados de caracterización hidrológica y de calidad de agua que fueron descritos en el ítem 6.

8.1 IMPLICACIONES AMBIENTALES DE LA MORFOMETRÍA Y PATRONES DE DRENAJE.

De acuerdo a los resultados de la caracterización morfométrica, la microcuenca presenta una densidad de drenaje moderada y un coeficiente de compacidad de 1,872. Su clasificación como oval oblonga a rectangular oblonga, indica baja concentración de agua y por lo tanto buena capacidad de drenaje.

A lo anterior se suma que el 80% del territorio de la microcuenca se halla en pendientes fuertes (entre los 2100 y 3000 msnm). Sólo el 20%, está sobre terreno en zona de valle, con pendiente moderada. En consecuencia, no debería presentarse en su superficie eventos por inundaciones.

Los patrones descritos, indican que la microcuenca requiere un manejo adecuada de sus suelos, para garantizar la conservación de las coberturas vegetales, especialmente en la zona alta. Con ello, se evitará eventos de deslizamientos y remociones en masa, entre otros, que afectarían otras fuentes hídricas como el río Culagá y Margua.

Acciones de protección de los suelos y revegetalización también protegerán la integridad de la población y la infraestructura de servicios y demás desarrollos.

En este sentido, la elaboración del Plan de Manejo Ambiental de la microcuenca, deberá definir de manera concertada con la comunidad, estrategias para la preservación de las zonas altas. Para ello, se sugiere, que la parte alta de la microcuenca sea destinada únicamente a la conservación, un evento que se puede dar mediante el establecimiento de procesos de declaratorias de uso público y del establecimiento de medidas de gobernanza.

Con acciones como las propuestas, sucederá que la comunidad se apropiará de la riqueza ambiental de la microcuenca y se podrán establecer mecanismos de conocimiento y autorregulación de las actividades. Es pertinente, además, que en la elaboración del instrumento de manejo, se defina con claridad los usos permitidos, condicionados y prohibidos para estas zonas. Se destaca que para dar un manejo ambiental apropiado al uso del suelo, se deben considerar tanto: las condiciones físico-naturales de la cuenca caracterizadas y presentadas en este documento, como la cultura ancestral de los pobladores representado en sus hábitos y creencias.

8.2 IMPLICACIONES AMBIENTALES DE LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA.

A pesar que la zonificación climática definida, fue posible mediante el uso de datos de las estaciones climatológicas, pluviométricas e hidrológicas, de las zonas más cercanas a la microcuenca, se hace apropiado que se cuente “in situ” con la instrumentación adecuada para la medición de las variaciones del clima dentro de su área.

Este hecho importante para la planeación ambiental y del territorio, debe ser revisado en la estructuración de las medidas de manejo de la microcuenca. Sólo con equipos de medición en su

misma área, que permitan un análisis más preciso de las condiciones de la zona será posible una gestión eficiente y eficaz.

En este contexto, se requiere que se implementen sistemas de medición comunitarios para la lectura del clima. Con ello se logrará obtener datos precisos para la producción de información para la toma de decisiones, particularmente en lo que se refiere a la implementación de mecanismos para planificar los procesos productivos de acuerdo a las predicciones del clima.

Esta instrumentación también aportaría al establecimiento de sistemas de alertas tempranas comunitarios, que hará que el territorio y quienes viven en él, sea menos vulnerables a condiciones de variabilidad y cambio climático. Este es el camino para lograr en el mediano plazo, comunidades más preparadas y con mayor resiliencia. Lo anterior cobra relevancia, si se considera que la microcuenca presenta una tendencia hacia la alteración de sus condiciones, debido a sus características morfológica, geomorfológicas y climáticas estudiadas.

8.3. IMPLICACIONES AMBIENTALES DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA.

8.3.1. Oferta Hídrica: La Microcuenca la Lejía, presenta una oferta hídrica total del 172,85 L/seg; y una oferta hídrica disponible para el desarrollo de actividades sociales y económicas de 101,4 L/seg. Esto refleja que la quebrada requiere un caudal para el sostenimiento de sus condiciones biológicas y de regulación de alrededor del 41,33% del caudal total, lo que equivale a 71,45 L/seg. Es decir, éste último valor es el caudal ambiental de la microcuenca.

Determinado el caudal ambiental, los tomadores de decisiones locales y regionales pueden planear la gestión del recurso hídrico siendo concededores del volumen máximo de agua que

puede ser sustraída de la fuente, sin alterar las condiciones ecológicas necesarias para mantener la función y resiliencia del ecosistema acuático.

Cabe destacar que en Colombia, y especialmente en el Departamento Norte de Santander, no se han aplicado metodologías adecuadas para el cálculo del caudal ecológico. En este sentido, no se conoce con cierto nivel de precisión los caudales mínimos, que deben permanecer en las fuentes hídricas, que abastecen los principales núcleos poblaciones.

La falta de valoración de la disponibilidad de agua según los usos requeridos, ha generado que la demanda de agua sea mayor por los usuarios y no se tenga ningún tipo de control. Por tanto, es normal observar en las microcuencas una fuerte presión sobre los ecosistemas y la alteración de los hábitats naturales de la flora y fauna acuática, las funciones de dilución de contaminantes y el mantenimiento del paisaje ripario. Esta pérdida de servicios ambientales se hace más notoria durante los periodos de eventos climatológicos.

En cuanto a los aspectos metodológicos, se destaca el hecho de haber calculado el caudal ecológico de la microcuenca desde una curva de duración de caudales. Sobre esta base, fue posible determinar la oferta hídrica disponible para el desarrollo de las actividades sociales y económicas de la región.

No obstante, existen metodologías alternativas que pueden ser aplicadas para conocer el valor del caudal mínimo; como son: el 10 % del valor del caudal medio mensual multianual, o caudal mínimo histórico de la serie. La media de los caudales mínimos mensuales registrados, durante una serie de años; y el caudal de permanencia en la fuente durante el 90 % del tiempo.

Es de resaltar que el uso de una u otra de las metodologías mencionadas, debe responder a las condiciones de la fuente hídrica, y no a los intereses de aprovechamiento del recurso hídrico.

De igual forma, la escogencia de cualquiera de las metodologías se debe soportar en el análisis técnico de los datos generados para periodos de años representativos, mediciones de caudales, y la aplicación de modelos estadísticos. Estos últimos para descartar errores e incertidumbres en los resultados.

No es recomendable aplicar alguna de las metodologías mencionadas a datos puntuales de monitoreos, ya que la variación de los caudales como respuesta a la época climática monitoreada, genera alteraciones y ambigüedades.

Los resultados de los aforos de caudal en cada uno de los puntos monitoreados, reportan valores muy diferentes a los estimados mediante la fórmula del balance hídrico, los cuales se ubican por encima a los estimados por este método; esta situación puede ser explicada debido a que la medición de caudal se realizó de manera puntual en cada una de las zonas por el tiempo en que se desarrolló la campaña de monitoreo (12 horas); lo que indica que este método es muy impreciso si no se cuenta con una rutina de aforos que permita obtener una importante data histórica para el cálculo del caudal medio.

Desde lo observado en esta investigación, se hace necesario contar con instrumentos de medición caudal a lo largo de la quebrada. Con ello se puede obtener el registro de los caudales en las diferentes épocas y temporadas del año. La precisión la oferta hídrica de la microcuenca será mayor y en consecuencia la adecuada administración y uso del recurso hídrico, será más eficaz.

8.3.2. Demanda Hídrica: La demanda hídrica consideró las actividades sociales y económicas en el área de estudio. Se utilizó la metodología establecida por el IDEAM en el estudio Nacional del Agua, y la información obtenida en encuestas aplicadas en el sector. El

análisis permitió identificar que el mayor uso del agua, es para el desarrollo de las actividades agrícolas, pecuarias y domésticas. No se evidenciaron actividades industriales, mineras o de recreación.

Los cálculos muestran que la zona tiene una demanda hídrica 364.671,22 m³ al año. Sin embargo, la información reportada por CORPONOR, en las concesiones de agua, muestra consumo de 756.864 m³/año. Esto quiere decir, que la demanda vs la concesión es del 48,18%. En estas condiciones, existe un remanente en las concesiones del 51,81% para las mismas actividades.

No sólo las concesiones para uso productivo duplican la demanda. También se encuentra el hecho que el agua autorizada para la captación del municipio es de 693.792 m³/año, y de acuerdo al cálculo por número de habitantes la demanda para este sector sería solo de 290.631 m³/año. En estas condiciones se puede afirmar que el sector del domestico requiere es tan sólo el 41,9% de la captación autorizada.

Lo que reflejan estos valores, es que en la región, como en muchas partes de Colombia, no se implementan de manera adecuada los programas de ahorro y uso eficiente del agua. Esto puede generar un mayor consumo del requerido y por lo tanto mayores presiones a los recursos hídricos.

En estas condiciones, es necesario crear mecanismos para la contabilización del agua en los hogares, que permita la autorregulación del consumo por los usuarios. Las empresas presentadoras del servicio público de acueducto, deben optimizar sus sistemas de tratamiento, y conducción. Con ello se puede disminuir las pérdidas de agua que, en la mayoría de los casos, superan el 80%.

Todo esto debe estar alineado a la implementación de mecanismos que conduzcan hacia la creación de una cultura alrededor del agua, para mejorar su uso, y disposición, ya que se debe entender que son recursos que pueden ser agotables, y la ausencia de estos limitaría la permanencia de las comunidades en los territorios y por lo tanto el desarrollo social, económico y ambiental de la zona.

Así mismo y pese a lo anterior, se considera que para precisar sobre la demanda del recurso hídrico real en el área de la microcuenca, se deben continuar con el desarrollo de encuestas y levantamiento de información de una manera más completa, ya que en esta investigación se presentó algunos limitantes por la poca confianza que la comunidad tiene a la hora de dar la información y en algunos sectores, no se permitió el acceso al lugar para el levantamiento de la misma.

Un hecho particular, fue que algunos pobladores manifestaron la existencia de una mina en la zona. Sin embargo, no fue posible acceder a la mina y verificar el uso que del agua hacen. En consecuencia, se hace recomendable establecer mecanismos de participación y gobernanza en la zona, A partir de ello, se pueden generar acercamientos con la comunidad y, de manera conjunta y articulada, realizar el levantamiento de los datos precisos para establecer estrategias de uso, manejo y regulación de los recursos naturales. Trabajar con la comunidad, conlleva a que los investigadores y sus estudios, sean considerados como alternativas para mejorar el desarrollo ambiental, económico y social de la zona, y de cada uno de los habitantes.

8.4 IMPLICACIONES AMBIENTALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA.

En cuanto al análisis de la calidad del agua, se realizaron mediciones en dos épocas del año; Noviembre de 2016 y mayo de 2017. Las muestras para análisis se tomaron “in situ” y “ex situ”. En los mismos puntos, también se realizaron aforos de caudal.

Los resultados de los análisis “in situ” mostraron que la microcuenca presentó buenas condiciones en la parte alta y media, especialmente en los parámetros de oxígeno disuelto conductividad eléctrica y turbidez.

En la parte baja, las condiciones difieren y se refleja una menor calidad asociada al desarrollo de actividades antrópicas de tipo económico y social. En esta zona, se presentan vertimientos directos de residuos a la fuente hídrica.

El decremento de las coberturas vegetales del suelo también afecta de forma directa la calidad del recurso hídrico en la parte baja. Estos resultados confirman que las actividades humanas impactan de manera directa sobre las condiciones de los ecosistemas y la calidad de los mismos.

En el manejo de la cuenca, cobra importancia el desarrollo de políticas, programas y proyectos encaminados al desarrollo de procesos productivos y sociales que consideren la capacidad de recuperación y resiliencia de los ecosistemas. Para tal fin, se hace pertinente que los programas y proyectos necesarios, sean construidos conjuntamente con los habitantes de las zonas. Esto garantizará su apropiación, implementación y sostenimiento y que el diseño de estas respondan a las realidades físicas, naturales, sociales, y culturales de la región.

El comportamiento “ex situ” de los valores de parámetros físico-químicos como: sólidos suspendidos totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno,

Nitrógeno y Fosforo Total, y parámetros microbiológicos de Coliformes fecales y Totales, tuvieron un comportamiento muy similar al encontrado en los datos in situ. Especialmente, en la zona alta y media de la microcuenca, donde se presentan condiciones de mejor calidad.

Los sólidos suspendidos totales se incrementan de manera significativa en la parte baja pasando de 3,06 y 3,10 mg/l en la zona alta y media 29,49 mg/l en la zona baja. Es evidente que esta condición se encuentra asociada de igual manera a la actividad productiva y social de este lugar.

