

**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUPERFICIALES
MEDIANTE EL CÁLCULO DE LA DEMANDA Y DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE
LA MICROCUENCA DEL RÍO MULATO, MUNICIPIO DE MOCOA**



MARÍA ALEJANDRA CAICEDO LAGOS

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE,
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN, CAUCA
2019**

**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ PARA AGUAS SUPERFICIALES
MEDIANTE EL CÁLCULO DE LA DEMANDA Y DISPONIBILIDAD HÍDRICA DE
LA MICROCUENCA DEL RÍO MULATO, MUNICIPIO DE MOCOÁ**



MARÍA ALEJANDRA CAICEDO LAGOS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria

Esp. Juan Pablo Prado Medina

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE,
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN, CAUCA
2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez revisado el documento final del trabajo de grado titulado “Evaluación del índice de escasez para aguas superficiales mediante el cálculo de la demanda y disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Mulato, municipio de Mocoa”; realizado por la alumna **María Alejandra Caicedo Lagos**, se autoriza la sustentación de este para optar al título Profesional en Ingeniera Ambiental y Sanitaria de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

Director: Esp. Juan Pablo Prado Medina.
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria/Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Primer Jurado: Prof. Mag. Beatriz Eugenia Ospitia Thola.
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria/Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Segundo Jurado: Prof. Esp. Fabián Fernandez Pabón.
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria/Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Popayán, noviembre 26 de 2019

DEDICATORIA

A mi familia quienes me dieron la oportunidad de formarme en una carrera que me apasiona, que me brindaron todo su apoyo, me motivaron a superarme y dar lo mejor de mí en cada paso. Gracias porque a pesar de la distancia siempre estuvieron para mí, me llenaron de sabiduría para superar los obstáculos que he tenido que afrontar y me ayudaron a construir y forjar la persona que soy hoy.

A mis profesores y amigos, por acompañarme en este camino y por lo que aprendí de cada uno de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por llenarme de fortaleza para alcanzar mis objetivos.

A mis padres por haberme proporcionado la mejor educación, por confiar en mis decisiones y por enseñarme que con esfuerzo y dedicación todo se logra.

A mi hermano por ser un pilar muy importante en mi vida, por darme sugerencias y estar siempre dispuesto a guiarme, pues su apoyo fue muy importante para alcanzar este proyecto.

A todos mis maestros por haberme permitido adquirir los conocimientos necesarios para desempeñarme como profesional, en especial mi director Juan Pablo Prado por haber encaminado este trabajo, a la profesora Natalia Samboni por su amabilidad y disposición para guiarme en este proceso.

A mis compañeros de trabajo Sol Torres y Jhonatan Caicedo por brindarme su apoyo e instruirme en la ejecución del trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 11 |
| ABSTRAC | 12 |
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| CAPITULO I: PROBLEMA..... | 14 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 14 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN..... | 14 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 15 |
| 1.3.1 Objetivo General: | 15 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos: | 15 |
| CAPÍTULO II: REFERENTES CONCEPTUALES | 16 |
| 2.1 MARCO CONCEPTUAL | 16 |
| 2.2 MARCO LEGAL..... | 22 |
| 2.3 MARCO GEOGRÁFICO | 24 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA..... | 26 |
| 3.1 ESPACIALIZACIÓN | 26 |
| 3.1.2 GENERACIÓN DE SALIDA GRÁFICA..... | 27 |
| 3.2 OFERTA HÍDRICA..... | 27 |
| 3.2.1 OFERTA HÍDRICA TOTAL- POR METODO DE CAUDAL MEDIO PUNTUAL | 27 |
| 3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE .. | 28 |
| 3.3 DEMANDA HÍDRICA..... | 33 |
| 3.3.1 DEMANDA TOTAL DE AGUA- ESCENARIO: CUANDO EXISTE INFORMACIÓN MEDIDA..... | 34 |
| 3.4 ÍNDICE DE ESCASEZ | 34 |
| 3.4.1 CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ..... | 34 |
| CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS | 36 |
| 4.1 SALIDA GRÁFICA | 36 |
| 4.2 OFERTA HÍDRICA TOTAL- MÉTODO CAUDAL MEDIO PUNTUAL | 41 |
| 4.2.1 CUANTIFICACIÓN OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE..... | 49 |
| 4.3 DEMANDA TOTAL HÍDRICA..... | 57 |

| | |
|--|----|
| 4.4 ÍNDICE DE ESCASEZ | 63 |
| 4.4.1 CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ | 64 |
| CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 65 |
| 5.1 CONCLUSIONES..... | 65 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 67 |
| BIBLIOGRAFÍA | 68 |
| ANEXOS | 72 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Curva de función de calidad según porcentaje de Saturación de Oxígeno | 16 |
| Figura 2. Curva de función de calidad según Coliformes fecales..... | 16 |
| Figura 3. Curva de función de calidad según potencial de Hidrogeno | 17 |
| Figura 4. Curva de función de calidad según demanda bioquímica de oxígeno ... | 17 |
| Figura 5. Curva de función de calidad según de turbidez | 17 |
| Figura 6. Curva de función de calidad según nitratos | 18 |
| Figura 7. Curva de función de calidad según sólidos disueltos..... | 18 |
| Figura 8. Curva de función de calidad según temperatura °C..... | 18 |
| Figura 9. Curva de función de calidad según fosfatos..... | 19 |
| Figura 10. Escasez física y económica de agua a nivel mundial..... | 20 |
| Figura 11. Disponibilidad de agua por habitante en las cuencas de América Latina y El Caribe..... | 21 |
| Figura 12. Mapa de localización geográfica de la microcuenca del río Mulato. | 25 |
| Figura 13. Mapa Nacional Multianual del Índice de Regulación Hídrica según IDEAM | 32 |
| Figura 14. Convertidor de coordenadas CORPOAMAZONIA, concesiones | 37 |
| Figura 15. Convertidor de coordenadas CORPOAMAZONIA, bocatomas..... | 37 |
| Figura 16. Convertidor de coordenadas CORPOAMAZONIA, monitoreo de calidad del agua | 37 |
| Figura 17. Localización de bocatomas, concesiones y monitoreo..... | 38 |
| Figura 18. Parte alta de la microcuenca del río Mulato | 39 |
| Figura 19. Parte media de la microcuenca del río Mulato | 39 |
| Figura 20. Parte baja de la microcuenca del río Mulato, desembocadura sobre el río Mocoa | 40 |
| Figura 21. Cobertura de Mocoa abastecida por bocatoma Palmeras y El Líbano. 41 | |
| Figura 23. Variación de caudales medios mensuales multianuales parte alta vs parte baja de la microcuenca del río Mulato..... | 43 |
| Figura 24. Curva de duración de caudales mensuales de la parte alta de la microcuenca, periodo 2.013 a 2.018 | 44 |
| Figura 25. Curva de duración de caudales mensuales de la parte media de la microcuenca, periodo 2.013 a 2.018 | 46 |
| Figura 26. Curva de duración de caudales mensuales de la parte baja de la microcuenca, periodo 2.013 a 2.018 | 47 |
| Figura 27. Curva de duración de caudales mensuales promedio de las 3 zonas de la microcuenca, periodo 2.013 a 2.018 | 48 |
| Figura 28. Resultado monitoreo de calidad de agua WQI NSF- Parte media (aguas arriba)..... | 51 |
| Figura 29. Índice de calidad de agua WQI NSF- Parte media (aguas arriba) | 51 |
| Figura 30. Resultado monitoreo de calidad de agua WQI NSF- Parte baja (zona de mezcla)..... | 52 |
| Figura 31. Índice de calidad de agua WQI NSF- Parte baja (zona de mezcla) | 52 |

| | |
|---|----|
| Figura 32. Resultado monitoreo de calidad de agua WQI NSF- Parte baja (aguas abajo) | 53 |
| Figura 33. Índice de calidad de agua WQI NSF- Parte baja (aguas abajo) | 54 |
| Figura 34. Índice de regulación hídrica en la microcuenca del río Mulato | 56 |
| Figura 35. Distribución de la demanda hídrica expresada en millones de metros cúbicos/ año | 61 |
| Figura 36. Esquema de ecosistemas para las microcuencas de acuerdo con el mapa de ecosistemas para Colombia. | 62 |
| Figura 37. Relación OHTD mensual multianual frente a la demanda..... | 63 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Normatividad | 23 |
| Tabla 2. Porcentaje de afectación de la oferta hídrica según la clasificación del ICA | 30 |
| Tabla 3. Categorización según el Índice de escasez | 35 |
| Tabla 4. Caudales medios en parte alta, media y baja de la microcuenca el Mulato | 42 |
| Tabla 5. Variables parte alta..... | 44 |
| Tabla 6. Variables parte media..... | 44 |
| Tabla 7. Variables parte baja proyectada | 44 |
| Tabla 8. Variables de la media entre las 3 zonas de la microcuenca (parte alta, media y baja) | 44 |
| Tabla 9. Calculo manual del ICA para la parte baja (zona de mezcla)..... | 54 |
| Tabla 10. Población abastecida por las captaciones..... | 57 |
| Tabla 11. Proyección de población abastecida por bocatoma Las Palmeras | 58 |
| Tabla 12. Proyección de población abastecida por acueducto veredal El Líbano . | 58 |
| Tabla 13. Dotación neta máxima según el nivel de complejidad | 59 |
| Tabla 14. Dotación bruta | 60 |
| Tabla 15. Relación oferta total disponible vs demanda | 63 |

RESUMEN

Evaluar la disponibilidad hídrica es esencial para fomentar y guiar la correcta toma de decisiones y asegurar de esta manera la sostenibilidad del recurso, permitiendo una adecuada gestión ambiental; por esta razón, en el presente documento se desarrolló la metodología expuesta en la resolución 865 de 2004, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con el propósito de evaluar el estado actual en el que se encuentra la oferta hídrica disponible de la microcuenca del río Mulato, ya que es una de las fuentes hídricas más importantes en el municipio, siendo abastecedora de dos acueductos municipales y uno rural.

En este sentido y para este estudio se estableció la oferta total disponible del río Mulato en 35,63 Mm³/año, además de determinar el régimen de su caudal en un periodo de 6 años, de donde se toma la decisión de fijar como oferta el caudal medio mínimo multianual ya que este caudal había sido superado durante aproximadamente el 77% del tiempo evaluado (6 años). Se estimó de la misma manera la reducción de calidad del agua de acuerdo al protocolo del software ICATEST V 1.0 y la estimación del caudal ecológico; seguidamente se hizo una proyección de población para cuantificar los usuarios actualmente abastecidos por la fuente, lo que permitió establecer la demanda total teniendo en cuenta la sumatoria del conjunto de demandas sectoriales; en esta fase se encontró que el mayor volumen requerido está dirigido hacia el sector doméstico con una demanda de 3,62 Mm³/año (Millones de metros cúbicos/año). Finalmente, se cuantificó y calificó el índice de escasez de esta microcuenca hasta febrero de 2019 cuyo resultado fue un índice mínimo de escases del 10,62%.

Palabras clave: Índice de escasez, gestión ambiental, oferta y demanda hídrica, caudal ecológico, época de estiaje, curva de duración de caudales.

ABSTRAC

Evaluating water availability is essential to promote and guide the correct decision-making process and thus ensure the sustainability of this resource, allowing adequate environmental management. For this reason, this document presents the methodology set in the resolution 865 of 2004 written by the Ministry of Environment and Sustainable Development, that was implemented with the purpose of evaluating the current state of the available water supply of the Mulato river, since it is one of the most important water sources in the municipality for being a provider of two municipal and one rural aqueducts.

In this sense and for this study, the total available supply of the Mulato River was established to be 35.63 Mm³ / year, in addition to determining its flow rate over a period of 6 years, from which the decision to set the offer as a minimum multiannual average flow was made, since this flow had been exceeded for approximately 77% of the time evaluated (6 years).

The water quality reduction was estimated in the same way according to the ICATEST V 1.0 software protocol and the ecological flow estimate; then a population projection was made to quantify the users who currently receive this source, which allowed to establish the total demand taking into account the sum of the compilation of sectorial demands; In this phase, it was found that the largest volume required is addressed towards the domestic sector with a demand of 3.62 Mm³ / year. Finally, the shortage index of this microbasin was quantified and qualified until February 2019, the result of which was a minimum shortage index of 10.62%.

INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico, se debe considerar como componente clave para el desarrollo social, ambiental y económico de un territorio [1], por lo que se hace necesario aplicar herramientas que permitan llevar a cabo un manejo integral de estos bienes, las que permiten apoyar en la toma de decisiones sobre la gestión y administración del mismo, abordando la problemática, ejecutando acciones y minimizando impactos causados por la presión de los diferentes sectores en el uso del recurso disponible [1]; actualmente no se cuenta con información suficiente y organizada sobre la oferta y demanda del río Mulato, lo que abre una brecha para la posibilidad de deterioro ecosistémico hasta riesgo por agotamiento de la fuente. Pues según la WWF la desproporcionada explotación mundial del recurso hídrico, ha llevado a una importante reducción de la biodiversidad de ecosistemas dulceacuícolas y de los servicios que aportan los ríos [2] por tal razón generalmente no se alcanzan objetivos de conservación de manera integral.

Por lo tanto, las autoridades ambientales encargadas de administrar este recurso deben dirigir su gestión hacia una visión integral de desarrollo social que esté en equilibrio con la conservación ambiental, donde el aprovechamiento del agua se realice garantizando su provisión futura, y el mantenimiento de caudal necesario para el desarrollo de los ecosistemas. En este sentido, el presente documento técnico evalúa el índice de escasez para aguas superficiales mediante el cálculo de la demanda y disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Mulato, en el municipio de Mocoa, con el propósito de convertirse en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en la ordenación de dicha microcuenca, además, con los datos cuantitativos y cualitativos obtenidos se considerará declararla agotada en caso de ser requerido.

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Mocoa, departamento de Putumayo presenta una gran riqueza de fuentes hídricas distribuidas en la zona urbana y rural, entre ellas está la microcuenca del río Mulato, una de las más importantes debido a que es fuente abastecedora de dos acueductos en el municipio de Mocoa (ver figura 21) y un acueducto comunitario veredal El Líbano; actualmente no se cuenta con información actualizada de la relación oferta-demanda, que permita un adecuado manejo de la microcuenca, ésta falta de conocimiento podría generar una alta probabilidad de agotamiento de la fuente hídrica debido a la desmedida demanda por actividades antrópicas [3] conllevando a una limitada gestión integral y al aprovechamiento insostenible de la corriente.

Años atrás como iniciativa del municipio se propuso declarar reservas protectoras de microcuencas abastecedoras de acueductos, sin embargo, hasta la fecha no ha sido acogida la propuesta [4] igualmente existe formulado el Plan de Ordenación y Manejo de esta cuenca (POMCA), pero aún no ha sido aprobado. Es por eso, que es preciso generar información cuantitativa sobre la oferta frente a la demanda que permita optimizar el manejo que hoy en día se le está dando a la microcuenca pues no se cuenta con estudios que posibiliten activar una alerta por riesgo de agotamiento.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico es fundamental para el desarrollo de una región, teniendo en cuenta que en él se genera una dinámica ecosistémica que ofrece recursos renovables con un gran valor de interés mundial, lo que representa una oportunidad de desarrollo económico y social [5] [6], por esta razón se debe gestionar acciones encaminadas a la protección de la oferta hídrica [7]; el desarrollo de este proyecto tiene una trascendental importancia prioritariamente para los usuarios de la microcuenca del río Mulato, e indirectamente para la biodiversidad allí presente, pues por medio del presente documento técnico se evaluará y generará información cualitativa y cuantitativa como la oferta total disponible y la clasificación del índice de escasez, permitiendo conocer la situación actual de la disponibilidad de agua, que asegurará un aprovechamiento sostenible, ya que será fundamento para proyectos futuros dirigidos a la conservación de la fuente, posibilitando orientar y fomentar decisiones acertadas en la planificación y gestión del recurso hídrico del río Mulato; también se pretende generar una alerta por agotamiento a la autoridad ambiental en caso de requerirse.

Las condiciones que favorecen y garantizan que el proyecto se pueda llevar a cabo hasta la total obtención de los productos esperados, son el fácil acceso a la obtención de los datos necesarios para ejecutar el proceso de investigación, seguido de que la metodología que será aplicada está fundamentada legalmente bajo la resolución 865 de 2004 del MADS y en un estudio de gran importancia nacional como lo es el Estudio Nacional del Agua (ENA) [8] del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). También teniendo en cuenta que el río Mulato es fuente abastecedora de acueductos, se puede conseguir información en otras entidades como la empresa misma de acueducto.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General:

Evaluar el índice de escasez para aguas superficiales mediante el cálculo de la demanda y disponibilidad hídrica de la microcuenca del Mulato, municipio de Mocoa.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Generar un mapa con la espacialización de coordenadas de las concesiones con base en reportes del Sistema de Información Seguimiento Ambiental (SISA) de CORPOAMAZONIA.
- Cuantificar la oferta hídrica total disponible (OHTD) de la microcuenca del río Mulato con base en el cálculo de reducción por caudal ecológico y caudal por calidad de agua.
- Cuantificar la demanda hídrica de la microcuenca del río Mulato por medio de la metodología establecida en la resolución 0865 de 2004 del MADS.
- Categorizar la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Mulato, por medio del índice de escasez y generar una alerta a la autoridad ambiental en caso de requerirse.