La DBO y DQO, son parámetros de gran interés en el análisis de la calidad del agua. Ellos, permiten estimar, el impacto de los vertimientos sobre las fuentes hídricas, al tiempo que reflejan cómo se afectaría el sostenimiento del equilibrio ecológico del ecosistema debido a los requerimientos de oxígeno disuelto. Para su constante medición, se requiere de inversiones más o menos apreciables que deben ser consideradas en los procesos de planificación del territorio. Especialmente, porque para ser considerados como válidos, deben ser analizados en laboratorios acreditados por él (IDEAM, 2010). En este aspecto, sería importante contar con otro tipo de mediciones que faciliten los procesos de análisis y monitoreo de fuentes hídricas y que sean reconocidas por entidades de vigilancia y control, como son los análisis “in situ” entre otros.

El cálculo de las cargas contaminantes se realizó con los parámetros de SST, DBO y DQO para el caudal registrado en la zona. El resultado indica que los mayores valores de carga contaminantes se encuentran en la zona baja de la microcuenca donde se ubica la mayor población, y por ende el incremento de las actividades productivas.

El valor de las cargas contaminantes determinado, permite establecer que en la estructuración del Plan de Manejo Ambiental, se debe implementar en la zona, alternativas de tratamiento de aguas residuales. Con ello, se minimizarán los impactos causados a las fuentes hídricas, por

vertimientos de aguas residuales domésticas, y las generadas por las actividades productivas como son: los beneficiaderos de café, la cría y levante de porcinos y residuos del sector agrícola.

El cálculo de los índices de contaminación ICOMO, ICOMI, ICOSUS e ICOPH, el índice de calidad (ICA), y el índice de alteración potencial de la calidad del agua IACAL, mostró que la microcuenca la Lejía presenta bajos niveles de contaminación en las zona alta y media, y valores medios en la zona baja. En cuanto al indicador de calidad (ICA), este se ubica por encima del 0,7 correspondiente a niveles aceptables de calidad. No obstante, el índice de alteración potencial de la calidad IACAL presenta valores altos, dado que tiene en cuenta en su cálculo el desarrollo de actividades agropecuarias y productivas que afectan directamente el recurso hídrico. En este último aspecto se requiere de especial atención para lograr una adecuada planificación del territorio que propendan por el uso adecuado y armónico de la microcuenca y para evitar su degradación.

CONCLUSIONES

La Microcuenca la Lejía fue delimitada cartográficamente, a escala 1:10.000, utilizando una imagen de satélite del sensor Rapidey, año 2016. Esto generó insumo importante para el análisis detallado y a mayor precisión de las características hidrológicas, geomorfológicas y de cobertura de la tierra.

La caracterización morfométrica permitió conocer las condiciones físicas que presenta la microcuenca, el patrón de comportamiento de los drenajes, y la capacidad de responder ante eventos climatológicos de la zona. Con ellas, se determinaron las condiciones hidrológicas de la cuenca, y sobre esta base las medidas de manejo que debería ser implementado. De esta forma, se tienen los elementos que pueden garantizar la conservación de la estructura y función de los ecosistemas naturales de la microcuenca, así como el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que esta sustenta.

De acuerdo al análisis de cobertura de la tierra, se evidenció que un 87% del área de la microcuenca, se encuentra cubierta de Bosques naturales, un porcentaje realmente importante para la conservación del recurso agua y la prevención de fenómenos de remoción en masa. Más aún si se considera que por sus características morfométricas la microcuenca puede ser vulnerable a riesgos como crecientes súbitas en los cauces, fenómenos de remoción en masa e inundaciones, entre otros.

De la oferta hídrica se pudo determinar que, la zona presenta una disponibilidad de 2.725.498,80 m³/año y una demanda de 364.837,99 m³/año, lo que lleva a que el índice de escasez de la microcuenca se valore como moderado. Esta es una de la situación que debe ser

objeto de revisión y vigilancia por las entidades gubernamentales, ambientales y la comunidad de la zona. Su análisis, llevará a crear políticas de conservación, especialmente en la parte alta, donde se debe evitar la intervención en las áreas de bosque y páramo. En la parte baja, se deben establecer mejores prácticas de uso y aprovechamiento de los recursos naturales.

El análisis de la demanda determinó que las aguas de la quebrada son empleadas para satisfacer el consumo humano y domestico del 100 % de los habitantes del casco urbano del municipio de Toledo, el 95 % de la Vereda el Naranjo, el 80% de la vereda Santa Ana, el 90% de la veredas Hatos Alto y la Camacha, el 100% de la vereda Toledito y un 70% de la Vereda San Isidro. También se pudo establecer que el agua de esta fuente es empleada para el riego de cultivos como Hortalizas, Maíz, Frijol, Cebolla de Bulbo, Caña Panelera, Café, Pastos de corte y pastoreo y abrevaderos de animales.

La evaluación de calidad de agua, mostró que existe un alto riesgo de contaminación en la microcuenca, especialmente en la parte baja. El desconocimiento de los datos de vertimientos por parte de la operadora minera, que no brindo información, y los resultados de los análisis de los muestreos, que evidenciaron diferencias con respecto a la calidad del agua de la parte alta, sugieren que la actividad minera impacta de forma alta la microcuenca. Este impacto, sumado a las demás actividades puede generar, en el mediano plazo, la alteración de la capacidad de asimilación de contaminantes de la fuente hídrica con las consecuencias para la sostenibilidad del ecosistema.

Finalmente, se señala que el trabajo realizado en esta microcuenca brinda aportes en lo técnico y en lo socioeconómica. El reconocimiento de actores y de sus problemáticas en un entorno ambiental caracterizado de forma sistemática y a una escala apropiada, fue la base para analizar las implicaciones que tiene el estado de la microcuenca para la elaboración de las fases

de Diagnóstico y Formulación del Plan de Manejo Ambiental de la microcuenca Quebrada la Lejía.

RECOMENDACIONES

Esta investigación fue desarrollada con el fin de conocer las características técnicas de mayor importancia para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental de la microcuenca la Legía. En cada uno de los capítulos se presentaron las recomendación para cada uno de los aspectos evaluados, que se sugiere sean tenidos en cuenta. De esta forma, se desde las implicaciones que tiene la valoración de los aspectos técnicos, se puede avanzar en los programas y proyectos que pueden quedar establecidos en el documento de planificación y Manejo.

Debido a que la gestión integral de los recursos hídricos, requiere de una adecuada articulación entre los aspectos técnicos, las entidades competentes para la administración y manejo del recurso hídrico y la comunidad que habita los territorios, se recomienda que en la elaboración del Plan de Manejo Ambiental se establezcan mecanismos de participación y gobernanza. Esto, con el fin de garantizar que, las medidas que se identifiquen, sean las requeridas para el sostenimiento del territorio. También, que su implementación sea acogida y adoptada fácilmente por los actores de la zona. Con ello, se logrará adoptar medidas de autoregulación y sensibilización frente a las actividades que se desarrollan en la microcuenca.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en esta investigación y el interés, que este genera por las entidades como Corponor y el Parque Nacional Natural Tamá se realizó un taller con el objeto de socializar a la comunidad, y el Municipio, los avances y aportes de esta trabajo para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental de la Microcuenca Quebrada la Lejía. Durante este encuentro, se realizó de manera preliminar la identificación de los actores sociales del área de estudio y la identificación, de acuerdo a las consideraciones de la comunidad, de las

problemáticas de mayor relevancia para el sostenimiento de bienes ambientales en el área de estudio. En consecuencia, se recomienda que estos insumos sean retomados durante la fase de formulación del Plan de Manejo.

Las problemáticas registradas evidenciaron: (i) La falta de consolidación de áreas para la conservación. Esto sugiere la implementación de un programa para la adquisición y declaratoria de interés público, especialmente de las zonas altas de la microcuenca. (ii) El desinterés de la comunidad por participar en los procesos de planificación (sólo asistieron personas de la vereda El Naranjo y Toledo). Por lo tanto, se deben diseñar estrategias que permitan la vinculación y apropiación de la comunidad en los procesos de conservación de los recursos naturales de la zona. En este aspecto, se debe sobrepasar el desarrollo de reuniones puntuales, y pensar en procesos sostenidos en el tiempo. De esta forma, serán los mismos pobladores quienes liderarán los procesos de administración y autorregulación de sus actividades productivas.

Como medida de manejo, se sugiere realizar una delimitación predio a predio en el área de influencia de la microcuenca. Así, se podrá conocer con exactitud las actividades productivas de la zona. También, las áreas de conservación han de inventariarse, con el fin de proponer a los pobladores una adecuada planificación de sus fincas, articulado a las necesidades de conservación presentadas en este estudio.

Se recomienda que una vez elaborado de manera conjunta el Plan de Manejo Ambiental de la microcuenca, sea aprobado por la autoridad ambiental y por el consejo municipal de Toledo. Así, el plan se convertirá en política pública local y se garantizará su articulación con los planes de desarrollo municipal, y con los planes de ordenamiento territorial. El plan, entonces, será la estrategia que permitirá lograr el cumplimiento de los programas y proyectos de mediano y largo plazo para la conservación de la cuenca.

Finalmente, se recomienda promover una estrategia de gobernanza en torno al agua, para generar los mecanismos de control y vigilancia en la zona, y así como el seguimiento a la implementación del componente programático del plan.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Municipio Toledo. (s.f.). *Reseña Historica, pagina web - toledo-nortedesantander.gov.co*. Toledo - Norte de Santander.
- BENEZ, M. C., KAUFFER MICHEL, E. F., & ALVAREZ GORD. (2010). *Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico*. Chiapas. Frontera Norte , Vol . 22.
- CARDER. (2012). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO TOTUÍ*.
- Carvajal, L, Ariza, L. A., & Ortiz, F. (2005). *Formulación del plan de ordenación y manejo de la microcuenca Guanayas*. Upin. Colombia Forestal, 9(18) 109-127.
- Chow, V. T. (1984). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill Book.
- CORNARE. (2009). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA MICROCUENCA EL PRADO, CORREGIMIENTO LA DANTA, MUNICIPIO DE SONSÓN*. Convenio 055 del 2008.
- CORPOAMAZONÍA - ECOINTEGRAL LTDA. (2009). *Plan de Ordenación y Manejo de la Microcuenca de la Quebrada La Arenoso*. . Contrato No. 05 de 2007.
- CORPONARIÑO. (2009). *PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE LA MICROCUENCA DOLORES, CUENCA ALTA DEL RIO PASTO, MUNICIPIO DE PASTO*.
- CORPONOR. (2016). *Concesiones vigentes*. Cúcuta.

- CORTOLIMA. (2008). *PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA MICROCUENCA DE LAS PANELAS Y LA Balsa*. IBAGUE.
- DANE. (2005). *Proyección de Población por Municipios 2005 - 2020*. Bogotá.
- DAZA, M. C, REYES, A, LOAIZA, W. , & FAJARDO, M. (2012). *Índice de sostenibilidad del recurso hídrico agrícola para la definición de estrategias sostenibles y competitivas en la Microcuenca Centella Dagua*. Valle del Cauca. *Revista Gestión y Ambiente*.
- Daza, S. (2011). *FORMULACION DEL PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA LOS MOLINOS MUNICIPIO DE LA CRUZ, DEPARTAMENTO DE NARIÑO*. San Juan de Pasto, Colombia.: Tesis Posgrado. UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA.
- Gómez, J. (2014). *Diagnóstico de la calidad del agua suministrada por las empresas prestadoras del servicio de acueducto en el país, de acuerdo con la información reportada al Sistema Único de Información (SUI)*. Bogota.
- Gordon, M. , & Montoya, J. (2007). *PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA MICROCUENCA LA ESPERANZA, ABASTECEDORA DEL ACUEDUCTO RURAL DE GUADUALITO EN EL MUNICIPIO DE PEREIRA*. Pereira, Colombia.: Tesis Pregrado. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Guevara, D. J. M. (2003). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas, Venezuela. 128 p.

- GUEVARA, G. (2014). *EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA PARA CUENCAS PRIORITARIAS DE LOS ANDES COLOMBIANOS: DILEMAS, DESAFÍOS Y NECESIDADES*. Acta Biológica Colombiana, 19(1) 11-24.
- IDEAM. (2004). *Metodología para El Cálculo del Índice de Escasez de Agua Superficial*.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua*.
- IDEAM. (2010). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua, Sistema de indicadores ambientales*.
- IDEAM. (2013). *Hoja metodológica del indicador Índice de alteración potencial de la calidad del agua*.
- IDEAM. (2013). *zonificación y codificación de uniades hidrográficas e hidrogeológicas*. Bogotá D.C.
- Idrovo, A., & Peñaherrera, D. . (2001). *Aporte analítico e Investigativo para la implementación del Plan Integrado de la microcuenca del rio Zhululum en el cantón Gualaceo, Provincia del Azuay*. Cuenca, Ecuador.: Tesis pregrado. Universidad de Azuay.
- IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA. (2008). *Mapa de cobertura de la tierra Cuenca Magdalena - Cauca*. Bogotá D.C.
- IGAG. (1999). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Norte de Santander*.

- Mármol, L. A. (2006). *Introducción al manejo de Cuencas Hidrográficas y Corrección de Torrentes*. . Salta: Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- MINAGRICULTURA. (1981). «Decreto 2857,» *Diario Oficial N° 35881*.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Resolución 2115 de 2007*.
- Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Decreto 1575, Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano*.
- Miranda, C, Rosa, L, Gonçalves, N, Oliveira, F, & Bonito, J. (2016). *Impactos ambientales en la microcuenca del río Parafuso*. Amazonas oriental, Brasil.: *Gestión y Ambiente*, 19(1) 123-140.
- Montoya, Y. , & Montoya, B. (2009). *CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA LOS ANDES, EL CARMEN DE VIBORAL, ANTIOQUIA-COLOMBIA*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15) 31-38.
- Orrego, R., Matus, F, Morales, S. L., Canessa, M. F., & Mattar, C. (2006). *Caracterización y zonificación edáfica de la región de Coquimbo, Chile*. *J. Soil Sci. Plant. Nutr.* 6(3):52-74.
- PINEDA, N., ARELLANO, R., BECERRA, L., AULAR, M, E., AZUAJE, M, PIMENTEL, J. , y otros. (2011). *CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO MONAICITO, SUBCUENCA DEL RÍO MOTATÁN-CARACHE*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.2 (5).

- Rivero, S., Almeida, O., Ávila, S., & Oliveira, W. (2009). "*Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia*". *Nova Economia* 19: 41-66.
- Romero, B., & Ponce, N. (2009). *Formulación de un plan de manejo de la microcuenca del río Jupula, San Ignacio, Chalatenango, El Salvador*. Universidad del Salvador. San Salvador.
- Samboni Ruiz, N. E. (2007). *Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación; Vol. 27, núm. 3.*
- Sánchez, S. N., & Garduño, L. R. (2008). *Algunas consideraciones sobre los sistemas de clasificación climática*. *Revista ContactoS*. 68:5-10.
- SIAT-AC. (2015). *Ficha de patrones*.
- Suarez. (2007). *Los desafíos de los POMCA en el contexto del ordenamiento y el desarrollo ambiental y territorial. Memorias del III foro sobre los retos del ordenamiento territorial en Colombia*.
- Torres, P. C. (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica*. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94. Medellín.
- U. Militar. (2014). *APLICACIÓN DE LA TEORÍA DEL NÚMERO DE CURVA (CN) A UNA CUENCA DE MONTAÑA. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO MURCA, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*. . Bogotá.

Velastegui, V. , & Quishpe, C. . (2013). *PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA DEL RIO CUTUCHI*. Quito, Ecuador: Tesis Pregrado. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

ANEXOS

Anexo 1, Detalle de la metodología para la caracterización hidrográfica, delimitación de la microcuenca y la determinación de la calidad del agua en la quebrada la lejía.

DETALLE DE LA METODOLOGIA PARA LA CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA, DELIMITACIÓN DE LA MICROCUENCA Y LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA QUEBRADA LA LEJIA.

La hidrografía se elaboró con base en cartografía escala 1:10000 según lo demanda el decreto 1640 de 2012 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para Planes de Manejo de Microcuencas, los insumos utilizados para tal propósito son una imagen de satélite sensor RapidEye con resolución de 5 metros y un DEM de 12,5 metros de resolución, para garantizar la escala necesaria de 1:10000, se realizó una verificación de los drenajes con puntos en campo tomados mediante navegadores de GPS.

El primer paso fue delimitar la microcuenca con la ayuda de los sensores remotos anteriormente nombrados, con estos insumos se generaron curvas de nivel cada 10 metros para posteriormente hacerles una revisión y así verificar que tengan una consistencia lógica con los drenajes. Para la información de drenajes se tomó inicialmente los existentes en la plancha IGAC 1:25.000 los cuales fueron ajustados con la imagen y el DEM.

Una vez se cuente con una red de drenajes que cumpla con los parámetros 1:10000 la divisoria debe cortar perpendicularmente a las curvas de nivel y pasar, estrictamente, por los puntos de mayor nivel topográfico; cuando la divisoria va aumentando, su altitud corta a las curvas de nivel por su parte convexa; cuando la altitud de la divisoria va decreciendo, corta a las curvas de nivel por la parte cóncava; la divisoria no debe cortar ningún flujo de agua natural.

También se determinó el patrón de drenaje teniendo en cuenta su definición como la forma que toma la red de drenaje de acuerdo a la geomorfología del terreno.

Para determinar la densidad de drenaje que es la cantidad de afluentes que surten al cauce principal, este parámetro relaciona los cursos de agua expresados en Km, con el área total del microcuenca expresada en Km². La densidad de drenaje se genera con la siguiente formula:

$$D = \frac{L(Km)}{A(Km^2)}$$

Donde

L: es longitud total de los cauces en la microcuenca

A: es el área de la microcuenca.

Este índice refleja la influencia de la topografía, geología, suelos, cobertura en la cuenca y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento en la cuenca y su respuesta a los eventos de precipitación.

Caracterización morfométrica

La morfometría es el conjunto de parámetros de interpretación y/o comparación de distintos fenómenos que ocurren dentro de la cuenca. La morfometría permitirá dar una idea del comportamiento de caudales de acuerdo con condiciones de forma de la cuenca.

Los índices analizados fueron los siguientes:

Coefficiente de compacidad de Gravelius

Define la forma de la cuenca, respecto a las semejanzas con formas redondas, se expresa en la siguiente ecuación:

$$Kc = \frac{0,28 * P}{\sqrt{A(Km)}}$$

Dónde:

Kc: Coeficiente de compacidad de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca en Km

A: Área de la cuenca en Km²

Tabla 4. Clases de forma según Kc

<i>Coeficiente de compacidad</i>	<i>Clases</i>
1 – 1,25	Redonda a oval redonda
1,25 – 1,5	De oval redonda a oval oblonga
> A 1,5	De oval oblonga a rectangular oblonga

Índice de alargamiento

Este índice relaciona la longitud máxima de la cuenca, con su ancho máximo medio perpendicularmente a la dimensión anterior, ambas en una misma unidad de longitud, se expresa en la siguiente ecuación:

$$Ia = \frac{La}{a}$$

Dónde:

Ia: índice de al

La: Longitud axial

A: Ancho máximo de la cuenca

Tabla 5. Clasificación según índice de alargamiento

<i>Índice de alargamiento</i>	<i>Clases de cuenca</i>
-------------------------------	-------------------------

$I_A < 1,4$	Poco alargada
$1,5 < I_A < 2,8$	Moderadamente alargada
$2,9 < I_A < 4,2$	Muy alargada
MAYOR	

Factor de Forma

Es la variable que permite evaluar la elongación de una cuenca, por medio de la siguiente ecuación

$$Hf = \frac{B}{La} = \frac{A}{La^2}$$

Dónde:

Hf: Factor de forma de Horton

A: Área de la microcuenca en Km²

La: Longitud axial en Km

Tabla 6. Posibles clasificaciones de valores de forma

<i>CLASES DE VALORES DE FORMA</i>	
<i>R</i>	<i>Clases de Forma</i>
0,01 – 0,18	Muy poco achatada
0,181 – 0,36	Ligeramente achatada
0,361- 0,54	Moderadamente achatada

Índice de asimetría

Identifica la ausencia o existencia de basculamiento a escala de la cuenca de drenaje, mediante una relación porcentual entre las áreas ocupadas por las dos márgenes del cauce principal (Keller y Pinter,1996).

$$AT_D = \left(\frac{A_D}{A_T} \right) * 100$$

Dónde:

AF_D : es el valor del porcentaje calculado para la margen derecha del cauce principal

A_D : Es el área correspondiente a la margen derecha

A_T : área total de la cuenca de drenaje

El cálculo de la margen izquierda AF_I , la relación es la siguiente: Si el valor se aproxima al 50% menor será la influencia de la actividad tectónica de la cuenca, y cuanto más se diferencie del 50% mayor será la intensidad del basculamiento (Keller y Pinter, 1996)

$$AF_I = \left(\frac{A_I}{A_T} \right) * 100$$

Longitud del cauce principal (LC)

Corresponde al principal cauce de la cuenca, en este parámetro se debe tener en cuenta la sinuosidad del mismo, tomando como unidad de longitud el Km.

Altura media

La elevación media es un parámetro importante ya que nos dice que piso térmico es el preponderante en la cuenca, la elevación está referida en metros sobre el nivel del mar, primero se calcula la cuota media por medio de la siguiente ecuación:

$$Cota\ media\ (m) = \frac{Cota\ mayor + cota\ menor}{2}$$

Teniendo la cuota media procedemos a calcular la elevación media con la siguiente ecuación:

$$H = \sum \frac{(c_i * a_i)}{A}$$

Dónde:

H: Elevación media de la cuenca

C_i: Cota media de área i, delimitada por dos curvas de nivel

a_i: Área i entre dos curvas de nivel en m² o Km²

A: Área total de la cuenca

Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación gráfica del relieve medio de la cuenca, construida llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas

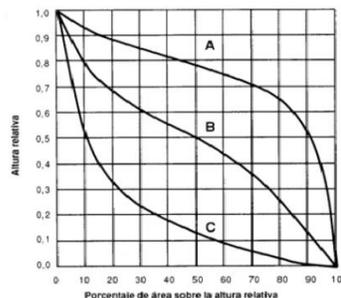


Ilustración 1. Tipos de curva hipsométrica

Tabla 1. Curva hipsométrica

Tipos de curva hipsométrica	
Curva A	Refleja una cuenca con gran potencial erosivo (fase de juventud)
Curva B	Es una cuenca en equilibrio (Fase de madurez)
Curva C	Es una cuenca sedimentaria (fase de vejez)

Pendiente Media del Cauce (Pm)

Relaciona la altura total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo.

$$Pm = \frac{V_{mayor} - V_{menor}}{Lc}$$

Tabla 2. Clasificación pendiente media del cauce de la cuenca

Rangos de pendiente	Clases
1% - 5%	Suave
6% - 11%	Moderada
12% - 17%	Fuerte

Pendiente Media (S) de la Cuenca

La pendiente media es cálculo de todas las pendientes correspondientes a áreas elementales en las que pudiéramos considerar constante la máxima pendiente. En términos generales indica el grado de “rugosidad” que tiene el suelo de la cuenca (IMFIA, 2010). Este parámetro nos permite conocer la posibilidad o tendencia de una cuenca a generar una crecida súbita.

Tabla 3. Categorización pendiente media de la cuenca

Categoría	Pendiente (%)
Accidentado	Menor a 15
Fuerte	16 - 30
Muy fuerte	30 - 45
Escarpado	46 - 65
Muy escarpado	Mayor 65

Tiempos de Concentración (Tc)

Es el tiempo teórico que se demora una gota de agua desde la parte más alta de la cuenca hasta la desembocadura, se analizó por medio de la ecuación de Kirpich

$$Tc(Kirpich) = 0.06628 * \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,77}$$

Dónde:

Tc: Tiempo de Concentración en horas.

L: Longitud del cauce Principal en Km.

S: Pendiente media de la cuenca en m/m.

Caracterización climática

Para realizar la caracterización climática de la cuenca, se utilizó el raster del departamento que obedece a la interpolación de datos de las estaciones que se encuentran distribuidas en territorio de Norte de Santander y otras cercanas al departamento.

Una vez seleccionadas las estaciones se analizan los registros de los siguientes parámetros:

1. Temperatura: media mensual y anual
2. Precipitación: media mensual y anual.
3. Evaporación: A partir de temperatura y precipitación.

Zonificación Climática

La clasificación climática de un territorio consiste en dividirlas de acuerdo a características de homogeneidad de acuerdo a parámetros climáticos como precipitación y temperatura. De las metodologías existentes para el caso de la microcuenca La Lejía se escogió la clasificación de Caldas y el modelo climático de Lang.

En 1802 Francisco José de Caldas propuso clasificar las zonas de acuerdo a la altitud del área o los pisos térmicos y la temperatura, cabe resaltar que está diseñada para ser utilizada en la zona ecuatorial, En 1915 Lang por su parte, propuso dividir la precipitación media anual sobre la temperatura media anual, obteniendo así el llamado factor de lluvia de Lang.