CAPÍTULO II: REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Para el cálculo del índice de calidad de agua existe un indicador “ICA-NSF” desarrollado en 1970 por *The National Sanitation Foundation* de Estados Unidos [9], orientado a usos de agua de consumo humano, agricultura, pesca, industrial y vida acuática [10]; éste utiliza un promedio aritmético ponderado de 9 parámetros: OD, Coliformes fecales, pH, DBO₅, Nitratos, Fosfatos, Desviación de temperatura, Turbiedad y Sólidos totales disueltos, los cuales tienen asignado un factor de ponderación, siendo, OD= 0,17; Coliformes fecales= 0,16; pH= 0,11; DBO₅ = 0,11, Nitratos= 0,1; Fosfatos= 0,1; Desviación de temperatura= 0,1; Turbiedad= 0,08; Sólidos totales disueltos= 0,07, los cuales son multiplicados por el subíndice del parámetro dado por los valores asignados según las siguientes curvas de función de calidad NSF, para cada parámetro[11], las cuales fueron tomadas del documento Índices de calidad y de contaminación de agua de importancia mundial:

Figura 1. Curva de función de calidad según porcentaje de Saturación de Oxígeno

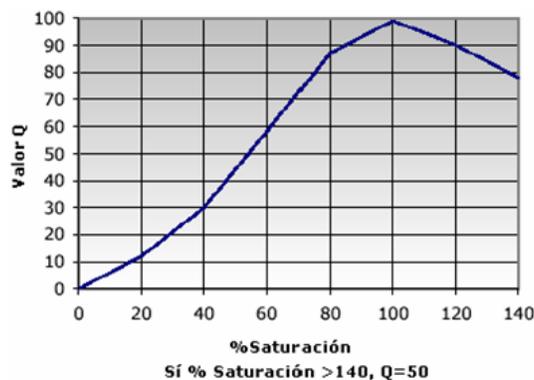


Figura 2. Curva de función de calidad según Coliformes fecales

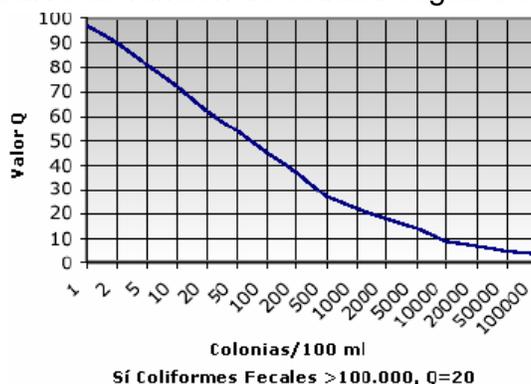


Figura 3. Curva de función de calidad según potencial de Hidrogeno

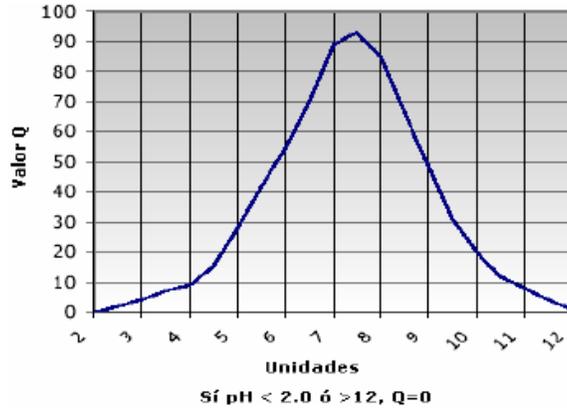


Figura 4. Curva de función de calidad según demanda bioquímica de oxígeno

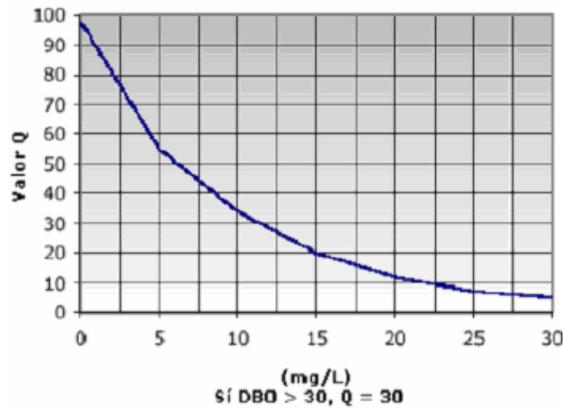


Figura 5. Curva de función de calidad según de turbidez

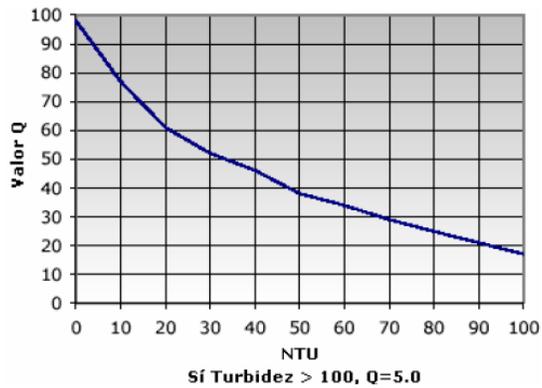


Figura 6. Curva de función de calidad según nitratos

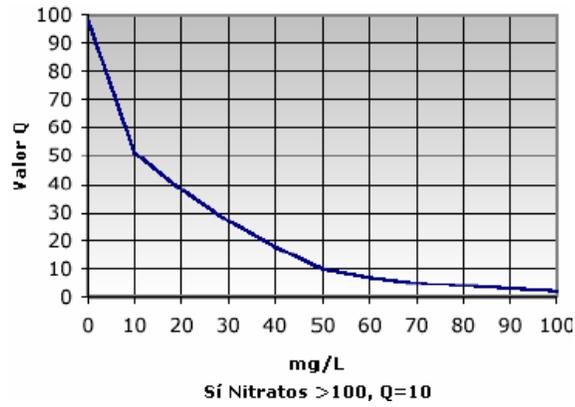


Figura 7. Curva de función de calidad según sólidos disueltos

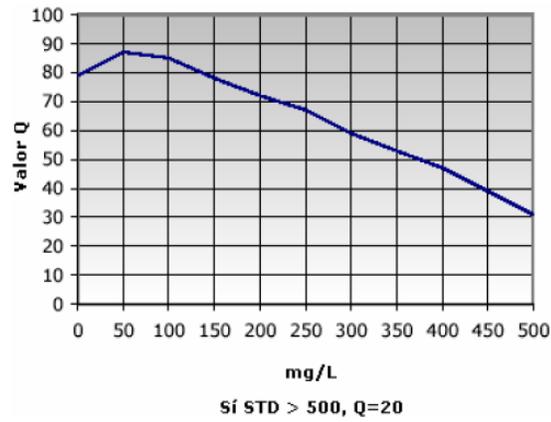


Figura 8. Curva de función de calidad según temperatura °C

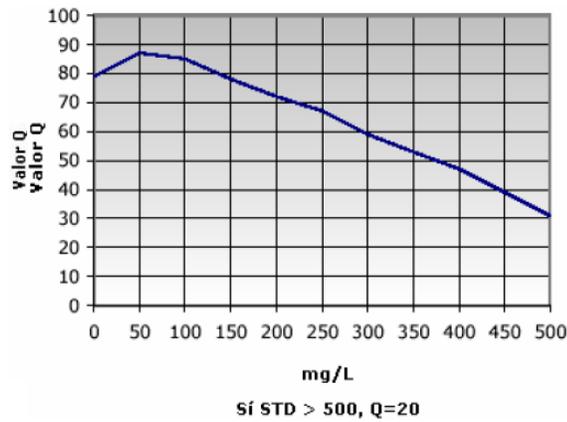
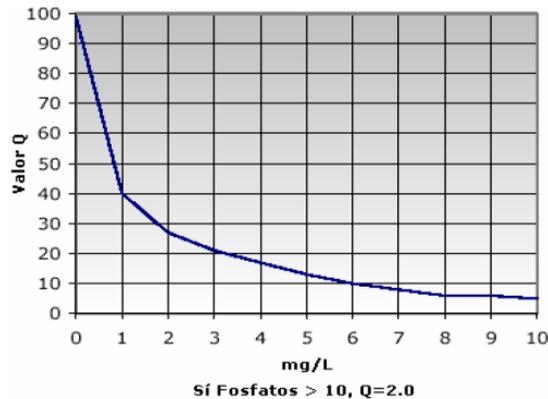


Figura 9. Curva de función de calidad según fosfatos

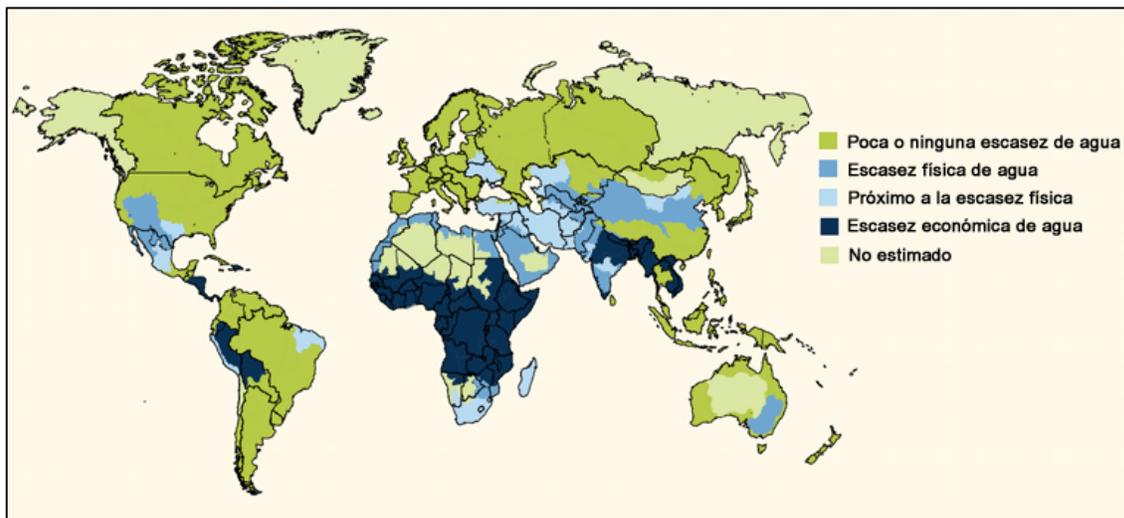


El recurso hídrico es esencial para el desarrollo y equilibrio ecosistémico, éste permanentemente está sometido a presión debido a actividades humanas [12], por tal razón es imperante que exista una administración de cada fuente [13] con el fin de crear un desarrollo comprometido con la conservación hídrica y maximización del bienestar social y económico de manera equitativa [14][15][16].

Con el propósito de gestionar de manera eficiente la microcuenca del río Mulato, se estimará la disponibilidad espacial del recurso hídrico garantizando su provisión futura, para esto será necesario cuantificar y cualificar la oferta hídrica total disponible [17] por medio de la reducción de caudales por calidad de agua, y caudal ecológico, a la oferta hídrica.

La escasez de agua es un fenómeno no sólo natural sino también causado por la contaminación y la gestión de forma insostenible que está afectando al mundo. Cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte del total de la población vive en áreas con escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación [18]. Actualmente la escasez de agua es uno de los principales desafíos que enfrentan los continentes, pues la demanda hídrica creció a un ritmo superior al de la tasa de crecimiento de la población y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, ésta se ha presentado en un mayor número de regiones [18] [19]. En la siguiente imagen se puede observar la distribución de la escasez del agua a nivel mundial:

Figura 10. Escasez física y económica de agua a nivel mundial



Fuente: Decenio internacional para la acción “el agua fuente de vida” 2005-2015

Según el Programa Ambiental de Naciones Unidas, Latinoamérica cuenta con el 65% de agua dulce del mundo. Sin embargo, la relación entre la oferta y demanda de agua depende de cada región [20]. Este es el continente con la disponibilidad más alta del mundo, sus 3.100 m³ de agua per cápita por año, duplican el promedio per cápita mundial. La gran mayoría de los países de la región cuentan con disponibilidades catalogadas entre altas y muy altas en razón de su superficie y población, lo que se puede observar en la siguiente figura [21].

Figura 11. Disponibilidad de agua por habitante en las cuencas de América Latina y El Caribe



Fuente: Tribunal latinoamericano del agua

En Colombia la región Amazónica según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) es el área hidrográfica del territorio nacional que más contribuye con un 39% (27.830 m³/s) al caudal por escorrentía superficial, debido a las precipitaciones [22], se convierte así en una de las regiones con mayor oferta hídrica existente, contando con un índice de aridez < 0.15 (Altos excedentes de agua)[23], lo cual se corrobora con lo descrito en la Página 64, Figura 13 Mapa nacional multianual del índice de aridez en el documento ENA 2018.

Según el ENA 2018, la oferta hídrica total disponible (OHTD) es el volumen de agua promedio que resulta de sustraer a la oferta hídrica total superficial (OHTS), el volumen de agua que garantizaría el uso para el funcionamiento de los ecosistemas y de los sistemas fluviales y, en alguna medida, un caudal mínimo para usuarios que dependen de las fuentes hídricas asociadas a estos ecosistemas, es decir, el caudal ecológico [8].

La Metodología identifica *el Índice de Regulación Hídrica (IRH)*, según la subzona hidrográfica a la cual pertenece para fijar con base a este índice regional el percentil a trabajar de la curva de duración de caudales. Una vez encontrado el percentil, se calcula el caudal ecológico con la multiplicación de este por el caudal medio y para hallar el caudal disponible se sustrae éste valor al caudal de oferta hídrica [8].

Según el IDEAM la oferta hídrica del departamento de Putumayo se encuentra distribuida de manera heterogénea, condición que ha generado conflicto entre el uso del territorio y la disponibilidad de agua. Para la jurisdicción se tiene un índice de escasez entre no significativo y mínimo, lo cual representa que en general se cuenta con una gran riqueza hídrica [24].

En la caracterización ambiental del Putumayo realizada por CORPOAMAZONIA en el año 2011, se da a conocer que los sistemas hídricos que actualmente abastecen a la población, corresponden a pequeñas fuentes con bajas condiciones de disponibilidad, determinando alta vulnerabilidad que en el futuro no atenderá la demanda antrópica, especialmente en periodos de bajas precipitaciones. Entre las principales fuentes abastecedoras de las cabeceras municipales se encuentran: río Tamauca, río Putumayo, río Mulato, quebrada el Achiote, entre otras [24].

Centrándonos en el área de trabajo, sobre área de influencia del río Mulato existe un total de 10.059 personas, representados en 2.448 familias, en ella se encuentra el resguardo indígena Inga; la economía en el área de la microcuenca está representada principalmente por actividades pecuarias en las zonas rurales, y comercial en la zona urbana [24]. Es fuente abastecedora de dos acueductos municipales, el acueducto Las Palmeras abastece a 25 barrios del casco urbano, distribuidos de la siguiente manera: 16 barrios del sector sur- occidente y 9 del sector norte [25]. Y el acueducto El Líbano abastece a 27 barrios usuarios del casco urbano [26] y un acueducto comunitario veredal manejado por la junta de acción comunal del Líbano.

En términos generales la calidad del agua de esta fuente está sujeta a diversas cargas contaminantes debido a las actividades antrópicas que se desarrollan alrededor de ella, que, al no contar con medidas de saneamiento básico [27][28], son vertidas directamente a la corriente de agua limitando su uso, convirtiendo a la materia orgánica la principal carga contaminante [29], que sumadas a las cargas de origen natural, como los sedimentos producidos por procesos erosivos originados y transportados naturalmente a la corriente debido a las condiciones fisiográficas de alta pendiente, saturación del suelo y características de los suelos que favorecen la erosión y transporte de cargas de sedimentos al cauce [30], afectan la condición ecológica del río Mulato.

2.2 MARCO LEGAL

Tabla 1. Normatividad

| Normatividad | Expedido por | Objeto | Aplicación |
|--------------------------------------|----------------------------|---|---|
| Constitución de política de Colombia | Presidente de la república | Fortalecer la unidad de la Nación y asegurar a sus integrantes la vida | Art 8 Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación [31]. |
| Decreto 2811 de 1974 | MADS | Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. | Art 1, art 2, art 9 El Estado como los particulares deben procurar preservar, mediante un manejo adecuado, los recursos naturales [32]. |
| Decreto 1541 de 1978 | Ministerio de Agricultura | Decreta las aguas no marítimas. | Complementa el Decreto 2811 de 1974, específicamente para el caso del agua en todos sus estados [33]. |
| Decreto 1594 de 1984 | Ministerio de Agricultura | Reglamenta en cuanto a usos del agua y residuos líquidos | Complementa el Decreto 2811 de 1974, señala la obligación de formular un Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico para destinar el agua a diferentes usos, los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA) [34]. |
| Resolución 0865 del 2004 | MADS | Metodología para el cálculo de índice de escasez para aguas superficiales, (IES). | Establecer el índice de escasez de fuentes hídricas [23]. |
| Decreto 3930 de 2010 | MADS | Reglamenta los usos del agua y residuos líquidos. | Art 1, art 4, art 6 (3-14), art 9 disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico [35]. |

| | | | |
|--|------|---|---|
| Política para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010 | MADS | Da directrices unificadas para el manejo agua en el país. | Garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante gestión y uso eficiente, articulados al ordenamiento del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica [36]. |
|--|------|---|---|

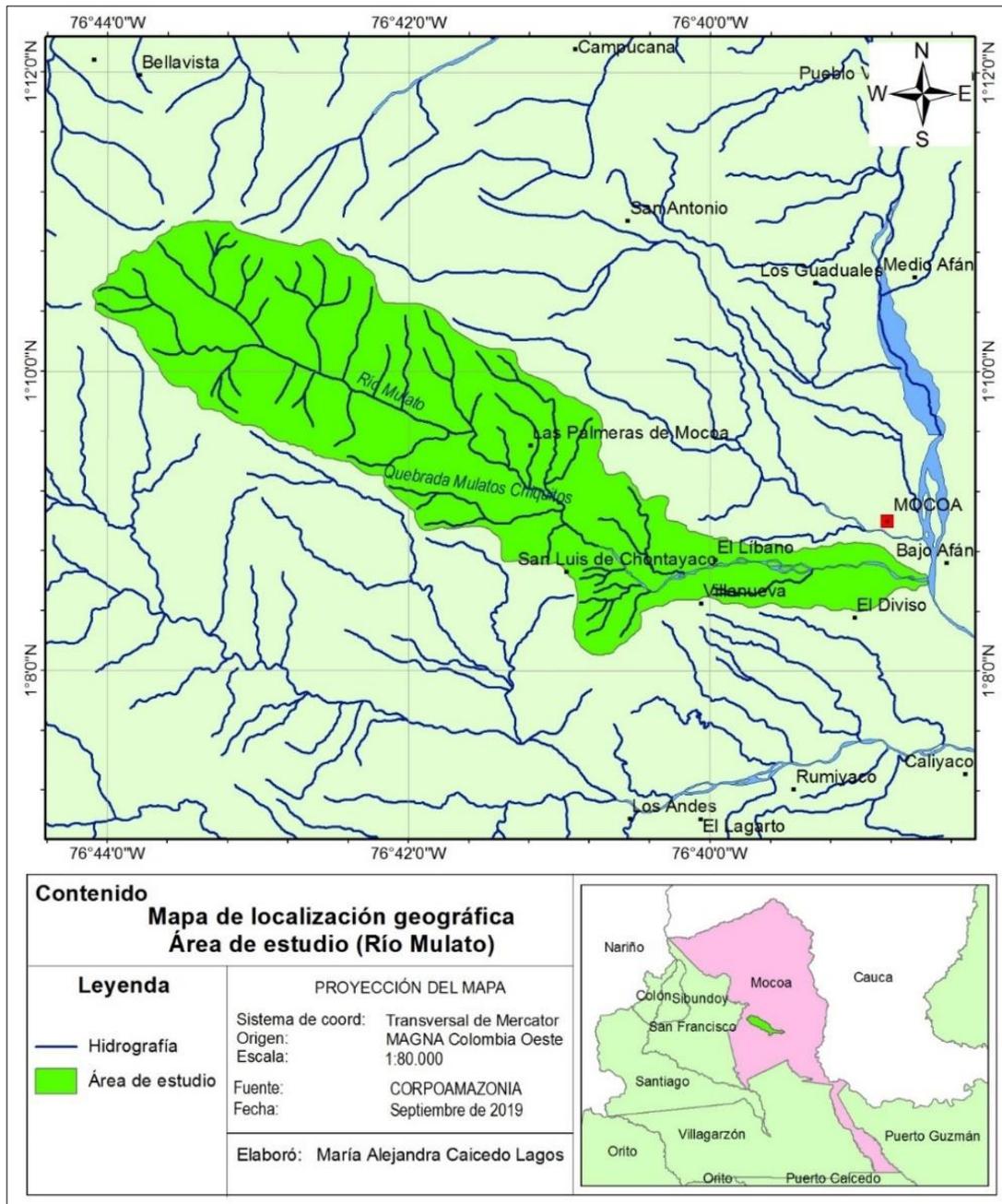
Fuente: Elaboración propia

2.3 MARCO GEOGRÁFICO

AREA DE ESTUDIO

El río Mulato tiene una longitud aproximada de 12,8 Km, el cual recibe el aporte de caudal de 24 tributarios directos, a escala 1: 25.000; nace en el cerro la Tortuga, en la parte alta del piedemonte amazónico [30] se encuentra aproximadamente entre las cotas 2.300 m.s.n.m y 560 m.sn.m, cuenta con una extensión 1.417,49 Has, atravesando la parte sur del casco urbano de Mocoa. Su localización, está enmarcada dentro de las siguientes coordenadas: X1=76°44'30''W, Y1= 01°12'30''N; X2=76°38'30''W, Y2= 01°12'30''N; X3=76°44'30''W, Y3= 01°08'00''N; X4=76°38'30''W, Y4= 01°08'00''N [37]. Las veredas que hacen parte de la microcuenca, son: Villa Rosa, Monte Líbano, Las Palmeras en su totalidad; de forma parcial las veredas San Antonio y San Luís de Chontayaco [38].

Figura 12. Mapa de localización geográfica de la microcuenca del río Mulato.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Este capítulo muestra la metodología aplicada para evaluar el índice de escasez de agua de la microcuenca del río Mulato, en el municipio de Mocoa. Como primera fase, se realizó la **1. Espacialización** de los puntos georreferenciados de cada concesión de agua otorgadas por CORPOAMAZONIA, igualmente los puntos muestreados por la misma autoridad ambiental y la ubicación de las bocatomas de la empresa Aguas Mocoa S.A E.S.P, por medio del software de SIG ArcGIS. En la segunda fase se cuantificó la **2. Oferta** hídrica aplicando la metodología de *Caudal Medio Puntual*, a la que se le realizó una reducción por calidad de agua y por caudal ecológico, metodologías consignadas en la resolución 865 de 2004 del MADS y el documento ENA 2018, sin embargo, teniendo en cuenta que los resultados para el caudal ecológico no fueron los esperados, hubo la necesidad de acogerse a la resolución 865. La tercera fase se compone de la cuantificación de la **3. Demanda** hídrica la cual se determinó mediante la aplicación de la metodología de la resolución 865 de 2004 en un *escenario: cuando existe información medida*, finalmente se **4. Estimó y Categorizó** la relación entre la demanda y la oferta hídrica disponible del río Mulato aplicando la fórmula del índice de escasez de la misma resolución.

3.1 ESPACIALIZACIÓN

Esta fase consistió en consultar y seleccionar los siguientes shapes temáticos: Hidrografía, asentamientos, división política, curvas de nivel, vías, y delimitación de la microcuenca del río Mulato disponibles en CORPOAMAZONIA, con el fin elaborar la salida gráfica.

Para poder consolidar una base de concesiones otorgadas se realizó una revisión de conceptos técnicos emitidos para cada aprovechamiento hídrico en la plataforma SISA, correspondientes a la microcuenca del río Mulato, permitiendo obtener información de la ubicación de cada captación de agua.

Por medio de revisión de expedientes de concesión se obtuvo coordenadas de las bocatomas Las Palmeras y El Líbano del acueducto de Aguas Mocoa S.A E.S.P. Finalmente se obtuvo la ubicación del monitoreo realizado por CORPOAMAZONIA sobre el río Mulato en el *Informe técnico caracterización fisicoquímica y microbiológica de los vertimientos y de las fuentes hídricas receptoras de las cabeceras municipales ubicadas en el departamento del putumayo*. Lo que permitió tener una visión general de la ubicación de estos elementos cartográficos, para el desarrollo de la metodología.

3.1.2 GENERACIÓN DE SALIDA GRÁFICA

Las coordenadas geográficas de cada Concesión fueron consignadas en una tabla de Excel generada por CORPOAMAZONIA, para convertir coordenadas sexagesimales a decimales, con el propósito de generar el respectivo Shape y mapa, por medio del software de SIG ArcGIS; así mismo para la ubicación de los 3 puntos monitoreados por CORPOAMAZONIA y para las bocatomas El Líbano y Las Palmeras.

3.2 OFERTA HÍDRICA

Esta estimación se realizó en 2 fases, 1) Oferta hídrica total y 2) Cuantificación de la oferta hídrica total disponible-OHTD.

3.2.1 OFERTA HÍDRICA TOTAL- POR METODO DE CAUDAL MEDIO PUNTUAL

Teniendo en cuenta que no existe una estación limnimétrica sobre el río Mulato, que permita conocer los caudales en las diferentes épocas del año, se hizo una revisión de expedientes almacenados en CORPOAMAZONIA, de concesiones que han sido otorgadas hasta febrero de 2019 en la jurisdicción de la microcuenca del río Mulato, se escogió este límite de tiempo ya que corresponde a la última concesión de cauce registrada en el SISA.

También se consultaron datos de mediciones de caudales mensuales, durante el periodo 2.013 a 2.018 del río Mulato en el sitio donde se abastecen las bocatomas Las Palmeras y El Líbano de Aguas Mocoa S.A E.S.P, quien tiene dos concesiones sobre el río Mulato, siendo una de las empresas administradoras del servicio público de acueducto en Mocoa; e información de caudales medios mensuales multianuales del río Mulato para la parte baja de la microcuenca, durante el periodo 1.992-1.996 obtenidos del POMCA formulado por CORPOAMAZONIA en el 2.009 para el río Mulato.

La oferta hídrica total de la microcuenca del río Mulato, fue calculada mediante el método de *Caudal medio puntual* de la resolución 0865 de 2.004 (y sus respectivas reducciones), ya que se cuenta con series cortas de caudales y no confiables [23], para lo cual se utilizó la siguiente fórmula, que permitió tener un caudal de referencia:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

Ecuación 1. Caudal medio puntual

Dónde: Q = Caudal medio (m_3/s); Q_i = Caudal medido en el periodo de estudio; n = Número total de datos de caudal

Además, para la zona de donde se abastecen la bocatoma Las Palmeras y El Líbano, se revisó y fijó el caudal máximo y mínimo en el periodo de estudio 2.013 a 2.018, rango, amplitud y número de intervalos a considerar. Para la parte baja se tuvo en cuenta la media entre la parte alta y media, y se proyectó con base al caudal medio encontrado en la formulación del POMCA para esta zona, permitiendo definir las mismas variables fijadas para los casos anteriores. Con los datos mencionados se calculó y diligenció el anexo 1 de distribución de frecuencias de caudales para cada zona y para el promedio entre las 3 zonas.

Esto con el fin de elaborar curvas de duración de caudales (CDC) lo que permitió observar el comportamiento de los caudales durante el periodo hídrico de 6 años, en las diferentes zonas de la microcuenca.

Con las anteriores CDC construidas se determinó los índices de variabilidad (IV) mediante el anexo 2.

Así pues, se tiene que:

$$IV = \sqrt{W}$$

Ecuación 2. Índice de variabilidad

Que permitió estimar el caudal medio mínimo de cada zona.

3.2.2 CUANTIFICACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE

Para cuantificar la OHND se procede a reducir la oferta hídrica total calculada en el numeral 3.2.1, por caudal ecológico según la metodología del ENA 2018, encontrando que los resultados no fueron los esperados, se decidió hacer la reducción del 25% del caudal mínimo mensual multianual y la reducción por calidad del agua se desarrolló con la metodología del MADS, resolución 865 de 2014.

3.2.2.1 REDUCCIÓN POR CALIDAD DEL AGUA

Con el propósito de conocer a mayor detalle la calidad del agua de la microcuenca del río Mulato se decidió no solo evaluar la DBO_5 , si no evaluar una serie de parámetros de calidad, de manera que, se trabajó con el indicador ICA-NSF éste mide la calidad del agua según 9 parámetros mencionados en el marco conceptual con su respectivo factor de ponderación, éstos parámetros fueron medidos por CORPOAMAZONIA en los puntos llamados aguas medias y aguas abajo. Para

aguas arriba, no se contó con información de la medición de DBO₅ por lo tanto, para esta zona se modificó la formula a 8 parámetros. Su fórmula es:

$$ICA=NSF= \sum_{i=1}^9 Wi * Si$$

Ecuación 3. Indicador ICA-NSF

Dónde: Wi = Factor de ponderación para el subíndice i , Si = Subíndice del parámetro.

Según investigaciones realizadas para el indicador elegido, se encontró que existe el Software ICATEST V1.0 desarrollado por la Universidad de Pamplona (Ver figura 13), el cual fue aplicado para calcular el ICA en los 3 puntos monitoreados.

Sin embargo, para verificar la consistencia de la herramienta, se comprobó manualmente el ICA con la ecuación 3 para uno de los puntos monitoreados en la parte baja.

Una vez obtenida la calidad de agua en los 3 puntos mencionados, según el *Formato Común Hoja Metodológica*, del IDEAM para el cálculo del ICA promedio de la microcuenca se aplicó la siguiente formula [39]:

$$ICA_{promedio} = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n wi * Si)}{m}$$

Ecuación 4. Cálculo del ICA promedio

Dónde: K = periodo de medición; m = número de muestreos

Figura 13. Herramienta ICATEST V1.0

Fuente: ICATEST V1.0

Obtenido el valor de la ecuación 4 y teniendo en cuenta que en la resolución 865 de 2004 en el numeral 3.4.1 sobre reducción por calidad del agua, no hay un criterio definido respecto a la relación reducción- calidad, simplemente fija un 25 % de reducción, se tomó la decisión basada en la consulta de literatura relacionada con el tema, aplicar la tabla 2. *Porcentaje de afectación del caudal disponible en función de la calidad del agua en el río del Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del río Barbas* en la que se diferencia el porcentaje de afectación de acuerdo a la calidad [40]. Esta tabla fue modificada de acuerdo a la necesidad de ajustar los datos a la presente evaluación:

Tabla 2. Porcentaje de afectación de la oferta hídrica según la clasificación del ICA

| Condición | ICA | % Afectación por calidad |
|-----------|--------|--------------------------|
| Excelente | 91-100 | 0 |
| Buena | 71-90 | 10 |
| Media | 51-70 | 15 |
| Mala | 26-50 | 20 |
| Muy mala | 0-25 | 25 |

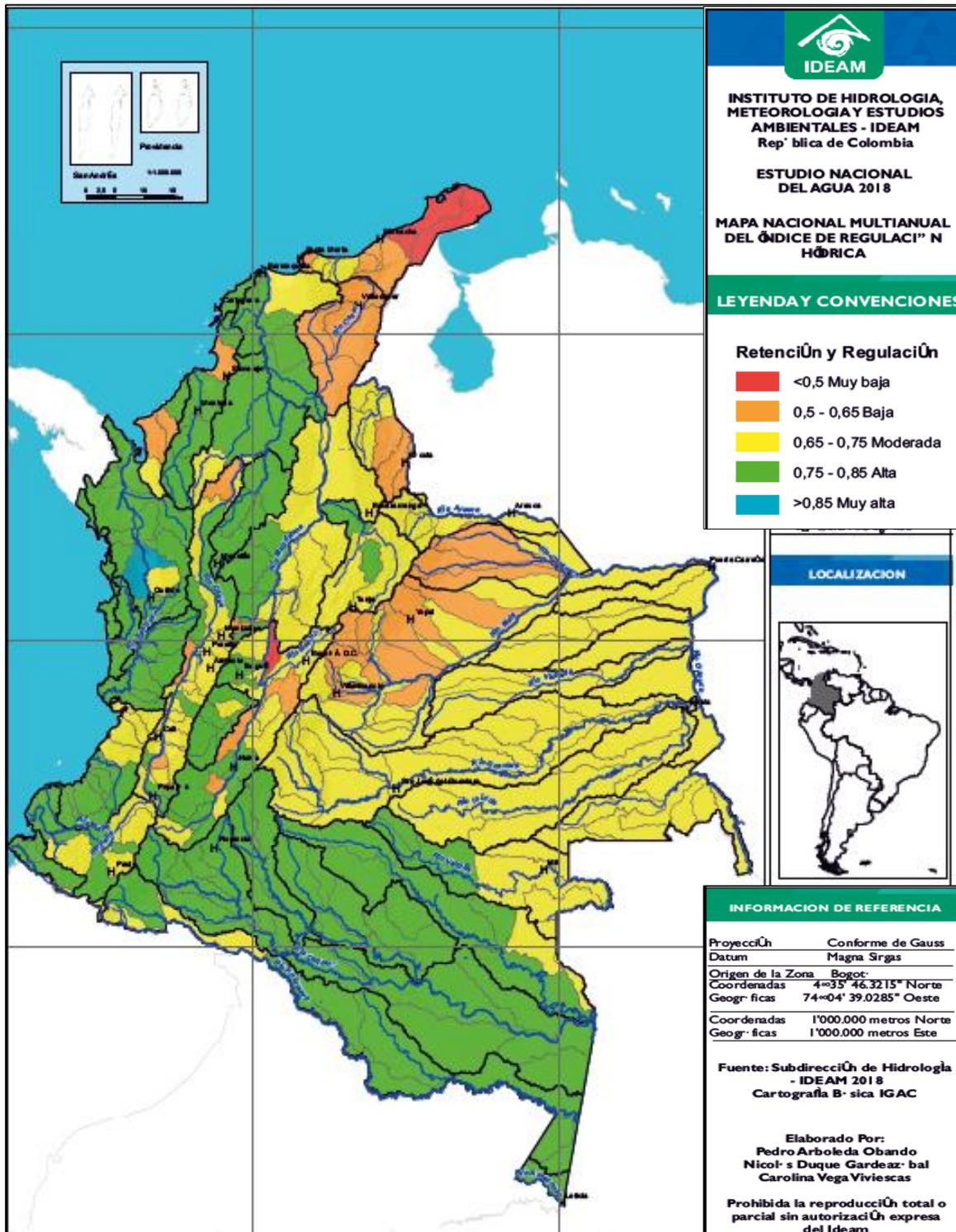
Fuente: Elaboración propia basada en Estudio de oferta y demanda del río Barbas

3.2.2.2 REDUCCIÓN POR CAUDAL ECOLÓGICO

Esta reducción va dirigida a la Gestión Integral del Recurso Hídrico, proteger la biodiversidad, mantener los servicios ecosistémicos, el ciclo hidrológico, la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, lo que representa indirectamente el bienestar humano [41].

Según la metodología citada, se identificó en el *Mapa Nacional Multianual del Índice de Regulación Hídrica* (IRH) del ENA 2018, la subzona hidrográfica a la cual pertenece la microcuenca del río Mulato (Ver figura 13), para fijar el IRH regional lo que permitió elegir el percentil a trabajar en la CDC [8].

Figura 13. Mapa Nacional Multianual del Índice de Regulación Hídrica según IDEAM



Fuente: ENA 2.018

Para establecer la posición en que se encuentra el percentil, se trabajó con la siguiente fórmula:

$$X = \frac{N \cdot i}{100}$$

Ecuación 5. Posición del percentil

Dónde: N = Número de datos; i = Percentil buscado

Como siguiente paso se aplicó la fórmula para el cálculo de percentiles para datos agrupados:

$$P85 = Li + c \frac{\frac{N \cdot i}{100} - (Fi-1)}{fi}$$

Ecuación 6. Cálculo de percentil para datos agrupados

Dónde: Li = Límite inferior del intervalo que contiene al percentil; c = amplitud; $Fi - 1$ = frecuencia acumulada anterior a la que contiene al percentil; fi = frecuencia de la clase que contiene al percentil

Una vez encontrado el percentil, se procedió a calcular el caudal ecológico con la siguiente operación [8]:

Caudal ecológico = Percentil 85 * Caudal medio

Caudal disponible = Caudal oferta hídrica - Caudal ecológico

Oferta hídrica total disponible = Caudal disponible * 31,536 Mm³/año

Ecuación 7. Reducción por caudal ecológico.

Finalmente, se sumó la reducción por calidad del agua más la reducción por caudal ecológico, dato que fue utilizado como insumo para la estimación de la oferta hídrica total disponible [41][23].

3.3 DEMANDA HÍDRICA

Se hizo una revisión de expedientes de concesiones de agua autorizadas sobre la microcuenca del río Mulato en la plataforma SISA, en donde se tuvo en cuenta el tipo de uso autorizado. La finalidad de este cálculo es cuantificar la cantidad de agua requerida para el consumo humano, y sectores económicos, señalando con su estimación los principales usos del agua concesionada [42].

Esta fase se desarrolló con la aplicación de la metodología expuesta en la resolución 865 de 2.004, en un *escenario cuando existe información medida*.

3.3.1 DEMANDA TOTAL DE AGUA- ESCENARIO: CUANDO EXISTE INFORMACIÓN MEDIDA

La demanda hídrica fue expresada en Millones de metros cúbicos Mm^3 , la cual representa la cuantía de agua utilizada por los diferentes sectores (actividades antrópicas sociales y económicas) [17]; por lo que se realizó la sumatoria del conjunto de las demandas basadas en las concesiones sectoriales encontradas en la plataforma SISA, para el sector doméstico se realizó la proyección de población basada en la tasa de crecimiento anual según el DANE y se calculó la dotación bruta según *el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS 2.000* [43], para estimar ésta demanda. Y la demanda del sector pecuario que fue encontrada en la formulación del POMCA.

Finalmente se aplicó la siguiente fórmula modificada, en la que se también se consideró la demanda del sector acuícola:

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

Ecuación 8. Demanda total hídrica

Dónde: DT = Demanda Total de agua; DUD = Demanda de uso doméstico; DUI = Demanda de uso industrial; DUA = Demanda del sector acuícola; DUP = Demanda del sector pecuario

3.4 ÍNDICE DE ESCASEZ

Como objetivo final este índice permitió evaluar el estado actual de la disponibilidad de agua (abundancia o escasez), de la microcuenca del río Mulato.

Después de haber realizado los cálculos de oferta hídrica total disponible y demanda de la microcuenca del río Mulato, se procedió a cuantificar el índice de escasez a partir de la siguiente fórmula modificada de la resolución 865, obteniendo el valor en porcentaje:

$$Ie: \frac{Dh}{Oh} \times 100$$

Ecuación 9. Índice de escasez

Dónde: Ie: Índice de escasez en porcentaje; Dh: Demanda hídrica (m^3); Oh: Oferta hídrica superficial total (m^3); Fr: Factor de reducción por calidad del agua y el caudal ecológico

3.4.1 CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ

Con el porcentaje de índice de escasez de la microcuenca del río Mulato ya calculado, se continuó con la valoración y categorización según la siguiente tabla [23]:

Tabla 3. Categorización según el Índice de escasez

| CATEGORIA | RANGO | COLOR |
|------------------|--------------|--------------|
| Alto | > 50 % | Rojo |
| Medio Alto | 21-50% | Naranja |
| Medio | 11-20% | Amarillo |
| Mínimo | 1-10% | Verde |
| No significativo | <1% | Azul |

Fuente: Resolución 0865 del 2004.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS

La microcuenca del río Mulato es una de las más importantes fuentes hídricas para el municipio de Mocoa, pues de ella se abastecen dos acueductos municipales y un acueducto comunitario veredal. Es por eso, que es importante evaluar la disponibilidad hídrica actual en pro de la conservación de la fuente y biodiversidad allí presente.