Tabla 4. Clasificación climática Caldas

<i>Piso Térmico</i>	<i>Rango Altura(m)</i>	<i>Temperatura(°C)</i>
Cálido (C)	0 - 1000	$T \geq 24$
Templado (T)	1001 - 2000	$24 > T \geq 17.5$
Frio (F)	2001 - 3000	$17.5 > T \geq 12$
Paramo bajo (Pb)	3001 - 3700	$12 > T \geq 7$
Paramo Alto (Pa)	3701 - 4200	$T < 7$

Tabla5. Clasificación climática de Lang

<i>Factor de lluvia de Lang P/T</i>	<i>Clase de clima</i>	<i>Símbolo</i>
0 – 20,0	Desértico	D
20,1- 40,0	Árido	A
40,1 – 60,0	Semiárido	sa
60,1 – 100,0	Semihúmedo	sh
100,1 – 160,0	Húmedo	H
> 160	Superhúmedo	SH

Para obtener una zonificación climática equiparable a los resultados de otras como las propuestas por Köppen (1936), Thornthwaite (1948), Emberger (1955), Gaussen (1955), en el

año 1962 Schaufelberger, propuso su unificación en una sola metodología Caldas-Lang en la cual se incluyen la variación altitudinal de la temperatura, que indica los pisos térmicos y la efectividad de la precipitación que muestra la humedad.

Tabla 6 Tipos de clima según Caldas Lang

<i>No.</i>	<i>Tipo climático</i>	<i>Símbolo</i>
1	Cálido Superhúmedo	CSH
2	Cálido Húmedo	CH
3	Cálido Semihúmedo	Csh
4	Cálido semiárido	Csa
5	Cálido Árido	CA
6	Cálido Desértico	CD
7	Templado Superhúmedo	TSH
8	Templado Húmedo	TH
9	Templado Semihúmedo	Tsh
10	Templado semiárido	Tsa
11	Templado Árido	TA
12	Templado Desértico	TD
13	Frío Superhúmedo	FSH
14	Frío Húmedo	FH
15	Frío Semihúmedo	Fsh
16	Frío semiárido	Fsa
17	Frío Árido	FA
18	Frío Desértico	FD
19	Páramo Bajo Superhúmedo	PBSH
20	Páramo Bajo Húmedo	PBH
21	Páramo Bajo Semihúmedo	PBsh
22	Páramo Bajo Semiárido	Pbsa
23	Páramo Alto Superhúmedo	PASH
24	Páramo Alto Húmedo	PAH
25	Nieves Perpetuas	NP

Cobertura del suelo

Para construir la cobertura del suelo se utilizó como insumo una imagen de satélite del sensor RapidEye con resolución espacial de 5 metros de diciembre de 2016, la imagen según su proveedor es idónea para escala 1:12000 en parte plana y 15000 en partes de mayor pendiente. Por esta razón se realizó una malla de puntos de comprobación en campo, además con la ayuda de personal de Parques Nacionales Naturales se obtuvo información sobre actividad agropecuaria en la parte más intervenida de la microcuenca permiten garantizar una interpretación acorde con la escala exigida, es decir la obtención de cartografía a escala 1:10000 para los planes de manejo ambientales de microcuencas.

La obtención de la cartografía, se realizó a partir de los principios básicos de la interpretación, es decir, detectar, reconocer, identificar, agrupar y clasificar los objetos que cubren un espacio sobre la superficie terrestre y en la manera como se manifiestan en las imágenes, a través de los fundamentos de la fotointerpretación como son: tono, textura, forma y tamaño (patrón), los cuales son indicativos y se constituyen en clave de identificación, dependiendo del tipo de registro espectral.

Se realizó una verificación en campo con puntos previamente establecidos durante el proceso de la digitalización, para corroborar que la clasificación hecha estuviera acorde con la realidad en el campo.

Balance Hídrico

EL balance hídrico es una herramienta para cuantificar la oferta hídrica en una cuenca, está basado en las entradas y salidas del sistema con respecto al tiempo y a los diferentes elementos presentes en el ciclo hidrológico, se representa en la siguiente ecuación

$$P - ETR - Esc - Inf \pm \Delta S + Q_i = 0$$

Dónde:

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm) (evaporación + transpiración)

Esc: Escorrentía (mm)

Inf: Infiltración

ΔS : Almacenamiento

Q_i : Caudal de entrada

Precipitación

La precipitación es la principal entrada de agua en el ciclo hidrológico, esta es el volumen de agua que cae por acción de la gravedad sobre la superficie terrestre en forma de lluvia, neblina, nieve etc. Varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca y subcuenca de acuerdo a la altitud y diversas situaciones climáticas.

Evapotranspiración

La evapotranspiración es un fenómeno que ocurre a través de la evaporación del agua presente en la superficie terrestre, incluyendo la transpiración de los seres vivos, en especial de las plantas. Como resultado de este proceso se determina la formación de vapor atmosférico, que, al

llegar a las condiciones de condensación, retorna en parte a la superficie en forma de precipitación.

Por tanto la evapotranspiración es la consideración conjunta de los procesos de evaporación y transpiración. La diferencia entre estos dos conceptos está en la participación de los seres vivos en el segundo, que es el proceso físico a través del cual sus superficies pierden agua a la atmosfera mediante el proceso de transpiración. Su inclusión en un concepto único con la transpiración se debe a la dificultad de medirlos por separado. Por tanto la evapotranspiración se produce desde:

1. La evaporación del agua transpirada por los seres vivos.
2. La superficie del suelo y de la vegetación inmediatamente después de la precipitación.
3. La superficie de la hidrosfera: ríos, lagos, embalses, océanos.
4. El suelo, pudiendo tratarse de agua recientemente infiltrada o de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido a través del subsuelo.

Para nuestro proyecto se calculó una evapotranspiración real anual, mediante una de las formulas establecidas empíricamente comparando las precipitaciones y la escorrentía total de numerosas cuencas, de estas las más conocidas son la propuestas por Turc y Coutagne.

La fórmula que utilizamos es la propuesta por Turc.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25t + 0,05t^3$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración Real

P: Precipitación

t: temperatura

Escorrentía

La escorrentía superficial es la precipitación que no se infiltra o se evapora, dado que circula libremente por la superficie del suelo termina concentrándose en los cauces y cuerpos del agua.

Precipitación efectiva

El cálculo de la escorrentía se origina mediante las siguientes ecuaciones, se usó el álgebra de mapas del sistema de información geográfica ArcGis.

$$P_2 = P - EVT$$

Dónde:

P₂: Precipitación menos perdidas

P: Precipitación

EVT: Evapotranspiración

El calculó la Precipitación efectiva que se define como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua excluyendo por tanto la infiltración, representada mediante el número de curva, la escorrentía superficial y la evapotranspiración del suelo.

$$P_e = \frac{(P_2 - 0,2 * S)^2}{P_2 + 0,8 * S}$$

Dónde:

Pe: Precipitación efectiva

S: Se expresa en función del Número de curva (CN)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Numero de Curva

El método del número de curva fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU en 1984 para calcular la precipitación efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad. (Chow, 1984).

La metodología del número de la curva (CN), es la más empleada para transformar la precipitación total en precipitación efectiva, surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente. La representación gráfica de la profundidad de precipitación (P) y la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa (Pe), permitió obtener una familia de curvas que fueron estandarizadas a partir de un número adimensional de curva CN, que varía de 1 a 100, según sea el grado del escurrimiento directo. Así un número de la curva $CN = 100$, indica que toda la lluvia escurre y un $CN = 1$, indica que toda la lluvia se infiltra (U. Militar, 2014).

Para el cálculo del número de curva se utilizó tres insumos, el uso del suelo, las condiciones hidrológicas para la infiltración, y la permeabilidad del suelo.

El uso del suelo es descrito por cada una de las coberturas que se determinaron para el área de estudio, las cuales se adaptó para las características de la tabla general para el cálculo del número de curva (CN).

La condición hidrológica de un terreno agrícola se basa en una combinación de factores que afectan a la infiltración y a la escorrentía superficial. Estos factores son:

1. Densidad y fracción de cabida cubierta de la vegetación
2. Grado de cubierta vegetal a lo largo del año
3. Número de cultivos de leguminosas y otras prateras en la rotación
4. Porcentaje de residuos vegetales cubriendo la superficie del suelo
5. Grado de rugosidad superficial

La condición hidrológica es pobre si los factores antes indicados dificultan la infiltración y facilitan la escorrentía superficial.

La permeabilidad del suelo distingue cuatro tipos de suelos: A, B, C y D. El tipo A tiene una alta capacidad de infiltración; el tipo D posee una baja capacidad de infiltración, o sea que produce escorrentía fácilmente. Los suelos de tipo B y C tienen unas propiedades hidrológicas intermedias. El Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU hizo la siguiente descripción

1. Grupo A: Suelos con bajo potencial de escurrimiento por su gran permeabilidad y con elevada capacidad de infiltración, aun cuando estén húmedos. Se trata principalmente de suelos profundos y con texturas gruesas (arenosa o areno-limosa).
2. Grupo B: Suelos con moderada capacidad de infiltración cuando están saturados. Principalmente consisten en suelos de mediana a alta profundidad, con buen drenaje. Sus texturas van de moderadamente finas a moderadamente gruesas (franca, franco-arenosa o arenosa).
3. Grupo C: Suelos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados. Su textura va de moderadamente fina a fina (franco-arcillosa o arcillosa). También se incluyen aquí suelos que presentan horizontes someros bastante impermeables.
4. Grupo D: Suelos muy arcillosos con elevado potencial de escurrimiento y, por lo tanto, con muy baja capacidad de infiltración cuando están saturados. También se incluyen aquí los suelos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una roca impermeable, ciertos suelos salinos y suelos con nivel freático alto.

Tabla 7. Tabla de calificación de Número de Curva (CN)

TIPO DE VEGETACIÓN	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
		A	B	C	D
Barbecho	-	77	86	91	94
	Pobre	76	85	90	93
	Buena	74	83	88	90
Cultivos alineados	Pobre	72	81	88	91
	Buena	67	78	85	89
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	Pobre	65	76	84	88
	Buena	63	75	83	87
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	Pobre	66	77	85	89
	Buena	63	75	83	87
Pastizales o pastos naturales	Pobres	68	79	86	89
	Regulares	49	69	79	84
	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	Pobres	47	67	81	88
	Regulares	25	59	75	83
	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	Pobres	48	67	77	83
	Regulares	35	56	70	77
	Buenas	30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	Pobres	57	73	82	86
	Regulares	43	65	76	82
	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	Pobres	45	66	77	83
	Regulares	36	60	73	79
	Buenas	25	55	70	77
Bosques	Muy pobre	56	75	86	91
	Pobre	46	68	78	84
	Regular	36	60	70	76
	Buena	26	52	63	69
	Muy Buena	15	44	54	61
Viviendas	-	59	74	82	86
Camino en tierra	-	72	82	87	89
Camino en firme	-	74	84	90	92

Estimación del caudal medio anual

El cálculo del caudal medio anual se calcula por medio de la siguiente ecuación

$$Q_m = 3.17 \times 10^{-8} * A_c * P_e$$

Dónde:

A_c : Área de la cuenca (m²).

P_e : Precipitación efectiva de la cuenca (m).

ETR: Evapotranspiración real media anual de la cuenca (m).

Q_m : Caudal medio anual (m³/s).

Para la anterior ecuación fue necesario especializar los valores de precipitación los valores de precipitación media anual para la microcuenca, usando los datos de las estaciones más cercanas ya que en el área no hay ninguna estación.

La ETR fue explicada anteriormente y se genera de acuerdo a los valores de temperatura dados por las estaciones cercanas al área de la microcuenca, primeramente con estos valores, se especializo la temperatura para obtener un promedio en el área.

La escorrentía total u oferta hídrica total disponible, se calculó con el balance hídrico en una escala anual. Para tal fin se utilizaron software de sistemas de información geográfica para que por medio de un algebra de mapas se genere el valor para la zona de la microcuenca.

Calculo de Oferta y Demanda hídrica superficiales

Oferta Hídrica

En lo que refiere a la oferta hídrica de agua, se hace necesario contemplar los conceptos de oferta hídrica total superficial y oferta hídrica disponible. En el Estudio Nacional del Agua -ENA (IDEAM, 2010) se define la oferta hídrica total como el volumen de agua que escurre por la superficie integrando los sistemas de drenaje superficial, en otras palabras el volumen de agua que no se infiltra ni se evapora y que por tanto se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lenticos. Igualmente en el Estudio Nacional de Agua se define la oferta hídrica superficial disponible como el volumen de agua resultante de sustraer de la oferta hídrica superficial total el denominado caudal ambiental, es decir, volumen requerido para el sostenimiento del ecosistema y del sistema fluvial y en cierta medida el caudal mínimo para los usuarios.