Esta herramienta será un insumo base para la toma de decisiones en torno a la gestión integral ya que presenta la relación directa del uso del agua respecto a su disponibilidad, y además aporta elementos al análisis sobre la vulnerabilidad [44].

De modo que, en este capítulo se presenta la evaluación del índice de escasez mediante la cuantificación de la demanda y disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Mulato.

4.1 SALIDA GRÁFICA

Las tablas de las Figuras 14, 15 y 16 corresponden a los 3 convertidores diligenciados con los datos de las coordenadas geográficas de las concesiones, las bocatomas Las Palmeras y El Líbano ya que los aforos mensuales de caudal se obtuvieron de lugares aledaños a estos dos sitios, y los puntos de monitoreo de parámetros de calidad del agua.

Estas tablas fueron el insumo para generar los 3 shapes que permitieron visualizar y analizar la ubicación exacta de cada uno de estos temas (ubicación de: concesiones, bocatomas y monitoreo de calidad de agua), para el desarrollo de la metodología.

Resultando que la bocatoma Las Palmeras se encuentra en la parte alta de la microcuenca y la bocatoma El Líbano se encuentra en la parte media, esto permitió determinar que es posible trabajar con el registro de caudales mensuales medidos por la empresa Aguas Mocoa, en áreas aledañas a las captaciones.

De la misma forma, la espacialización de las concesiones otorgadas por CORPOAMAZONIA, permitió ver su distribución en la microcuenca, encontrando que en su mayoría se encuentran en la parte media.

Figura 14. Convertidor de coordenadas CORPOAMAZONIA, concesiones

| * Si los valores exceden los rangos, establecido en el encabezado de la columna, automáticamente la celda se resalta en color rojo. ** Para los datos de Latitud, se ingresa el valor positivo pero se especifica si es Norte (N/n) o Sur (S/s) para su respectiva conversión. *** Para los datos de Longitud, se ingresa el valor positivo. El programa lo convierte automáticamente a negativo, ya que se asume que todos los valores están localizados al Occidente de Greenwich | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-------|---|-------|-------|--------|---------|---------|--------|--------|----------|-----------|-----------------------------|------------------|-----------|-------------|---------------|
| | | | G_Lat | M_Lat | S_Lat | Hemisf | Latitud | G_Long | M_Long | S_Long | Longitud | | | | | | |
| 1 | ID | Orden | Nombre | 0-89 | 0-59 | 0-60 | N/S | Norte | 0-179 | 0-59 | 0-60 | Occidente | Fuente Hidrica | Uso | Caudal CO | Vigencia | Vereda |
| 2 | 1 | 1 | Aguas Mocoa S.A.E.S.P | 1 | 9 | 24,1 | N | 1,15669 | 76 | 41 | 27,4 | -76,69094 | Río Mulato | Sector servicios | 300L/s | 03/12/2034 | Las Palmeras |
| 3 | 2 | 1 | Aguas Mocoa S.A.E.S.P | 1 | 8 | 32,6 | N | 1,14239 | 76 | 40 | 20 | -76,67222 | Río Mulato | Sector servicios | 116L/s | 23/01/2020 | Libano |
| 4 | 3 | 1 | Antonio Ramiro Pérez Rosero | 1 | 8 | 44,1 | N | 1,14558 | 76 | 39 | 34,3 | -76,65953 | Caño afluente de río Mulato | Industrial | 3L/s | 29/07/2018 | B/ Miraflores |
| 5 | 4 | 1 | Junta de acción comunal vereda el libano | 1 | 8 | 42,5 | N | 1,14514 | 76 | 40 | 24,1 | -76,67336 | Quebrada las Delicias | Doméstico | 2,4L/s | 22/11/2026 | Libano |
| 6 | 5 | 1 | Resguardo Inga | 1 | 9 | 0,3 | N | 1,15008 | 76 | 41 | 8,1 | -76,68558 | Quebrada Mulatico | Acuícola | 3,52L/s | 19/05/2014 | Libano |
| 7 | 6 | 1 | Alcaldía de mocoa y Aguas Mocoa S.A.E.S.P | 1 | 9 | 22,7 | N | 1,15631 | 76 | 41 | 20,9 | -76,68914 | Quebrada nn 1 | Doméstico | 6,3L/s | max 08/2019 | Las Palmeras |
| 8 | 7 | 1 | Alcaldía de mocoa y Aguas Mocoa S.A.E.S.P | 1 | 9 | 24,4 | N | 1,15678 | 76 | 41 | 11,3 | -76,68647 | Quebrada nn 2 | Doméstico | 9,22L/s | max 08/2019 | Las Palmeras |
| 9 | 8 | 1 | Alcaldía de mocoa y Aguas Mocoa S.A.E.S.P | 1 | 9 | 25 | N | 1,15694 | 76 | 41 | 2 | -76,68389 | Quebrada nn 3 | Doméstico | 16,61L/s | max 08/2019 | Las Palmeras |
| 10 | 9 | 1 | Alcaldía de mocoa y Aguas Mocoa S.A.E.S.P | 1 | 9 | 24,68 | N | 1,15686 | 76 | 40 | 54,4 | -76,68178 | Quebrada nn 4 | Doméstico | 1,43L/s | max 08/2019 | Las Palmeras |

Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Convertidor de coordenadas CORPOAMAZONIA, bocatomas

| * Si los valores exceden los rangos, establecido en el encabezado de la columna, automáticamente la celda se resalta en color rojo. ** Para los datos de Latitud, se ingresa el valor positivo pero se especifica si es Norte (N/n) o Sur (S/s) para su respectiva conversión. *** Para los datos de Longitud, se ingresa el valor positivo. El programa lo convierte automáticamente a negativo, ya que se asume que todos los valores están localizados al Occidente de Greenwich | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-------|-----------------------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|--------|----------|-----------|----------------|------------------|-----------|------------|
| | | | G_Lat | M_Lat | S_Lat | Hemisf | Latitud | G_Long | M_Long | S_Long | Longitud | | | | | |
| 1 | ID | Orden | Nombre | 0-89 | 0-59 | 0-60 | N/S | Norte | 0-179 | 0-59 | 0-60 | Occidente | Fuente Hidrica | Uso | Caudal CO | Vigencia |
| 2 | 1 | 1 | Bocatoma Las Palmeras | 1 | 9 | 24,1 | N | 1,15669 | 76 | 41 | 27,4 | -76,69094 | Río Mulato | Sector servicios | 300L/s | 03/12/2034 |
| 3 | 2 | 1 | Bocatoma El Libano | 1 | 8 | 32,6 | N | 1,14239 | 76 | 40 | 20 | -76,67222 | Río Mulato | Sector servicios | 116L/s | 23/01/2020 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Convertidor de coordenadas CORPOAMAZONIA, monitoreo de calidad del agua

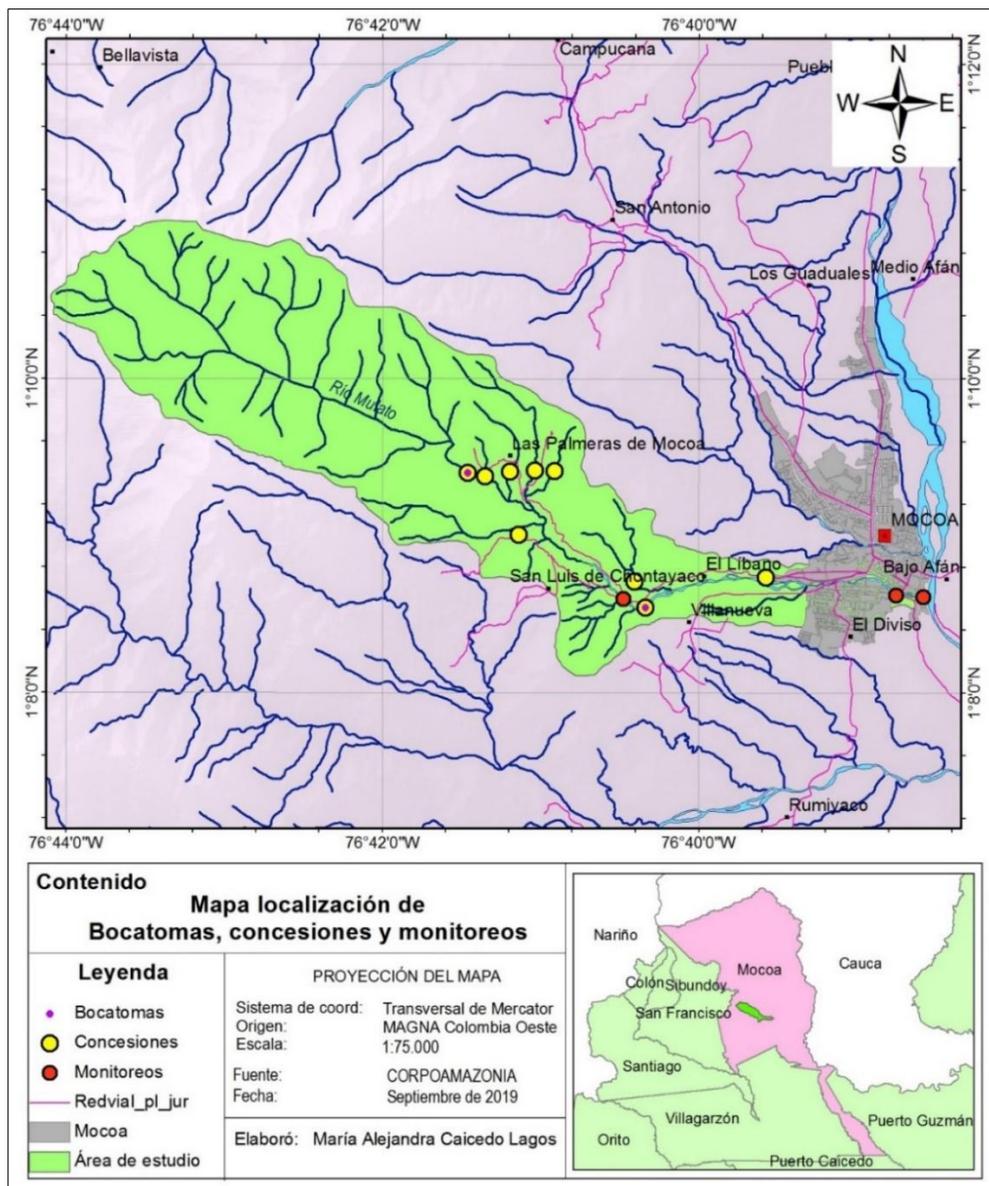
| * Si los valores exceden los rangos, establecido en el encabezado de la columna, automáticamente la celda se resalta en color rojo. ** Para los datos de Latitud, se ingresa el valor positivo pero se especifica si es Norte (N/n) o Sur (S/s) para su respectiva conversión. *** Para los datos de Longitud, se ingresa el valor positivo. El programa lo convierte automáticamente a negativo, ya que se asume que todos los valores están localizados al Occidente de Greenwich | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-------|--------------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|--------|----------|-----------|----------------|----------|
| | | | G_Lat | M_Lat | S_Lat | Hemisf | Latitud | G_Long | M_Long | S_Long | Longitud | | | |
| 1 | ID | Orden | Nombre | 0-89 | 0-59 | 0-60 | N/S | Norte | 0-179 | 0-59 | 0-60 | Occidente | FUENTE HIDRICA | DPTO |
| 2 | 1 | 1 | Aguas arriba | 1 | 8 | 35,80 | N | 1,14328 | 76 | 40 | 28,26 | -76,67452 | Río Mulato | Putumayo |
| 3 | 2 | 1 | Aguas medias | 1 | 8 | 37,20 | N | 1,14367 | 76 | 38 | 44,80 | -76,64578 | Río Mulato | Putumayo |
| 4 | 3 | 1 | Aguas abajo | 1 | 8 | 36,60 | N | 1,14350 | 76 | 38 | 34,50 | -76,64292 | Río Mulato | Putumayo |

Fuente: Elaboración propia

Y finalmente con la ubicación de los puntos monitoreados, se logró observar que uno de ellos (al que la entidad llama aguas arriba) se dispone en la parte media y dos puntos (al que la entidad llama aguas medias y aguas abajo) en la parte baja de la microcuenca lo que facilitó el análisis de los resultados de los ICAS.

El resultado del procesamiento de las coordenadas y su espacialización, corresponde al siguiente mapa, así mismo se indican 3 fotografías que muestran los 3 sectores de la microcuenca:

Figura 17. Localización de bocatomas, concesiones y monitoreo



Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Parte alta de la microcuenca del río Mulato



Fuente sobrevuelo CORPOAMAZONIA

Figura 19. Parte media de la microcuenca del río Mulato



Fuente sobrevuelo CORPOAMAZONIA

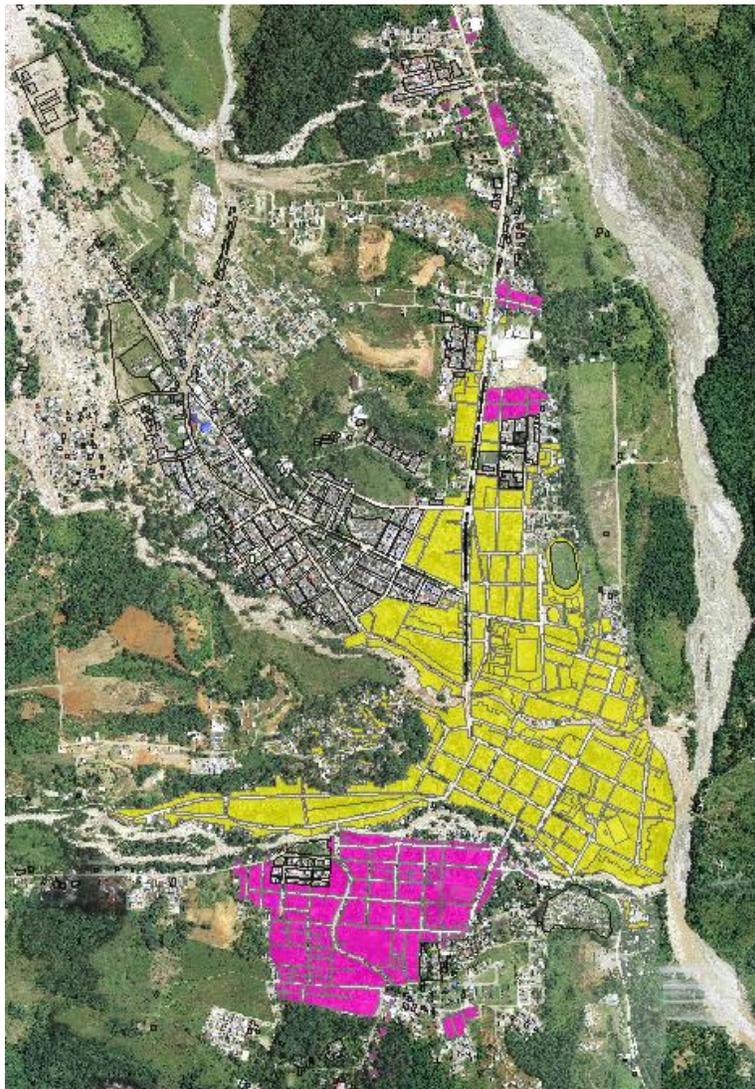
Figura 20. Parte baja de la microcuenca del río Mulato, desembocadura sobre el río Mocoa



Fuente sobrevuelo CORPOAMAZONIA

En la siguiente figura se muestra la cobertura de la cabecera municipal a la cual cubre las dos bocatomas para el suministro del recurso hídrico; la fucsia es la cobertura del acueducto las Palmeras y el color amarillo representa los sectores abastecidos por el acueducto el Líbano. Mostrando que abastecen a más del 50% de la cabecera municipal de Mocoa.

Figura 21. Cobertura de Mocoa abastecida por bocatoma Palmeras y El Líbano



Fuente: Elaboración propia

4.2 OFERTA HÍDRICA TOTAL- MÉTODO CAUDAL MEDIO PUNTUAL

Ya que no se cuenta con registros diarios de caudales, al no existir una estación limnimétrica sobre esta fuente, se compiló información de caudales mensuales del periodo 2.013 a 2.018 procedentes de las zonas donde se abastecen las bocatomas: Las Palmeras que se encuentra ubicada a una altura de 988 m.s.n.m correspondiendo a la parte alta de la microcuenca, registros de caudales de El Líbano a una altura de 776 m.s.n.m, ubicada en la parte media de la microcuenca

(cotas encontradas en los registros de caudales de Aguas Mocoa S.A E.S.P), y el caudal medio establecido para la parte baja fue tomado de la formulación del POMCA. Para conocer el caudal disponible de utilización de una fuente es importante conocer con qué frecuencia ocurren caudales iguales o superiores al caudal medio [23]. Para esto se aplicó la fórmula de caudal medio puntual obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4. Caudales medios en parte alta, media y baja de la microcuenca el Mulato

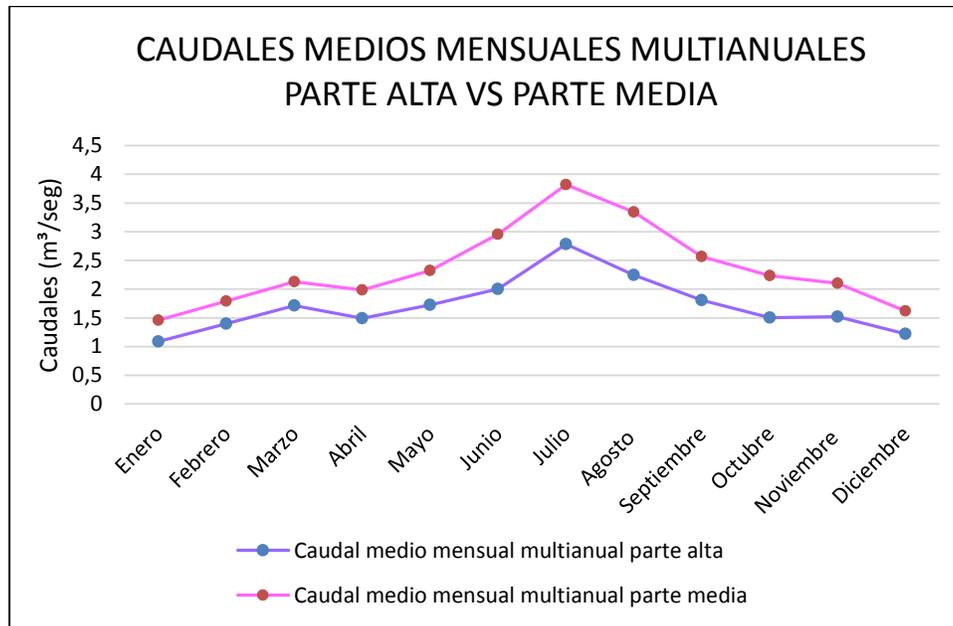
| Zonas de la microcuenca del río Mulato | Caudal Medio (m³/s) |
|---|---------------------------------------|
| Parte alta | 1,71 |
| Parte media | 2,36 |
| Parte baja | 2,85 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indicados en la tabla 4 para la parte baja de la microcuenca, presentan consistencia con la naturaleza de toda microcuenca, pues esta funciona como zona de descarga, por lo tanto, su caudal va a ser mayor como es de esperarse, ya que recibe aportes de la parte alta y media.

La siguiente gráfica corresponde al comportamiento de caudales mensuales durante el periodo 2.013 a 2.018 en la parte alta y media de la microcuenca, como se menciona en la metodología para la parte baja se tuvo en cuenta información del caudal medio mensual multianual del periodo 1.992 a 1.996, por tal razón, no fue posible relacionarla:

Figura 22. Variación de caudales medios mensuales multianuales parte alta vs parte baja de la microcuenca del río Mulato



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en la gráfica se puede observar que la microcuenca del río Mulato tiene un comportamiento monomodal, su caudal medio mensual multianual más alto en la parte alta y media se presentó en el mes de julio con valores de 2,58 m³/s y 3,57 m³/s respectivamente, correspondiendo a que este es uno de los meses donde se presenta la mayor precipitación en el municipio de Mocoa [30].

Y su caudal medio mensual multianual más bajo para la parte alta y media se presentó en el mes de enero con valores de 1,15 m³/s y 1,42 m³/s respectivamente, esto se debe a que durante los meses de noviembre a febrero se considera una época de bajas precipitaciones para el municipio de Mocoa [30].

Posteriormente con base en los registros de caudales mensuales durante el periodo hídrico de 6 años de la parte alta y media, se hizo una proyección de caudales basados en la media de estas dos zonas con base en el valor de referencia del caudal medio de la parte baja de la microcuenca. Lo anterior permitió fijar las siguientes variables adicionalmente para la parte baja, ya que no se contaba con suficiente información. De tal modo fueron fijadas las variables para:

- Parte alta.
- Parte media.
- Parte baja
- La media entre la parte alta, media y baja

Tabla 5. Variables parte alta

| | |
|---------------|------|
| No datos | 72 |
| Q. máximo | 3,25 |
| Q. mínimo | 0,72 |
| Rango | 2,53 |
| No intervalos | 15 |
| Amplitud | 0,17 |
| Q. medio | 1,71 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Variables parte media

| | |
|---------------|------|
| No datos | 72 |
| Q. máximo | 5,41 |
| Q. mínimo | 0,85 |
| Rango | 4,56 |
| No intervalos | 15 |
| Amplitud | 0,30 |
| Q. medio | 2,36 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Variables parte baja proyectada

| | |
|---------------|------|
| No datos | 72,0 |
| Q. máximo | 6,03 |
| Q. mínimo | 1,10 |
| Rango | 4,93 |
| No intervalos | 15 |
| Amplitud | 0,33 |
| Q. medio | 2,85 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Variables de la media entre las 3 zonas de la microcuenca (parte alta, media y baja)

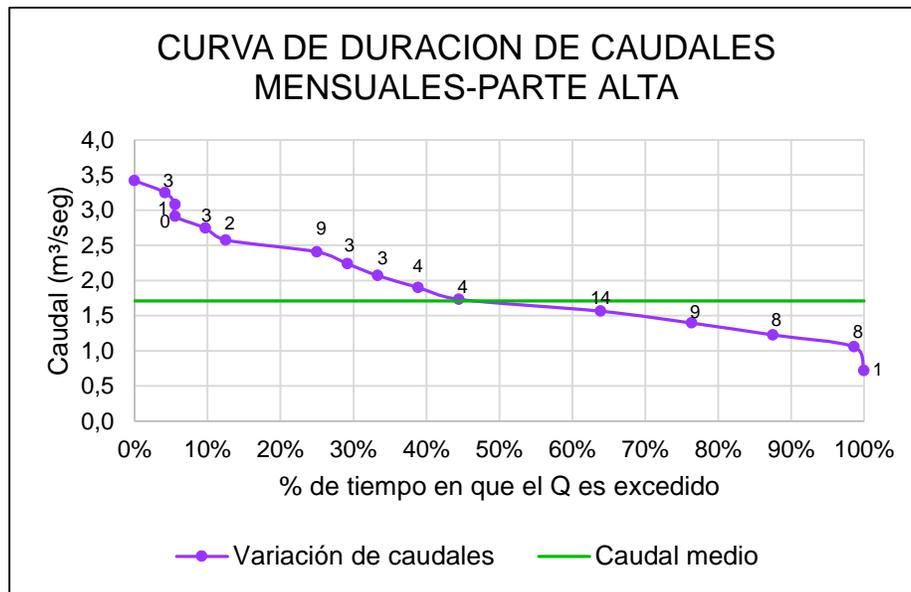
| | |
|---------------|------|
| No datos | 72,0 |
| Q. máximo | 4,88 |
| Q. mínimo | 0,89 |
| Rango | 3,99 |
| No intervalos | 15 |
| Amplitud | 0,27 |
| Q. medio | 2,31 |

Fuente: Elaboración propia

Se decidió realizar cálculos en los 4 casos mencionados, para tener un mayor conocimiento de la variación de caudales de la microcuenca del río Mulato, y poder analizar el comportamiento de dichos volúmenes en cada zona, basados en el registro de caudales mensuales compilados y proyectados; sin embargo, es importante resaltar que la oferta será cuantificada sobre el promedio de estas 3 zonas de la microcuenca ya que el fin de este estudio es evaluar la disponibilidad hídrica de la microcuenca de manera integral. Por lo tanto, los cálculos para la parte alta, media y baja son una referencia para quienes se interesen por realizar estudios de disponibilidad hídrica basados en el comportamiento de caudales mensuales.

Las anteriores variables fijadas en las tablas 7 hasta la 9, permitieron calcular la distribución de frecuencias de los intervalos de caudales según la tabla 2 expuesta en la metodología, con lo que se construyó las siguientes CDC para los anteriores casos mencionados:

Figura 23. Curva de duración de caudales mensuales de la parte alta de la microcuenca, periodo 2.013 a 2.018



Fuente: Elaboración propia

Para todas las curvas de duración de caudales mensuales construidas, fue necesario indicar sobre cada punto de intervalo de caudales, la frecuencia absoluta de los caudales presentes en cada intervalo ya que, sin estos datos expuestos, podría crearse confusión en la interpretación de la curva, pues la cantidad de intervalos sobre o inferiores al caudal medio no quiere decir que exista una mayor frecuencia de cada uno de ellos.

Según la anterior curva se puede observar que, durante el periodo de tiempo evaluado la parte alta de la microcuenca del río Mulato, presentó un caudal máximo de 3,25 m³/s, y un caudal mínimo de 0,72 m³/s; ya que en una CDC es imposible identificar la secuencia natural de los caudales, por lo que no se conoce su distribución en el tiempo, se realizó la revisión de los registros obtenidos de caudales mensuales, donde se evidencia que el caudal máximo se presentó en el mes de julio, correspondiente a uno de los meses donde se presenta mayor precipitación [30], este factor hace que la microcuenca suba su nivel de caudal, al ser una de las principales fuentes con mayor aportación de entradas de agua [45]; y el caudal mínimo se presentó en el mes de enero, lo que comprueba que de los meses noviembre a febrero hay una tendencia de pocas precipitaciones [30].

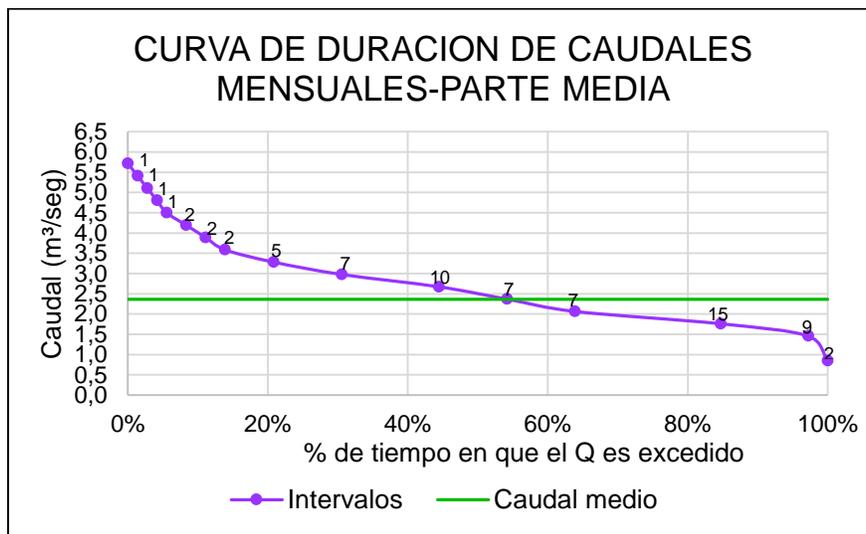
Según la frecuencia absoluta se logró observar que, los caudales con mayor frecuencia fueron los que se encuentran en un intervalo entre 1,41 m³/s a 1,56 m³/s ya que, de los 72 registros mensuales, estos se presentaron en 14 meses.

Se deduce que durante el 46% del tiempo evaluado, se presentaron caudales mayores al caudal medio, por lo que se considera que para estimar la oferta de esta zona, no es recomendable cuantificarla sobre el caudal medio, ya que la mayor parte del tiempo la microcuenca tendrá un régimen de caudal menor a este, por lo tanto

es importante tener en cuenta que si se sigue ejerciendo la misma presión sobre el recurso, esto puede llegar a generar desequilibrio en los ecosistemas, escasez y disminución en la calidad de agua.

Sin embargo, una vez desarrollada la tabla 3 mencionada en la metodología, se determinó que el caudal medio tiene un índice de variabilidad de 0,39, obteniendo un caudal medio mínimo de 1,31 m³/s el cual representa el caso crítico del caudal medio para la parte alta. Según la CDC este es superado durante aproximadamente el 82% de los 6 años. Por lo anterior se considera recomendable evaluar la oferta sobre este valor.

Figura 24. Curva de duración de caudales mensuales de la parte media de la microcuenca, periodo 2.013 a 2.018



Fuente: Elaboración propia

Se percibe que durante el periodo evaluado, el caudal máximo registrado fue de 5,41 m³/s y el caudal mínimo fue 0,85 m³/s, este comportamiento se debe a las variaciones de precipitaciones [45], que por supuesto, es la mayor fuente de aporte de volumen de agua a la microcuenca del río Mulato.

La pendiente pronunciada en el tramo inicial de la curva y la frecuencia absoluta expuesta sobre cada punto, indican que caudales altos, iguales o mayores a 3,59 m³/s se presentaron durante períodos cortos mensuales, en el 14% (306,6 días aproximadamente) del tiempo evaluado.

Según la frecuencia absoluta se logró observar que, los caudales con mayor frecuencia fueron los que se encuentran en un intervalo entre 1,46 m³/s a 1,76 m³/s, ya que, de los 72 registros mensuales, estos se presentaron en 15 meses.

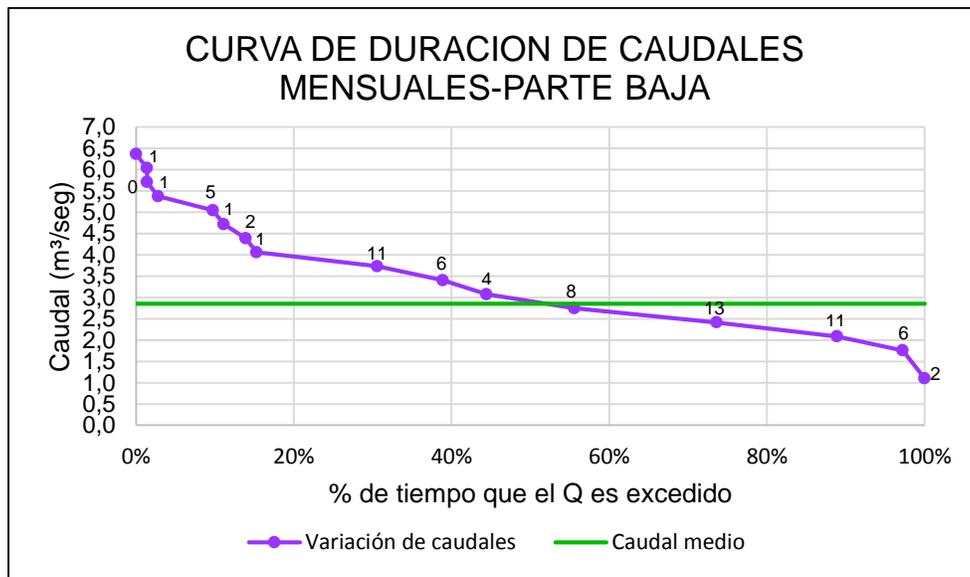
Durante el 45% del tiempo evaluado (1.007,4 días), se presentaron caudales mayores al caudal medio, se considera que para estimar la oferta de esta zona, no es recomendable cuantificarla sobre este caudal, ya que la mayor parte del tiempo la microcuenca tendrá un régimen de caudal menor a este, por lo tanto es importante

tener en cuenta que si se sigue ejerciendo la misma presión sobre el recurso, esto puede llegar a generar desequilibrio en los ecosistemas, escasez y disminución en la calidad de agua.

El caudal medio en esta zona es superior al de la parte alta de la microcuenca por tener 8 tributarios en esta zona y por recibir aportes de la parte alta.

Para generar una mayor confiabilidad de la variación del caudal medio se desarrolló la tabla 3 mencionada en la metodología, determinando que tiene un índice de variabilidad de 0,59, obteniendo un caudal medio mínimo de 1,77 m³/s el cual representa el caso crítico del caudal medio para la parte media. Según la CDC este es superado durante aproximadamente el 64% de los 6 años. Por lo anterior también se podría evaluar la disponibilidad hídrica, considerándose que es más confiable al cuantificar la oferta con base a un valor crítico.

Figura 25. Curva de duración de caudales mensuales de la parte baja de la microcuenca, periodo 2.013 a 2.018



Fuente: Elaboración propia

Caudales altos, iguales o mayores a 4,06 m³/s se presentaron durante períodos cortos mensuales, con una frecuencia del 15% (328,5 días aproximadamente) del tiempo evaluado. Mientras que durante el 74% (1.620,6 días aproximadamente) del tiempo, se presentaron caudales bajos iguales o menores a 2,41 m³/s.

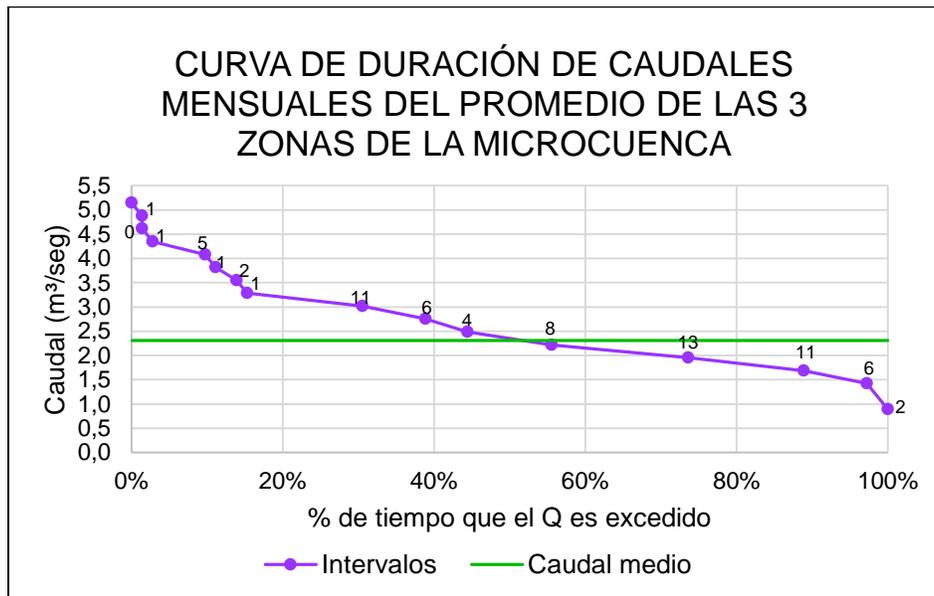
En la anterior curva se puede observar que, durante el periodo de tiempo evaluado, la parte baja de la microcuenca del río Mulato, presentó un caudal máximo de 6,03 m³/s, y un caudal mínimo de 1,10 m³/s, respecto al caudal mínimo probable se deduce que la microcuenca tiene la disponibilidad de este caudal durante todo el

año con una probabilidad de excedencia del 100%; ya que esta curva fue proyectada con el promedio de la parte alta y media, tendrá el mismo comportamiento característico de las dos anteriores zonas, los caudales altos se presentaron en meses donde hay mayor aporte al nivel de caudal por precipitaciones, y los caudales bajos, son el resultado de periodos con bajas precipitaciones.

Según la frecuencia absoluta se observa que, los caudales con mayor frecuencia fueron los que se encuentran en un intervalo entre 1,76 m³/s a 2,41 m³/s ya que, de los 72 registros mensuales, estos se presentaron en 24 meses, encontrándose por debajo del caudal medio. El 52% del tiempo se presentan caudales mayores al caudal medio por lo cual se considera que, para estimar la oferta de esta zona, es posible cuantificarla sobre este caudal, ya que la mayor parte del tiempo la microcuenca tendrá un régimen de caudal superior a este, por lo tanto, se prevé la sostenibilidad del recurso hídrico.

Sin embargo, se determinó que el caudal medio tiene un índice de variabilidad de 0,42, obteniendo un caudal medio mínimo de 2,43 m³/s que representa el caso crítico del caudal medio para la parte baja. Según la CDC por encima de este caudal se presentaron valores superiores con una frecuencia aproximada de 73% en los 6 años. Por lo anterior se considera recomendable evaluar la oferta sobre este valor, ya que genera una mayor sostenibilidad del recurso.

Figura 26. Curva de duración de caudales mensuales promedio de las 3 zonas de la microcuenca, periodo 2.013 a 2.018



Fuente: Elaboración propia

Como se había mencionado antes, la oferta hídrica fue evaluada según la anterior CDC, pues al ser el resultado de la media entre las 3 zonas de la microcuenca, proporciona una visión integral de la oferta hídrica cumpliendo el propósito de esta evaluación.

Según el tramo inicial de la curva se deduce que durante periodos cortos mensuales se presentaron caudales altos iguales o mayores a $3,28 \text{ m}^3/\text{s}$ durante el 15% del periodo evaluado. El caudal máximo registrado fue de $4,88 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal mínimo $0,89 \text{ m}^3/\text{s}$, este comportamiento hídrico se debe a las variaciones de precipitaciones, siendo la mayor fuente de aporte de volumen de agua a la microcuenca del río Mulato; en relación al caudal mínimo probable se concluye que la microcuenca tiene la disponibilidad de este caudal durante todo el año con una probabilidad de excedencia del 100%.

Teniendo en cuenta la frecuencia absoluta se observa que, los caudales con mayor frecuencia (más estables, no tienen gran variación) fueron los que se encuentran en un intervalo entre $1,42 \text{ m}^3/\text{s}$ a $1,69 \text{ m}^3/\text{s}$ los cuales según el registro de caudales compilados se presentaron con mayor periodicidad en los meses enero y diciembre época que se puede considerar como periodo de estiaje; los caudales entre $1,69 \text{ m}^3/\text{s}$ a $1,95 \text{ m}^3/\text{s}$, también presentaron mayor frecuencia absoluta en su mayoría durante los meses abril y octubre, los cuales tienen una amplitud de 0,27 por encima de la época de estiaje, éstos dos intervalos se presentaron en 24 meses de los 72 registros mensuales.