Por lo anterior, el cálculo de la oferta hídrica superficial disponible precisa el cálculo inicial de la oferta hídrica superficial total y del caudal ambiental. El cálculo de oferta hídrica superficial total puede ser realizado por revisión de series históricas de estaciones, cuando están son suficientes en número en el área de estudio, por aplicación de un ejercicio de modelamiento hidrológico o por aplicación de la ecuación de balance hídrico. En el caso de la microcuenca La Lejá no se cuenta con ninguna estación de medición del nivel de agua que permita tener registros suficientes espacial y temporalmente del caudal del cauce principal ni de sus tributarios de manera que ninguna de las dos primeras metodologías de cálculo es posible. La aplicación de la ecuación de balance hídrico que conlleva a la estimación de un rendimiento hídrico

(escorrentía) y posterior estimación del caudal medio anual de la microcuenca es la forma más adecuada para obtener la oferta ante un área con alta escasez de datos.

En lo que respecta al cálculo del caudal ambiental, al no existir información de caudales diarios multianual que permita construir la curva de duración de caudales medios diarios para la microcuenca, se realizó el cálculo a partir de la información de caudales de la estación limnigráfica Peña de los Micos localizada sobre el Río Margua y se estableció un factor de proporcionalidad de acuerdo con la relación entre el área de la microcuenca la Lejía y el área aferente a la estación Peña de los Micos.

El caudal ambiental a partir de la curva de duración de caudales (en este caso se dispone de curva de duración de caudales de la estación Peña de los Micos) se calcula encontrando en esta curva el caudal (m³/S) correspondiente al percentil Q75 o Q85, es decir los caudales que son excedidos el 75% y el 85% de días durante el año ,los cuales se asocian con el caudal base del río que debe ser mantenido para sostenimiento del ecosistema y para cubrir la dotación mínima de usuarios durante épocas de estiaje.

El diagrama de la Ilustración ilustra el procedimiento de cálculo de la Oferta Hídrica Superficial Disponible.

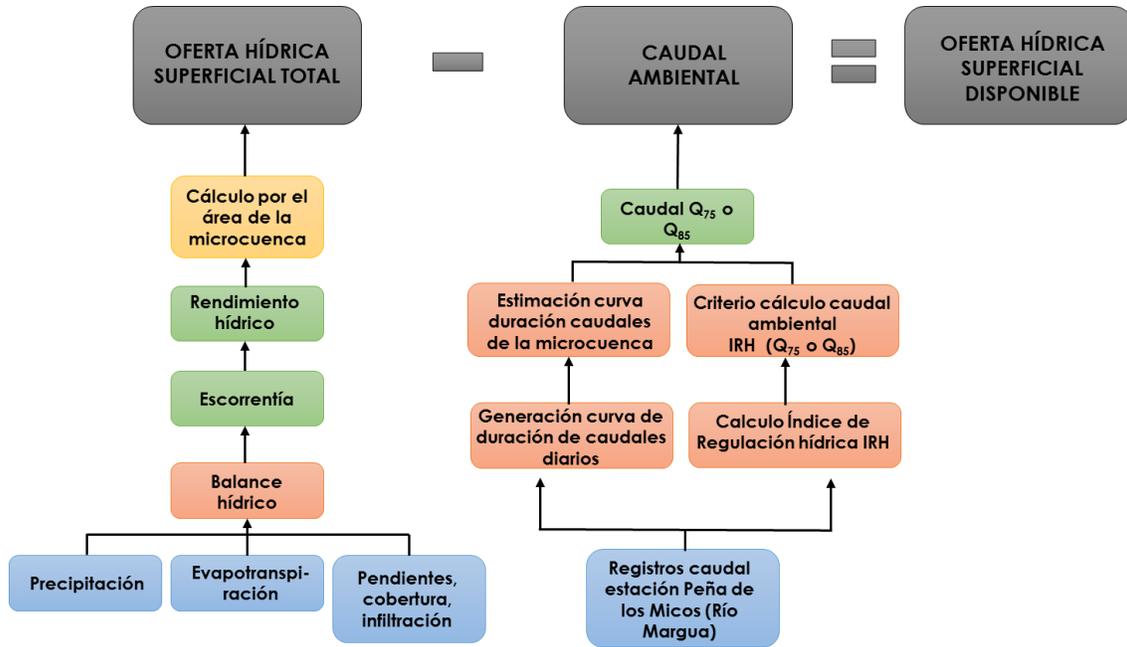


Ilustración 2. Procedimiento de cálculo de la oferta hídrica superficial

Demanda Hídrica

La demanda hídrica de acuerdo con la definición presentada en el ENA de 2010 (IDEAM, 2010) corresponde al agua extraída del sistema natural para suplir los diferentes tipos de consumo como el consumo humano, el productivo y el necesario para el equilibrio de los ecosistemas. La demanda hídrica comprende no solamente el uso que implica sustracción o consumo del agua sino también la retención temporal de la misma. En este sentido la demanda corresponde a la sumatoria de los consumos para los diferentes usos más el agua extraída no consumida. La ecuación inicial que define la demanda es la siguiente:

$$Dh = \sum c + Aenc$$

Dónde:

Dh: demanda hídrica

C: consumos sectorial, doméstico y de ecosistemas

Aenc: agua extraída no consumida sectorial y doméstico

Las demandas sectoriales presentes en la microcuenca de la quebrada La Lejía corresponden a las de consumo humano o doméstico y al sector primario (agrícola y pecuario) pues no se realiza actividad industrial, minero-energética, acuícola de importancia ni de prestación de servicios por lo cual la ecuación simplificada es:

$$Dh = Ch + Csp + Aenc$$

Dh: demanda hídrica

Ch: consumo humano

Csp: consumo sector primario

Aenc: agua extraída no consumida sectorial y doméstico

El cálculo de cada una de las demandas sectoriales se realizó siguiendo las directrices del IDEAM que fueron implementadas para el Estudio Nacional del Agua de 2010 como se presenta en los próximos apartados.

Cálculo de la demanda del sector agrícola

La demanda del sector agrícola implica la existencia de un requerimiento de riego de cultivos, es decir, la necesidad de riego debida a que la precipitación del área no satisface la necesidad de agua del cultivo. El procedimiento de cálculo de la demanda para el sector agrícola implica la estimación del riego y de la denominada precipitación efectiva (P_e), que corresponde a la proporción de la precipitación neta menos las pérdidas correspondientes a infiltración y evapotranspiración, es decir la parte de la precipitación disponible para ser aprovechada por las plantas.

El riego corresponde al volumen necesario para compensar la pérdida por evapotranspiración, para prevenir la salinización del suelo y para garantizar la uniformidad en la aplicación de agua en el cultivo (IDEAM, 2010). El cálculo del riego bruto (R_b) corresponde a la sustracción entre la precipitación efectiva y la evapotranspiración. El riego neto (R_n) se estima teniendo en cuenta un factor de eficiencia teniendo en cuenta

El cálculo de la evapotranspiración comprende el siguiente procedimiento.

- Determinación de áreas de cultivo a partir del mapa de cobertura de la tierra, de información socioeconómica a nivel predial de la microcuenca levantada durante el año 2017 por parte del equipo de trabajo del PNN Tamá y de trabajo de campo.
- Determinación de evapotranspiración de referencia (ET_p) para cada área de cultivo a partir de raster de evapotranspiración obtenido con aplicación de la fórmula de TURC.
- Cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) que resulta del producto de la evapotranspiración de referencia y el factor de cultivo promedio (K_c) correspondiente al tipo de cultivo

$$Etc = Etp * Kc$$

El cálculo del riego bruto y el riego neto comprende el siguiente procedimiento:

- Determinación de la precipitación efectiva para cada área de cultivo a partir de aplicación de coeficiente de escorrentía a la precipitación media anual).

$$Pe = PT * Ke$$

- Cálculo del riego bruto que consisten en sustraer de la precipitación efectiva la evapotranspiración del cultivo

$$Rb = Pe - ETc$$

- Cálculo del riego neto que consiste en dividir el riego bruto por un factor de eficiencia. que de acuerdo con el ENA 2010 corresponde a un 65 % a excepción del arroz para el cual se estima un porcentaje de 23%, lo cual implica un mayor requerimiento de riego.

$$Rn = Rb * E$$

La sumatoria de volúmenes de riego neto de los diferentes cultivos corresponderá al agua consumida del sector agrícola en la microcuenca y la diferencia entre el riego bruto y el riego neto corresponderá al agua extraída no consumida del sector agrícola. La sumatoria del agua

consumida y de la extraída no consumida en todas las áreas de cultivo es la demanda hídrica total del sector agrícola.

Cálculo de la demanda del sector pecuario

El Estudio Nacional de Agua del año 2010 establece que los componentes de la demanda del sector pecuario son los consumos para cría, levante y terminación, para sacrificio y para consumo en lugares de manejo y alojamiento de animales. No obstante en, la gran mayoría de la actividad pecuaria en el área de la microcuenca La Lejía es de carácter familiar, por lo cual no se considera en todos los casos el consumo para sacrificio o el destinado al mantenimiento de establos, únicamente se considerara en los casos en que la producción se realiza con fines comerciales.

El procedimiento para el cálculo se basa en la información de número de animales por edad y por sexo lograda mediante aplicación de encuesta socioeconómica en predios localizados en el área de la microcuenca, mayormente en su parte baja, donde se concentra la actividad productiva, y consiste en la aplicación de módulos de consumo consultados igualmente en el ENA de 2010 que indican la cantidad de litros de agua por animal día (l-cabeza-día) para las diferentes componentes de la cadena de producción (cría, sacrificio, manejo). Los módulos de consumo para aves y bovinos, basados en las tablas 5.18 y 5.20 del ENA (IDEAM, 2010) respectivamente. El cálculo es sencillamente la aplicación del consumo a la población de animales.

Cálculo de la demanda para consumo humano o doméstico

La demanda para uso doméstico se realiza de acuerdo con los datos de dotación máxima establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS 2000, que se asignan de acuerdo con el nivel de complejidad del sistema y al tipo de clima. La **Tabla 8. Asignación de nivel de complejidad** Tabla corresponde a la clasificación del nivel de complejidad del sistema y la Tabla a la dotación máxima por nivel de complejidad.

Tabla 8. Asignación de nivel de complejidad

<i>Nivel de complejidad</i>	<i>Población en la zona urbana (Habitantes)</i>	<i>Capacidad económica de los usuarios</i>
Bajo	<2500	Baja
Medio	2501 - 12500	Baja
Medio Alto	12501 - 60000	Media
Alto	>60000	Alta

Tabla 9. Dotación máxima por habitante

<i>Nivel de complejidad del sistema</i>	<i>Dotación neta mínima (L/hab*día)</i>	<i>Dotación neta máxima (L/hab*día)</i>
<i>Bajo</i>	100	150
<i>Medio</i>	120	175
<i>Medio Alto</i>	130	-
<i>Alto</i>	150	-

El cálculo de la demanda hídrica doméstica se realizó asignando a la población beneficiada con la oferta natural de la microcuenca la lejía el respectivo valor de dotación máxima. El consumo doméstico de agua de la microcuenca de la Quebrada La Lejía

Luego de calculada la demanda hídrica de todos los sectores y obtenida la sumatoria, es decir, la demanda hídrica total, esta fue contrastada con la demanda hídrica correspondiente a la

sumatoria de los caudales de concesión otorgados por CORPONOR que se relacionan en la
¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. de este documento.

Índice de escasez

Se establece como la relación entre la Oferta Hídrica Neta Superficial y la Demanda Total de Agua ejercida en el desarrollo de actividades económicas y sociales.

$$I_E = \frac{D}{O_n} * 100$$

Dónde:

I_E: Índice de escasez (%)

D: Demanda de agua (m₃)

O_n: Oferta hídrica superficial neta (m₃)

La escasez se registra cuando la cantidad de agua tomada de las fuentes existentes es tan grande que se suscitan conflictos entre el abastecimiento de agua para las necesidades humanas, las ecosistémicas, las de los sistemas de producción y las de las demandas potenciales (IDEAM, 2004)

Tabla 10. . Umbrales críticos de presión. Índice de escasez

Categoría	% de Oferta Hídrica Utilizada	Interpretación
------------------	--------------------------------------	-----------------------

ALTO	>40%	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda.
MEDIO	20 – 40%	Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y 40 % de la oferta disponible es necesario en ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda.
MODERADO	10 – 20%	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo. Se debe interpretar un mejor sistema de monitoreo y seguimiento del agua y desarrollar proyecciones del recurso a corto y largo plazo.
BAJO	<10%	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico en términos de calidad.

(IDEAM, 2004)

Caracterización de la Calidad del Agua

Para la selección de puntos de caracterización físico-química y bacteriológica se realizara revisiones de información secundaria en Corponor y la alcaldía del municipio.