Se deduce que durante el 52% del tiempo evaluado (1.138,8 días), se presentaron caudales mayores al caudal medio, por lo tanto, es posible cuantificar la oferta hídrica sobre este caudal, ya que la mayor parte del tiempo la microcuenca tendrá un régimen de caudal superior a este.

Sin embargo, ya que este documento tiene como fin, la evaluación de la disponibilidad en torno a la conservación del recurso hídrico, y teniendo en cuenta que la planificación de la demanda debe ser ajustada a un escenario de oferta disponible cambiante [41], se decidió establecer la oferta con base a una fase crítica, así pues, conociendo que la microcuenca tiene un índice de variabilidad de 0,42, se obtuvo como oferta un caudal medio mínimo de $1,89 \text{ m}^3/\text{s}$.

Según la CDC este fue superado durante aproximadamente el 77% de los 6 años. Este porcentaje genera una mayor confiabilidad de sostenibilidad de este recurso y por consiguiente el bienestar de los ecosistemas.

4.2.1 CUANTIFICACIÓN OFERTA HÍDRICA TOTAL DISPONIBLE

Para cuantificar la oferta total disponible de la microcuenca del río Mulato se emplearon reducciones a la oferta hídrica, por calidad del agua, siendo este un factor que limita la disponibilidad del recurso y restringe los posibles usos [23], y por

caudal ecológico, requerido para la sostenibilidad de los ecosistemas de la microcuenca, obteniendo los siguientes resultados:

4.2.1.1 REDUCCIÓN POR CALIDAD DEL AGUA

Se trabajó con un indicador de calidad de tipo multiplicativo ICA-NSF, al ser más sensible que los de tipo aditivo, genera una mayor confiabilidad de resultados [10]. Para obtener resultados con mayor precisión y optimizar el tiempo en los cálculos se utilizó la herramienta computacional ICATEST V1.0, lo que permitió obtener los siguientes reportes del ICA, para los 3 puntos donde se tienen datos de monitoreo:

Para el análisis de parámetros de la parte media de la microcuenca- aguas arriba se contó con los resultados de monitoreo a 8 parámetros, los mencionados anteriormente en metodología, excepto la medición de DBO₅. El ICA resultante para esta zona (Ver figura 29), se encuentra en un valor de 70,38, por lo tanto, se clasifica como “medianamente contaminada”.

Según la espacialización de las coordenadas geográficas correspondientes a monitoreos (Ver figura 17), se observa que este punto se encuentra ubicado en la zona rural de la microcuenca del río Mulato, así pues, no tiene grandes descargas de aguas residuales domésticas, por lo que respecto a las demás zonas, se registró un menor contenido de Coliformes fecales, sin embargo este parámetro se encuentra en un nivel alto, posiblemente debido a que las descargas de vertimientos se realizan sin previo tratamiento; también es probable que esto ocurra debido a la existencia de ganado sobre la zona y éstas pueden llegar a la fuente por escorrentía superficial o por infiltración. De igual manera, se encuentra dentro del valor admisible para consumo humano con previo tratamiento convencional, según el decreto de Usos de agua y residuos líquidos.

Según el art 14 del Decreto 1594 de 84, el pH en esta zona se encuentra dentro del rango normal para fuentes superficiales de agua dulce dirigido hacia la conservación de la fauna y flora (6,5 a 8,0) [34] ya que al estar fuera de este rango se reduce la diversidad por estrés fisiológico, así como la reproducción. La calidad de agua es apta para el sector pecuario, pues el valor de los nitratos se encuentra dentro del valor admisible [34]. El nivel de oxígeno disuelto se encuentra en una calificación media, esto puede ser el resultado de la condición físico química del agua, que puede verse afectada por el uso de fertilizantes, abonos y otros químicos usados en la agricultura de la zona.

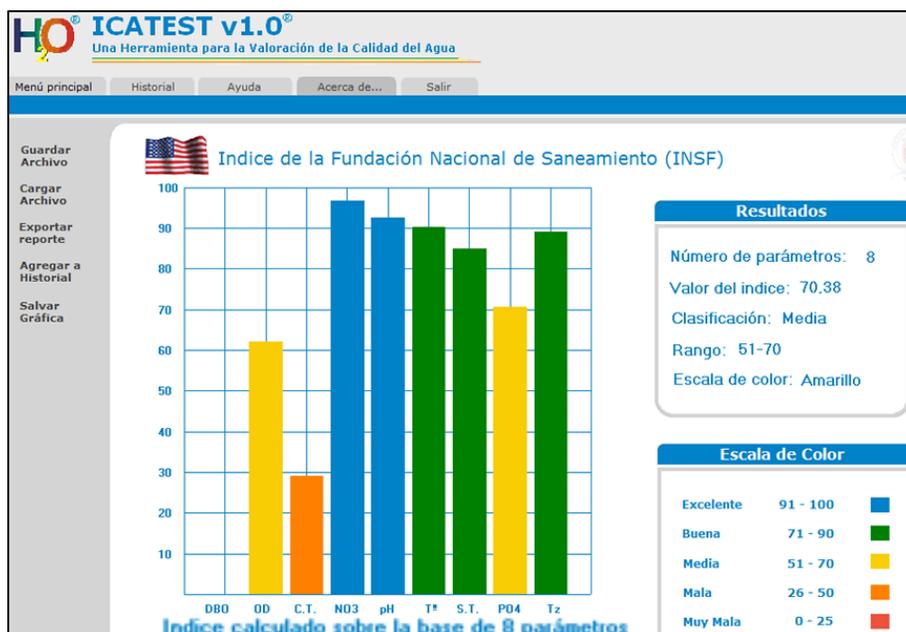
Es importante resaltar que el monitoreo fue realizado en el mes de febrero, donde la mayor parte del tiempo los caudales del río son bajos, esto influye en el ICA, por ejemplo: al disminuir el caudal, disminuyen los niveles de OD y el consumo de oxígeno por las especies acuáticas aumentan [46].

Figura 27. Resultado monitoreo de calidad de agua WQI NSF- Parte media (aguas arriba)

| Hoja de cálculo para el índice NSF | | | | |
|------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------------|-------|
| Fecha y Hora: | 20/09/2019 | 05:50:31 p.m. | | |
| Lugar: | Aguas arriba | | | |
| Analista: | Maria C | | | |
| Parámetro: | Resultados | Valor-Q | Factor de Ponderación | Total |
| DBO | (mg/L) | - | - | - |
| Oxígeno Disuelto | 63.08 (%Sat) | 62.16 | 0.18 | 11.19 |
| Coliformes Fecales | 500 (Col/100mL) | 29 | 0.17 | 4.93 |
| Nitratos | 0.42 (mg/L) | 96.58 | 0.11 | 10.62 |
| pH | 7.47 (Unid) | 92.65 | 0.12 | 11.12 |
| Cambio de Temperatura | 0.67 (°C) | 90.32 | 0.11 | 9.94 |
| Sólidos Totales | 33 (mg/L) | 84.95 | 0.08 | 6.8 |
| Fosfatos Totales | 0.4 (mg/L) | 70.67 | 0.11 | 7.77 |
| Turbidez | 3.5 (NTU) | 89 | 0.09 | 8.01 |

Fuente: ICATEST V1.0

Figura 28. Índice de calidad de agua WQI NSF- Parte media (aguas arriba)



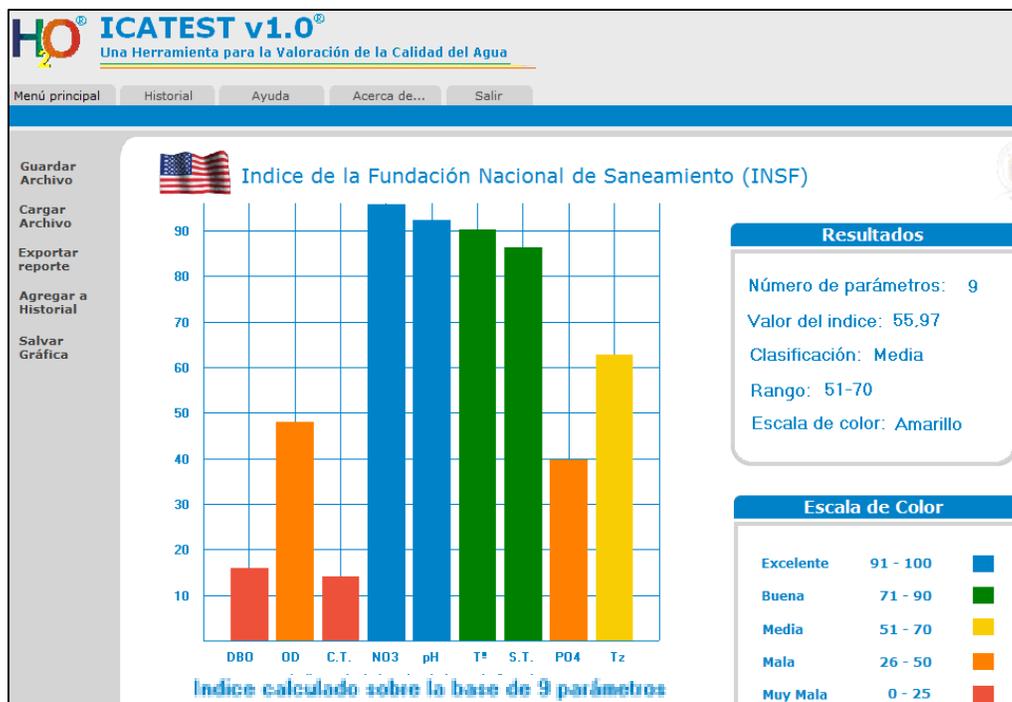
Fuente: ICATEST V1.0

Figura 29. Resultado monitoreo de calidad de agua WQI NSF- Parte baja (zona de mezcla)

| Hoja de cálculo para el índice NSF | | | | |
|------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------|-------|
| Fecha y Hora: | 20/09/2019 | 05:45:48 p.m. | | |
| Lugar: | Zona de mezcla | | | |
| Analista: | Maria C | | | |
| Parámetro: | Resultados | Valor-Q | Factor de Ponderación | Total |
| DBO | 17 (mg/L) | 16 | 0,11 | 1,76 |
| Oxígeno Disuelto | 53,2 (%Sat) | 48,06 | 0,17 | 8,17 |
| Coliformes Fecales | 5000 (Col/100mL) | 14 | 0,16 | 2,24 |
| Nitratos | 1,25 (mg/L) | 95,75 | 0,1 | 9,58 |
| pH | 7,54 (Unid) | 92,3 | 0,11 | 10,15 |
| Cambio de Temperatura | 0,67 (°C) | 90,32 | 0,1 | 9,03 |
| Sólidos Totales | 67 (mg/L) | 86,3 | 0,07 | 6,04 |
| Fosfatos Totales | 1,01 (mg/L) | 39,8 | 0,1 | 3,98 |
| Turbidez | 18,5 (NTU) | 62,8 | 0,08 | 5,02 |

Fuente: ICATEST V1.0

Figura 30. Índice de calidad de agua WQI NSF- Parte baja (zona de mezcla)



Fuente: ICATEST V1.0

Para la parte baja de la microcuenca- zona de mezcla de la fuente con el vertimiento de aguas residuales producidas por una parte de la cabecera municipal, se obtuvo información de 9 parámetros monitoreados, dando como resultado que esta zona se encuentra “medianamente contaminada” con un valor del ICA de 55,97.

La concentración de oxígeno disuelto baja al entrar en contacto con el vertimiento, encontrándose por debajo del rango normal (7.0 y 8.0 mg/L) [47], por lo que esta zona se encuentra en un valor de OD malo, esto significa que hay contaminación por materia orgánica, mala calidad de agua y por lo tanto incapacidad para sostener determinadas formas de vida [48], esto hace que se limite el uso del recurso para conservación. En consecuencia, se encontró que la DBO₅ está en una escala que se considera muy mala, por esta razón los microorganismos no realizan una oxidación óptima de la materia orgánica.

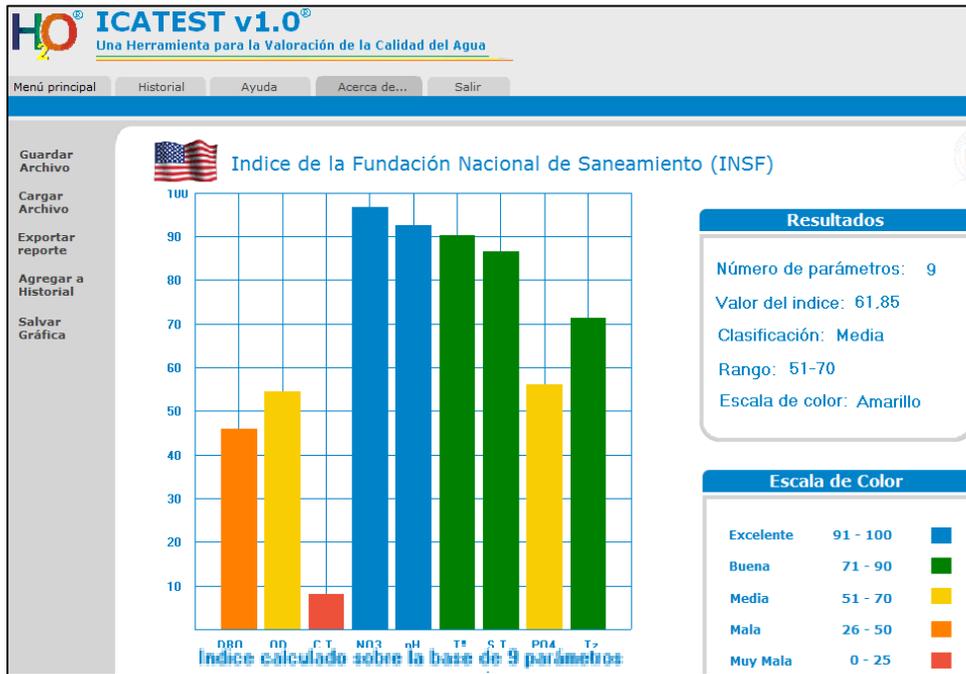
El pH, los nitratos, temperatura, sólidos totales se encuentran dentro de rangos considerados como buenos, por lo tanto, estos parámetros se encuentran en valores que no restringen usos de la fuente, mientras que las Coliformes fecales en esta zona se incrementaron, sobrepasando los niveles admisibles para el uso del recurso destinado para el sector doméstico, por lo que para su uso se requiere de tratamiento convencional. Esto puede ser ocasionado por que las aguas residuales domésticas son vertidas directamente a la fuente, lo que altera notablemente la calidad.

Figura 31. Resultado monitoreo de calidad de agua WQI NSF- Parte baja (aguas abajo)

| Hoja de cálculo para el índice NSF | | | | |
|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------------|-------|
| Fecha y Hora: | 20/09/2019 | 06:04:52 p.m. | | |
| Lugar: | Aguas abajo | | | |
| Analista: | Maria C | | | |
| Parámetro: | Resultados | Valor-Q | Factor de Ponderación | Total |
| DBO | 7 (mg/L) | 46 | 0.11 | 5.06 |
| Oxígeno Disuelto | 58 (%Sat) | 54.57 | 0.17 | 9.28 |
| Coliformes Fecales | 24000 (Col/100mL) | 8 | 0.16 | 1.28 |
| Nitratos | 0.38 (mg/L) | 96.62 | 0.1 | 9.66 |
| pH | 7.51 (Unid) | 92.45 | 0.11 | 10.17 |
| Cambio de Temperatura | 0.67 (°C) | 90.32 | 0.1 | 9.03 |
| Sólidos Totales | 52 (mg/L) | 86.6 | 0.07 | 6.06 |
| Fosfatos Totales | 0.58 (mg/L) | 56 | 0.1 | 5.6 |
| Turbidez | 12.3 (NTU) | 71.4 | 0.08 | 5.71 |

Fuente: ICATEST V1.0

Figura 32. Índice de calidad de agua WQI NSF- Parte baja (aguas abajo)



Fuente: ICATEST V1.0

Para este punto aguas abajo también se obtuvo información de 9 parámetros monitoreados, según la figura 33, se evidencia que a pesar de seguir catalogada en un ICA “medianamente contaminado” las condiciones de calidad para la mayoría de parámetros mejoraron, lo que indica que la fuente tiene una favorable asimilación y autodepuración de los agentes contaminantes contenidos en el agua residual doméstica vertida directamente a la fuente, a pesar de que se genera una afectación por efecto de las Coliformes fecales, el índice de calidad aumenta en este punto ubicado aguas abajo del vertimiento.

La concentración de Coliformes fecales para este punto aumentó, esto puede ser ocasionado por vertimientos ilegales de aguas domesticas vertidas directamente sobre el río.

Por otra parte, para verificar la consistencia de la herramienta ICATEST V 1.0 se aplicó la ecuación 3 de manera manual, para la parte baja- zona de mezcla, permitiendo obtener el siguiente resultado:

Tabla 9. Calculo manual del ICA para la parte baja (zona de mezcla)

| VALOR | VALOR Q (W) | SUBINDICE (Si) | Subtotal |
|-------|-------------|----------------|----------|
| 53,2 | 48,1 | 0,17 | 8,177 |
| 5000 | 14,2 | 0,16 | 2,272 |
| 7,54 | 92,2 | 0,11 | 10,142 |

| | | | |
|------|------|------|-------|
| 17 | 16 | 0,11 | 1,76 |
| 1,25 | 95,6 | 0,1 | 9,56 |
| 1,01 | 39,5 | 0,1 | 3,95 |
| 0,67 | 90,2 | 0,1 | 9,02 |
| 18,5 | 62,9 | 0,08 | 5,032 |
| 67 | 86 | 0,07 | 6,02 |

Fuente: Elaboración propia

De los resultados presentados en la anterior tabla, se concluye que este punto tiene un valor del ICA de 55,93, se clasifica como “medianamente contaminada”, y por lo tanto está en un rango de 51-70. Lo que comprueba la consistencia del software frente al procedimiento manual, pues la diferencia en valor es de 0,04. Esta diferencia se da debido al valor asignado al factor de ponderación, pues este valor es subjetivo a quien ubica los resultados de monitoreo de parámetros en las curvas de función de calidad (Figura 1 hasta la 9). Por esta razón se considera que el uso del software arroja resultados más precisos.