El principal criterio será la revisión de la cuenca y la dinámica que esta presenta con el fin de identificar puntos de monitoreo y periodicidad del mismo; los principales aspectos a tener en cuenta será: Tributarios, demanda del recurso, vertimientos, descarga a otra fuente hídrica, entre otros.

Para la caracterización el equipo de CORPONOR en conjunto con personal de Parques Nacionales naturales escogió cinco puntos para realizar monitoreo de caudal y tres para hacer la caracterización físico-química y bacteriológica.

Tabla 11. Puntos de muestreo Quebrada La Lejia

Sitio de muestreo y aforo	Latitud	Longitud
Captación Municipal	7° 20' 44,88"	72° 27' 59,15"

Sitio de muestreo y aforo	Latitud	Longitud
Zona media	7° 20' 15,47"	72° 28' 26,04"
Zona mezcla	7° 20' 00,26"	72° 29' 34,42"
Venado (Solo Aforo)	7° 20' 54,9"	72° 27' 56,5"
Antes de la <i>unión</i> venado (Solo Aforo)	7° 20' 52,8"	72° 27' 58,4"

Estos puntos se escogieron para obtener resultados de la calidad del agua antes de la captación municipal y conocer la calidad después de pasar por la zona más habitada.

La medición de caudal se realizará con un molinete mide la velocidad en un único punto y para calcular la corriente total hacen falta varias mediciones. El procedimiento consiste en medir y en trazar sobre papel cuadriculado la sección transversal de la corriente e imaginar que se divide en franjas de igual ancho.

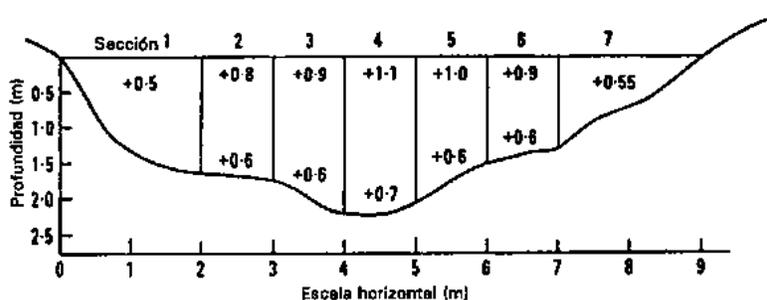


Ilustración 3. Cálculo del caudal de una corriente a partir de las mediciones efectuadas con un molinete

La medición en la microcuenca se hizo con el fin de obtener un análisis de dos periodos de seis meses de los índices ICA y IACA del IDEAM, además de incluir estos resultados en el Plan de Manejo Ambiental de la microcuenca.

La toma de muestras se realizará de acuerdo a la metodología del IDEAM para muestreo compuesto que es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados.

Índice de calidad del agua (ICA)

El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo **j** en el tiempo **t** (IDEAM, 2010).

La fórmula para el cálculo del indicador es

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n w_i * I_{ikjt} \right)$$

Dónde:

ICA_{njt} : Es el Índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua **j** en el tiempo **t**, evaluado con base en **n** variables.

W_i : Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad **i**.

I_{ikjt} : Es el valor calculado de la variable **i** (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo **j**, registrado durante la medición realizada en el trimestre **k**, del período de tiempo **t**.

n: Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5, o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Se recomienda que la tabla de datos del indicador incluya el valor mínimo del ICA registrado en el periodo de tiempo t y además, el ICA promedio de ese periodo (IDEAM, 2010), que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$ICA_{promedio_{njt}} = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n w_i * I_{ikjt})}{m}$$

Dónde:

m: Es el número de muestreos en los cuales se midieron las variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador. $1 \leq m \leq 4$ si el periodo es anual.

Las variables a medidas se muestran en la siguiente tabla

Tabla 12. Tabla de variables usadas para calcular el índice ICA

<i>Variable</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Ponderación</i>
Oxígeno Disuelto (OD)	% saturación	0,2
Solidos suspendidos totales (sst)	mg/L	0,2
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	0,2
Conductividad eléctrica (CE)	μS/cm	0,2
pH (IDEAM, 2010)	Unidades pH	0,2

El procedimiento para calcular, consiste en ingresar el valor que en una determinada medición haya registrado la variable de calidad i , en la curva funcional correspondiente y estimar el valor I_{ikt} . De acuerdo a las ecuaciones de cada variable.

Oxígeno Disuelto

El Oxígeno Disuelto es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua, el nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal o animal.

Inicialmente se calculó el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto PS_{OD}

$$PS_{OD} = \frac{O_x * 100}{C_p}$$

Dónde:

O_x : Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l)

C_p : Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

Como segundo paso se calculó el I_{OD} mediante la ecuación

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0.01 * PS_{OD})$$

Si el porcentaje de saturación es mayor a 100

$$I_{OD} = 1 - (0.01 * PS_{OD})$$

Sólidos suspendidos totales

Corresponde a la cantidad de material (sólidos) que es retenido después de realizar la filtración de un volumen de agua. Es importante como indicador puesto que su presencia disminuye el paso de la luz a través de agua evitando su actividad fotosintética en las corrientes, importante para la producción de oxígeno, se calculó usando la ecuación.

$$I_{SST} = 1 - (-2 * 0,003 * SST)$$

Demanda Química de oxígeno

Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua

Para este índice el IDEAM adapta la propuesta de la Universitat Politècnica de Catalunya, calculando con la fórmula.

Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$

Si $20 < DQO \leq 25$, entonces $I_{DQO} = 0,71$

Si $25 < DQO \leq 40$, entonces $I_{DQO} = 0,51$

Si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$

Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$

Conductividad eléctrica

Refleja la mineralización del agua, se calculó mediante la ecuación

$$I_{CE} = 1 - 10^{(-3.26+1.34\text{LogCE})}$$

Si $I_{CE} < 0$, entonces, $I_{CE} = 0$

pH

El pH es una unidad de medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una sustancia

Si $\text{pH} < 4$, entonces $I_{\text{pH}} = 0,1$

Si $4 \leq \text{pH} \leq 7$, entonces $I_{\text{pH}} = 0,02628419 * e^{(\text{pH}*0,520025)}$

Si $7 < \text{pH} \leq 8$, entonces $I_{\text{pH}} = 1$

Si $8 < \text{pH} \leq 11$, entonces $I_{\text{pH}} = 1 * e^{[(\text{pH}-8) - 0,5187742]}$

Si $\text{pH} > 11$, entonces $I_{\text{pH}} = 0,1$

Índice de alteración potencial de calidad del agua (IACAL)

El Índice de alteración potencial de la calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la razón existente entre la carga de contaminante que se estima recibe una subzona hidrográfica j en un período de tiempo t y la oferta hídrica superficial, para año medio y año seco, de esta misma subzona hidrográfica l estimada a partir de una serie de tiempo, el indicador refleja la alteración potencial de la calidad de los sistemas hídricos superficiales en

una subzona hidrográfica dada. Permite reconocer zonas susceptibles a los tipos de contaminación estimada en la medida que la categoría de amenaza es calificada como alta y muy alta en un intervalo de tiempo específico. (IDEAM, 2013).

Las fórmulas de cálculo del indicador son las siguientes (una para año medio y una para año seco):

Para año medio

$$IACAL_{jt-añomed} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{caticacal}_{ijt-añomed}}{n}$$

Donde

$IACAL_{jt-añomed}$: Es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una microcuenca j durante el período de tiempo t , evaluado para una oferta hídrica propia de un año medio.

$Caticacal_{ijt-añomed}$: Es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la microcuenca j durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un año medio.

n : Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

Para año seco

$$IACAL_{jt-año\text{seco}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{caticacal}_{ijt-año\text{seco}}}{n}$$

Donde

$IACAL_{jt-año\text{seco}}$: Es el Índice de alteración potencial de la calidad del agua de una microcuenca j durante el período de tiempo t , evaluado para una oferta hídrica propia de un año seco.

$\text{Caticacal}_{ijt-año\text{seco}}$: Es la categoría de clasificación de la vulnerabilidad por la potencial alteración de la calidad del agua que representa el valor de la presión de la carga estimada de la variable de calidad i que se puede estar vertiendo a la microcuenca j durante el período de tiempo t dividido por la oferta hídrica propia de un año seco.

n : Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5.

Anexo 2, Descripción de las quebradas analizadas para la priorización del área de estudio para el desarrollo del trabajo de grado.

DESCRIPCIÓN DE LAS QUEBRADAS ANALIZADAS PARA LA PRIORIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.

Quebrada La Viuda:

La microcuenca La Viuda nace en el Páramo de Sardinas y es subcuenca del río Chitagá, se ubica al este del sector urbano del municipio de Chitagá, Norte de Santander, forma parte del ecosistema de Bosque Húmedo-Montano y Bosque Seco Montano-Bajo, al este del Macizo Santurbán, tiene una altitud de 3.600 msnm en la zona de nacimiento de la quebrada y 2.250 msnm en la zona de desembocadura.

La microcuenca posee una extensión de 670.7 hectáreas (el sector urbano hace parte de esta área). Limita al oriente con la vereda de Hoya Grande, al sur con la quebrada Robazón, al occidente con el río Chitagá, vereda Bartaquí, y al norte con la quebrada del Arpero.

Tradicionalmente, la población urbana de Chitagá se ha concentrado en el lado oeste de la microcuenca, buscando el acceso a los recursos naturales, particularmente al recurso hídrico del cual toma una parte el acueducto municipal. Esta situación ha propiciado las diferentes interrelaciones antrópicas de degradación del recurso, debido, entre otros, a:

- La invasión de las orillas de la quebrada para la ampliación de la frontera agrícola
- El sobrepastoreo.
- La extracción de especies nativas.
- La construcción de algunos bebederos para animales.
- El depósito de residuos sólidos y el uso indiscriminado de agroquímicos.

Quebrada El Arpero:

Esta Microcuenca es un valle amplio conformado por materiales de terraza y cono de deyección, originado por la confluencia de las quebradas la Viuda y el Arpero con el río Chitagá. Constituida por pequeñas cañadas y chorros que forman las cabeceras de las quebradas la Viuda y Arpero, con dos regiones bioclimáticas: Bosque Húmedo-Montano y Bosque Seco Montano-Bajo; que presentan buen potencial biofísico

El acueducto urbano en un inicio se abasteció de la quebrada el Arpero y, posteriormente se incluyó la quebrada la Viuda en el área urbana se presentan cinco desagües, estos desagües se distribuyen de la siguiente manera: tres (3) al río Chitagá, dos (2) a la quebrada la Viuda y uno (1) a la quebrada el Arpero, obra que agudizó el proceso de degradación de estas fuentes hídricas, y que aún siguen recibiendo el vertimiento de los desechos residuales que produce la población.

Quebrada La Legía:

La microcuenca de la Quebrada La Lejía está ubicada en el Municipio de Toledo, departamento de Norte de Santander, tiene un área de 13,58 Km², la cuenca se origina a partir de la delimitación que se realizó a 3050 m.s.n.m. La Quebrada la Lejía nace a una altura aproximada de 2850 m.s.n.m., y corresponde a un cuerpo de agua de carácter permanente que tributa sus aguas al Río Culagá a los 1500 m.s.n.m. Sus aguas presentan una dirección este - oeste, siendo las quebradas Los Remansos y El Venado sus principales tributarios.

La microcuenca Quebrada la Lejía es de vital importancia para el municipio de Toledo, ya que de esta se abastece el acueducto municipal, que surte al casco urbano de Toledo, así como el acueducto veredal Hatos Alto y La Camacha, la base militar y la estación de Ecopetrol.

La susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa es muy alta sobre todo en la cabecera de la microcuenca que limita con la vereda La Camacha que ya presentó un fenómeno de remoción muy alto;, ya que la microcuenca cuenta con pendientes altas en la mayoría de su territorio y a la constante intervención de su cobertura natural.

Quebrada Chorreritas:

Cáchira es un municipio colombiano ubicado en la región occidental del departamento de Norte de Santander, en las estribaciones de la cordillera oriental en el valle fluvial formado por la Quebrada Chorreritas y el río Cáchira del Espíritu Santo.

Estas zonas de la parte alta del municipio de CÁCHIRA, localizadas en la parte alta posee problemas erosivos de gran envergadura, causados por el sobrepastoreo ovino y el uso inadecuado del suelo, que pueden afectar a la población del casco urbano del municipio en un futuro por la reducción del caudal hídrico.

Quebrada El Caraño:

La quebrada El Caraño posee un caudal en verano de 4 l/s, un caudal en invierno de 12 l/s y un caudal de demanda de 3,46 l/s, La quebrada El Caraño, es una de los afluentes de captación que está llegando al límite, eso es debido a la deforestación que se ha producido en toda su superficie, como microcuenca.