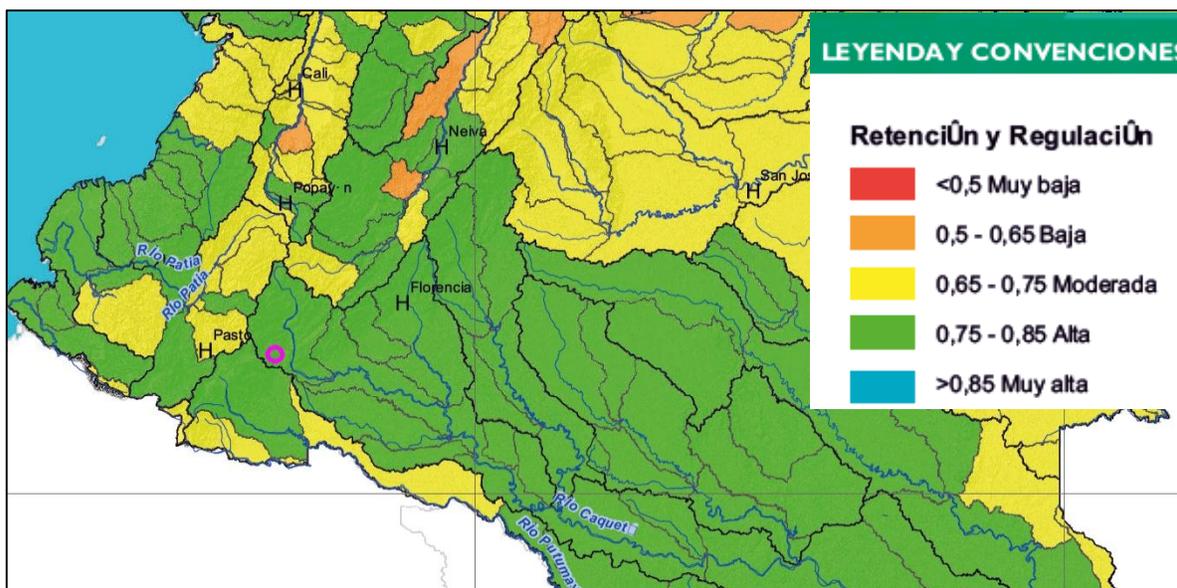
Finalmente, para obtener el ICA promedio de la microcuenca del río Mulato se realizó la ecuación 4, de lo que resultó un ICA de 62,73 clasificada como “medianamente contaminada”.

Por consiguiente, basado en la tabla 4 se procedió a reducir la oferta hídrica en un 15% (0,28), lo que dio como resultado una oferta hídrica total disponible de 1,60 m³/s (este valor será modificado en el siguiente numeral, mediante la reducción por caudal ecológico).

4.2.1.2 REDUCCIÓN POR CAUDAL ECOLÓGICO

Es importante considerar un porcentaje de agua para conservar el régimen hidrológico mínimo [23], los ecosistemas fluviales y las necesidades de los usuarios aguas abajo [8], de manera que se identificó en el Mapa de la figura 13, la subzona hidrográfica a la cual pertenece la microcuenca del río Mulato. En la siguiente figura se ubica en el círculo fucsia la localización de la microcuenca del río Mulato:

Figura 33. Índice de regulación hídrica en la microcuenca del río Mulato



Fuente: ENA 2018

Encontrando que la subzona tiene un IRH regional de 0,7 a 0,85 lo que corresponde a una alta regulación [8], por lo que se tomó como caudal ecológico el percentil 85 (Q85) de la CDC.

Con la ecuación 5 se encontró que el percentil 85, está en la posición 61,2 de la frecuencia acumulada, que corresponde al intervalo de caudales 1,42 m³/s y 1,69 m³/s. Seguidamente con la ecuación 6 se encontró que 1,62 m³/s corresponde al percentil 85.

Por último, se realizó la ecuación 7, que permitió obtener el caudal ecológico para la microcuenca del río Mulato siendo de 3,74 m³/s.

Además, el caudal ecológico calculado puede ser usado como herramienta base para la construcción de documentos de gestión de esta fuente, como instrumentos de planificación y administración de la microcuenca del río Mulato, reglamentación de uso de aguas, reglamentación de vertimientos, entre otros [41].

Una vez reducido el caudal por calidad del agua, se procedió a realizar la reducción por caudal ecológico, obteniendo como oferta hídrica total disponible -2,14 m³/s, lo que significa que el caudal ecológico sobrepasa al caudal ofertado. Este dato resulta porque según el análisis de la CDC se decidió tomar como oferta hídrica el caudal medio mínimo, y según la metodología del ENA 2018 para el cálculo de caudal medio, se tiene en cuenta como oferta hídrica, la oferta de año medio, así que, si se toma en cuenta el ENA, se estaría ignorando el análisis hecho a la CDC, respecto al valor fijado para oferta hídrica, ya que el caudal ecológico está representado por

el P85, siendo este un porcentaje muy alto para haber sido operado con la oferta tenida en cuenta, generó un valor de caudal mayor al ofertado.

Por lo tanto, ya que los resultados no fueron los esperados se decidió aplicar la reducción del 25 % al caudal medio mensual multianual más bajo, según lo expuesto en la resolución 865 de 2.004.

Después de calcular los caudales medios mensuales multianuales, se encontró que el mínimo corresponde a 1,9 m³/s, así que, sobre este valor se estableció la reducción por caudal ecológico del 25%, obteniendo una reducción de 0,47 m³/s. Posteriormente se procedió a restar este valor al caudal ya reducido por calidad del agua, resultando una OHTD de 1,13 m³/s.

4.3 DEMANDA TOTAL HÍDRICA

Con el fin de calcular la demanda actual ejercida sobre el recurso hídrico, éste, siendo un servicio ecosistémico de aprovisionamiento que brinda la microcuenca del río Mulato, se identificó y cualificó sus demandas en: Demanda de uso doméstico, demanda de uso industrial, demanda del sector acuícola y demanda del sector pecuario.

Para la demanda doméstica, una vez identificada en el SISA la información de población a la cual abastece los acueductos que tienen concesión sobre de la microcuenca del río Mulato, se tiene lo siguiente:

Tabla 10. Población abastecida por las captaciones

| CONCESIÓN | AÑO MEDIDO | POBLACIÓN |
|-----------------------------|------------|-----------|
| Bocatoma Las Palmeras | 2.009 | 3.4175 |
| Bocatoma El Líbano | 2.019 | 12.945 |
| Acueducto veredal El Líbano | 2.016 | 435 |

Fuente: Elaboración propia

Ya que no se cuenta con información actual de la población a la cual abastece la bocatoma Las Palmeras y el acueducto veredal El Líbano, se realizó una proyección de población hasta febrero de 2.019 (fecha tenida en cuenta para el desarrollo de este proyecto), aplicando la siguiente ecuación [49]:

$$(Pa \times tca / 100) + Pa = Pp$$

Ecuación 10. Proyección de población

Dónde: Pa= población base; tca= tasa de crecimiento anual; Pp= Población proyectada.

Basándose en las tasas de crecimiento anuales suministradas por el DANE para el departamento del Putumayo y consignadas en el POMCA formulado para la microcuenca del río Mulato [49], se obtuvo las siguientes proyecciones:

Tabla 11. Proyección de población abastecida por bocatoma Las Palmeras

| AÑO | POBLACIÓN | TASA DE CRECIMIENTO ANUAL |
|------------|------------------|----------------------------------|
| 2009 | 34.175 | |
| 2010 | 34.520,2 | 1,01 |
| 2011 | 34.917,1 | 1,15 |
| 2012 | 35.318,7 | 1,15 |
| 2013 | 35.724,9 | 1,15 |
| 2014 | 36.135,7 | 1,15 |
| 2015 | 36.551,3 | 1,15 |
| 2016 | 37.048,4 | 1,36 |
| 2017 | 37.552,2 | 1,36 |
| 2018 | 38.062,9 | 1,36 |
| feb-2019 | 38.105,9 | 0,113 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Proyección de población abastecida por acueducto veredal El Líbano

| AÑO | POBLACIÓN | TASA DE CRECIMIENTO ANUAL |
|------------|------------------|----------------------------------|
| 2016 | 435 | |
| 2017 | 440,9 | 1,36 |
| 2018 | 446,9 | 1,36 |
| feb-2019 | 447,4 | 0,113 |

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la población se tomó en cuenta una densidad de 5 habitantes por vivienda, ya que así lo consideran en las concesiones mencionadas [50]. Por lo anterior y según el resultado de las proyecciones realizadas, se deduce que la bocatoma Las Palmeras abastece a 7.621,2 usuarios distribuidos en 25 barrios aproximadamente, la bocatoma El Líbano abastece a 2.585 usuarios, ubicados en 27 barrios aproximadamente. Siendo un total de 51.050,9 habitantes en el casco urbano de Mocoa abastecidos por la microcuenca del río Mulato.

Y el acueducto veredal manejado por la junta de acción comunal-JAC de la vereda El Líbano suministra agua actualmente a 89,5 usuarios rurales, siendo un total de 447,4 habitantes abastecidos por la microcuenca del río Mulato.

Con el propósito de conocer la demanda de la población abastecida se procedió a realizar los siguientes procesos:

Con base en el documento RAS 2.000, la población de la zona urbana abastecida se encuentra en un nivel de complejidad “Medio alto” por estar entre el rango de 12.501 a 60.000 habitantes [51], y a la población de la zona rural abastecida fue asignado un nivel de complejidad “Bajo” por ser menor a 2.500 habitantes.

Según lo anterior y teniendo en cuenta la resolución 2320 del 2.009 que modifica parcialmente la RAS 2000 [52], se tiene que:

Tabla 13. Dotación neta máxima según el nivel de complejidad

| POBLACIÓN ABASTECIDA | NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA | DOTACIÓN NETA MÁXIMA PARA POBLACIONES CON CLIMA CÁLIDO (L/hab-día) |
|-----------------------------|---|---|
| Urbana | Medio Alto | 135 |
| Rural | Bajo | 100 |

Fuente: Elaboración propia basada en la resolución 2320 de 2009

Con el objetivo de calcular la dotación bruta, se procedió a realizar reducción por pérdidas técnicas del sistema, basadas en el RAS 2.000 [51]:

- Para la población urbana, por su nivel de complejidad Medio alto se tuvo un porcentaje admisible de pérdidas del 25%.
- Para la población rural, por estar catalogada en un nivel de complejidad bajo, se tuvo un porcentaje admisible de pérdidas del 40%.

Adicionalmente, para las dos poblaciones se asumió un porcentaje de pérdidas en la línea de aducción del 5%, este dato, fue basado en las consideraciones técnicas del acueducto Las Palmeras.

Una vez calculado el porcentaje de pérdidas técnicas, se procedió a hallar la dotación bruta [43] para cada población, por medio de la siguiente fórmula:

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%P}$$

Ecuación 11. Dotación Bruta

Dónde: D_{bruta} = Dotación bruta; d_{neta} = Dotación neta; $\%P$ = porcentaje de pérdidas.

Obteniendo lo siguiente:

Tabla 14. Dotación bruta

| POBLACIÓN ABASTECIDA | % DE PÉRDIDAS TÉCNICAS | DOTACIÓN BRUTA (L/hab-día) |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Urbana | 30 | 192,85 |
| Rural | 45 | 181,8 |

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para cuantificar la demanda doméstica de la microcuenca del río Mulato, se procedió a calcular con en base a la siguiente formula [50]:

$$\text{Demanda} = \frac{\text{Población} * \text{Dbruta}}{86400 \text{ seg/día}}$$

Ecuación 12. Demanda

Obteniendo que la demanda del sector Urbano (abastecidas por las bocatomas Las Palmeras y El Líbano) es de 9844,4 m³/día y la demanda del sector rural (abastecida por acueducto veredal El Líbano) es de 81,2 m³/día. Lo que representa una demanda del sector doméstico ejercida sobre la microcuenca del río Mulato de 9925,6m³/día.

De igual manera, se cuantificó las demandas restantes sobre la fuente teniendo en cuenta las concesiones de agua autorizadas por CORPOAMAZONIA e información del POMCA formulado en 2.009.

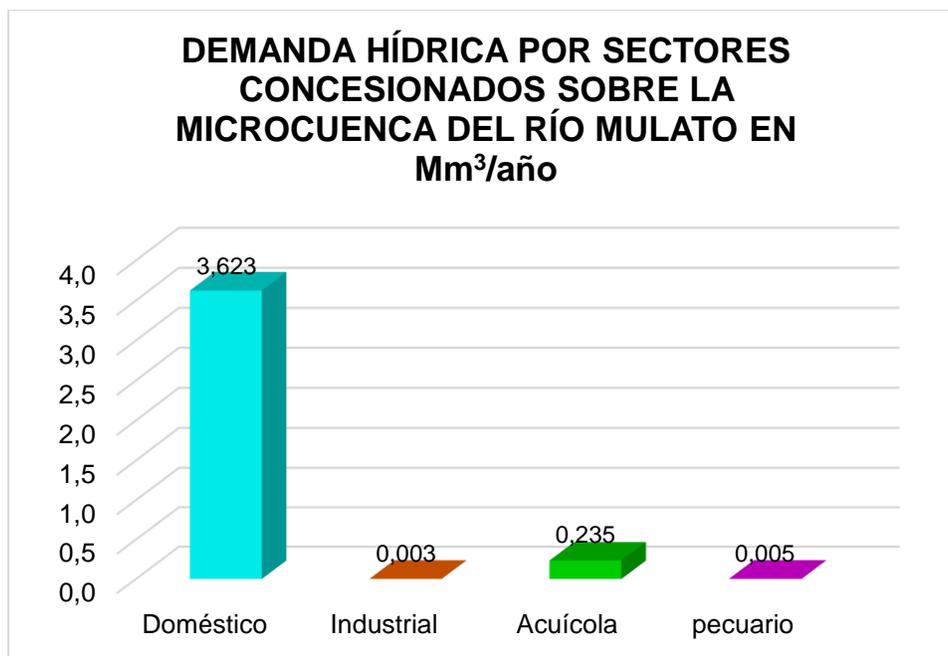
Para la demanda del sector industrial, según las concesiones autorizadas, se tiene una demanda realizada por un lavadero vehicular, el cual capta 4,75 m³/día. Sin embargo en la revisión del POMCA en formulación, se encontró que en la zona urbana, existen dos empresas transformadoras y embazadoras de agua (La empresa de marca Agua Pura del Putumayo y la empresa de marca Agua Indiyaco), las cuales se abastecen del acueducto municipal [53], demandando 4,66 m³/día; para un total de demanda del sector industrial de 9,4 m³/día.

Para la demanda del sector acuícola existe una concesión otorgada a una estación piscícola del resguardo Inga, la cual actualmente está captando 155,52 m³/día, no obstante en la revisión del POMCA en formulación, se encontró que como subsistencia familiar existen estanques piscícolas que no poseen permiso de concesión de aguas y vertimientos, los cuales demandan 487,5 m³/día [53]. Con lo anterior se tiene una demanda total del sector acuícola de 643,02 m³/día sobre la microcuenca del río Mulato.

De acuerdo con las concesiones otorgadas por CORPOAMAZONIA no se encontró registro de concesiones para el sector pecuario sobre la microcuenca del río Mulato,

sin embargo, en la revisión de la formulación del POMCA se identificó que existe una demanda de agua para bovinos de 13,82m³/día [53].

Figura 34. Distribución de la demanda hídrica expresada en millones de metros cúbicos/ año



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se realizó la sumatoria sectorial, para cuantificar la demanda total sobre la microcuenca El Mulato, donde se determinó que ésta tiene un valor de 10.592,2 m³/día; como ya se había mencionado, el río Mulato es fuente abastecedora de 2 acueductos municipales y un acueducto veredal comunitario, es por eso que el 93,71% de la presión ejercida sobre esta fuente, está dirigida hacia el uso doméstico, pues no solo abastece a la población de los 14 barrios y la zona veredal pertenecientes a su área de influencia [49], sino también a 38 barrios distribuidos en el sector centro, sur occidente y norte del municipio de Mocoa, donde aproximadamente se asientan según la proyección realizada 51.498,4 personas.

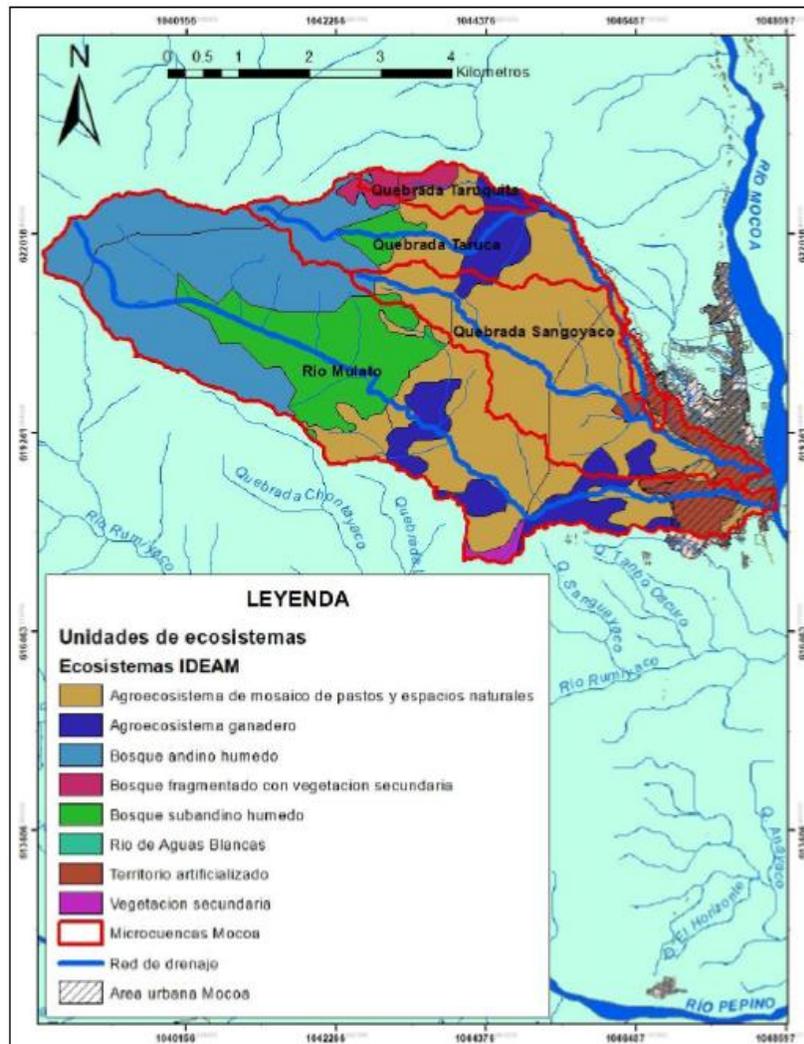
La microcuenca del río Mulato se encuentra habitada en una mayor área por población rural, dispersa asentada en la parte alta y en su mayoría sobre la parte media [49], esta última se caracteriza por estar conformada por zonas onduladas y de valles, lo que propicia que esta área base su economía en el sector pecuario, el cual demanda el 0,13% para uso ganadero, y sector acuícola con aproximadamente 23 estanques piscícolas ocupando el 6,07% de la demanda. Teniendo en cuenta lo anterior la demanda rural de la microcuenca el Mulato se basa hacia el sostenimiento de estas actividades.

En el área de la microcuenca según el registro de concesiones, no existe aprovechamiento hídrico para cultivos, pues los cultivos existentes son a baja

escala, por lo que no requieren gran demanda, además se considera que al tener un IRH alto, las recurrentes precipitaciones durante el año suplen la necesidad de este recurso para los pequeños agricultores.

En el siguiente mapa se puede evidenciar que la distribución de zonas para actividad pecuaria sobre la microcuenca del río Mulato, ocupan un área importante, con aproximadamente 174,09 Ha de la microcuenca en el sector veredal [30].

Figura 35. Esquema de ecosistemas para las microcuencas de acuerdo con el mapa de ecosistemas para Colombia.