En el año de 2008 hubo una inundación de varias viviendas en el barrio La Feria por el desbordamiento de la quebrada El Caraño en la que afecto a los habitantes de este barrio y sus alrededores,

Quebrada El Salto:

La Quebrada El Salto o San Rafael, nace en la vereda el Salto del municipio del Carmen, a una altura de 1.600 m.s.n.m.; tiene una microcuenca que presenta diversidad de cultivos y deforestación en la cabecera de la quebrada. En su paso por la cabecera municipal no tiene presencia de sedimentos que indique un flujo turbulento, más sin embargo tiene un encajonamiento debido a las construcciones a lado y lado, sin una canalización apropiada y presentando maleza y algunos focos de basura.

Se presentan amenazas por inundaciones a lado y lado de la Quebrada El Salto en tiempo de fuerte invierno. Al lado derecho de la quebrada en el barrio El Llano hasta que se encuentra con la Quebrada Grande se presenta socavamiento por parte de la quebrada hacia las casas que se encuentra es este sector debilitando así día a día las estructuras de las casas, colocando en riesgo así vidas humanas y materiales; en el margen izquierdo hasta la calle 14 el panorama no es alentador, ya que se encuentra una montaña la cual tiene una gran pendiente y deja caer material hasta la quebrada y puede ocasionar un represamiento de esta o un posible flujo de lodos quebrada abajo.

Quebrada El tigre:

La quebrada El Tigre nace en el alto de Pelagorro en las veredas de Alto de las Cruces, Santo Domingo y El Torno, esta microcuenca se caracteriza por tener presencia constante de ganadería, cultivos de cebolla y fríjol en las cercanías a la quebrada.

La Quebrada El Salto se une con la Quebrada El Carmen cerca al matadero Municipal y esta a su vez se unen con la Quebrada El tigre donde quedaba la antigua planta eléctrica para formar una sola microcuenca.

La Quebrada El Salto y Quebrada El Tigre surte de agua a la cabecera municipal del Carmen.

Anexo 3, Descripción de las coberturas encontradas en la zona luego de la verificación en campo

DESCRIPCION DE LAS COBERTURAS ENCONTRADAS EN LA ZONA LUEGO DE LA VERIFICACIÓN EN CAMPO

COBERTURAS DE TEJIDO URBANO DISCONTINUO

Esta cobertura corresponde a espacios urbanizados de manera interrumpida, discontinua y en ocasiones dispersa, con presencia de áreas verdes comprendidas por parques o por espacios naturales; dicha cobertura es típica de lugares donde se han establecido asentamientos humanos, los cuales generalmente cuentan con servicios públicos domiciliarios y con vías de acceso: el desarrollo del tejido urbano discontinuo dentro del área de estudio ha ocasionado la disminución de algunas coberturas de tipo natural. (IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA, 2008). El área donde se encuentra este tipo de cobertura en el área de la microcuenca es alrededor de la vía que conduce de Cúcuta a Toledo, en la vereda El Naranjo. Cuenta con 0,482 Ha en el área lo que equivale al 0,04 % del total del área.



Fotografía 1. Tejido urbano discontinuo. Vereda el Naranjo E 1175006 - N 1302920

EXPLORACIÓN DE CARBÓN

Son áreas cubiertas por infraestructura artificial (terrenos cimentados, alquitranados, asfaltados o estabilizados), sin presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se usan para el proceso de extracción de carbón desde el, (IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA, 2008), dentro del área de la microcuenca esta cobertura esta representa 0,515 Ha lo que equivale al 0,04% del total del área.



Fotografía 2. Extracción de Carbón, Vereda el Naranjo E 1175473 - N 1303529

RED VIAL Y TERRITORIOS ASOCIADOS

Comprende espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, y autopistas; se incluye la infraestructura conexas y las instalaciones asociadas tales como estaciones bahías de estacionamiento, andenes, terraplenes y áreas verdes. (IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA, 2008). En el área de la microcuenca existen 3,633 Ha correspondientes a un 0,27 % del total.



Fotografía 3. Vía Cúcuta - Toledo E. 1174850 – N. 1302854

CAFÉ CON SOMBRÍO

Cobertura predominantemente compuesta por áreas dedicadas al cultivo de café (*Coffea* sp.) bajo sombrío (temporal o permanente, generado por una cobertura arbórea) o a libre exposición. Los cafetos son arbustos de las regiones tropicales del género *Coffea* de la familia Rubiaceae. (IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA, 2008). Se encuentran en la Vereda el Naranjo y Toledito parte baja de la microcuenca entre los 1500 y 1800 m.s.n.m. En el área de la microcuenca existen 24,655 Ha de café que representan un 1,81 % del Total.



Fotografía 4. Café, Vereda El Naranjo E. 1174897 - N. 1302882

CAÑA

Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), planta gramínea tropical de la familia Poaceae de donde se extrae el azúcar, con forma de pasto gigante emparentada con el sorgo y el maíz. Es un cultivo predominantemente industrial.

Se corta cada 12 meses, y la plantación dura aproximadamente 5 años, tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 ó 6 cm de diámetro. (IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA, 2008).

En el área de la microcuenca encontramos 3,703 Ha cultivadas correspondientes al 0,27% del total de la microcuenca.



Fotografía 5. Caña de Azúcar, Vereda El Naranjo E. 1174981 - N. 1302580

PASTOS LIMPIOS

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor al 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. (IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA, 2008). La cobertura de Pastos limpios se encuentra en su mayoría en la zona media y baja de la microcuenca en las veredas El Naranjo y Toledito, en el área de la microcuenca existe 118,22 Ha que representa un 9,42 % del total del área.



Fotografía 6. Pastos limpios, Vereda El Naranjo E. 1175216 - N. 1303132

PASTOS ARBOLADOS

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos en los cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a 5 metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor al 30% y menor al 50% del área de pastos arbolados. (SIAT-AC, 2015) El área que ocupa dicha cobertura es de 18,93 Ha que corresponde a un 1,36 % del total de área de la microcuenca.



Fotografía 7. Pastos Arbolados, Vereda el Naranjo, E 1175111 – N 1302619

PASTOS ENMALEZADOS

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de rastrojos, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono. En general, la altura del rastrojo es menor a 1,5 metros. Incluyen áreas de cultivos anuales o transitorios abandonados, de más de tres años, Pastos enmalezados bordeados con setos y pastos enmalezados utilizados para la ganadería. (IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA, 2008). Los pastos enmalezados ocupan dentro del área de la microcuenca 14,04 Ha, siendo esto un 1,03 % del total del área.



Fotografía 8. Pastos enmalezados, Vereda Toledito E 1177947 - N 1304404

BOSQUE DENSO ALTO DE TIERRA FIRME

Corresponde a vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más del 70% del área total de la unidad, con altura del dosel superior a 15 metros. (SIAT-AC, 2015). Es la cobertura con más presencia en el área de la microcuenca ocupa un total de 763,94 Ha que representa un 56,22 % del total de área.



Fotografía 9. Bosque denso alto, Vereda Toledito E 1178196 - N 1304753

BOSQUE DENSO BAJO DE TIERRA FIRME

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, cuya área de cobertura arbórea representa más del 70% del área total de la unidad, con altura del dosel superior a 5 metros, pero inferior a 15 metros. (SIAT-AC, 2015). Este tipo de cobertura ocupa 151,66 Ha lo que corresponde a un 11,16 % del área total de la microcuenca.



Fotografía 10. Bosque denso bajo, Vereda Toledito E 1177522 - N 1304114

BOSQUE RIPARIO

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitado por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. (IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA, 2008). La cobertura de Bosque ripario ocupa 65,51 Ha, siendo esta un 4,82 % del total del área de la microcuenca.



Fotografía 11. Bosque ripario, Vereda Toledito E 1177923 N 1304634

HERBAZAL ABIERTO ROCOSO

Corresponde a las áreas dominadas por vegetación natural herbácea abierta que presentan una cobertura entre el 30% y el 70%. No se presentan elementos arbóreos. Se desarrollan sobre áreas de sustratos predominantemente rocosos y pedregosos que no retienen humedad. (SIAT-AC, 2015). El Herbazal denso de tierra firme arbolado ocupa 109,41 Ha, representando un 8,05 % del total de área en la microcuenca.



Fotografía 12. Herbazal abierto rocoso, Vereda Toledito E 1175855 - N 1303042

HERBAZAL DENSO DE TIERRA FIRME NO ARBOLADO

Esta unidad se caracteriza por presentar una cobertura vegetal de bajo porte que se localiza en las zonas de alta montaña, está compuesta principalmente por gramíneas (familia Poaceae) del tipo pajonal (*Calamagrostis* sp.), entremezclada con plantas arrosetadas como los frailejones (*Espeletia* sp.) y otras especies. Esta cobertura se encuentra en las franjas diferenciadas altitudinalmente como subpáramo, entre los ± 2.800 msnm a ± 3.500 msnm, páramo, entre ± 3.500 a ± 4.500 msnm y superpáramo, de ± 4.500 msnm en adelante las cuales bordean en algunos casos zonas subniveles desprovistas de vegetación y zonas nivales. (IGAC, IDEAM y CORMAGDALENA, 2008). Este tipo de cobertura se encuentra únicamente en la parte alta de la microcuenca por encima de los 2900 m.s.n.m. ocupa 55,32 Ha, que representa un 4,07 % del total del área.

VEGETACIÓN SECUNDARIA O EN TRANSICIÓN

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se origina luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original. Se desarrollan en zonas desmontadas para diferentes usos y en áreas agrícolas abandonadas. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre. (SIAT-AC, 2015). La Vegetación secundaria ocupa 28,32 Ha, representando un 2,08 % del total del área.



Fotografía 13. Vegetación secundaria o en transición, Vereda El Naranjo E. 1174475 - N. 1302691

Anexo 4, Detalle de la metodología y resultados para el cálculo de la escorrentía

DETALLE DE LA METODOLOGIA Y RESULTADOS PARA EL CALCULO DE LA ESCORRENTIA

NUMERO DE CURVA

El número de curva se calculó tomando en cuenta el uso del suelo, la condición hidrológica y la permeabilidad del suelo. De acuerdo a lo anterior para el uso del suelo se caracterizó utilizando la cobertura del suelo, con la cual se equiparó a cada una de las establecidas por la metodología Corine Land Cover, a las de la tabla que se usó para el cálculo del número de curva.

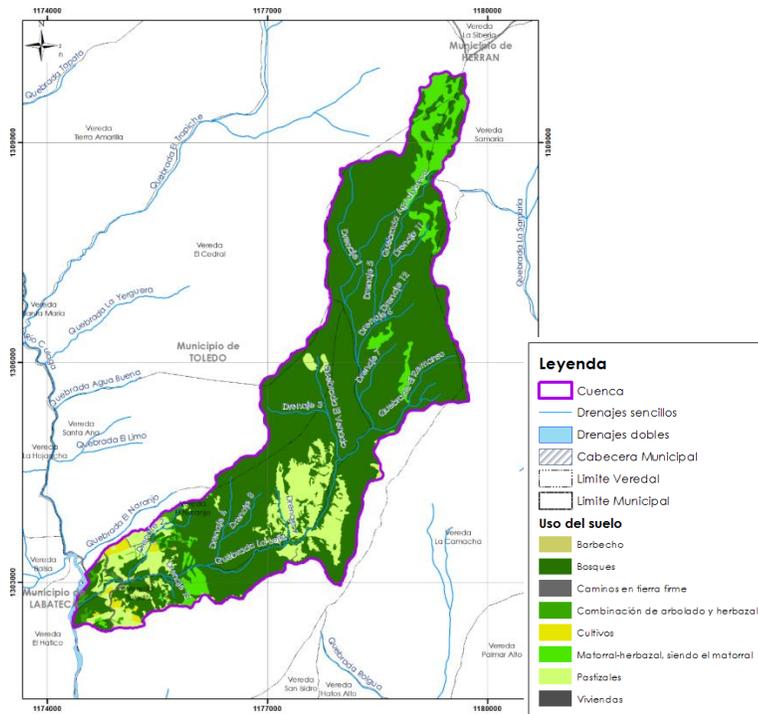


Ilustración 4. Mapa con usos del suelo para el número de curva

Para calcular la permeabilidad del suelo se utilizó el mapa de unidades de suelo de Colombia, de acuerdo a las características dadas en la Leyenda de suelos del Estudio general de suelos del departamento de Norte de Santander (IGAG, 1999), se obtuvo las características de permeabilidad de cada unidad y se equiparó con las estipuladas por la metodología del número de curva obteniendo así las unidades necesarias para este cálculo.