Fuente: IDEAM 2014

Y por último el sector industrial demanda el 0,09% del recurso hídrico, para suplir las necesidades de un lavadero de autos y dos empresas de transformación y embasamiento de agua, estas dos empresas no tienen concesión de la fuente, si no, que se abastecen del acueducto municipal.

4.4 ÍNDICE DE ESCASEZ

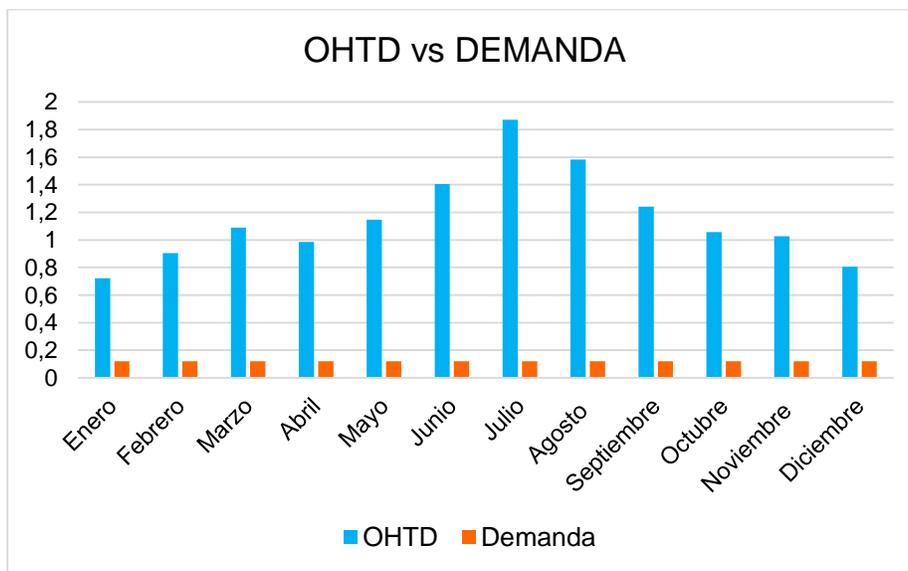
Una vez cuantificada la OHTD y la demanda, finalmente se evaluó de manera cuantitativa y cualitativa la vulnerabilidad hídrica actual de la microcuenca de manera integral, lo que permitirá guiar la toma de decisiones relacionadas con la creación de medidas necesarias para la sostenibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Mulato [54], este instrumento es importante para la gestión en el plan de manejo y ordenación de la microcuenca, para lo que se aplicó la ecuación 9, permitiendo obtener el siguiente índice:

Tabla 15. Relación oferta total disponible vs demanda

| OHTD m ³ /s | DEMANDA m ³ /s |
|------------------------|---------------------------|
| 1,13 | 0,12 |
| Índice de escasez | 10,62% |

Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Relación OHTD mensual multianual frente a la demanda



Fuente: Elaboración propia

En la anterior gráfica se relaciona la oferta hídrica total disponible frente a la demanda, como se puede evidenciar, la demanda no es un valor muy representativo frente a la OHTD, de lo que se concluye que no será necesario un volumen de almacenamiento para abastecer la demanda en épocas de estiaje. Como se observa, la gráfica respalda porqué el índice de escasez fue bajo.

4.4.1 CATEGORIZACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ

A partir de la cuantificación del índice, se calificó mediante la tabla 5 de forma categórica el rango en el que se encuentra el índice de escasez de la microcuenca del río Mulato, teniendo en cuenta que la resolución no realizó una valoración precisa en la tabla 5, se toma como categorización un índice mínimo de escases correspondiente al rango de 1 a 10%, pero se aclara que está muy cercano al valor de índice medio de escasez. Derivado de la demanda del sector doméstico, acuícola, pecuario e industrial, lo que indica que el riesgo de desabastecimiento es mínimo, debido a su baja demanda y que las condiciones de oferta natural, son favorecidas por las precipitaciones y la condición de un IRH alto [55].

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los resultados mostraron que la microcuenca del río Mulato tiene un índice de escasez mínimo, el cual es favorable ambientalmente, evidenciando que actualmente no es necesario crear estrategias de reducción de demanda y optimización de la oferta, pues la demanda es muy baja respecto a la oferta disponible.
- La espacialización de las concesiones otorgadas por CORPOAMAZONIA, permitió definir que se podía trabajar con los resultados de aforos realizados por Aguas Mocoa S.A E.S.P para hallar el caudal medio de la parte alta y media de la microcuenca dando como resultado que en su mayoría las concesiones se encuentran ubicadas sobre la parte media de la microcuenca, en cuanto a la localización de los puntos monitoreados obtenidos de un informe de la autoridad ambiental, se puede observar que se monitoreo 1 punto en la parte media de la microcuenca y dos puntos en la parte baja, uno de ellos es sobre la zona de mezcla de la fuente con los vertimientos municipales.
- Las reducciones ejercidas sobre la oferta hídrica por calidad del agua fue de 0,28 m³/s, y por caudal ecológico 0,47 m³/s, al sumar estos dos valores la reducción total es de 0,75 m³/s, lo que permitió obtener una oferta hídrica total disponible de 1,13 m³/s.
- La oferta hídrica de la microcuenca del río Mulato, debido a regímenes de precipitación característicos de la región, y al volumen de la red hídrica [30], hace que no se presente una situación de escasez, a pesar de que sobre esta fuente existen concesionados 2 bocatomas para acueductos municipales y 1 acueducto veredal.
- Al cuantificar la demanda se puede concluir que la microcuenca tiene una presión mayor ejercida por el sector doméstico, la cual representa el 93,71% del total de la demanda, por otro lado el sector que representa la mínima demanda es el sector industrial con un porcentaje de 0,09%.
- Sobre el área de la microcuenca no se encontraron estaciones limnimétricas que proporcionaran registros de caudales diarios, por lo tanto, para el cálculo de oferta hídrica fue necesario usar la metodología de *caudal medio puntual* según la resolución 865 de 2004, ya que este método es aplicable cuando se tienen registros de series cortas de caudales y no confiables.

- Para el establecimiento de la demanda se calculó con base en las concesiones otorgadas por CORPOAMAZONIA, y las demandas expuestas en la formulación del POMCA de la microcuenca del río Mulato, por lo que cabe resaltar que no se tuvieron en cuenta las demandas ilegales posibles.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda agregar a la red de monitoreo hídrico del IDEAM la instalación de estaciones limnimétricas de monitoreo especialmente sobre las microcuencas abastecedoras de acueductos, ya que esto permite evaluar el estado en el que se encuentran de manera más precisa y confiable además de activar las estaciones que se encuentran sin funcionamiento.
- Para la proyección de las curvas de duración de caudales se recomienda no trabajar los caudales por intervalos, excepto cuando se tengan registros de periodos hídricos más largos, con el fin de detallar de una mejor manera el régimen de caudales de una fuente.
- Teniendo en cuenta que las aguas residuales son vertidas a la fuente sin previo tratamiento y que los niveles de Coliformes fecales encontrados sobre el río Mulato son altos, se recomienda realizar al menos un tratamiento convencional que permita mejorar las condiciones de calidad en el aprovechamiento para consumo humano.
- Con el propósito de tener un mayor control sobre la conservación de la fuente Mulato, se recomienda realizar procesos de vigilancia y registro de puntos donde se observe que se realiza aprovechamiento ilegal del agua. Además, se considera importante programar charlas de educación ambiental para prevenir este tipo de presiones sobre la fuente.
- Se recomienda al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, antes Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial clarificar el apartado 3.4.1 de reducción por calidad del agua en la resolución 865 de 2004, ya que se encontró un vacío respecto a la relación reducción/calidad, lo que dificulta el proceso de interpretación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. Mendoza Vega, “Propuesta para promover el manejo eficiente del recurso hídrico en la microcuenca alta del río Botello en el municipio de Facatativá, desde el marco de la gestión integral del agua,” Pontifica Universidad Javeriana, 2011.
- [2] UNESCO, “Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015: Agua para un mundo sostenible,” *UN WATER, United Nations Educ. Sci. Cult. Organ.*, pp. 1–12, 2015.
- [3] Green Facts, “la presión sobre los recursos hídricos.” [Online]. Available: <https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/l-2/1-presiones-sobre-los-recursos.htm#0>. [Accessed: 02-Jul-2019].
- [4] Alcaldía de Mocoa, “Plan Básico de Ordenamiento Territorial.”
- [5] Banco Mundial, “Gestión de los recursos hídricos: Resultados del sector,” 2014. [Online]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/15/water-resources-management-results-profile>. [Accessed: 02-Jul-2019].
- [6] UNESCO, “El agua, fuente de empleo y crecimiento económico, según nuevo informe de las Naciones Unidas.” [Online]. Available: <https://es.unesco.org/news/agua-fuente-empleo-y-crecimiento-economico-segun-nuevo-informe-naciones-unidas>. [Accessed: 02-Jul-2019].
- [7] ONU-Agua, “Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).” [Online]. Available: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>. [Accessed: 02-Jul-2019].
- [8] IDEAM, *Estudio Nacional del Agua 2018*. .
- [9] N. E. Samboni, R. Aldemar, and C. Yesid, “Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta,” Universidad del Valle, 2011.
- [10] P. Torres, C. Hernán, and P. Patiño, “Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en La producción de agua para consumo humano,” *Revista Ingenierías - Universidad de Medellín*, vol. 8, no. 15, pp. 79–94, 2009.
- [11] N. J. Fernandez and F. Solano, *Capítulo III: índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial*. 2005.
- [12] GreenFacts, “Recursos Hídricos.”
- [13] M. Izquierdo santacruz, “Regimen de caudal ecologico, herramienta de gestion para conservar la biota acuatica.,” pp. 77–94, 2013.
- [14] GWP (Global Water Partnership), *Manejo integrado de recursos hídricos*. Estocolmo, Suecia, 2000.

- [15] P. de la R. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Dirección de gestión integral del recurso hídrico.”
- [16] P. E. M. A. G.-B. y P. S.-F. Alonso-EguíaLis, *Requerimientos para implementar el caudal ambiental en México*. México, 2007.
- [17] CORPONARIÑO, “Plan de Ordenamiento del recurso hídrico quebrada Miraflores,” 2004.
- [18] Departamento de asuntos económicos y sociales de naciones unidas (ONU-DAES), “Decenio Internacional para la Acción ‘El agua, fuente de vida’ 2005-2015.” .
- [19] A. Ballesteros, Maureen. Arroyo, Víctor. Mejía, “Inseguridad económica del agua en Latinoamérica: de la abundancia a la inseguridad,” 2015.
- [20] L. A. Yáñez, Angel Wilfrido. Vallacís Aldaz, “El agua en América Latina,” *J. Selva Andin. Biosph.*, vol. 4, 2016.
- [21] Tribunal Latinoamericano del Agua, “Situación hídrica en América Latina.” [Online]. Available: <https://tragua.com/situacion-hidrica-en-america-latina/>. [Accessed: 23-Oct-2019].
- [22] IDEAM, “Cuánta agua nos queda,” no. 1, 2012.
- [23] M. de A. V. y D. Territorial, “Resolución 865 de 2004,” 2004.
- [24] C. MADS, “Caracterización ambiental plan departamental de agua-departamento de Putumayo.”
- [25] CORPOAMAZONIA, “Concepto técnico No 0905.”
- [26] CORPOAMAZONIA, “CT No 0732.” .
- [27] OMS, “Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud,” World Health Organization, 2013.
- [28] OMS, “La calidad del agua y el saneamiento.”
- [29] Alcaldía de Mocoa, “Plan Maestro de Alcantarillado.”
- [30] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres & Pontificia Universidad Javeriana, “Diagnostico socioterritorial de las microcuencas de los ríos Mulato y Sangoyaco y las quebradas la Taruca y Taruquita del municipio de Mocoa-Putumayo,” 2018.
- [31] Presidencia de la República, *Constitución Política de Colombia*. 1993.
- [32] Presidente de la república de Colombia, “Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.,” 1974.
- [33] Presidente de la república de Colombia, “DECRETO 1541 DE 1978,” 1978.
- [34] Presidente de la república de Colombia, “Decreto N° 1594 del 26 de Junio de

1984,” 1978.

- [35] V. y D. T. Ministerio de Ambiente, *Decreto 3930 de 2010*. 2010.
- [36] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible,” 2014. [Online]. Available: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>. [Accessed: 06-Mar-2019].
- [37] CORPOAMAZONIA, “POMCA,” pp. 25–27, 2008.
- [38] Aguas Mocoa S.A E.S.P, “Cálculo de Caudales,” 2011.
- [39] IDEAM, “Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial,” no. 96, p. 10, 2011.
- [40] C. Sabas and D. Cuervo, “Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del río Barbas,” 2009.
- [41] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e IDEAM, “Caudal ambiental como insumo para la gestión integral del recurso hídrico,” 2019.
- [42] IDEAM y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Índice de Uso del Agua,” vol. 1.01, no. 96, pp. 1–16.
- [43] Ministerio de Vivienda- Cuidad y Territorio, *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico- Título B*. Colombia, p. 480.
- [44] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e IDEAM, *Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Variable : Oferta Hídrica Total Superficial*. 2016.
- [45] Allen Bateman, “Hidrología Básica y Aplicada,” 2007.
- [46] Daphnia Ltda, “Informe técnico caracterización fisicoquímica y microbiológica de los vertimientos y de las fuentes hídricas receptoras de las cabeceras municipales ubicadas en el departamento del Putumayo,” 2012.
- [47] CORTOLIMA, “Calidad de aguas.”
- [48] L. E. Segura Triana, “Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia,” Escuela Superior de Administración Pública, 2007.
- [49] Alcaldía de Mocoa, “Población de la microcuenca del río Mulato- Formulación del POMCA,” 2009.
- [50] CORPOAMAZONIA, “Concepto técnico de evaluación DTP No. 0355 solicitud concesión de aguas superficiales y autorización de ocupación de cauces acueducto Las Palmeras.” .
- [51] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, “Guia RAS 001:

Definición del nivel de complejidad y evaluación de La población, la dotación y nivel de demanda.” *Definición del nivel de complejidad y evaluación de la población, la dotación y nivel de demanda.* pp. 1–67, 2003.

- [52] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, *Resolución Número 2320 de 27 de Noviembre de 2009*, no. 2320. 2009, pp. 1–2.
- [53] CORPOAMAZONIA. Fundación Cultural del Putumayo, “Resumen Plan de Manejo y Gestión microcuenca del río Mulato- municipio de Mocoa, departamento del Putumayo.”
- [54] J. A. Vega ortiz, “Análisis crítico de la metodología implementada por el IDEAM y las empleadas en el ámbito internacional para la definición del índice de escasez del agua superficial,” Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO, 2018.
- [55] S. P. Delgado Lindeman and C. A. Quintana Canabal, “Determinación del índice de escasez en la cuenca del río guachaca en el departamento del magdalena,” 2014.

ANEXOS

Anexo 1. Formato distribución de frecuencias

| Intervalo de clases (m ³ /seg) | Frecuencia absoluta (fi) | Frecuencia acumulada (Fi) | Frecuencia acumulada % |
|---|--------------------------|---------------------------|------------------------|
| | | | |

Fuente: Resolución 865 de 2004

Anexo 2. Formato cálculo del índice de variabilidad

| No | Porcentaje (%) | Caudal (Qi)(m ³ /seg) | Log Qi | (Log Qi-x) ² |
|----|----------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 1 | 5 | | | |
| 2 | 15 | | | |
| . | . | | | |
| . | . | | | |
| 10 | 95 | | | |
| | | | $Z = 1/n \sum (\log Qi)$ | $W = 1/n-1 \sum (\log Qi - x)^2$ |

Fuente: Resolución 865 de 2004

Anexo 3. Base de datos de concesiones otorgadas por CORPOAMAZONIA sobre la microcuenca del río Mulato, hasta febrero de año 2019

| # | Expediente | Titular | Uso autorizado | Fuente hídrica concesionada | Caudal concesionado m3/s | Caudal captado m3/s | Coordenadas geográficas | | | | | | Vigencia |
|---|---------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|------------|
| | | | | | | | G_Lat | M_Lat | S_Lat | G_Long | M_Long | S_Long | |
| 1 | CO-06-86-001-X-002-043-09 | Aguas Mocoa S.A E.S.P | Doméstico | Rio Mulato | 0,3 | 0,20 | 1 | 9 | 24.1 | 76 | 41 | 27.4 | 03/12/2034 |
| 2 | CO-06-86-001-X-002-005-99 | Aguas Mocoa S.A E.S.P | Doméstico | Rio Mulato | 0,116 | 0,35 | 1 | 8 | 32.6 | 76 | 40 | 20 | - |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|--|------------|-----------------------------|---------|----------|---|---|------|----|----|------|------------|
| 3 | CO-06-86-001-X-002-018-13 | Antonio Ramiro Pérez Rosero | Industrial | Caño afluente de río Mulato | 0,003 | 0,000055 | 1 | 8 | 44.1 | 76 | 39 | 34.3 | 29/07/2018 |
| 4 | CO-06-86-001-X-002-009-01 | Junta de acción comunal vereda el libano | Doméstico | Quebrada las Delicias | 0.52 | 3 | 1 | 8 | 42.6 | 76 | 40 | 24.2 | Cerrado |
| 5 | CO-06-86-001-X-002-067-16 | Junta de acción comunal vereda el libano | Doméstico | Quebrada las Delicias | 0,0024 | 0,0029 | 1 | 8 | 42.5 | 76 | 40 | 24.1 | 22/11/2026 |
| 6 | CO-06-86-001-X-002-045-09 | Jose Benedicto Juajibioy Jacanam ejoy | Acuícola | Quebrada el Afilador | 0.54 | - | 1 | 7 | 58.1 | 76 | 40 | 23.4 | Cerrado |
| | | | | Afloramiento natural | 0.23 | - | 1 | 8 | 46.2 | 76 | 39 | 59.2 | |
| 7 | CO-06-86-001-X-002-069-14 | Alvaro Janamejo y Chindoy | Acuícola | Quebrada Chuspisacha | 0.61 | - | 1 | 8 | 6.4 | 76 | 40 | 33.7 | Cerrado |
| | | | | | 4.29 | - | 1 | 7 | 59.2 | 76 | 40 | 21.9 | |
| 8 | CO-06-86-001-X-002-015-09 | Resguardo Inga | Acuícola | Quebrada Mulatico | 0,00351 | 0,0018 | 1 | 9 | 00.3 | 76 | 41 | 8.1 | 19/05/2014 |
| 9 | CO-06-86-001-X-002-014-19 | Alcaldía de Mocoa y Aguas | Doméstico | Quebrada nn 1 | 0,0063 | - | 1 | 9 | 22.7 | 76 | 41 | 20.9 | Temporal |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------|--|------------------|-------------|---|---|---|-----------|----|----|-----------|--|
| | | Mocoa S.A E.S.P | | Quebrada nn 2 | 0,0092 2 | - | 1 | 9 | 24.4 | 76 | 41 | 11.3 | |
| | | | | Quebrada nn 3 | 0,0166 1 | - | 1 | 9 | 25 | 76 | 41 | 2 | |
| | | | | Quebrada nn 4 | 0,0014 3 | - | 1 | 9 | 44.6 8 | 76 | 39 | 20.6 3 | |

Fuente: Elaboración Propia