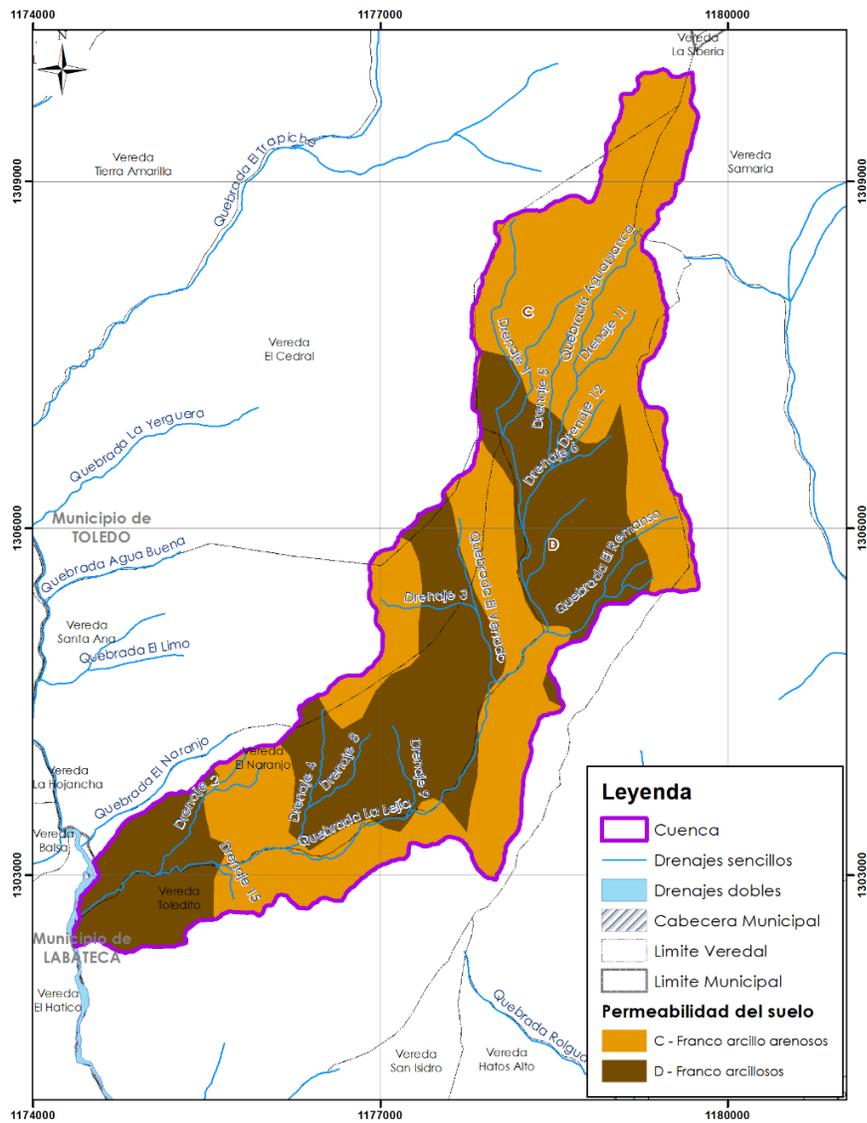


Ilustración 5. . Mapa de permeabilidad del suelo para el número de curva

Las condiciones hidrológicas del suelo en la zona se determinaron de acuerdo a lo visto en las visitas de campo, en las que se evidenció las condiciones de uso en áreas de Bosque, Matorral-Herbazal, Buenas dadas la escasa actividad humana en la zona, en cuanto a los Pastizales y Cultivos de la zona si se evidenció especialmente en los cultivos condiciones hidrológicas pobres dada la alta tasa de actividad humana en estas áreas.

La Tabla nos muestra el cálculo de número de curva

Tabla 13. Cálculo del número de curva

Uso del suelo	Permeabilidad del suelo	Condición hidrológica	Número de curva (CN)
Barbecho	C Franco arcillo - arenosos		91
Barbecho	D Franco arcillosos		94
Bosques	C Franco arcillo - arenosos	Buenas	63
Bosques	D Franco arcillosos	Buenas	69
Caminos en tierra firme	C Franco arcillo - arenosos		90
Caminos en tierra firme	D Franco arcillosos		92
Combinación de arbolado y herbazal	C Franco arcillo - arenosos	Buenas	72
Combinación de arbolado y herbazal	D Franco arcillosos	Buenas	79
Cultivos	C Franco arcillo - arenosos	Pobres	88
Cultivos	D Franco arcillosos	Pobres	91
Matorral-herbazal, siendo el matorral	C Franco arcillo - arenosos	Buenas	65
Matorral-herbazal, siendo el matorral	D Franco arcillosos	Buenas	73

Uso del suelo	Permeabilidad del suelo	Condición hidrológica	Número de curva (CN)
Pastizales	C Franco arcillo - arenosos	Buenas	70
Pastizales	D Franco arcillosos	Buenas	79
Viviendas	C Franco arcillo - arenosos		82
Viviendas	D Franco arcillosos		86

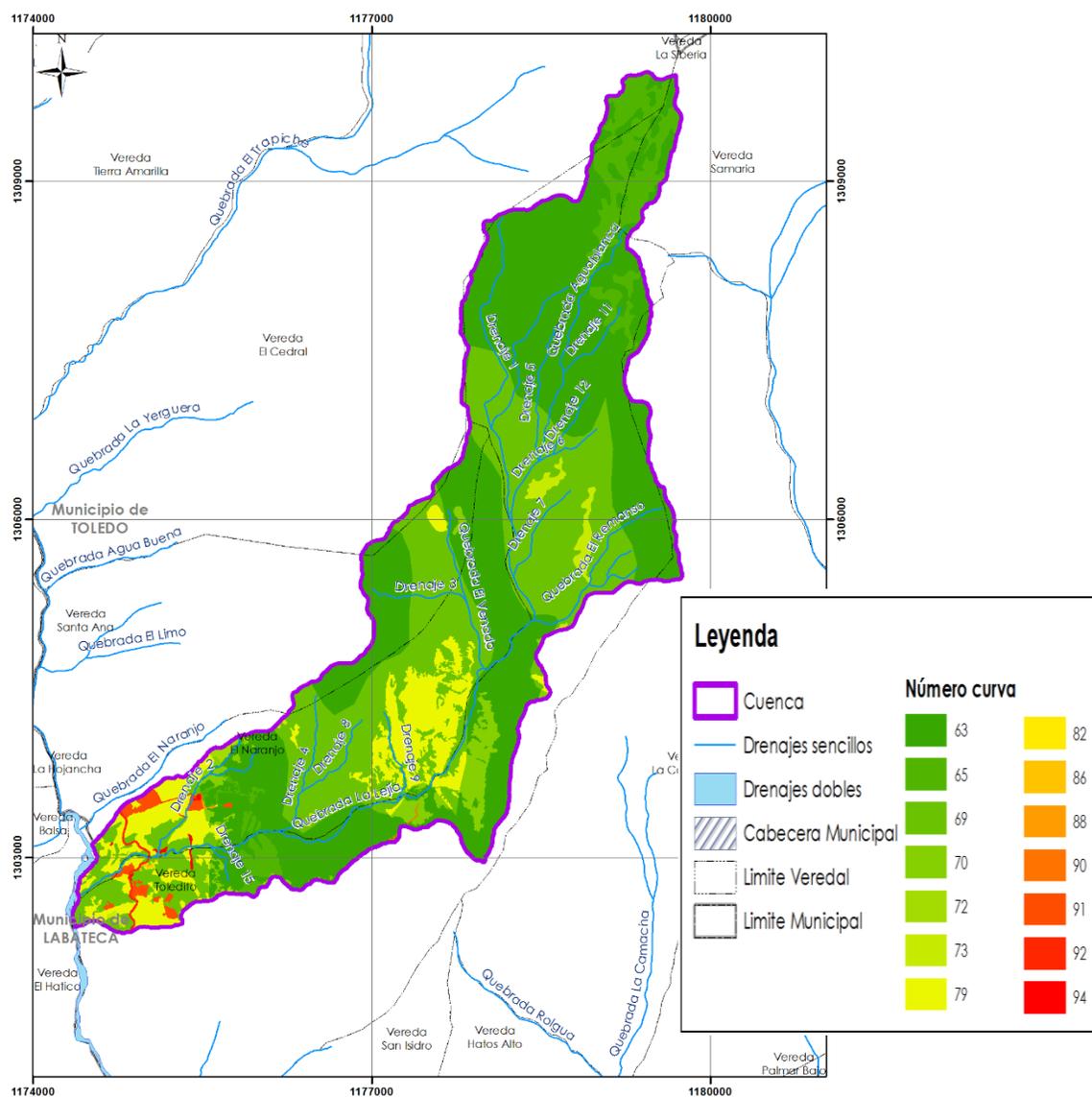


Ilustración 6. Mapa número de curva

Anexo 5; Glosario

GLOSARIO

Cuenca hidrográfica: El decreto 1640 de 2012, define la cuenca hidrográfica como el 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

Calidad del Agua: Se refiere a las características físicas, químicas y microbiológicas que tiene el agua y de las cuales depende su uso. El decreto 3930 de 2010, define los criterios y parámetros de calidad de agua de acuerdo a su destinación.

Sistemas de Información Geográfica: Conjunto de hardware, software, y datos geográficos y temáticos que permite la captura, almacenamiento, análisis y despliegue de información geográficamente referenciada.

ArcGis: (<https://www.arcgis.com/>) Es un software que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es la plataforma líder mundial para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Microcuencas: Corresponden a las cuencas de orden inferior a las subzonas hidrográficas o su nivel subsiguiente que no hagan parte de un POMCA, así como, los acuíferos prioritarios; estos serán objeto de planes de manejo ambiental. (MADS, Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas Pomca)

Plan de Manejo Ambiental de Microcuenca: Es un instrumento de planificación que permite orientar acciones para el uso adecuado del agua, el suelo, la flora y la flora, articulado al desarrollo social y económico de la microcuenca.

Hidrología: Disciplina que se ocupa de estudiar la distribución espacio temporal y las propiedades de las aguas subterráneas y las continentales.

Morfometría: es el estudio cuantitativo de las características físicas de una cuenca hidrográfica, y se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes, y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos.

Cobertura y uso actual de la Tierra: Estudio realizado conocer todo lo que ocupa un territorio, con el fin de realizar diferentes niveles de análisis y toma de decisiones. En Colombia se ha establecido la metodología Corine Land Cover Colombia (CLC) para el desarrollo de estos estudios la cual permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite.

Balance Hídrico: EL balance hídrico es una herramienta para cuantificar la oferta hídrica en una cuenca, está basado en las entradas y salidas del sistema con respecto al tiempo y a los diferentes elementos presentes en el ciclo hidrológico.

Caudal: Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo; y puede estar compuesto por:

Caudal medio diario: correspondiente Volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río durante el día dividido por el número de segundos del día:

Caudal medio mensual: Media aritmética de los caudales medios diarios del mes.

Caudal medio anual: Media aritmética de los caudales medios diarios del año.

Caudal Ambiental: el decreto 3930 de 2010 define el caudal ambiental como el volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de los usuarios aguas abajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas.

Caudal Ecológico: Definida por la WWF como el volumen de agua en calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad.

Curva de duración de caudales: Metodología utilizada en este estudio para conocer el caudal ecológico de la fuente hídrica e indica el valor del caudal en función de la frecuencia de su ocurrencia; así como el porcentaje del tiempo durante el cual los caudales han sido igualados o excedidos.

Numero de curva: Es un modelo empírico desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos que determina un umbral de escorrentía (P0) a través de un número hidrológico o número de curva (CN) agregado de la cuenca. El Número de Curva toma un valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial. Valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad.

Oferta Hídrica: Es aquella porción 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.

IRH: El Índice de Retención y Regulación Hídrica, mide la cantidad de humedad que pueden retener las cuencas

Índice de escasez: Relación porcentual entre la demanda potencial de agua del conjunto de actividades sociales y económicas con la oferta hídrica disponible, luego de aplicar factores de reducción por régimen de estiaje y fuentes frágiles.

DBO: La demanda biológica de oxígeno o demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.

DQO: La Demanda Química de Oxígeno se define como cualquier sustancia tanto orgánica como inorgánica susceptible de ser oxidada, mediante un oxidante fuerte. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno.

SST: Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante.

ICA: El Índice de calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t .

IACAL: El Índice de alteración potencial de la calidad del agua es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la razón existente entre la carga de contaminante que se estima recibe una subzona hidrográfica j en un período de tiempo t y la oferta hídrica superficial, para año medio y año seco, de esta misma subzona hidrográfica estimada a partir de una serie de tiempo.